

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ
(РУДН)**

На правах рукописи



АЛАФАР ХАЛИЛЬ САИД

**ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В СИРИЙСКОЙ
АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ В УСЛОВИЯХ НАБУХАЮЩЕГО
ГРУНТОВО-ПОРОДНОГО МАССИВА**

Специальность 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент

Д. Л. Негурица

Москва – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА I. АНАЛИЗ ВИДОВ И ФАКТОРОВ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ НАБУХАЮЩИМИ ГРУНТАМИ, И ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	10
1.1. Терминологические особенности употребления понятий, принятые в настоящей работе	10
1.2. Анализ видов и факторов повреждений зданий и сооружений, вызванных набухающими грунтами	14
1.3. Методы защиты зданий и сооружений от вредных геомеханических воздействий при выполнении подземных горно-строительных работ.....	24
1.4. Обоснование целей и задач работы.....	30
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1	31
ГЛАВА II. ПРИРОДА И СВОЙСТВА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ. АНАЛИЗ СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИСТИК НАБУХАЮЩИХ ГРУНТОВ СИРИИ	32
2.1. Глинистые грунты- природа, свойства и классификация	33
2.2. Классическая задача деформации глинистого грунта	39
2.3. Нормативные показатели набухающих глинистых грунтов	45
2.4. Анализ особенностей и характеристик глинистых грунтов Сирии	47
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2	57
ГЛАВА III. МЕТОДЫ КОРРЕКТИРОВКИ РАСЧЕТНЫХ СООТНОШЕНИЙ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВО-ПОРОДНОГО МАССИВА ОСНОВАНИЙ НА НАБУХАЮЩИХ ГРУНТАХ	58
3.1. Методы расчета деформаций грунтово-породного массива оснований зданий и сооружений	58
3.2. Физические модели грунта при разработке усовершенствованных методов расчета осадки грунтово-породного массива основания зданий и сооружений	63

3.3. Определение расчетных параметров гидродинамической модели глинистых грунтов с учетом отклонений от закона Дарси	74
3.4. Методы корректировки расчетных соотношений деформаций глинистых грунтового-породных массивов	79
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3	85
ГЛАВА IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ НАБУХАЮЩИХ ГРУНТОВ СИРИИ	86
4.1. Цели, методика, аппаратура и объекты испытаний	86
4.2. Испытания набухающих глинистых грунтов в фазе осадки	96
4.3. Испытания набухающих глинистых грунтов в фазе набухания	105
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4	109
ГЛАВА V. МОДЕЛИРОВАНИЕ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВО-ПОРОДНОГО МАССИВА ОСНОВАНИЙ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА	110
5.1. Качественный анализ сдвижений и деформаций глинистых грунтового-породных массивов с учетом нагрузки от сооружения	111
5.2. Аналитические соотношения сдвижений и деформаций глинистых грунтов в фазе набухания и усаживания с учетом нагрузки от сооружения	117
5.3. Моделирование сдвижений и деформаций грунтового-породного массива оснований с учетом особенностей набухающих грунтов Сирии	119
5.4. Определение состава и структуры методов по управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в условиях набухающего грунтового-породного массива	127
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 5	138
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	139
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	141

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. В настоящее время в Сирийской Арабской Республике ведутся военные действия, но после окончания войны восстановление страны потребует применения современных технологий, включая освоение подземного пространства городов. При этом восстановительные работы, возведение новых объектов, строительство зданий и сооружений станет общенациональной задачей. К этому времени должны быть решены научно-технические вопросы по управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в Сирии применительно к горно- геологическим условиям страны.

Проблема устойчивости зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения всегда являлась одной из наиболее актуальных в геомеханике. Однако, если ранее эти вопросы были связаны преимущественно с оценкой долговечности и прочности возводимых объектов, то в последнее столетие особую актуальность им придает ведущееся во всем мире активное освоение в городах подземного пространства. Это обстоятельство существенно усложняет решение данной проблемы и придает ей комплексный характер, поскольку, наряду с необходимостью обеспечения долговечности и прочности возводимых объектов, зачастую имеющих большую подземную часть, возведение которой оказывает значительное влияние на развитие геомеханических процессов, возникает задача защиты строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений от вредных геомеханических воздействий, которые могут вызывать сдвиги и деформации грунтово-породного массива, создавая угрозу нарушению режима эксплуатации сооружений.

Комплексная проблема обеспечения устойчивости зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения обуславливает новые требования к основаниям зданий и сооружений, и особенно в случаях их расположения на деформируемых грунтах и породах, характеризующихся структурной неустойчивостью и высокой чувствительностью к погодно-климатическим

факторам. Особенно проблематичными являются набухающие грунты¹, которые распространены в ряде провинций Сирии.

Ранее проводившиеся исследования деформирования глинистых набухающих грунтов, как таковых, без привязки к основаниям зданий и сооружений, в основании которых присутствуют набухающие грунты, изучались другими авторами достаточно подробно (Абелев М.Ю., Герсеванова Н.М., Далматов Б.И., Мустафаев А.А., Сергеева Е.М., Сорочан Е.А., Цытович Н.А., Chen F., Holtz W.G., Lytton R.L., Seed H.B и др). Однако, в этих исследованиях задачи деформирования грунтов под действием деформационных процессов, вызванных проведением горно-строительных работ и процесса набухания-осадки грунтово-породного массива, с учетом отклонения от закона Дарси не рассматривались.

