

Ю.Ф. Тугаенко, д.т.н., профессор  
М.В. Марченко, к.т.н., доцент  
Л.А. Логинова, к.т.н., инженер

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАГОЕМКОСТИ ГРУНТОВ НА ИХ СЖИМАЕМОСТЬ В ОСНОВАНИЯХ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ

*Приведены материалы исследований показателей сжимаемости водонасыщенных лессовых оснований фундаментных плит жилых зданий высотой до 16-ти этажей. Определено, что нарастание осадок таких фундаментов в период строительства и эксплуатации является проявлением консолидации водонасыщенных грунтов под нагрузкой. Установлено, что величина осадки – это внешнее интегральное следствие сокращения объема пор, заполненных водой и зацементированным газом. Процессы уплотнения обусловлены соотношением молекулярной влагоемкости грунтов и их гравитационной составляющей, при этом сжимаемый зацементированный внутри пор газ дополнительно способствует вытеснению гравитационной части поровой воды. Показано, что на длительность фильтрации также оказывает влияние снижение водопроницаемости в процессе уплотнения грунтов.*

**Ключевые слова:** фундаментные плиты, грунты основания, влагоемкость, давление, осадка, относительная деформация.

Ю.Ф. Тугаенко, д.т.н., профессор  
М.В. Марченко, к.т.н., доцент  
Л.О. Логінова, к.т.н., інженер

Одеська державна академія будівництва та архітектури

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВОЛОГОЄМНОСТІ ҐРУНТІВ НА ЇХ СТИСЛИВІСТЬ В ОСНОВІ ФУНДАМЕНТНИХ ПЛИТ

*Наведено матеріали досліджень показників стисливості водонасичених лесових основ фундаментних плит житлових будинків висотою до 16-ти поверхів. Виявлено, що наростання осідання таких фундаментів у період будівництва та експлуатації є проявом консолідації водонасичених ґрунтів під навантаженням. Установлено, що величина осідання – це зовнішній інтегральний наслідок скорочення обсягу пор, заповнених водою і затисненим газом, а процеси ущільнення обумовлені співвідношенням молекулярної вологоємності ґрунтів та їх гравітаційної складової, при цьому газ, що стискається та затиснений усередині пор, додатково сприяє витісненню гравітаційної частини порової води. Показано, що на тривалість фільтрації також впливає зниження водопроникності в процесі ущільнення ґрунтів.*

**Ключові слова:** фундаментні плити, ґрунти основи, вологоємність, тиск, осідання, відносна деформація.

*Yu.F. Tugaenko, ScD, Professor  
M.V. Marchenko, PhD, Associate Professor  
L.A. Loginova, PhD, engineer  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*

## **STUDY OF WETNESS OF SOIL ON THEIR REASONS COMPRESSIBILITY BASEPLATES**

*The paper presents the research material of compressibility indicators of saturated loess bases of foundation plates of residential buildings up to 16 storey. It is set that the growth of the settlement of such foundations during its construction and exploitation is an effect of the consolidation of saturated soils under load. The value of settlement is the outer integral consequence of the volume reducing of pores filled with water and clamped gas. The densification process caused by the ratio of molecular moisture capacity of soils and their gravitational component. In this case, the compressible gas jammed inside the pores additionally contributes to the displacement of the gravity of the pore water. The length of the filter also affects permeability reduction in the soil compaction.*

***Keywords:** base plates; foundation soil; moisture content; pressure; sediment; relative deformation.*

**Введение.** Показателем сжимаемости грунтов является модуль деформации. Его значение определяется по результатам испытаний грунтов штампами при давлениях в пределах пропорциональности. Характеристики грунтов не оказывают влияние на зависимость осадки от давления.

Давления, превышающие предел пропорциональности, вызывают в грунтах основания остаточные деформации, которые являются следствием уплотнения, а этот процесс действующими нормами не учитывается.

Фактически уплотнение, возникающее в результате сокращения объема пор при давлениях выше структурной прочности, носит необратимый характер и сопровождается вытеснением воды из пор грунта, а также сжатием защемленного газа.

