

УДК 67.13.25

ПОНОМАРЕВ А. Б.
КАЛОШИНА С. В.
САЛИМГАРИЕВА Н. И.

Влияние процесса подтопления на физико-механические свойства грунтов

**Пономарев
Андрей
Будимирович**

доктор технических наук,
профессор, зав. кафедрой
ПНГ ПНИПУ Пермского
национального исследова-
тельского политехническо-
го университета

e-mail: andreypab@mail.ru

В настоящее время территория города все больше подвергается влиянию опасных геологических процессов и явлений, чему способствует рост плотности и этажности современной застройки. В работе рассмотрено влияние процесса подтопления на физико-механические свойства грунта, приведены результаты лабораторных исследований образцов песчаного грунта и пример расчета осадок здания.

Ключевые слова: строительство, здания и сооружения, осадка здания, грунтовые воды, подтопление, физико-механические свойства.

**Калошина
Светлана
Валентиновна**

кандидат технических наук,
преподаватель
Пермского национального
исследовательского
политехнического
университета

e-mail: kaloshina82@mail.ru

PONOMAREV A. B.
KALOSHINA S. V.
SALIMGARIEVA N. I.
INFLUENCE OF PHYSICAL FLOODING ON PROPERTIES OF SOIL

Nowadays urban territories are more and more submitted to the influence of hazardous geological processes. Growth of density and floors' number are the reasons of this fact. Influence of flooding on soil's physicommechanical characteristics, the results of laboratory researches on sandy soil's specimens and settlements calculation are shown in the paper.

Keywords: building, buildings, building sediment, groundwater, flooding, physical and mechanical properties.

**Салимгариева
Надежда
Игоревна**

магистрант Пермского
национального исследова-
тельского политехническо-
го университета

e-mail:
nadyasveikina@mail.ru

В настоящее время территория города подвергается все большему влиянию опасных геологических процессов и явлений, чему способствует рост плотности и этажности современной застройки. Повышению активности опасных геологических процессов способствуют такие техногенные факторы, как новое строительство, прокладка инженерных коммуникаций и др. [1]. Одним из наиболее неблагоприятных для функционирования городских систем является процесс изменения уровня грунтовых вод. Причины, способствующие изменению уровня грунтовых вод, можно разделить в зависимости от стадии жизненного цикла здания, на которой они возникают. На стадии строительства нового сооружения может произойти подтопление территории, вызванное созданием искусственных барьеров на пути движения грунтовых вод, вскрытием водоносных горизонтов при выполнении геотехнических работ либо ошибками при проектировании и устройстве дренажных и во-

дозащитных систем. На стадии эксплуатации опасность для зданий и сооружений может нести подтопление, связанное с протечками из водонесущих коммуникаций, ошибками при производстве работ по водопонижению на строительных площадках соседних зданий и сооружений, разрушением гидроизоляции. Все это в конечном итоге приводит к поднятию уровня грунтовых вод и оказывает агрессивное воздействие на конструкции и фундаменты подземной части зданий. Классификация причин, способствующих изменению уровня грунтовых вод, приведена на Иллюстрации 1.

Если говорить в целом, подтоплением называется повышение уровня подземных вод и увлажнение грунтов зоны аэрации. Причины этого процесса могут быть как естественные, так и искусственные. Проблема подтопления является опасной для всей территории городской застройки.

Вопросами развития опасных геологических процессов занимались многие ученые. Основоположниками развития инженерной