Значительный вклад в изучение вопросов оценки сдвижения горных пород при ведении подземных горных и горно-строительных работ внесли работы Авершина С.Г, Акимова А.Г, Баклашова И.В, Бахурина И.М, Гусева В.Н, Замесова Н.Ф, Земисова В.Н, Иофиса М.А, Казаковского Д.А, Колбенкова С.П, Кратча Г, Кузнецова Г.Н, Муллера Р.А, Петухова И.А, Рыльниковой М.В, Трубецкого К.Н и др. Эти авторы предлагают различные подходы к решению очень разносторонних задач геомеханического обеспечения при освоении недр.

После возвращения Сирии к мирному процессу развития в общемировой системе и восстановления страны актуальными вопросами при строительстве современных зданий и сооружений будут являются задачи исследования развития деформационных процессов в набухающих грунтах, а также принципы и методы по управлению геомеханическими процессами при строительстве подземной части зданий и сооружений на этих грунтах.

Цель работы – разработка принципов, методов и рекомендаций по

¹[Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии). 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1988. — 415 с.: ил. — ISBN 5-274-00374-5]

управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства на набухающем грунтово-породном массиве на основе исследования закономерностей развития деформационных процессов в этих условиях.

Идея работы – производить оценку развития деформационных процессов в набухающем грунтово-породном массиве с учетом отклонения поведения грунтов от закона Дарси.

Основные задачи исследований:

1. Совершенствование методов расчета деформаций глинистых грунтово-породных массивов от совместного влияния горно-строительных работ и процесса набухания-осадки.

2. Выбор и совершенствование методики испытаний набухающих глинистых грунтов Сирии с учетом их особенностей и характеристик.

3. Исследование закономерностей развития сдвижений и деформаций грунтово-породного массива основания зданий и сооружений с учетом особенностей набухающих грунтов Сирии.

4. Разработка классификации методов управления геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в условиях набухающего грунтово-породного массива.

Предмет исследования – система совместного деформирования, включающая грунтово-породный массив, строящиеся и существующие здания и сооружения, а также процессы деформирования набухающих грунтово-породных массивов в условиях приложения к ним разнообразных нагрузок, вызываемых выполнением горно-строительных работ при возведении зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения.

Методы исследования. При проведении исследований использовалась комплексная методика, включающая анализ развития деформационных процессов в условиях набухающих грунтово-породных массивов, экспериментальные методы испытания и исследования характеристик грунтов, физическое и математическое моделирование. Кроме того,

методологические подходы к изучению рассматриваемой проблемы предполагали использование принципов системного анализа.

Научная новизна исследований:

1. Установлена зависимость развития деформационных процессов в фазе осадки от физико-механических свойств глинистых грунтов, обусловленная замедлением массопереноса в грунто-породном массиве относительно закона Дарси.

2. Установлено, что характер деформаций глин существенно меняется в зависимости от выполнимости закона Дарси. В связи с этим разработан критерий отнесения глинистого грунта к системам, не подчиняющимся закону Дарси – значительное увеличение осадки при компрессионно-фильтрационном воздействии после его электрофизической обработки.

3. На основе моделирования и расчета сдвижений и деформаций оснований установлено, что поведение массива набухающих грунтов Сирии зависит от воздействия атмосферы, при этом взаимодействие массива с атмосферой сопровождается интенсивным тепло-массообменном и активизацией деформационных процессов.

4. Разработаны структура и классификация методов управления геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в условиях набухающего грунтово-породного массива, учитывающая специфику деформирования массива набухающих глинистых грунтов в зависимости от воздействия погодно- климатических факторов.

Основные защищаемые положения:

1. Методы корректировки расчетных соотношений деформаций грунтово-породного массива и оснований капитальных сооружений на набухающих глинистых грунтах, выработанные с учетом отклонения деформационного поведения глинистого грунта от закона Дарси в связи с замедлением движения жидкости по капиллярным каналам грунта за счет физико-химического взаимодействия жидкости с твердым скелетом грунта.

2. Предельные деформации осадки и набухания в грунтово-породном

массиве достигаются при разблокировании транспортных пор и активации массопереноса в результате предварительной электрофизической обработки.

3. Экранирование поверхности грунтово-породного массива от воздействия погодно- климатических факторов приводит к снижению деформации осадки и оказывает стабилизирующее влияние на грунтовое основание.

4. При освоении подземного пространства на набухающих грунтово-породных массивах защита подземных и поверхностных объектов различных категорий охраны должна быть обоснована с учетом разработанной классификации методов управления геомеханическими процессами.

Практическая ценность работы: усовершенствован способ снижения деформационных процессов и стабилизации оснований на набухающих грунтах путем экранирования поверхности грунтово-породного массива от воздействия погодно- климатических факторов; разработаны технологические рекомендации по управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в условиях набухающего грунтово-породного массива, учитывающие специфику деформирования массива набухающих глинистых грунтов в зависимости от воздействия погодно- климатических факторов.

Апробация результатов работы. Основные результаты исследований обсуждались на научных симпозиумах «Неделя горняка – 2015 и 2016» (Москва, Горный институт НИТУ МИСиС), на секционных заседаниях 11-й, 12-й и 13-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (Москва, ИПКОН РАН, 2014-2016), на научной школе-семинаре молодых ученых и студентов с международным участием (Москва, РУДН, 2015), на VIII международной научно-практической конференции «Инженерные системы – 2015» (Москва, РУДН), на XII Международной научной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, МГРИ-РГГРУ, 2015).