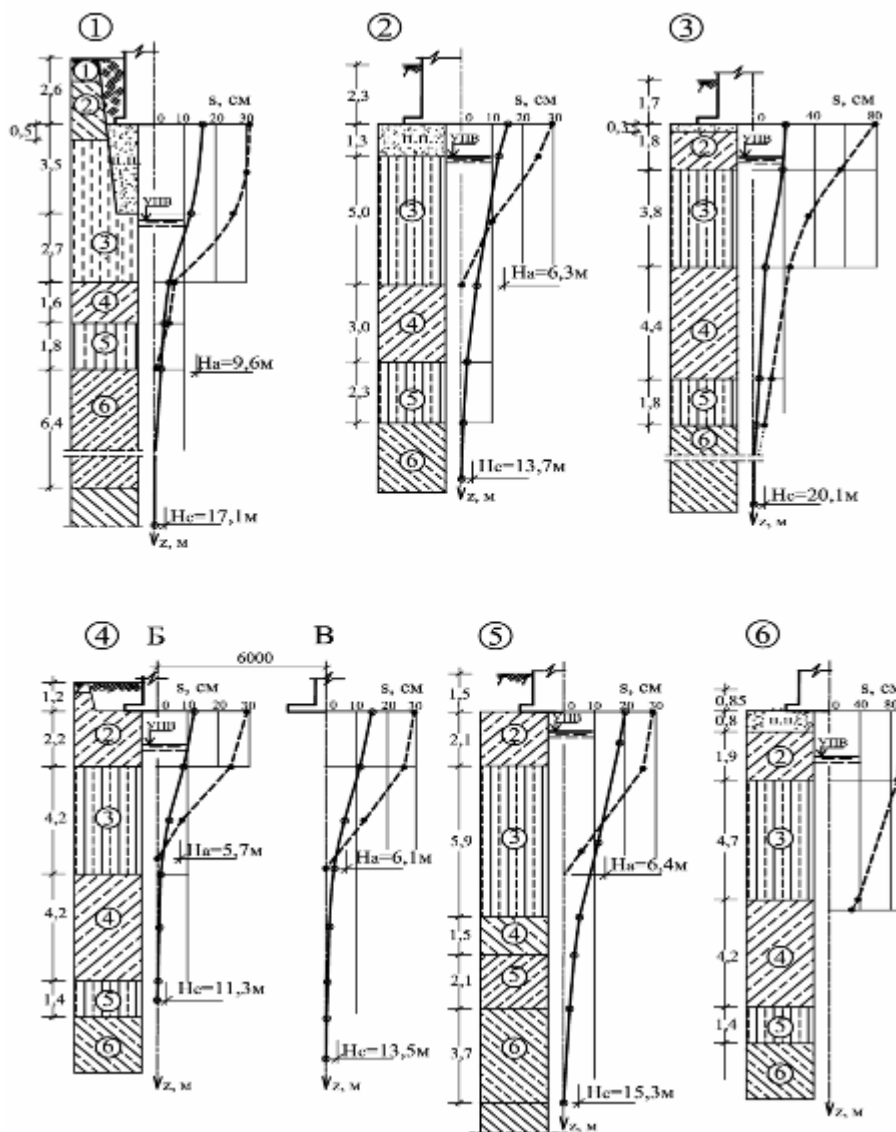
**Обзор последних источников исследований и публикаций.** В ранее опубликованных нами работах по результатам натуральных наблюдений за послойными перемещениями в основаниях фундаментных плит 9 – 16-этажных жилых домов длительностью от 12-ти до 39-ти лет проведен анализ деформаций без учета процессов перераспределения влажности, возникающих в водонасыщенных грунтах основания при сжатии под нагрузкой. Использование результатов специальных исследований физических явлений в грунтах по работам А.Ф. Лебедева, Н.М. Герсевича, В.А. Приклонского, В.А. Флорина и других исследователей позволило по-новому качественно и количественно оценить характер протекающих процессов уплотнения грунтов в основаниях фундаментов большой площади по мере возведения зданий и их последующей эксплуатации.

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** В общем случае грунтовая среда, представленная водонасыщенными лессами и суглинками, является трехфазной системой. Уплотнение происходит под влиянием внешней нагрузки в результате сокращения объема пор, которые заполнены водой и защемленным газом. Вода состоит из двух компонентов: молекулярно-связной и гравитационной воды. Молекулярная влагоемкость занимает до 50% объема пор и при давлениях от внешней нагрузки не вытесняется. Следствием уплотнения является сокращение объема пор в результате вытеснения только гравитационной части воды и сжатия газа.

**Постановка задачи.** Целью исследований является оценка изменения влагоемкости водонасыщенных лессовых грунтов с учетом физических процессов, сопровождающих их уплотнение.

**Основной материал и результаты.** В г. Одессе выполнены экспериментальные длительные наблюдения за нарастанием осадок зданий и перемещением грунтовых марок, установленных ниже подошвы фундаментов, в основаниях шести многоэтажных жилых домов, возведенных на лессовых водонасыщенных грунтах. На пяти объектах применены фундаментные плиты, а на одном – ленточные фундаменты. Период наблюдений составил от 12-ти до 39-ти лет. Грунты основания ниже подошвы фундаментов представлены лессовой толщей с чередованием слоев водонасыщенных лессовых суглинков (ИГЭ-2, 4 и 6) и супесей (ИГЭ-3 и 5), подстилаемых краснобурыми глинами мощностью 1,5...5,0 м, далее залегают понтические известняки [1 – 3].

Перечень наблюдаемых объектов приведен в табл.1, а геологическое строение оснований фундаментов – на рис.1.



**Рис. 1. Геологическое строение в основаниях фундаментов.**

Эпюры деформаций по глубине: ●—● – расчетные;

●---● – измеренные; п.п. – песчаная подушка

Подземные воды к началу строительства залегали на глубине от 0,8 до 3,7 м ниже подошвы фундаментов. На двух объектах (№ 3 и 4) выполнялись наблюдения за положением уровня подземных вод в процессе строительства и эксплуатации: колебания составили от 2,5 до 3,0 м, с периодическим подтоплением подвальных помещений.

**Таблица 1. Характеристики наблюдаемых объектов и параметры НДС их оснований**

№ объекта	Жилые дома в г. Одессе по улице	Этажность	$p$ , кПа	$A$ , м <sup>2</sup> ; $b$ , м	Длительность наблюдений, лет в период:		Осадка, см			Глубина зоны деформации, м	
					стр-ва	экспл.	$s_p$	$s_u$	$s_{сmp}$	$H_c$	$H_a$
1	Дзержинского	9	156	440	2,4	28	16,9	32	22,4	17,1	9,6
2	И. Франко	9	127	630	1,5	23	15,2	27,9	22,2	13,7	6,3
3	Перекопск. дивизии	16	187	621	1,9	37	30,1	79,3	60,2	20,1	14,8
4	Щорса: ось Б ось В	9	161	4,1	2,4	21	12,5	29,4	18	11,3	5,7
			160	3,3			15,9	31,8	19,6	13,5	6,1
5	Ген. Петрова	9	142	764	1,1	19	20,4	28,3	21,3	15,3	6,4
6	Маршала Жукова	16	279	645	5,8	6,5	68,5	97,6	88,3	-	-

Примечания:  $p$  – давление по подошве фундаментов;  $A$ ,  $b$  – площадь фундаментных плит или ширина ленточных фундаментов;  $s_p$ ,  $s_u$  и  $s_{сmp}$  – осадка расчетная, измеренная и за период строительства;  $H_c$  и  $H_a$  – глубина сжимаемой толщи, расчетная и измеренная.