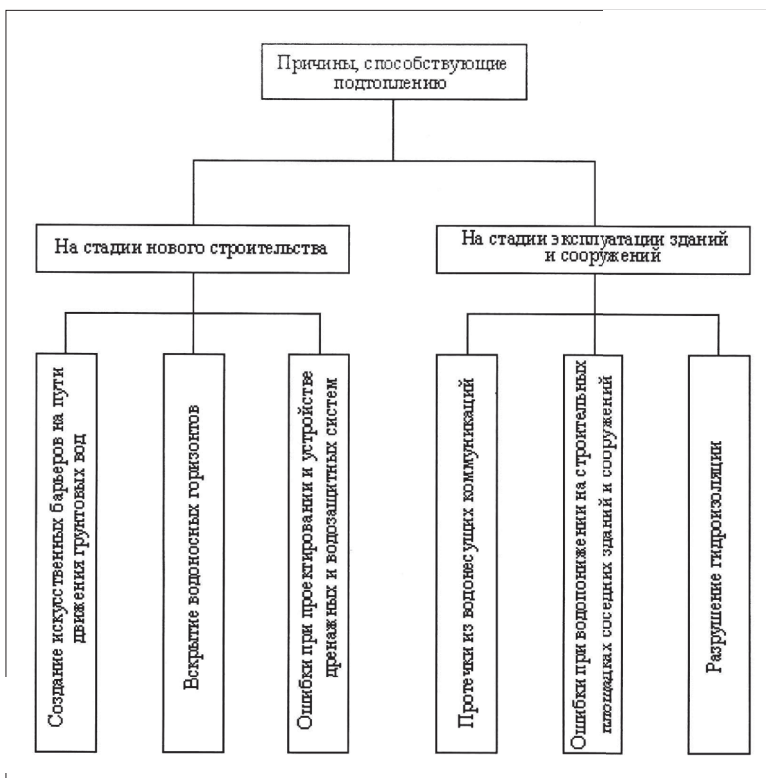


Иллюстрация 1. Основные причины, способствующие подтоплению

геологии для решения строительных задач являются В. П. Ананьев, Л. В. Передельский и В. И. Коробкин. Специальная инженерная геология получила развитие в трудах Л. В. Коломенского. Исследование строительных свойств грунтов ведется в работах В. Ф. Бабкова, П. Л. Иванова, Г. И. Швецова. Исследования и разработки полевых методов определения строительных свойств грунтов с обобщением работ в этой области за рубежом выполнены Ю. Г. Трофименковым и Л. Н. Воробковым. Зарубежный опыт в области механики грунтов и грунтоведения освещен в работах Б. К. Хоу (США) и А. Кезди (Венгрия). В них нашли отражение вопросы изменения свойств грунтов при взаимодействии с грунтовой во-

дой, что характерно для процессов подтопления. Г. М. Скибин в своей работе [2] рассматривает моделирование состояния городской застройки в целях обеспечения эксплуатационной надежности оснований и фундаментов зданий и сооружений при подтоплении. А. И. Полищук и А. В. Нертик [3] изучают вопрос влияния техногенного замачивания на основания и фундаменты зданий в условиях городской застройки.

При увлажнении различные грунты могут вести себя по-разному, следовательно, проблему подтопления необходимо рассматривать применительно к конкретным инженерно-геологическим условиям. В данной работе речь идет о городе Перми. Значительная часть территории города представлена основаниями,

сложенными песчаными грунтами мощностью от двух до семнадцати метров, ниже которых залегает гравийный грунт с песчаным заполнителем. Глубина залегания грунтовых вод, как правило, составляет от 2 до 10 метров.

Для анализа изменения физико-механических свойств песчаного грунта при увлажнении проведены лабораторные исследования. Для испытаний использовались образцы песка средней крупности с физическими характеристиками, приведенными в Таблице 1. Испытания проводились для песка в воздушно-сухом и полностью водонасыщенном состоянии.

В ходе работы для определения физико-механических характеристик песчаного грунта проведены компрессионные испытания и испытания на сдвиг. Испытания проводились на современном оборудовании, основным преимуществом которого является использование измерительно-вычислительного комплекса АСИС – автоматизированной системы для определения прочностных и деформационных свойств грунта.

Водонасыщение образцов песчаного грунта производилось в специальной камере путем попеременного нагнетания давления в 60–80 кПа и снятия давления. Образцы грунта в стандартных металлических кольцах помещались на стойку, закреплялись с помощью винтов и опускались затем в камеру, наполненную водой. Водонасыщение длилось 1 час, смена режима происходила через каждые 15 мин [4].

Для компрессионных испытаний были назначены следующие ступени нагружения: 25, 50, 100, 200 кПа. Заданное время стабилизации деформации составило четыре часа. Деформации образца регистрировались через промежутки времени до момента достижения условной стабилизации деформации [4].

При испытаниях на срез сопротивление грунта срезу определялось как предельное среднее касательное напряжение, при котором образец грунта срезался по фиксированной плоскости при заданном нормальном напряжении. Для одного определения значений угла внутреннего трения, сцепления и угла дилатансии проводилось три испытания при различных значениях нормального напряжения. Испытываемый грунт – песчаный, поэтому опыты проводились по консолидированно-дренированной схеме [4].

Передача нормальной нагрузки происходила в одну ступень и вы-

Таблица 1. Физические характеристики песчаного грунта

Характеристика	Ед. изм.	Сухой грунт	Водонасыщенный грунт
Плотность	г/см	1,62	2,00
Плотность частиц грунта	г/см ³	2,64	2,64
Влажность	%	0,02	23
Коэффициент водонасыщения	д. е.	0,0008	0,98
Коэффициент пористости	д. е.	0,63	0,62

Таблица 2. Результаты статистической обработки данных испытаний (нормативные характеристики)