Публикации. Результаты исследований отражены в 11 опубликованных

работах, 4 из которых – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Личный вклад автора состоит в постановке цели и задач работы, выработке методов и выполнении экспериментальных и теоретических исследований, решении аналитических и расчетных задач, разработке принципов, методов и рекомендаций по управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в условиях набухающего грунтово-породного массива Сирийской Арабской Республики.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка литературы из 99 наименований. Текст изложен на 150 страницах, содержит 43 рисунка и 26 таблиц.

ГЛАВА I. АНАЛИЗ ВИДОВ И ФАКТОРОВ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ НАБУХАЮЩИМИ ГРУНТАМИ, И ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ранее во введении было показано, что в условиях ведения подземных горно-строительных работ существует проблема устойчивости зданий и сооружений, в основании которых присутствуют набухающие грунты.

Принимая во внимание задачу настоящей работы, состоящую в обосновании методов защиты зданий и сооружений с основаниями из набухающих грунтов, от влияния горно-строительных работ, в состав вопросов, рассмотренных в данной главе, включены:

- терминологические особенности употребления понятий, принятые в настоящей работе;
- типы подземных сооружений и параметры зоны влияния подземных разработок;
- анализ видов и факторов повреждений зданий и сооружений, вызванных набухающими грунтами;
- методы защиты зданий и сооружений от вредных геомеханических воздействий.

Задача рассмотрения этих вопросов заключается в выделении тех сторон, которые имеют отношение к роли грунтов, принимая во внимание особые свойства набухающих грунтов.

1.1. Терминологические особенности употребления понятий, принятые в настоящей работе

Потребность в уточнении особенностей употребления понятий “горные породы и грунты” возникла потому, что в настоящей работе используется терминология, принятая как в геомеханике, так и в грунтоведении, механике грунтов и инженерной геологии.

В связи с этим, в ряде случаев может иметь место неоднозначность интерпретаций указанных понятий.

Горные породы – предмет исследования многих наук- петрографии, минералогии, геологии, геомеханики, грунтоведения и др.

Следует указать, что определение понятий горная порода и грунт до настоящего времени не имеет общепринятого вида, и характеризуется большим числом интерпретаций.

Приведем некоторые определения понятий горные породы и грунты.

В монографии Хэтча Ф., Уэллса А., Уэллса М. [85] горная порода определена как минеральный агрегат, состоящий из одного или многих минералов, которые могут быть аморфными или кристаллическими.

По Баклашову И.В. [7] горные породы- естественные минеральные агрегаты более или менее постоянного состава, сформированные в результате геологических процессов и залегающие в земной коре в виде самостоятельных литологических разностей.

Один из основоположников грунтоведения К. Терцаги [74] грунт определяет, как естественную совокупность минеральных зерен, которые могут быть разделены таким слабым механическим воздействием как взбалтывание. При этом указывается, что материалы земной коры делятся на грунты и скалы, а под грунтами понимаются и горные породы.

В коллективной монографии [79] к грунтам относят геологические породы, залегаемые в верхних слоях земной коры, используемые в строительных целях.

Ряд авторов указывают на общие признаки горных пород и грунтов. Так, в основополагающем труде, в состав авторского коллектива которого входят ведущие ученые геологического факультета МГУ Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковской Г.А., Васильчука Ю.К., Зиангирова Р.С. [77], на современном уровне дано наиболее полное сопоставление понятий «грунт» и «горная порода».

В этой монографии под грунтами понимаются любые горные породы, почвы, осадки и антропогенные геологические образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамические системы, исследуемые в связи с планируемой, осуществляемой и осуществленной инженерной деятельностью человека.

Таким образом, грунт авторами монографии [77] рассматривается как более общая материальная система, чем горные породы, которые входят в материальную систему «грунт» как один из ее видов.

Это дает основание считать, что понятия «горная порода» и «грунт» используется для обозначения материальных сред различного генезиса:

- горная порода – это материальная среда природного происхождения;
- грунт – это материальная среда природного или техногенного происхождения.

Эти положения приняты за основу при определении порядка использования понятий «горная порода» и «грунт» в настоящей работе.

Для примера рассмотрим схему на рис.1.1.

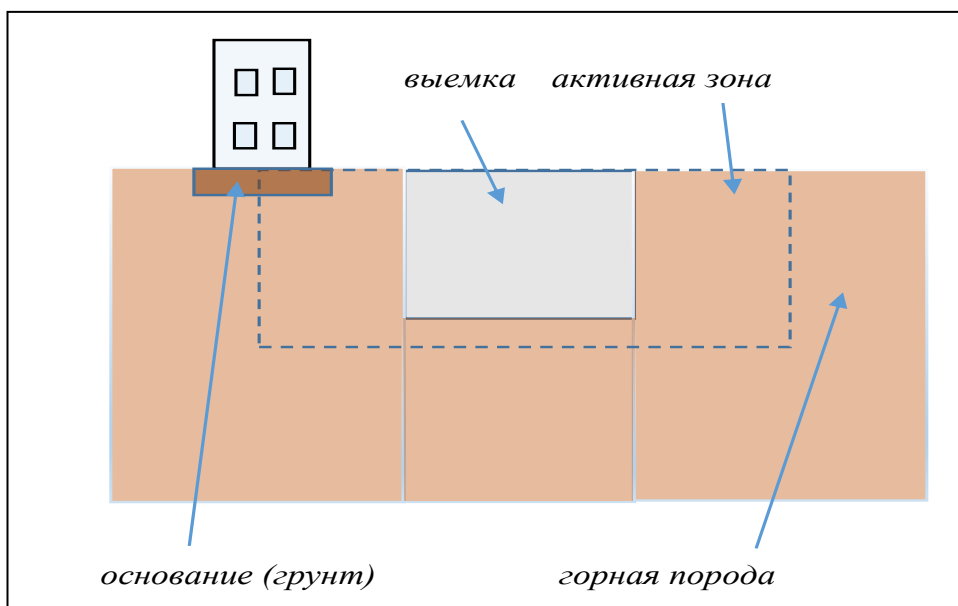


Рис. 1.1. Здание в активной зоне горной выработки.