Особенностью лессовых водонасыщенных грунтов, залегающих ниже уровня подземных вод, является наличие заземленного газа  $V_g$ , находящегося в порах в дисперсном состоянии в виде мелких пузырьков. Его количество при прочих равных условиях зависит от размеров частиц, плотности скелета грунта, чем больше плотность, тем меньше объем заземленного газа [4].

В табл. 2 приведены средние значения основных физических и прочностных характеристик по материалам изысканий на участках застройки наблюдаемых объектов, а в табл. 3 – расчетные значения их состояния.

Из таблиц 2 и 3 видно, что для супеси ИГЭ-3 при средней плотности скелета грунта, равной 1,4 г/см<sup>3</sup>, объем заземленного газа  $V_g$  составил 23% от объема пор (11% в единице объема грунта). В супеси ИГЭ-5 при плотности 1,55 г/см<sup>3</sup> соответственно 12 и 5 %.

**Таблица 2. Средние значения характеристик грунтов в основаниях объектов**

№ ИГЭ	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	$w$ , д.е.	$w_p$ , д.е.	$w_L$ , д.е.	$\varphi$ , град	$c$ , кПа
3	2,67	в	0,26	-	-	-	-
		н	0,26	-	-	-	-
		ср	0,26	0,19	0,20	18	20
4	2,68	1,62	0,22	0,18	0,33	18	25
5	2,68	1,55	0,24	0,20	0,27	19	20

Примечание: для ИГЭ-3 приведены данные для верхней (в), нижней (н) половины слоя и их средние значения.

### Характеристики объектов

1. 9-этажный жилой дом с подвальным этажом и стенами из бетонных блоков возведен на фундаментной плите. Песчаная подушка устроена в связи с наличием демонтируемых подземных помещений под «пятном» фундамента здания.

**Таблица 3. Расчетные значения физических характеристик и фазовых компонентов грунтов**

№ ИГЭ	$n$ , д.е.	$S_r$ , д.е.	$S_{r,m}$ , д.е.	$S_g$ , д.е.	$V_s$ , д.е.	$V_w$ , д.е.	$V_{w,m}$ , д.е.	$V_{w,гр}$ , д.е.	$V_g$ , д.е.	
3	в	0,48	0,74	0,46	0,25	0,52	0,36	0,22	0,14	0,12
	н	0,47	0,79	0,48	0,21	0,53	0,37	0,22	0,15	0,10
	ср	0,48	0,77	0,47	0,23	0,52	0,37	0,22	0,15	0,11
4	0,39	0,90	0,66	0,10	0,61	0,35	0,26	0,09	0,04	
5	0,42	0,88	0,59	0,12	0,58	0,37	0,25	0,12	0,05	

Примечания:  $S_r$ ,  $S_{r,m}$  и  $S_g$  – коэффициенты общего и молекулярного водонасыщения и газосодержания;  $V_s$ ,  $V_g$  – объемы минеральных частиц и заземленного газа;  $V_w$ ,  $V_{w,m}$  и  $V_{w,гр}$  – объемы воды: общий, молекулярной и гравитационной

2. 9-этажный жилой дом с подвальным этажом. Котлован после разработки был заполнен водой на высоту 0,2...0,3 м в результате подъема уровня подземных вод. Фундаментная плита выполнена по слою песчаной подушки толщиной 1,3 м. Стены из бетонных блоков, перекрытия из многпустотных железобетонных плит.

3. 16-этажный жилой дом на сплошной железобетонной плите. Под фундаментом принята песчаная подушка толщиной 30 см (на величину расчетной осадки). Стены выполнены в переставной опалубке на всю высоту здания. Сборные плиты междуэтажных перекрытий монтировались после окончания возведения стен.

4. 9-этажный жилой дом на ленточных фундаментах. Стены из бетонных блоков, перекрытия из многпустотных железобетонных плит.

5. 9-этажный жилой дом на сплошной железобетонной плите. Стены из бетонных блоков, перекрытия из многпустотных железобетонных плит.

6. 16-этажный жилой дом на сплошном железобетонном плитном фундаменте с подвальным этажом. Стены из силикатного кирпича, перекрытия из многпустотных железобетонных плит. Под фундаментной плитой предусмотрена песчаная подушка толщиной 0,8 м (строительный подъем на величину расчетной осадки).