№ п/п	Наименование характеристики	Обозначение	Ед. изм.	Сухой грунт	Водонасыщенный грунт
1	Компрессионный модуль деформации	E_{oed}	МПа	17,97	13,43
2	Сцепление	C	кН/м ²	0,03	0
3	Угол внутреннего трения	φ	град.	41	39,89
4	Угол дилатансии	ψ	град.	17,61	-20,37

Таблица 3. Результаты статистической обработки данных испытаний (расчетные характеристики)

№ п/п	Наименование характеристики	Обозначение	Ед. изм.	Сухой грунт	Водонасыщенный грунт
1	Компрессионный модуль деформации	E_{oed}	МПа	17,06	10,64
2	Сцепление	C	кН/м ²	0,01	0
3	Угол внутреннего трения	φ	град.	34,95	33,25
4	Угол дилатансии	ψ	град.	14,89	-19,14

держивалась для предварительного уплотнения в течение пяти минут. Значения нормальной нагрузки были приняты 100, 150 и 200 кПа.

В ходе испытаний проводилась статистическая обработка результатов по ГОСТ20522–96 [5], все полученные характеристики сведены в Таблицы 2, 3.

Из результатов испытаний (Таблицы 2, 3) видно, что расчетное значение модуля деформации уменьшилось на 38% — деформационные характеристики грунта при водонасыщении ухудшаются. Прочностные характеристики остались практически неизменными.

Уменьшение модуля деформации, т. е. повышение сжимаемости полностью водонасыщенного песка, объясняется тем, что его «скелет» оказывается взвешенным в воде. Вода способствует перемещению частиц под действием нагрузки, что ведет к более широкому изменению диапазона пористости, чем для образцов грунта, находящихся в воздушно-сухом состоянии. Для образцов грунта, находящихся в воздушно-сухом состоянии, при давлении от 100 до 200 кПа коэффициент пористости изменялся от 0,6097 до 0,6028. В ходе компрессионных испытаний полностью водонасыщенного песка в том же диапазоне давлений коэффициент пористости изменился от 0,5925 до 0,5833. Таким образом, чем больше диапазон изменения коэффициента пористости, а для полностью водонасыщенного грунта и влажности, в заданном диапазоне изменения давления, тем большей сжимаемостью обладает грунт.

Угол внутреннего трения грунта при водонасыщении, согласно многим практическим наблюдениям, практически не отличается от угла внутреннего трения сухого грунта [6]. По полученным данным, он уменьшился на 3(5) %.

Сцепление, имеющееся в песчаных грунтах, очень слабое, при свободной засыпке эти грунты легко рассыпаются. В воздушно-сухом состоянии в песчаном грунте присутствует также механическое зацепление между отдельными частицами. При полном водонасыщении грунта он переходит в состояние грунтовой массы, в котором как сцепление, так и механическое зацепление отсутствуют.

При определенной величине касательного напряжения в приборе прямого среза образец песка начинает расширяться при увеличении объема. Плотный песок при сдвиге расширяется, а рыхлый сжимается. В образцах сухого грунта происходило увеличение объема образцов при сдвиге, т. е. данные образцы показали положительную дилатансию, что характеризуется положительным углом дилатансии. Образцы водонасыщенного грунта сжимались при испытании, что показывает отрицательный угол дилатансии [6].

Последствия подтопления связаны между собой. Сначала по мере повышения уровня грунтовых вод возникает само явление подтопления, это вызывает в дальнейшем капиллярное увлажнение и водонасыщение грунтов основания и строительных материалов подземной части зданий. Впоследствии происходит изменение физико-ме-

ханических характеристик и напряженно-деформированного состояния грунтов, а также нарушение эксплуатационной пригодности зданий и сооружений. Все эти факторы при длительном воздействии могут привести к дополнительным деформациям зданий и сооружений [2].

В процессе строительства любого здания или сооружения происходят деформации грунта основания, вызванные непосредственно нагрузкой от данного здания или сооружения [7]. В Перми городская застройка представлена большим количеством пятиэтажных домов, построенных в 1960–1970-х гг. В связи с этим для предварительной оценки влияния изменения физико-механических характеристик на несущую способность грунтов основания проведен расчет методом послыжного суммирования согласно [8] для жилого пятиэтажного кирпичного дома с ленточными фундаментами. Размеры подошвы фундаментов под стены принимались шириной 1,2 м. Вертикальная нагрузка на фундаменты наружных стен составляла 295,3 кН и на фундамент внутренней стены 394,4 кН. На первом этапе расчеты выполнялись без учета влияния грунтовых вод. На втором этапе учитывалось влияние процесса подтопления. Характеристики грунта принимались на основе лабораторных опытов (Таблицы 2, 3).

