

Кудашева М.И., Калошина С.В., Золотозубов Д.Г. Влияние процесса водонасыщения глинистого грунта основания на дополнительные осадки 5-этажного здания на ленточном фундаменте мелкого заложения // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2018. – № 1. – С. 70–81. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.07

Kudasheva M.I., Kaloshina S.V., Zolotozubov D.G. The influence of the process of water saturation of clay soil of the base on additional drafts of a 5-storey building on a strip foundation shallow. *Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture*. 2018. No. 1. Pp. 70-81. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.07



**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
№ 1, 2018
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.07

УДК 624.159.2

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ВОДОНАСЫЩЕНИЯ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА ОСНОВАНИЯ НА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОСАДКИ 5-ЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ НА ЛЕНТОЧНОМ ФУНДАМЕНТЕ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

М.И. Кудашева, С.В. Калошина, Д.Г. Золотозубов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 09 октября 2017
Принята: 01 января 2018
Опубликована: 30 марта 2018

Ключевые слова:

осадка, подтопление, физико-механические свойства, ухудшение характеристик грунтового основания, метод компрессионного сжатия, метод одноплоскостного среза

АННОТАЦИЯ

В настоящее время территория городской застройки все в большей степени подвергается влиянию опасных геологических процессов и явлений. Одним из таких процессов является переувлажнение грунтов основания, вызванное различными факторами, в том числе протечками из подземных коммуникаций. В статье рассмотрено влияние процесса подтопления грунтов основания на прочностные и деформационные свойства глинистого грунта основания 5-этажного здания с кирпичными несущими стенами, возведенного на ленточном фундаменте мелкого заложения. Приведены физические характеристики грунта, а также результаты лабораторных испытаний образцов глинистого грунта различной консистенции. Выявленные и деформационные характеристики глинистого грунта были определены методом компрессионного сжатия и методом одноплоскостного среза. После завершения испытаний была проведена статистическая обработка полученных данных. Полученные нормативные значения характеристик глинистого грунта сопоставлены с значениями, представленными в нормативной и справочной литературе. Результаты лабораторных испытаний грунта были использованы для моделирования процесса ухудшения характеристик грунтового основания в программном комплексе Plaxis. Расчеты выполнялись в плоской постановке с применением модели грунта Мора – Кулона. В ходе численного моделирования определены значения дополнительной осадки основания фундаментов 5-этажного кирпичного здания для различных случаев водонасыщения глинистого грунта основания. При этом учитывалось постепенное ухудшение характеристик грунтового основания для каждого из рассмотренных случаев расположения областей замачивания грунта. По результатам численного моделирования определены наиболее неблагоприятные случаи водонасыщения грунтов основания 5-этажного здания.

© ПНИПУ

© Кудашева Марина Игоревна – магистрант, e-mail: Lacrymosa7777@yandex.ru.
Калошина Светлана Валентиновна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: Kaloshina82@mail.ru.
Золотозубов Дмитрий Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: dddzet@mail.ru.

Marina I. Kudasheva – Undergraduate Student, e-mail: Lacrymosa7777@yandex.ru.
Svetlana V. Kaloshina – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: Kaloshina82@mail.ru.
Dmitry G. Zolotozubov – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: dddzet@mail.ru.

THE INFLUENCE OF WATER SATURATION OF CLAY SOIL'S BASE ON ADDITIONAL SETTLEMENTS OF A FIVE-STOREY BUILDING WITH A STRIP SHALLOW FOUNDATION

M.I. Kudasheva, S.V. Kaloshina, D.G. Zolotozubov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 09 October 2017
Accepted: 09 January 2018
Published: 30 March 2018

Keywords:

settlement, flooding, physical and mechanical properties, deterioration of foundation' soil characteristics, compression method, single-plane cut method

ABSTRACT

At present, the territory of urban development is becoming increasingly exposed to dangerous geological processes and phenomena. One of such processes is the water-logging of the foundation soils caused by various factors including leaks from underground utilities. This article considers how underflooding influences the base soils' strength and deformation properties when it comes to a five-storey building with brick bearing walls constructed on a strip shallow foundation. The physical characteristics of the soil are given in the article, as well as the results of laboratory tests of clay soil samples with different contents. Strength and deformation characteristics of the clay soil were determined using the compression and single-plane cut methods. After the completion of the tests, the statistical processing of the data was carried out. The obtained regulatory values of the clay soil's characteristics were compared to the values presented in the regulatory and reference literature. The results of the soil's laboratory tests were used to simulate the deterioration of the ground base's characteristics using Plaxis software complex. The calculations were performed in a plain setting using the Mohr-Coulomb model. In the course of numerical modeling, the values of the base soil's additional settlement of a five-storey brick building were determined for various cases of water saturation. At the same time, the gradual deterioration of the base soil's characteristics for each of the considered cases was taken into account depending on the area of soil soaking. Based on the results of the numerical simulation, the most unfavorable cases of water saturation of soil foundations were determined.