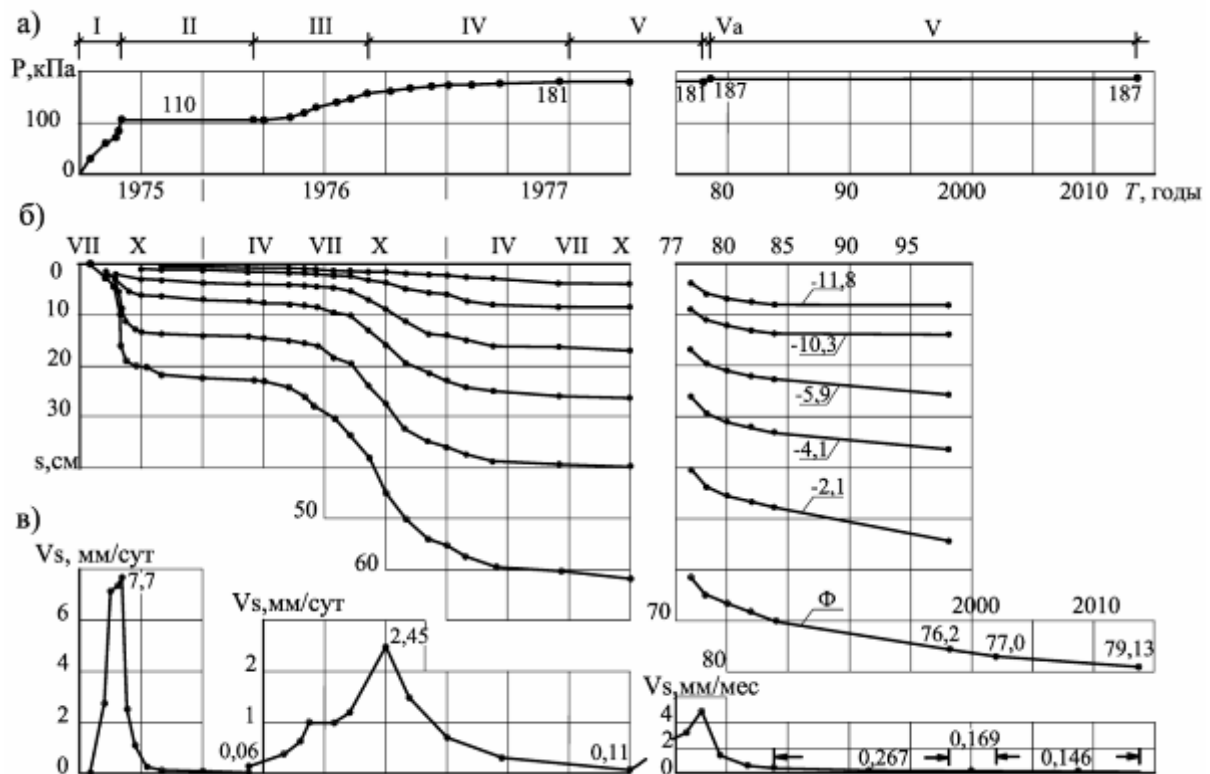
*Методика наблюдений.* На перечисленных объектах проведены измерения осадок здания и перемещений грунтовых марок, заложенных ниже подошвы фундаментов. Осадки здания измерялись двумя независимыми методами: высокоточным геометрическим и гидростатическим нивелированием. На объектах 1, 2, 4 и 5 использован третий метод – измерения от грунтовых марок, заложенных ниже зоны деформации. Марки служили глубинными реперами, неизменяемость положения которых периодически контролировалась нивелированием. Послойные перемещения измерялись грунтовыми марками, стержни от которых выведены в подвальные помещения. Марки установлены в непосредственной близости от центральной вертикальной оси фундамента, через отверстия в фундаментной плите. На каждом горизонте установлено по две грунтовые марки, по одной в каждом из двух кустов. На объекте 6 установлены магнитные марки в пределах ИГЭ-3 с повышенной точностью измерений. Расстояния между ними по глубине около метра. Наблюдения проводились в период строительства и эксплуатации.

Наращение осадок фундаментов зданий и перемещений грунтовых марок в

процессе строительства при росте давления и в период эксплуатации при его практически постоянном значении является внешним проявлением процессов уплотнения в грунтах основания.

*Влияние внешней нагрузки на нарастание осадок.* Характер нарастания осадок фундаментов отражает процессы уплотнения грунтов в пределах зоны деформаций.

На рис. 2 приведены графики нарастания во времени среднего значения давления по подошве фундамента, осадок фундаментной плиты и грунтовых марок, а также скорости их протекания на объекте № 3.



**Рис. 2. Графики совместной деформации фундаментной плиты и грунтов основания. Нарастание во времени: а) давлений; б) осадки фундамента и грунтовых марок; в) скорости протекания осадки**

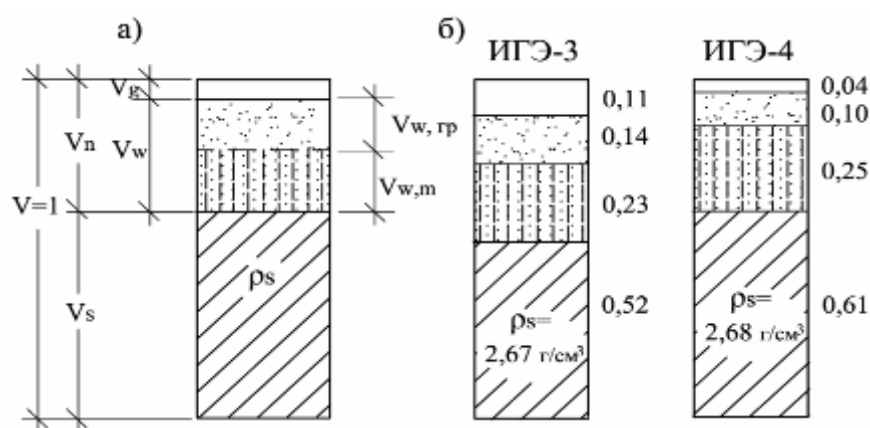
При возведении стен (I) можно отметить два периода нарастания осадок. До давления по подошве 65 кПа, меньшего структурной прочности, величина осадки составила около 5 см, а при его повышении до 110 кПа увеличилась до 20 см. В этот период отмечена максимальная скорость нарастания осадок (7,7 мм/сутки). После возведения стен, вследствие технологического перерыва длительностью 7 месяцев (II), скорость нарастания осадки уменьшилась и к его окончанию составила 0,06 мм/сутки.

Монтаж междуэтажных перекрытий (III) вызвал увеличение скорости осадки, достигшей 2,45 мм/сутки, которая в процессе отделочных работ и монтажа инженерных коммуникаций уменьшилась (IV) и к окончанию строительства составила 0,11 мм/сутки.

Эксплуатационная нагрузка с 1977 г. (V), а также утепление внешних стен с их оштукатуриванием привели к краткосрочному «всплеску» скорости осадки ( $V_a$ ) и постепенному ее уменьшению, достигнутому к концу периода наблюдений величины 0,146 мм/мес.