Полученные в ходе расчета осадки фундаментов продольных несущих стен приведены в Таблице 4 и на Иллюстрации 2. Значения осадок не превосходят нормативную величину 12 см для бескаркасных зданий с кирпичными стенами. Осадка

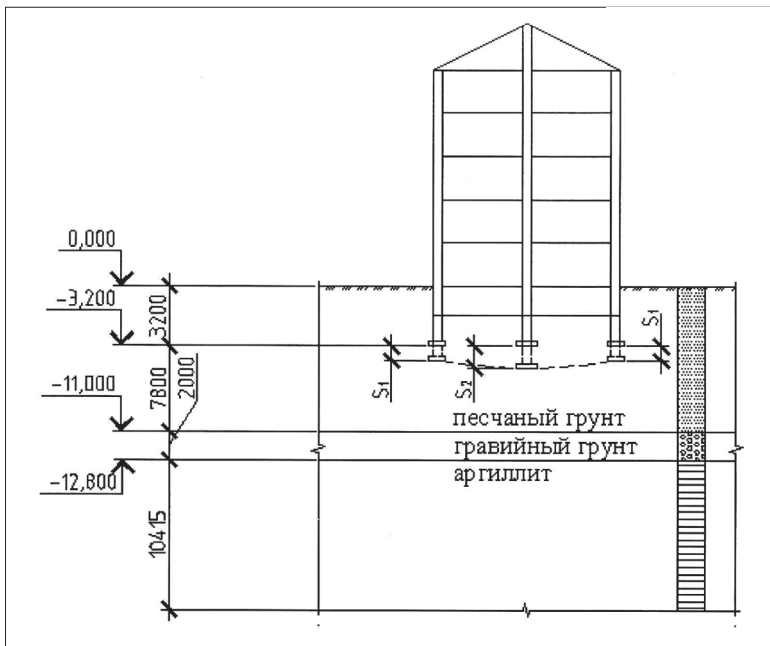


Иллюстрация 2. Осадка фундаментов кирпичного пятиэтажного дома

Таблица 4. Расчетные значения осадок пятиэтажного здания до и после подтопления

Осадка основания здания	Ед. изм.	Значение		Изменение, %
		До подтопления	После подтопления	
Под фундаментами наружных стен S_1	см	3,7	5,6	51,35
Под фундаментами внутренней стены S_2	см	4,7	7,3	55,32
Относительная разница осадок	—	0,0016	0,0027	60

увеличилась в среднем на 53%. При этом относительная разница осадок фундаментов стен здания при подтоплении составит 0,0027, данное значение больше нормативного 0,0024 [8].

Заключение

Свойства песчаных грунтов определяются их гранулометрическим составом и плотностью сложения. В статье рассмотрены физико-механические свойства песчаного грунта средней крупности, находящегося в воздушно-сухом и полностью водонасыщенном состоянии с коэффициентом пористости $e = 0,62 \div 0,63$.

В ходе лабораторных исследований установлено, что при водонасыщении песчаного грунта (подтоплении) прежде всего снижаются его деформационные характеристики, тогда как прочностные характеристики остаются практически неизменными. В результате этого существующие здания и сооружения

могут получить дополнительные осадки и крен, что может затруднить или сделать недопустимой их дальнейшую эксплуатацию.

Научная новизна работы заключается в исследовании проблемы для конкретных грунтовых условий города Перми, что может быть использовано впоследствии для проектирования зданий и сооружений на территории данного города. Все результаты испытаний могут быть использованы для моделирования грунтовых условий в программном комплексе Plaxis. Целью дальнейших исследований будет являться определение степени влияния подтопления на осадки оснований зданий и сооружений путем геотехнического моделирования в программном комплексе Plaxis изменения напряженно-деформированного состояния системы «грунт – фундаменты – здание» в процессе повышения грунтовых вод в результате подтопления.

Список использованной литературы

- 1 Калошина С. В., Пономарев А. Б. Наиболее значимые факторы строительства при возведении зданий в стесненных условиях // Известия Орловского государственного технического университета. Сер. Строительство. Транспорт. Орел, 2007. № 1/13 (январь-март). С. 7–10.
- 2 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. С. 43.
- 3 Полищук А. И., Нертик А. В. О влиянии техногенного замачивания на основания и фундаменты зданий в условиях городской застройки // Архитектура и строительство : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. 11–12 сентября 2002 г. Томск, 2002. С. 5–6.
- 4 ГОСТ 12248–96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости/Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС). М., 1996.
- 5 ГОСТ 20522–96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний/Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС). М., 1996.
- 6 Болдырев Г. Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса. Пенза, 2008.
- 7 Безгодов М. А., Калошина С. В. К вопросу определения предельно допустимых деформаций существующих зданий при новом строительстве // Вестник ПГТУ. Строительство и архитектура. Пермь, 2011. № 1. С. 23.
- 8 СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. М., 2011.