Зона застройки приурочена к определенным горным породам.

В основании зданий и сооружений широко встречаются грунты, подвергающиеся специальной обработке [62], и в этом случае использование термина горная порода неправомерно. В то же время в основании зданий и сооружений могут встречаться и горные породы. Таким образом, области земной коры, в которых имеют место геомеханические процессы сдвижений и деформаций массива пород в результате горных выработок, могут состоять из как естественных, так и искусственных материальных сред- горных пород и грунтов.

В соответствии с ранее упомянутыми концептуальными положениями работы [77], в настоящей работе принимается, что для обозначения материальных сред правомерно использование термина грунт, за исключением тех случаев, когда специально оговаривается использование понятия горная порода.

В отношении набухающих грунтов близкими по смыслу понятиями являются глинистые породы и глинистые грунты.

Так, по Гольдбергу В.М., Скворцову Н.П. глинистые породы- обширная группа тонкодисперсных осадочных пород, располагающихся между породами обломочного и химического происхождения [21].

По ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация:

- грунт глинистый - связный грунт, состоящий в основном из пылеватых и глинистых (не менее 3 %) частиц, обладающий свойством пластичности ($I_p \geq 1\%$);
- грунт набухающий - грунт, увеличивающий свой объем при замачивании водой и имеющий относительную деформацию набухания $e_{sw} \geq 0,04$ (в условиях свободного набухания) или развивающий давление набухания (в условиях ограниченного набухания).

В случае, когда здания возводятся на структурно- неустойчивых грунтах (в том числе, и на набухающих грунтах), допускается замена этого грунта на

песчаный грунт [30]. При этом подстилающие породы могут быть представлены глинистыми породами. Тогда получается, что в основании здания есть как искусственные, так и природные грунты, и геомеханическая картина усложняется.

Слабый грунт– грунты, сжимаемость которых характеризуется значениями модуля общей деформации, меньшими или равными 5,0 Мпа при изменении давления на образцы до 0,3 Мпа [4].

Осадки– вертикальные составляющие деформаций основания, происходящие в результате внешних воздействий и в отдельных случаях от собственного веса грунта, не сопровождающиеся изменением его структуры [53].

Оседания– вертикальные составляющие деформаций земной поверхности, вызываемые разработкой полезных ископаемых, изменением гидрогеологических условий, понижением уровня подземных вод, карстово-суффозионными процессами и т.п. [53].

Усадка – процесс снижения объема глинистых грунтов при высыхании [58].

1.2. Анализ видов и факторов повреждений зданий и сооружений, вызванных набухающими грунтами

Проблема строительства зданий и сооружений на слабых грунтах – одна из наиболее сложных, что связано с особыми свойствами глинистых грунтов.

Значительный вклад в решение указанной проблемы внесли советские и русские ученые: Абелев М. Ю., Далматов Б. И., Маслов Н. Н., Сорочан Е. А., Улицкий В. М., Цытович Н. А., Мустафаев А. А. и др.

За рубежом проблема строительства зданий и сооружений на слабых грунтах нашла отражение в работах: Das B. M, Seed H. B, Holtz W. G, Chen F. H, Bell F. G, Culshaw M. G, John D Nelson, Debora J Miller, Driscoll R and Chown R, Jie Han, Maud R. R, Lytton R. L. и др.

Проблема строительства зданий и сооружений на слабых грунтах – многогранная, и включает такие вопросы как расчет осадок фундаментов и оснований с учетом свойств грунтов, разработка конструктивно-технологических методов обеспечения устойчивости зданий и сооружений на слабых грунтах и другие вопросы.

В настоящем разделе представлены только вопросы, связанные с анализом повреждений зданий и сооружений, вызванных набухающими грунтами.

Процессы набухания и усадки грунтов представляют опасность для инженерных сооружений, что связано с факторами:

- неоднородность деформаций (выгиб при набухании, оседания земной поверхности при усадке, неравномерная сжимаемость слоев грунта в основании сооружений и т.д.);
- преимущественно стохастический характер проявлений набухания во времени и в пространстве;
- зависимость параметров, набухающих или усадочных деформаций как от природных, так и от техногенных воздействий, одни из которых имеют ярко выраженный детерминированный характер, а другие – стохастический.

Существенную роль в процессах изменения формы и объема грунта играют погодно-климатические факторы – в сухие периоды года за счет потери грунтом влаги имеет место усадка грунта, а период дождей – идет обратный процесс – увеличение объема грунта.

В результате из-за сезонных изменений влажности возникают неравномерности перемещений грунта в основании зданий и сооружений, что может привести к трещинообразованию, а в некоторых случаях и повреждению зданий и сооружений.