*Процессы уплотнения водонасыщенных лессовых грунтов.* На процессы уплотнения оказывает влияние соотношение параметров состояния грунтовой среды. На рис. 3, а приведена качественная схема фазовых компонентов в единице объема грунта. Лессовые грунты, находящиеся ниже уровня подземных вод, являются трехфазной системой, состоящей из объема минеральных частиц, пор, заполненных водой, и защемленным газом. Вода в порах находится в двух состояниях: одна ее часть определяется молекулярной влагоемкостью, а вторая – гравитационной.

В лессовых грунтах максимальной молекулярной влагоемкости соответствует весовая влажность, равная 0,16. Эта часть воды не вытесняется из деформируемого объема под влиянием механических нагрузок и сохраняется при любом уплотнении [5, 6]. В процессе уплотнения из пор вытесняется гравитационная часть воды, а защемленный газ в основном остается в порах. Таким образом, потенциально возможная максимальная плотность для данного грунта может быть достигнута при вытеснении всей гравитационной части воды.



**Рис. 3. Соотношение фазовых компонентов грунтов:**

- а) схема основных фазовых компонентов в единице объема водонасыщенного грунта:**  $\rho_s$  – плотность частиц грунта;  $V$  – единица объема грунта;  $V_s$ ,  $V_n$ ,  $V_w$  и  $V_g$  – объемы минеральных частиц, пор, воды и защемленного газа;  $V_{w,m}$  и  $V_{w,гр}$  – объемы молекулярной и гравитационной частей воды;
- б) соотношение фазовых компонентов для ИГЭ-3 и 4**

Внешняя нагрузка вызывает сокращение объема пор, в результате чего происходит практически мгновенное сжатие защемленного газа и постепенное вытеснение воды. Сжатый газ оказывает дополнительное давление на воду, способствуя ее удалению. Длительность вытеснения воды из пор увеличивается с повышением плотности скелета грунта, о чем свидетельствует зависимость на графике рис. 2, в. Начальная, относительно высокая, проницаемость обеспечивает значительную скорость нарастания осадки при росте нагрузки и кратковременный период ее снижения при постоянном давлении, равном 110 кПа. Последующее увеличение давления снижает водопроницаемость грунтов, вследствие чего длительность вытеснения воды из пор увеличивается, снижая скорость нарастания осадки. После окончания строительства при постоянной нагрузке скорость нарастания осадки снижается. На объекте № 3 через 37 лет наблюдений, в период эксплуатации, стабилизации деформаций не зафиксировано.

Параметры процессов уплотнения лессовых водонасыщенных грунтов в основаниях фундаментных плит многоэтажных зданий определены по результатам измерений осадок и послойных перемещений.

На рис. 3, б показана схема количественных соотношений фазовых компонентов грунтов ИГЭ-3 и ИГЭ-4 в основании объекта № 3.

Под влиянием внешней нагрузки объем пор сокращается в результате сжатия и частичного растворения газа и вытеснения гравитационной части воды. Сжатие газа происходит одновременно с повышением нагрузки, а вытеснение воды из пор – длительный период времени, который зависит от водопроницаемости грунтов. Принимая допущение о сохранении объема заземленного газа постоянным, максимально возможное значение относительной деформации для водонасыщенных лессовых грунтов определено как отношение объема гравитационной воды к объему образца по выражению

$$\varepsilon_{\max} = V_{w,sp} / V. \quad (1)$$

Значение относительной деформации каждого слоя возрастает с увеличением давления. Большая часть относительных деформаций, отражающих результаты уплотнения, наблюдается при росте давлений и изменяется в зависимости от свойств грунтов и длительности возведения здания с 60 до 80% от общей величины, измеренной за период наблюдений (см. табл. 4, рис.4, г и 5, г).

**Таблица 4. Значения относительных деформаций слоев грунта на объекте № 3**

№ ИГЭ	$\varepsilon_{\max}$ д.е.	$\varepsilon$ , д.е.	$\varepsilon'$ , д.е.	$\varepsilon''$ , д.е.	$\varepsilon'/\varepsilon$ , д.е.	$\varepsilon''/\varepsilon$ , д.е.	
3	в	0,14	0,088	0,07	0,018	0,80	0,20
	н	0,15	0,064	0,053	0,011	0,83	0,17
	ср	0,15	0,076	0,061	0,014	0,81	0,19
4	0,09	0,026	0,018	0,008	0,69	0,31	
5	0,12	0,038	0,023	0,015	0,61	0,39	

Примечание:  $\varepsilon_{\max}$ ,  $\varepsilon$ ,  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  – относительные деформации: максимально возможная, измеренная, за период строительства и эксплуатации.

По результатам измерений осадок грунтовых марок определены значения относительных деформаций грунтов, находящихся в интервале глубины между ними, и отношение разности их перемещений к начальному расстоянию между арками по зависимости

$$\varepsilon_i = \Delta s_{z,i} / \Delta h_i, \quad (2)$$

где  $\Delta s_{z,i} = s_{z,i+1} - s_{z,i}$ ;  $\Delta h_{z,i} = h_{z,i+1} - h_{z,i}$ ;  $s_{z,i+1}$  и  $s_{z,i}$  – осадки смежных по глубине марок условного  $i$ -го слоя, а  $h_i$  – расстояние между ними.

Полученные значения использованы для построения графиков зависимостей средних значений относительных деформаций от напряжений. Такие графики выполнены для ИГЭ-3, 4 и 5, находящихся ниже уровня подземных вод в пределах глубины зоны деформаций, и показаны на рис. 4 и 5.