© PNRPU

На сегодняшний день в условиях плотной городской застройки одной из основных проблем является минимизация воздействия на существующие здания опасных факторов, вызывающих нарушение работы оснований и фундаментов. Одним из таких факторов, приводящих к существенному ухудшению механических и прочностных свойств грунтов основания, является их водонасыщение [1–5].

Существует множество причин, в результате которых может произойти водонасыщение грунтов: аварийное замачивание грунтов основания вследствие протечек из подземных коммуникаций; воздействие поверхностных вод, отводу которых часто не уделяется должного внимания; интенсивный подъем уровня грунтовых вод и др. Вопросами, связанными с изучением деформаций оснований фундаментов при изменении свойств грунтов и их недостаточной несущей способности, занимались такие ученые, как: Б.Н. Далматов, Н.А. Цытович, В.Б. Швец, В.И. Феклин, Л.К. Гинзбург, М.Ю. Абелев, Б.Л. Тарасов, Я.Д. Гильман, R. Katzenbach, E. Schultze и др. [6–9].

В данной статье рассматривается ухудшение характеристик грунтов основания в результате протечек из подземных коммуникаций. Как показали многочисленные наблюдения за изменениями свойств грунтов, различные грунты по-разному ведут себя при увлажнении. Для территории г. Перми весьма характерными являются основания, сложенные глинистыми грунтами. При замачивании глинистые грунты, как показывают исследования [1, 3–5, 8], меняют свою консистенцию, вследствие чего ухудшаются показатели прочностных и деформационных свойств. При снижении модуля деформации до 7 МПа такие грунты уже можно отнести к слабым.

Значения прочностных и деформационных характеристик глинистого грунта, представленные в нормативной и справочной литературе, оказались противоречивыми. В связи с этим для анализа изменения и уточнения физико-механических, прочностных и деформационных свойств глинистого грунта мягкопластичной и текучей консистенций при увлажнении проведены лабораторные исследования.

Лабораторные исследования были выполнены согласно ГОСТ 12248–2010 для образцов нарушенного сложения [11–13]. Для образцов глинистого грунта мягкопластичной консистенции показатель текучести был принят равным 0,68, для текучепластичной консистенции – 0,89. Основные физические характеристики исследуемого грунта представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физические характеристики грунта

Table 1

Physical characteristics of soil

Показатель	Ед. измерения	Значение	
		Глинистый грунт текучепластичной консистенции	Глинистый грунт мягкопластичной консистенции
Весовая влажность w	доли ед.	0,36	0,32
Плотность грунта ρ	г/см ³	1,83	1,83
Удельный вес γ	кН/м ³	17,95	17,95
Плотность скелета грунта ρ_d	г/см ³	1,35	1,39
Плотность мин. части грунта ρ_s	г/см ³	2,74	2,74
Пористость n	%	50,89	49,40
Коэффициент пористости e	доли ед.	1,04	0,98
Коэффициент водонасыщения S_r	доли ед.	0,95	0,90
Полная влагоемкость грунта ω_{sat}	доли ед.	0,38	0,36

В ходе работы для определения прочностных и деформационных характеристик глинистого грунта проведены испытания методом компрессионного сжатия и методом одноплоскостного среза согласно ГОСТ 12248–2010. Испытания проводились на современном оборудовании с использованием измерительно-вычислительного комплекса АСИС – автоматизированной системы для определения прочностных и деформационных свойств грунта.

Для компрессионных испытаний образцов грунта мягкопластичной консистенции были назначены следующие ступени нагружения: 25, 50, 100, 200 кПа, для образцов грунта текучепластичной консистенции – 12,5, 25, 50, 100, 200 кПа. По результатам компрессионных испытаний были определены модули деформации для каждой из консистенций глинистого грунта.

Сдвиговое испытание проводилось по схеме неконсолидированного быстрого среза. Для определения значений угла внутреннего трения и удельного сцепления проводились испытания при различных значениях вертикального давления – 50, 100 и 150 кПа.

После завершения испытаний была проведена статистическая обработка полученных данных согласно ГОСТ 20522–2012. Выявленные нормативные и расчетные характеристики грунтов представлены в табл. 2.

Полученные нормативные значения характеристик глинистого грунта были сопоставлены со значениями, представленными в нормативной и справочной литературе, и сведены в табл. 3.