Значительную опасность для прочности фундаментных конструкций представляет куполообразная модель основания от точечных источников

увлажнения, приводящих к неравномерным деформациям в несущих конструкциях надфундаментных строений.

Анализ натуральных наблюдений показывает, что характер изгиба железобетонных фундаментов на набухающих грунтах очень напоминает форму выпуклого профиля поверхности основания, получаемую при отсутствии внешних нагрузок [46].

В результате сезонного изменения влажности глинистых грунтов в основании фундаментов могут реализоваться различные виды деформации. Экспериментальные исследования, проведенные в полевых условиях [45,46,90,95] указывают на два основных варианта деформации грунтового массива основания— набухание в центре и набухание по краям фундамента.

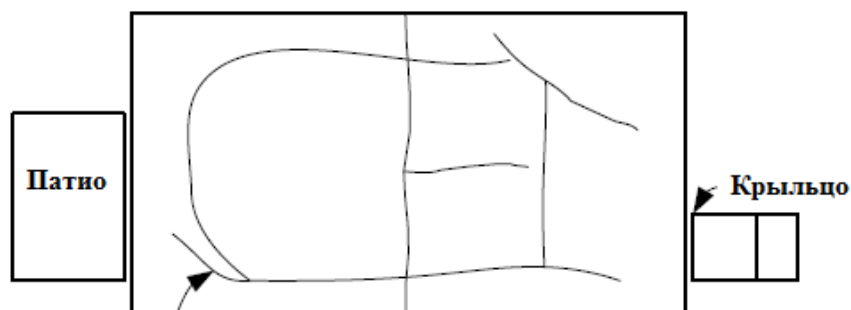
Наиболее очевидные признаки повреждения зданий -сжатые двери и окна, неровные полы, трещины фундаментов, перекрытий, стен и потолков. Кроме того, различные модели трещин означает разные причины для разных материалов фундамента.

В большинстве случаев, трещины, вызванные усадкой и набуханием грунтов, обычно идут от угла к соседней открытию и являются равномерным по ширине или V-образной формы, шире в верхней, чем стена фундамента (*Mika S. L. J and Desch S. C [96]. and Ransom W. H [98]*).

Рисунок 1.2 показывает типичную картину трещин на бетонной плите-на уровне земли- вследствие набухания грунтов (Day, R.W [91]).



А) РАЗРЕЗ



В) ВИД СВЕРХУ

Трещины обычно параллельны стенам и идут по диагонали углов. Трещины также часто встречаются по всей центральной части секции плиты

Рис. 1.2. Типичная картина трещин на бетонной плите- на уровне земли- вследствие набухания грунтов.

Характер трещин зависит от того, где развивается набухание:

- в варианте куполообразного набухания, когда оно происходит в центре плиты (рис 1.3);
- или тарелочное набухание, когда оно происходит в краях плиты (рис 1.4).

Куполообразное набухание имеет место из-за движения влаги от периметра к центру дома, в то время как тарелочное набухание - в результате движения влаги от центра к периметру. В случай куполообразного набухания, трещины в верхней части шире чем в нижней части (рис 1.3), в то время как в

случай тарелочного набухания, трещины в нижней части шире чем в верхней части (рис 1.4).

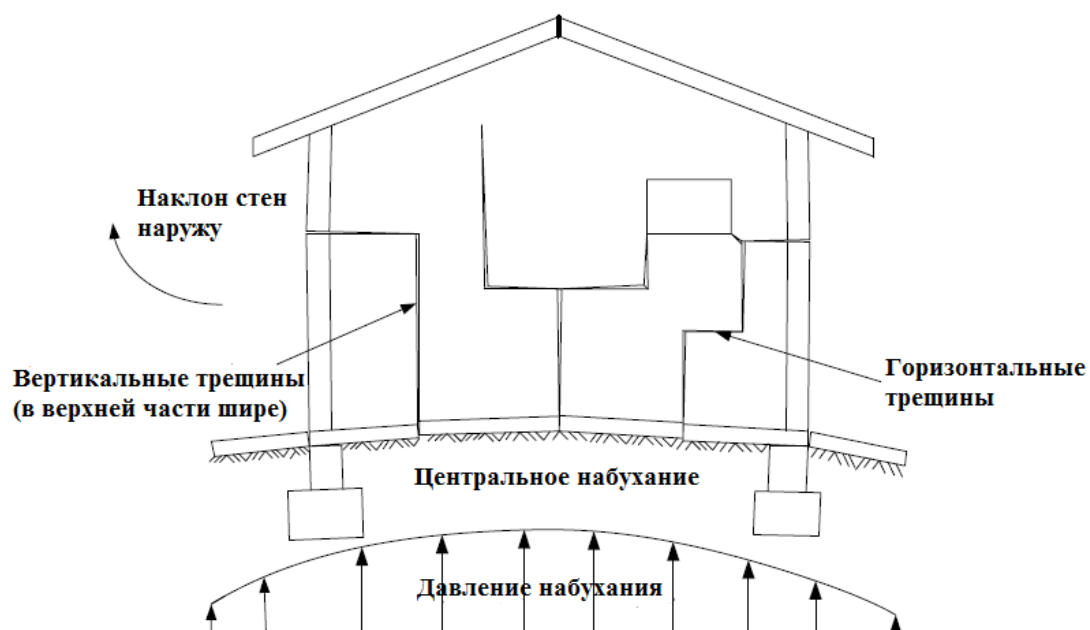


Рис. 1.3. Модели трещин, образующихся в результате набухания грунта в центре фундамента.