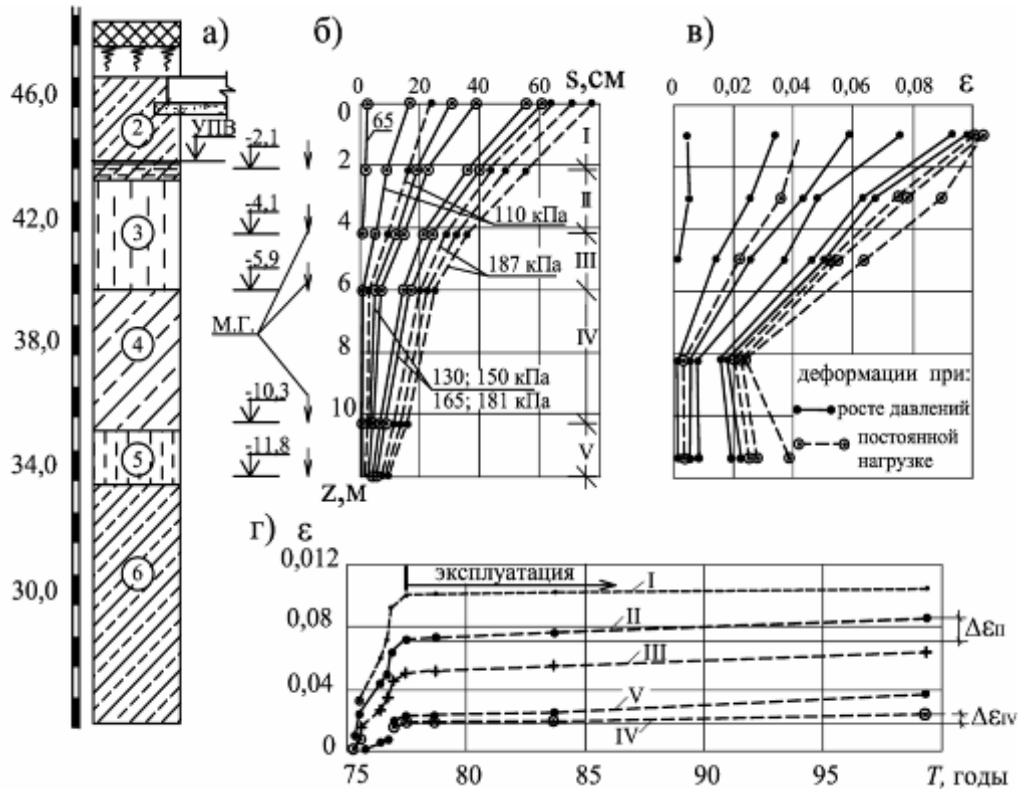
Для ИГЭ-3 приведены две зависимости: для верхней (в) и нижней (н) половины слоя, которые учитывают измеренную величину полной осадки, включающей упругую и остаточную составляющие. Значение относительной деформации от упругой части осадки по результатам исследований опытных фундаментов площадью 1,0...10,0 м<sup>2</sup> составляет около 0,003, поэтому средняя погрешность полученных результатов не превышает 2 – 5% [3].



По экспериментальным графикам зависимости относительных деформаций от напряжения определены значения плотности скелета уплотненного грунта по формуле

$$\rho_{d,com} = \rho_d / (1 - \varepsilon), \quad (3)$$

где  $\rho_d$  – среднее значение плотности скелета грунта по материалам изысканий, а значения  $\varepsilon$  взяты из графика на рис.б, а, построенного по результатам исследований на объектах, приведенных в табл.1.



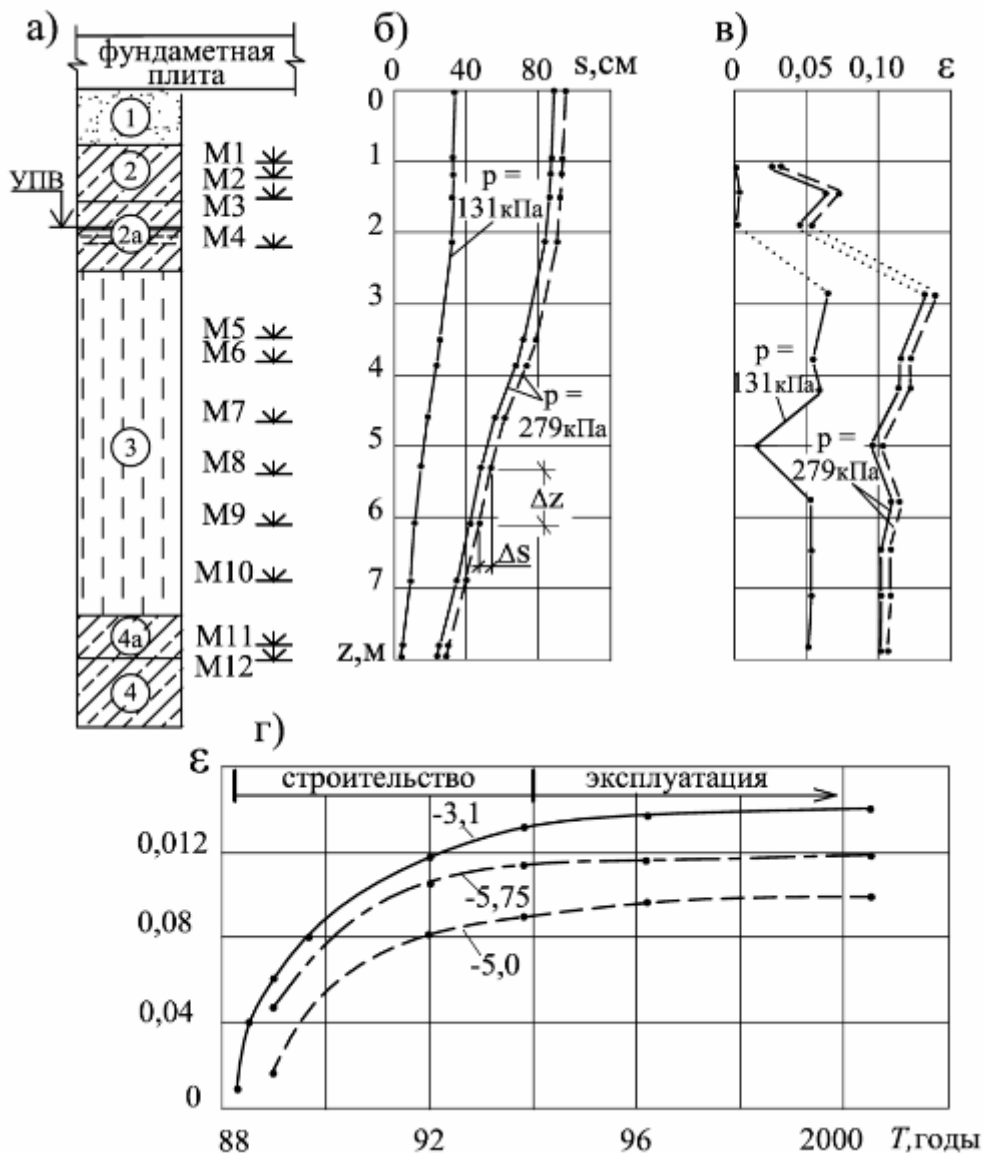
**Рис. 4. Деформации в грунтах основания объекта № 3 (табл.1): а) геологическая колонка и схема высотного положения грунтовых марок (М); б, в) эпюры послойных перемещений и относительных деформаций; г) графики нарастания относительных послойных деформаций во времени (для условных слоев I...V, ограниченных марками)**