Таблица 2

Нормативные и расчетные значения характеристик грунта
на основе лабораторных испытаний

Table 2

Regulatory and calculated values of soil characteristics based on laboratory tests

Значение характеристик грунта	Вид грунта	Разновидность грунта		Показатели механических свойств грунта		
		Наименование	Показатель текучести I_L , доли ед.	Удельное сцепление c , кПа	Угол внутреннего трения φ , град	Модуль деформации E , МПа
Нормативное значение; расчетные значения: по I группе предельных состояний (I), по II группе предельных состояний (II)	Глина	Мягкопластичная	0,68	23,92 15,95(II) 19,14(I)	15,7 13,7(I) 14,3(II)	3,8 3,5(I, II)
		Текучепластичная	0,89	11,80 7,87(II) 9,44(I)	3,9 3,4(I) 3,5(II)	4,4 4,0(I, II)

Таблица 3

Сравнение нормативных значений характеристик глинистого грунта

Table 3

Comparison of regulatory values of clay soil characteristics

Показатели свойств грунта	Глинистый грунт мягкопластичной консистенции			Глинистый грунт текучепластичной консистенции		
	Лабораторные испытания	Согласно табл. 14 [14]	Согласно табл. А2, А3, СП 22.13330.2016	Лабораторные испытания	Согласно табл. 14 [14]	Согласно табл. А2, А3, СП 22.13330.2016
Показатель текучести I_L , доли ед.	0,68	0,5–0,75		0,89	0,75–1,0	
Удельное сцепление c , кПа	23,92	19,61	33,00	11,80	9,81	–
Угол внутреннего трения φ , град	15,7	14,0	10,0	3,9	8,0	–
Модуль деформации E , МПа	3,8	2,0	9,0	4,4	2,9	–

Для показателей угла внутреннего трения и модуля деформации (см. табл. 2, 3) наблюдаются значительные расхождения между характеристиками нормативными и полученными в результате лабораторных испытаний, что говорит о необходимости проведения лабораторных исследований в каждом конкретном случае. Данные для текучепластичной консистенции глинистого грунта в СП 22.13330.2016 отсутствуют ввиду его непригодности для целей строительства. Полученные результаты были использованы для рассмотрения задачи по изучению наиболее неблагоприятного случая протечек из подземных коммуникаций для 5-этажного кирпичного здания с продольными и поперечными несущими

стенами на ленточных фундаментах мелкого заложения. Выбор 5-этажного здания обусловлен тем, что в г. Перми значительная часть жилого фонда представлена старой застройкой 50–60 гг. прошлого столетия [15]. Как правило, это 5-этажные здания, имеющие значительную степень износа подземных коммуникаций.

Как показали предварительные аналитические расчеты, ухудшение характеристик грунтов основания может привести к существенному снижению расчетного сопротивления грунта основания под подошвой фундамента. Поскольку замачивание грунтов основания под подошвой фундамента может происходить отдельными участками, для получения полной картины изменения напряженно-деформированного состояния массива грунта расчеты были выполнены в программном комплексе Plaxis с применением модели Мора – Кулона. Средняя нагрузка на обрез фундамента от наружных стен составляет 250 кН/м, от несущих внутренних – 300 кН/м. Расстояние между фундаментами – 6 м. Ширина области ухудшения свойств грунта – 4 м. Размеры подошвы фундаментов под стены принимались шириной 1,2 и 1,6 м.

При численном моделировании для мягкопластичной и текучепластичной консистенций грунта были приняты физико-механические характеристики на основе результатов лабораторных испытаний, данные для тугопластичной и текучей консистенций грунта были приняты на основе значений, представленных в нормативной и справочной литературе (табл. 4). Характеристики материалов фундамента существующего здания приведены в табл. 5.

Таблица 4

Расчетные значения характеристик глинистого грунта
в программном комплексе Plaxis

Table 4

Calculated values of clay soil characteristics using Plaxis software package

Параметр	Глинистый грунт тугопластичной консистенции (СП 22.13330.2016)	Глинистый грунт мягкопластичной консистенции (лабораторные испытания)	Глинистый грунт текучепластичной консистенции (лабораторные испытания)	Глинистый грунт текучей консистенции, табл. 14 [4]
Объемный вес грунта γ_{unsat} , кН/м ³	18,10	17,95	17,95	17,80
Удельное сцепление c_{ref} , кПа	34,40	19,14	9,44	3,92
Угол внутреннего трения φ , град	14,50	14,30	3,50	5,45
Коэффициент Пуассона ν	0,38	0,40	0,41	0,42
Модуль общей деформации E , МПа	13,60	3,50	4,00	2,67

Таблица 5

Характеристики материалов фундамента существующего здания

Table 5

Characteristics of foundation materials of the existing building

Параметр	Стены фундамента	Подошва фундамента
Модель материала	линейная	линейная
Вес γ , кН/м ³	22	24
Модуль упругости E , МПа	$1,5 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$
Коэффициент Пуассона, ν	0,17	0,17

Для каждого из вариантов расположения области ухудшения свойств грунта (рис. 1) были решены 4 задачи с разной глубиной замачивания грунта – от 0,5 м до 2 м. Осадка основания фундаментов фиксировалась в контрольных точках А–Г, расположенных в соответствии с рис. 1. В ходе расчетов моделировалось постепенное ухудшение грунта основания вследствие водонасыщения.