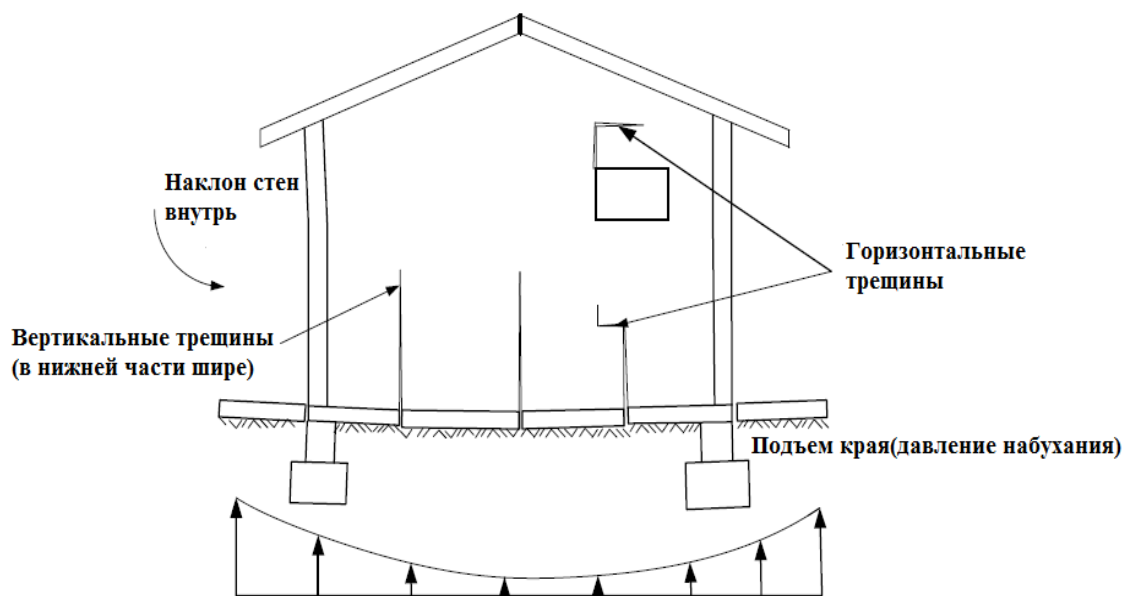


Рис. 1.4. Модели трещин, образующихся в результате набухания грунта по краям фундамента.

Отрицательное влияние набухающих грунтов особо сильно проявляется в зданиях с легкими конструкциями.

Подъем и усадка частей здания вызывают продвижения здания и приведет к образованию трещин выше дверей и окон.

В [93,94] приведены примеры повреждений зданий и сооружений, построенных на набухающих грунтах (рис. 1.5, рис. 1.6 и рис. 1.7):

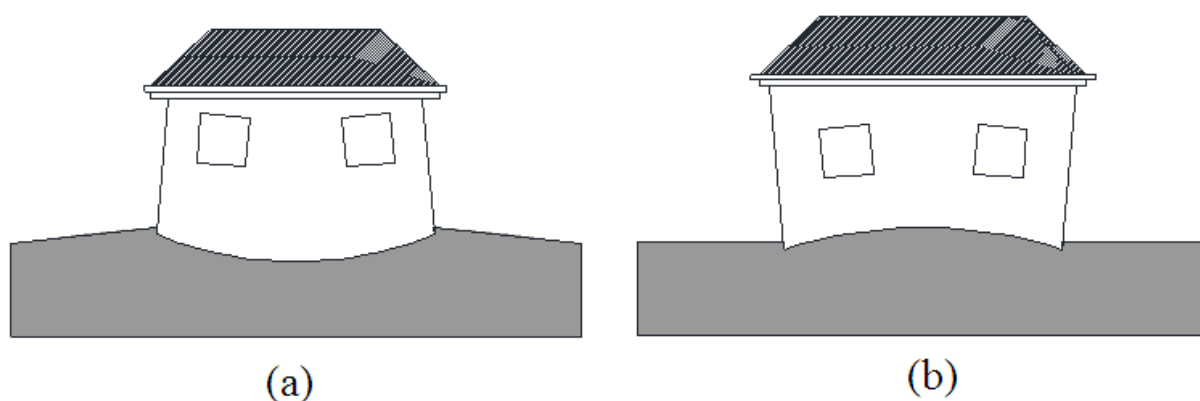


Рис. 1.5. Вредное влияние набухающих грунтов на здания.

Большую опасность представляют неравномерные деформации набухающих грунтов основания с возникновением уступа, что ведет к отрыву фундаментных конструкции от надземной части здания со сдвигом по горизонтальному шву (рис. 1.6), или образованием трещин в наружных стенах (рис. 1.7).