Процессы уплотнения, протекающие в грунтах основания, определяют характер нарастания осадок фундаментов сооружения. При увеличении давлений (период строительства) происходит сокращение пор грунта в результате сжатия защемленного газа и вытеснения поровой воды. После прекращения роста давления вытеснение воды из пор продолжается давлением сжатого газа. Повышение плотности происходит до достижения равновесия между напряжением от внешней нагрузки и сопротивлением скелета на контактах между частицами, сжатым воздухом и поровой водой, отжатие которой постепенно уменьшается в результате снижения водопроницаемости грунта.

Факт снижения порового давления воды, вытесняемой сжатым защемленным газом, зафиксирован инструментально. Специальными датчиками, установленными в пределах зоны уплотнения, формирующейся вокруг ствола сваи в процессе ее погружения, измерено поровое давление сразу после погружения свай и в течение длительного времени в период «отдыха». Значительное возрастание его значения после забивки сменилось уменьшением, которое наблюдалось около 45-ти суток [8].

По результатам вычислений построены графики зависимости плотности скелета уплотненного грунта от напряжения, представленные на рис. 6, б.

При росте нагрузки скорость протекания осадки зависит от скорости вытеснения воды из пор грунтов. На скорость ее вытеснения оказывает влияние водопроницаемость, которая снижается в процессе уплотнения. Поэтому скорость нарастания осадки в начальный период времени роста нагрузки при меньшем давлении выше, чем в течение второго периода строительства. Это было зафиксировано в процессе строительства объекта № 3 (см. рис. 2, в).