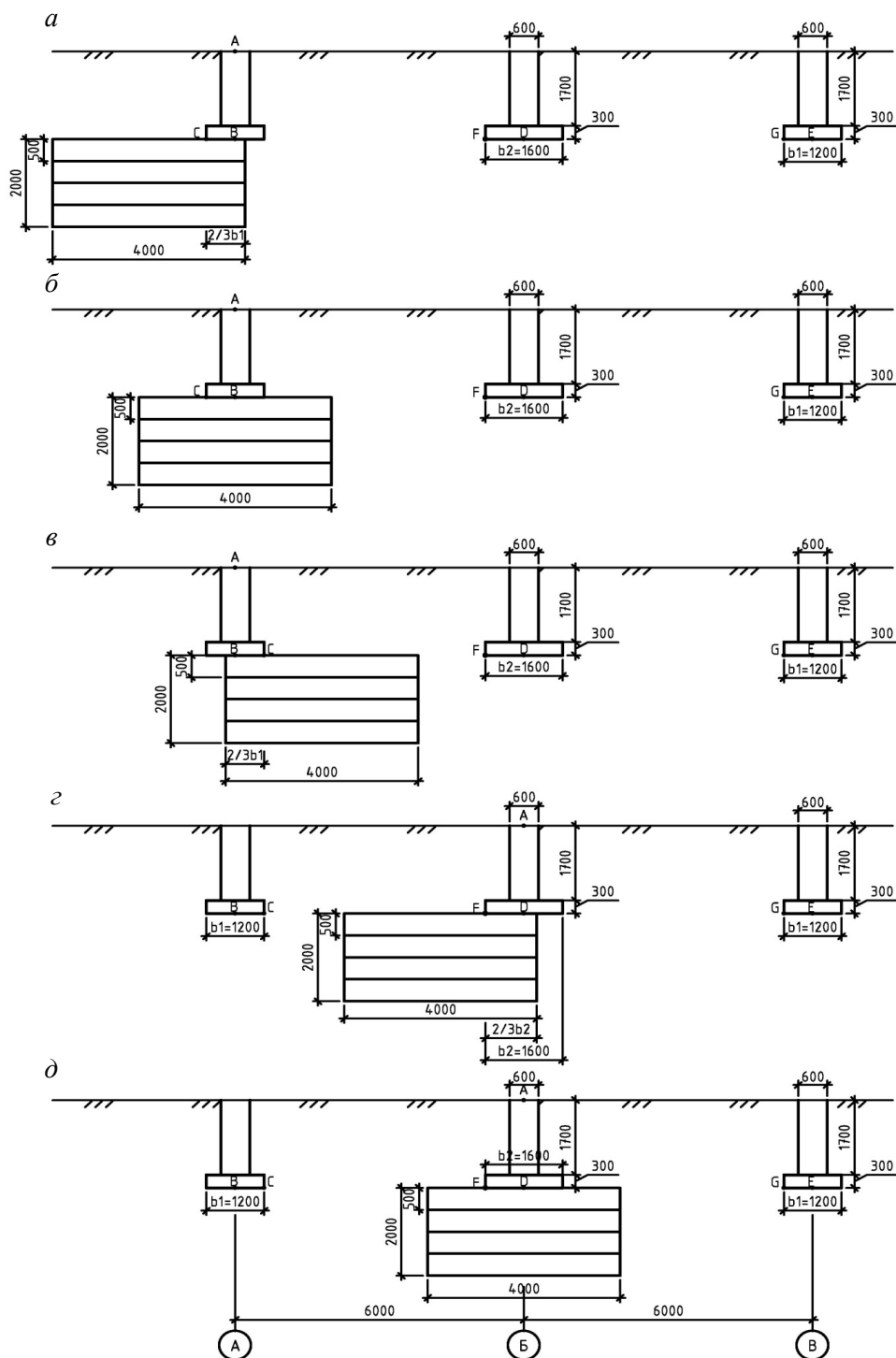


Рис. 1. Расчетные схемы при замачивании грунта в основании 5-этажного кирпичного здания:
а–д – варианты расположения областей замачивания; А–Г – контрольные точки
Fig. 1. Calculation schemes during soaking of soil at the base of a 5-storey brick building:
а–е are the locations of soaking areas; А–Г are control points

Расчеты производились в 4 этапа по следующим технологическим стадиям:

- этап 0 – задание начальных напряжений в грунте (весь грунтовый массив представлен глиной тугопластичной консистенции);
- этап 1 – задание нагрузок от здания на грунтовый массив;
- этап 2 – изменение характеристик грунта заданной области (переход глины из тугопластичной в мягкопластичную консистенцию);
- этап 3 – изменение характеристик грунта заданной области (переход глины из мягкопластичной в текучепластичную консистенцию);
- этап 4 – изменение характеристик грунта заданной области (переход глины из текучепластичной в текучую консистенцию).