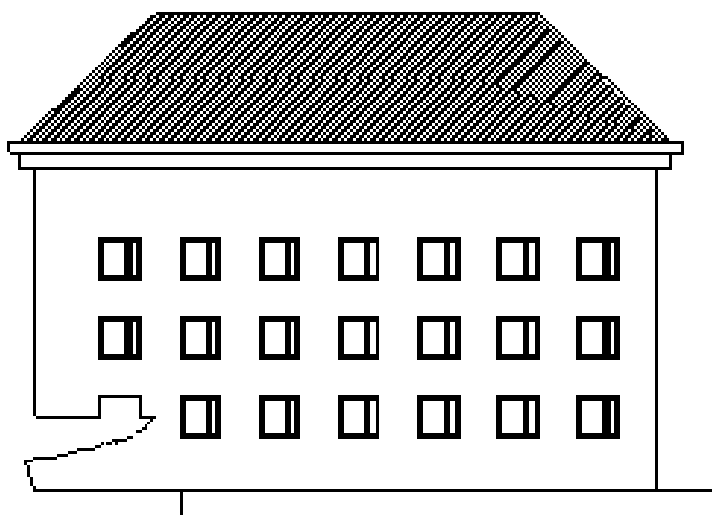


Рис. 1.6. Отрыв фундамента от надземных конструкций со сдвигом по горизонтали при образовании в основании здания уступа.

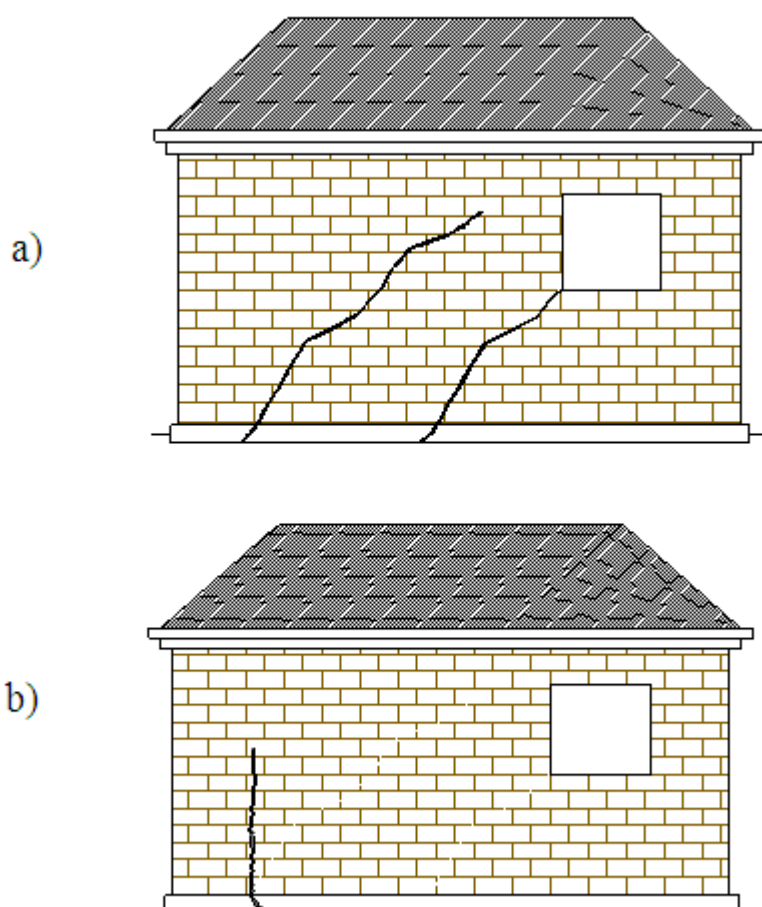


Рис. 1.7. Возникновение трещин в наружных стенах зданий.

Приведенные виды повреждение зданий на слабых основаниях (набухающих грунтах) могут быть инициированы разными причинами, в том числе, и горными выработками.

Мулюковым Э.И. составлена классификация причин отказов оснований фундаментов, табл.1.1 [44]. Приведенные причины отказов оснований имеют непосредственное отношение к деформациям зданий и сооружений.

Таблица 1.1

Классификация причин отказов оснований фундаментов зданий и сооружений (по Мулюкову Э.И.)

№ п/п	Группа отказа	Вид отказа
1	Недостатки изысканий	Неполнота. Ошибки, брак. Отсутствие прогнозов. Низкое качество изысканий.
2	Ошибки при проектировании оснований и фундаментов	Реализация неполноты изысканий. Игнорирование эволюции грунтов. Отсутствие нормативных документов. Низкое качество проекта. Использование неправильной методики расчета.
3	Низкое качество работ при устройстве оснований и фундаментов	Выветривание грунта в котловане. Затопление котлована. Промораживание основания. Изменение расчетной схемы. Неверная технология работ. Неудовлетворительная консервация объекта при длительных перерывах. Отклонение геометрических осей фундаментов от проектного положения. Грубые ошибки при армировании и бетонировании.
4	Отрицательные (локальные) воздействия на основания и фундаменты	Замачивание водой, технологическими растворами. Насыщение маслами. Температурные воздействия. Динамические воздействия. Нарушение целостности. Механические повреждения.
5	Эволюция инженерно-геологических и гидрогеологических условий площадки	Подтопление территории. Активизация карстово-суффозионного и других нежелательных процессов. Снижение уровня подземных вод. Изменение химического состава грунтовых и подземных вод.
6	Комплексные отрицательные воздействия	

Следует отметить, что в качестве классификационного признака принят период возникновения причин отказов, где первые три группы относятся к классу (причины отказов, возникающие в период изысканий, проектирования и устройства оснований и фундаментов), а последние три группы относятся к классу (причины отказов, возникающие в период эксплуатации объекта).

По данным Улицкого В.М., Шашкина А.Г., Шашкина К.Г. [82] для городской застройки на слабых грунтах критичным является технологии устройства фундаментов с применением методов разрушения структуры грунта. Существенно, что эти данные получены на основе обобщения случайной выборки из 50 зданий в городе Санкт-Петербурге (Россия), претерпевших деформации по причинам, из которых значительная доля приходится на ведение вблизи от этих зданий строительной деятельности.