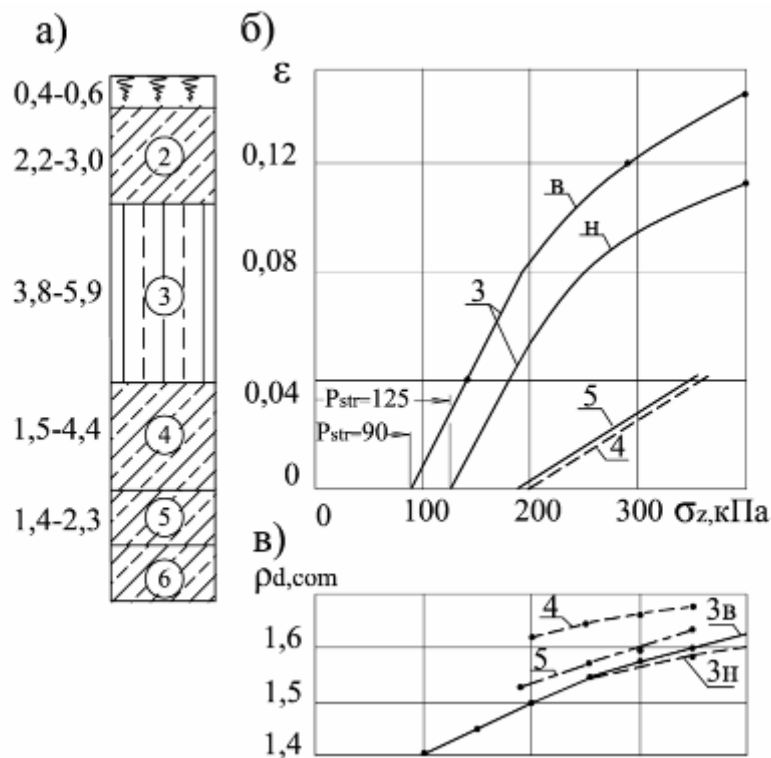


**Рис. 5. Деформации в грунтах основания объекта № 6:**

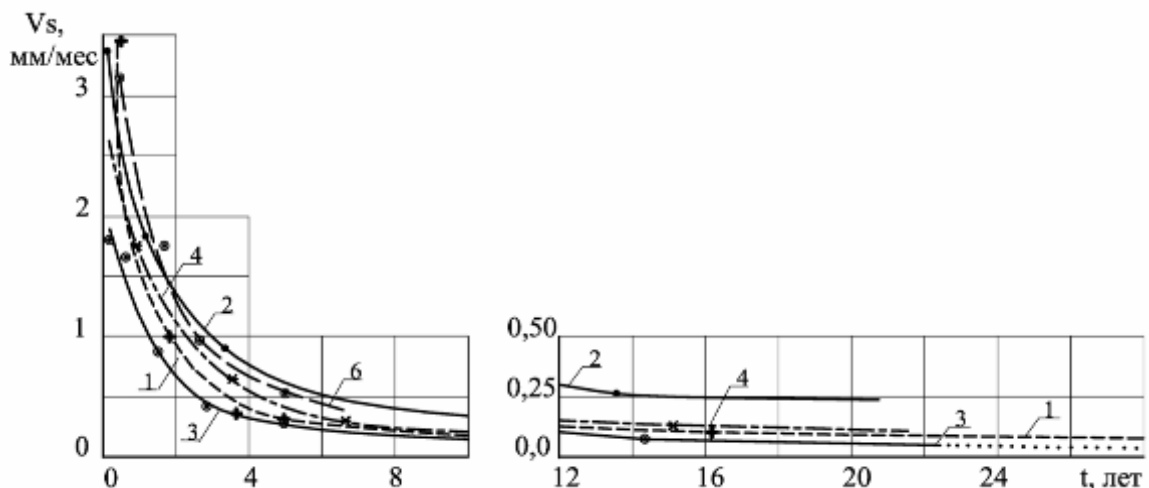
- а)** геологическая колонка и схема установки грунтовых марок (М);
- б, в)** эпюры послойных перемещений и относительных деформаций;
- г)** график нарастания относительных деформаций во времени

После окончания строительства скорость нарастания осадок фундаментов снижается. За период наблюдений в течение 37-ми лет на объекте № 3 полная стабилизация не достигнута. Результаты наблюдений за снижением скорости нарастаний осадок зданий в период эксплуатации приведены на рис. 2 и 7. Интенсивное

снижение скорости осадки наблюдается в течение первых 3 – 4 лет после окончания строительства. Величина осадки зданий за время строительства составила 70 – 80% от измеренной в течение всего периода наблюдений.



**Рис. 6. Деформации грунтов в основаниях фундаментов многоэтажных зданий: а) обобщенная инженерно-геологическая колонка; зависимости относительных деформаций (б) и плотности скелета грунтов (в) от средних напряжений в ИГЭ в пределах зоны уплотнения**



**Рис. 7. Графики снижения скорости осадок наблюдаемых зданий в период эксплуатации**

## Выводы

1. Лессовые водонасыщенные грунты являются трехфазной системой, состоящей из объема минеральных частиц, воды и заземленного газа.
2. Вода, заполняющая поры грунта, находится в двух состояниях: молекулярной и гравитационной влагоемкости.
3. Уплотнение грунта под влиянием статической нагрузки является следствием вытеснения гравитационной части воды.
4. Защемленный газ сжимается сразу после приложения нагрузки, оказывая давление на поровую воду.
5. Отжатие гравитационной части воды зависит от водопроницаемости грунтов: в процессе уплотнения ее значение снижается, уменьшая скорость движения отжимаемой воды.
6. В основаниях объектов, за которыми велись наблюдения, значения относительных деформаций в период строительства (роста нагрузки) составили 60 – 80%, а в период эксплуатации – 20 – 40%.
7. За период наблюдений в процессе эксплуатации длительностью до 37-ми лет полной стабилизации деформаций не зафиксировано.

## Литература

1. Исследования деформаций в основании фундаментной плиты 16-этажного жилого дома / В.Н. Голубков, Ю.Ф. Тугаенко, Ю.В. Матус и др. // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. – 1980. – № 6. – С.13 – 14.
2. Тугаенко Ю.Ф. Развитие деформаций в основаниях фундаментов, способы их ограничения и методы оценки / Ю.Ф. Тугаенко. – Одесса: Астропринт, 2003. – 222 с.
3. Тугаенко Ю.Ф. Трансформация напряженно-деформируемого состояния грунтов основания и ее учет при проектировании фундаментов / Ю.Ф. Тугаенко. – Одесса: Астропринт, 2011. – 120 с.
4. Лебедев А.Ф. Почвенные и грунтовые воды / А.Ф. Лебедев. – 4-е изд. – М. – Л.: Изд-во Академии наук СССР, – 1936. – 314 с.
5. Герсеванов Н.М. Теоретические основы механики грунтов и их практические применения / Н.М. Герсеванов, Д.Е. Польшин. – М.: Стройиздат, 1948. – 274 с.
6. Приклонский В.А. Грунтоведение / В.А. Приклонский. – 3-е изд. – Ч. 1.– М.: Госгеоллиздат, 1955. – 430 с.
7. Тугаенко Ю.Ф. Процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов, свай и свайных фундаментов / Ю.Ф. Тугаенко. – Одесса: Астропринт, 2008. – 213 с.
8. Бартоломей А.А. Основы расчета ленточных свайных фундаментов по предельно-допустимым осадкам / А.А. Бартоломей. – М.: Стройиздат, 1982. – 222 с.
9. Burland I.B. A simple and precise borehole extensometer / I.B. Burland, I.F.A. Moore, P.D.K. Smith // *Geotechnique*. – 1972. – Vol. 22, № 1. – P. 174 – 177.
10. Feda I. Activ Zone Beneath Foundations / I. Feda, I. Havlicek, I. Seycek, I. Skopek // *Proc. IX ICSMFE*. – Tokyo, 1977. – P. 505 – 510.
11. Seycek I. Prubeh sedani zakladove pade do hloubky / I. Seycek. – *Inzenyrske starby*. – Bratislava, 1982. – №8. – P. 368 – 379.

© Ю.Ф. Тугаенко, М.В. Марченко, Л.А. Логинова  
Надійшла до редакції 22.04.2015