Максимальная осадка и относительная разность осадок основания фундаментов для каждого из рассматриваемых вариантов расположения области замачивания грунта приведены в табл. 6–11 (варианты 1–5 представлены на рис. 1, а–д соответственно).

Таблица 6

Значения максимальной дополнительной осадки основания фундаментов
в контрольных точках при переходе грунта области водонасыщения
в мягкопластичную консистенцию

Table 6

The values of the maximum additional settlement of soil's
foundation at control points during the transition of the soil's
water saturation region into the soft-plastic consistency

Глубина замачивания грунта, м	Максимальная осадка, см					Максимальная осадка (Приложение К, СП 22.13330.2016), см
	Вариант 1 (т. С)	Вариант 2 (т. С)	Вариант 3 (т. С)	Вариант 4 (т. F)	Вариант 5 (т. F)	
0,5	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	3,00
1,0	0,04	0,02	0,00	0,02	0,03	
1,5	0,02	0,01	-0,01	0,00	0,03	
2,0	0,00	0,01	-0,03	-0,01	0,00	

Таблица 7

Значения относительной разности осадок основания фундаментов
по осям «А» и «Б» при переходе грунта области водонасыщения
в мягкопластичную консистенцию

Table 7

Relative difference in the settlement of the foundation's soil along
the "A" and "B" axes during the transition of the soil's water
saturation region into the soft-plastic consistency

Глубина замачивания грунта, м	Относительная разность осадок					Относительная разность осадок (Приложение К, СП 22.13330.2016)
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5	
0,5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0015
1,0	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	
1,5	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
2,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	

Таблица 8

Значения максимальной дополнительной осадки основания фундаментов
в контрольных точках при переходе грунта области водонасыщения
в текучепластичную консистенцию

Table 8

Maximum additional settlement of foundation's base at control
points during the transition of the soil's water saturation
region into the fluid-plastic consistency

Глубина замачивания грунта, м	Максимальная осадка, см					Максимальная осадка (Приложение К, СП 22.13330.2016), см
	Вариант 1 (т. С)	Вариант 2 (т. С)	Вариант 3 (т. С)	Вариант 4 (т. F)	Вариант 5 (т. F)	
0,5	0,36	0,53	0,26	0,38	0,47	3,00
1,0	0,75	1,42	0,48	0,77	1,36	
1,5	0,98	2,22	0,62	1,03	2,35	
2,0	1,12	2,89	0,71	1,22	3,30	

Таблица 9

Значения относительной разности осадок фундаментов
по осям «А» и «Б» при переходе грунта области водонасыщения
в текучепластичную консистенцию

Table 9

Relative difference in the settlements of the foundations'
soil along the "A" and "B" axes during the transition of the soil's
water saturation region to the fluid-plastic consistency

Глубина замачивания грунта, м	Относительная разность осадок					Относительная разность осадок (Приложение К, СП 22.13330.2016)
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5	
0,5	0,0005	0,0009	0,0004	0,0005	0,0008	0,0015
1,0	0,0011	0,0023	0,0007	0,0010	0,0023	
1,5	0,0015	0,0037	0,0009	0,0013	0,0040	
2,0	0,0017	0,0049	0,0011	0,0016	0,0056	

Таблица 10

Значения максимальной дополнительной осадки основания фундаментов
в контрольных точках при переходе грунта области водонасыщения
в текучую консистенцию

Table 10

Maximum additional settlement of foundations' soil
at control points during the transition of the soil's water
saturation region to the fluid consistency

Глубина замачивания грунта, м	Максимальная осадка, см					Максимальная осадка (Приложение К, СП 22.13330.2016), см
	Вариант 1 (т. С)	Вариант 2 (т. С)	Вариант 3 (т. С)	Вариант 4 (т. F)	Вариант 5 (т. F)	
0,5	0,44	0,58	0,29	0,42	0,50	3,00
1,0	0,87	1,54	0,54	0,85	1,42	
1,5	1,15	2,40	0,70	1,13	2,44	
2,0	1,28	3,17	0,81	1,34	3,33	

Таблица 11

Значения относительной разности осадок основания фундаментов по осям «А» и «Б» при переходе грунта области водонасыщения в текучую консистенцию

Table 11

Relative difference in the settlements of the foundations' soil along the "A" and "B" axes during the transition of the water saturation's region into the fluid consistency

Глубина замачивания грунта, м	Относительная разность осадок					Относительная разность осадок (Приложение К, СП 22.13330.2016)
	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5	
0,5	0,0006	0,0009	0,0004	0,0005	0,0009	0,0015
1,0	0,0013	0,0025	0,0008	0,0011	0,0024	
1,5	0,0018	0,0040	0,0011	0,0014	0,0041	
2,0	0,0020	0,0053	0,0013	0,0018	0,0057	

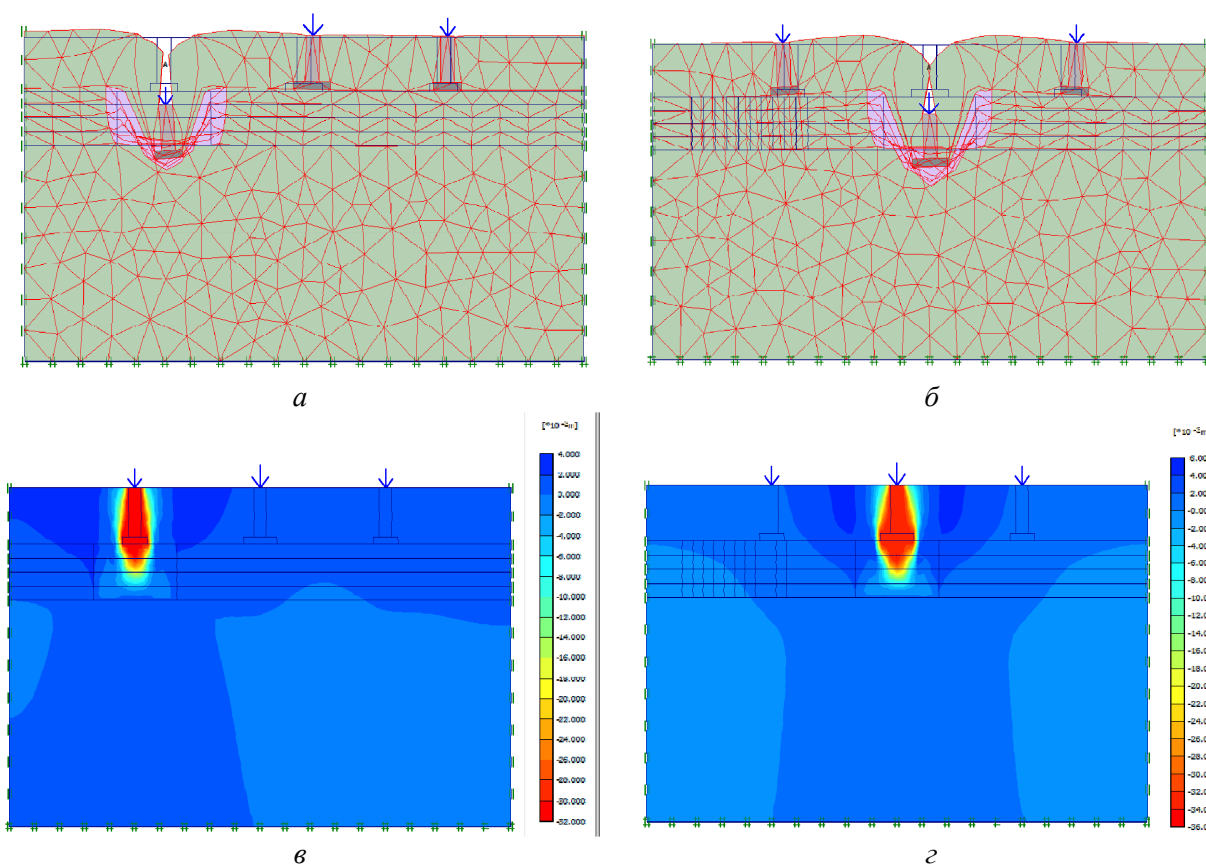


Рис. 2. Результаты численного моделирования для 2-го и 5-го вариантов расположения областей увлажнения грунта, представленных на рис. 1: *a, б* – деформационные схемы; *в, г* – схемы распределения напряжений в грунтовом массиве

Fig. 2. Results of numerical modeling for the 2nd and 5th variants of location of soil soaking areas, presented in Fig. 1: *a, b* are deformation schemes; *c, d* – schemes of distribution of stresses in the soil massif

Как видно из табл. 8, 9, осадка основания фундаментов существенно увеличивается при переходе глинистого грунта из мягкопластичной в текучепластичную консистенцию. Наихудшими из рассматриваемых выше вариантов расположения областей увлажнения

грунта, при которых достигаются предельные значения деформаций, являются варианты 2 и 5 с центральным расположением областей замачивания под фундаментами наружных и внутренних несущих стен здания (рис. 2).

Выводы

1. Нормативные значения деформационных и прочностных характеристик грунтов, приведенные в нормативной и справочной литературе, значительно различаются. Применение нормативных значений характеристик при подтоплении грунтов может привести к значительным ошибкам в расчетах. Для уточнения характеристик грунтов основания в каждом конкретном случае необходимо проведение лабораторных исследований.

2. При замачивании грунта основания фундаментов на глубину до 2 м, с учетом перехода глинистого грунта из тугопластичного в мягкопластичное состояние, значения дополнительных осадок основания фундаментов, а также относительной разности осадок фундаментов не превышают предельных значений. Наиболее опасным является переход глинистого грунта из мягкопластичной в текучепластичную консистенцию.

3. Наиболее неблагоприятными являются случаи замачивания основания, при которых подошва фундамента полностью расположена на слабом грунте, при переходе грунта в текучее состояние. В этом случае дополнительная осадка и относительная разность осадок превышает предельные значения, регламентируемые в СП 22.13330.2016.

4. Вследствие водонасыщения происходит изменение физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния грунтов, а также нарушение эксплуатационной пригодности зданий и сооружений. Особенно опасным является процесс неравномерного ухудшения свойств основания фундаментов, что в ряде случаев может привести к аварийной ситуации.

Библиографический список

1. Пономарев А.Б., Калошина С.В., Салимгариева Н.И. Влияние процесса подтопления на физико-механические свойства грунтов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2013. – № 01, ч. 2. – С. 67–70.

2. Калошина С.В., Пономарев А.Б. Наиболее значимые факторы строительства при возведении зданий в стесненных условиях // Известия Орловского государственного технического университета. Сер.: Строительство. Транспорт. – 2007. – № 1/13. – С. 7–10.

3. Скибин Г.М. Моделирование состояния городской застройки в целях обеспечения эксплуатационной надежности оснований и фундаментов, зданий и сооружений при подтоплении: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Волгоград, 2005. – 43 с.

4. Винников Ю.Л., Косточка Н.А. Влияние предварительного замачивания лессового массива на показатели сжимаемости грунта // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 1. – С. 40–48. DOI: 10.15593/2224-9826/2014.1.04

5. Усманов Р.А. Изменение строительных свойств лессовых просадочных грунтов в результате их обводнения в условиях республики Таджикистан // Геотехника: научные и прикладные аспекты строительства надземных и подземных сооружений на сложных грунтах: межвуз. тематич. сб. тр. / СПбГАСУ. – СПб., 2008. – С. 229–237.

6. Цытович Н.А. Механика грунтов: Краткий курс: учебник. – 6-е изд. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 272 с.

7. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты: учебник для вузов. – 2-е изд. – Л.: Стройиздат, 1988. – 415 с.
8. Пономарев А.Б., Сосновских Л.В., Золотоzubов Д.Г. Влияние подтопления территорий на несущую способность грунтов // Актуальные проблемы проектирования и устройства оснований и фундаментов зданий и сооружений: тр. междунар. науч.-практ. конф., 16–17 сентября 2004 г. – Пенза, 2004. – С. 190–192.
9. Cost optimized foundation systems of high-rise structures, based on the results of actual geotechnical research / R. Katzenbach, H. Hoffman, M. Vogler, C. Moorman // Int. Cont. on trends in tall buildings, Sept. 2001. Frankfurt on Main (ed. Konig, Graubner). – P. 421–443.
10. Interaction of the artificial bases with collapsing soils / V. Shokarev, V. Shapoval, A. Tregub, V. Grechko, A. Shokarev, A. Serdyuk, G. Rozenvasser, M. Kornienko, E. Petrenko, N. Zotsenko, Y. Vynnykov // Geotechnical Engineering in Urban Environments: Proceedings of 14th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid, 2007). – Rotterdam: Millpress Science Publish, 2007. – P. 481–486.
11. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса. – Пенза: Изд-во ПГУАС, 2008. – 696 с.
12. Комплексная технология инженерно-геологических изысканий / Г.Г. Болдырев, В.А. Барвашов, И.Х. Идрисов, О.В. Хрянина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 3. – С. 22–33. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.03
13. Болдырев Г.Г., Арефьев Д.В., Гордеев А.В. Определение деформационных характеристик грунтов различными лабораторными методами // Инженерные изыскания. – 2010. – № 8. – С. 16–23.
14. Методические рекомендации по сбору инженерно-геологической информации и использованию табличных геотехнических данных при проектировании земляного полотна автомобильных дорог / сост. В.Д. Браславский, В.С. Смирнов. – М.: Союздорпроект, 1981. – 23 с.
15. Золотоzubов Д.Г., Мухин К.О. Проблемы усиления и реконструкции бутовых фундаментов при переустройстве подвалов жилых зданий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 2 – С. 75–91. DOI: 10.15593/2224-9826/2015.2.06

References

1. Ponomarev A.B., Kaloshina S.V., Salimgarieva N.I. Vliianie protsesssa podtopleniia na fiziko-mekhanicheskie svoistva gruntov [The impact of flooding on physical-mechanical properties of soils]. *Akademicheskii vestnik UralNIIproekt RAASN*, 2013, no. 01, part 2, pp. 67-70.
2. Kaloshina S.V., Ponomarev A.B. Naibolee znachimye faktory stroitel'stva pri vozvedenii zdanii v stesnennykh usloviakh [The most significant factors of the construction during the construction of buildings in cramped conditions]. *Izvestiia Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo. Transport*, 2007, no. 1 / 13, pp. 7–10.
3. Skibin G.M. Modelirovanie sostoianiia gorodskoi zastroiki v tseliakh obespecheniia ekspluatatsionnoi nadezhnosti osnovanii i fundamentov, zdanii i sooruzhenii pri podtoplenii [he modeling of urban development to ensure operational reliability of bases and foundations, buildings and constructions at flooding]. Abstract of Doctor's degree dissertation. Volgograd, 2005, 43 p.

4. Vinnikov Iu.L., Kostochka N.A. Vliianie predvaritel'nogo zamachivaniia lessovogo massiva na pokazateli szhimaemosti grunta [Influence of preliminary artificial saturation of loess solid on the compressibility ground indices]. *Vestnik Permskogo natsional'no issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 1, pp. 40-48. DOI: 10.15593/2224-9826/2014.1.04.

5. Usmanov R.A. Izmenenie stroitel'nykh svoistv lessovykh prosadochnykh gruntov v rezul'tate ikh obvodneniia v usloviiah respubliki Tadjikistan [Changing of construction properties of loess subsidence of soils in irrigation in the Republic of Tajikistan]. *Geotekhnika: nauchnye i prikladnye aspekty stroitel'stva nadzemnykh i podzemnykh sooruzhenii na slozhnykh gruntakh*. Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, 2008, pp. 229-237.

6. Tsytoich N.A. Mekhanika gruntov: Kratnyi kurs [Mechanics of soil: Short Course]. 6th ed. Moscow, LIBROCOM. 2011, 272 p.

7. Dalmatov B.I. Mekhanika gruntov, osnovaniia i fundamenty [Soil mechanics, bases and foundations]. 2nd ed. Leningrad, Stroizdat, 1988, 415 p.

8. Ponomarev A.B., Sosnovskikh L.V., Zolotozubov D.G. Vliianie podtopleniia territorii na nesushchuiu sposobnost' gruntov [The impact of elevated groundwater levels on the bearing capacity of soils]. *Proceedings of the International Conference Actual problems of design and construction of basements and foundations of buildings and structures*, 16-17 September, Penza, 2004, pp. 190-192.

9. Katzenbach R., Hoffman H., Vogler M., Moorman C. Cost optimized foundation systems of high-rise structures, based on the results of actual geotechnical research. *Proceedings of the International Conference on trends in tall buildings*, September, Frankfurt on Main, 2001, pp. 421-443.

10. Shokarev V., Shapoval V., Tregub A., Grechko V., Shokarev A., Serdyuk A., Rozenvasser G., Kornienko M., Petrenko E., Zotsenko N., Vynnykov Y. Interaction of the artificial bases with collapsing soils. *Geotechnical Engineering in Urban Environments. Proceedings of 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Madrid, 2007)*. Rotterdam, Millpress Science Publish, 2007, pp. 481–486.

11. Boldyrev G.G. Metody opredeleniia mekhanicheskikh svoistv gruntov. Sostoianie voprosa [Methods for determining mechanical properties of soils. The state of the question]. Penza, Penzenskii gosudarstvennyi universitet arkhitektury i stroitel'stva, 2008, 696 p.

12. Boldyrev G.G., Barvashov V.A., Idrisov I.Kh., Khrianina O.V. Kompleksnaia tekhnologiya inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy [Integrated technology of geotechnical survey]. *Vestnik Permskogo natsional'no issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2017, vol. 8, no. 3, pp. 22-33. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.03.

13. Boldyrev G.G., Aref'ev D.V., Gordeev A.V. Opredelenie deformatsionnykh kharakteristik gruntov razlichnymi laboratornymi metodami [The definition of the deformation characteristics of soils by different laboratory methods]. *Inzhenernye izyskaniia*, 2010, no. 8, pp. 16-23.

14. Braslavskii V.D., Smirnov V.S. Metodicheskie rekomendatsii po sboru inzhenerno-geologicheskoi informatsii i ispol'zovaniiu tablichnykh geotekhnicheskikh dannykh pri proektirovanii zemlianoogo polotna avtomobil'nykh dorog [Methodical recommendations for the collection of geotechnical information and geotechnical data using the table in the design subgrade of roads]. Moscow, Soyuzdorproekt, 1981, 23 p.

15. Zolotozubov D.G., Mukhin K.O. Problemy usileniia i rekonstruktsii butovykh fundamentov pri pereustroistve podvalov zhilykh zdaniy [The problems of strengthening and reconstruction of rubble stone footing when rebuilding basements of residential buildings]. *Vestnik Permskogo natsional'no issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2015, no. 2, pp. 75-91. DOI: 10.15593/2224-9826/2015.2.06.