В результате освоения подземного пространства в зонах плотной городской застройки генерируются значительные геотехнические риски потери устойчивости зданий и сооружений на расширяющихся площадях.

Таким образом, правомерно говорить о формировании в определенных зонах городской застройки *локализованных динамических геотехнических систем*, включающих подсистемы:

- городскую застройку существующая или ведущаяся;
- подземное строительство существующее или ведущееся;
- используемые строительные технологии и методы, вызывающие нарушение равновесия в массиве грунтов, и приводящее к рискам потери устойчивости зданий и сооружений.

В качестве примера негативного воздействия на слабые глинистые грунты основания приводится объект на Невском пр.57 (Санкт-Петербург).

На этом объекте применялась технология изготовления свай под защитой обсадной трубы, и было допущено избыточное извлечение грунта, что привело к осадке соседних строений более 20 см, и эти строения были разобраны, рис.1.8.



Рис. 1.8. Аварийно деформированные дома № 55 и 59 по Невскому пр.

Таким образом, анализ видов и факторов повреждений зданий и сооружений, вызванных набухающими грунтами, указывает на ряд обстоятельств:

- наличие набухающих грунтов в основаниях зданий и сооружений представляет серьезную опасность для их устойчивости, и требует проработки и обоснования методических и технических решений;
- погодно-климатические условия оказывают иницирующее воздействие на деформационные эффекты в набухающих грунтах;
- в связи с использованием в городской застройке современных интенсивных геотехнологий актуализируется задача уточнения механизмов развития деформационных процессов в основании зданий и сооружений при их строительстве на набухающих грунтово-породных массивах.

Вместе с тем, на настоящее время практически отсутствуют достоверные данные по повреждениям зданий и сооружений Сирии, вызванных набухающими грунтами.

1.3. Методы защиты зданий и сооружений от вредных геомеханических воздействий при выполнении подземных горно-строительных работ

В настоящем разделе представлены общие подходы по методам защиты зданий и сооружений от вредных геомеханических воздействий при выполнении горно-строительных работ. Позднее по результатам исследований будут отобраны наиболее перспективные решения.

Система мер обеспечения защиты зданий и сооружений от вредных геомеханических воздействий непосредственно связана с источниками и механизмами повреждений зданий и сооружений, вызванных сдвижением и деформацией горных пород.

Выбор системных мер по защите зданий от сдвижений и деформаций горных пород зависит от различных факторов, включая следующие: типы и характеристики грунтов, структурные схемы зданий, параметры деформаций земной поверхности, конструктивные особенностей, размеры, техническое состояние и характер эксплуатации сооружения, установленного в нем оборудования и последствий подработки, особенность грунтов в районе строительства и др. [23,50,61,80].

При охране зданий, сооружений и природных объектов от вредных геомеханических воздействий применяются различные специальные способы, которые обеспечивают уменьшение деформаций земной поверхности в основании подрабатываемых объектов. Следовательно, защита объектов и сооружений от вредного влияния горно-строительных работ будет сугубо индивидуальной в каждом конкретном случае.

Меры защиты зданий и сооружений от вредных геомеханических воздействий в зависимости от их назначения можно их разделить на следующие группы, табл.1.2.

Таблица 1.2

Меры защиты зданий и сооружений от вредных геомеханических воздействий.

Группа	Характеристика	Область применения
Профилактические меры	Имеют основным назначением предотвращение или снижение вредного влияния горно-строительных работ	Защита зданий и сооружений на подрабатываемых территориях и на неустойчивых грунтах
Планировочные меры	Минимизировать значения осадки и деформации земной поверхности	
Горнотехнические меры	Направлены на уменьшение деформаций земной поверхности и подрабатываемых объектов	
Конструктивные меры	Имеют целью приспособить здания и сооружения к перенесению деформаций с минимальными последствиями.	
Технологические меры	Направленные на устранение причин развития сдвижений и деформаций	
Комплексные меры	Любые сочетания перечисленных выше мер	

Защита существующих зданий и сооружений при строительстве рядом с ними новых объектов выполняется в случаях:

- расположения существующего здания и сооружения в зоне влияния горно-строительных работ;
- возведения заглубленных помещений, влияющих на деформации существующего здания;
- при выполнении устройства фундаментов с применением специальных видов работ (замораживание, инъекции и др.);
- при необходимости выполнения строительного водопонижения.

Меры защиты принимаются в этапе проектирования зданий и сооружений и так же после их строительства.

Меры, связанные с существующими зданиями, предпринимаются для сохранения существующих зданий и жизни людей при условии, что общая стоимость должна быть экономически целесообразной.

При ведении подземных горно-строительных работ различают допустимые и предельные деформации земной поверхности.

При допустимых деформациях возникают относительно небольшие повреждения, которые не создают существенных препятствий дальнейшей эксплуатации сооружений по их прямому назначению.

При деформациях, превышающих предельные значения, повреждения могут привести к аварийному состоянию сооружений, повлечь угрозу опасности для жизни людей [80].

Профилактические меры предназначены для предотвращения или снижения вредного влияния горно-строительных работ.

Карта прогноза ожидаемых деформаций земной поверхности является основой профилактических мероприятий. На этой карте выделяют площади, не подверженные влиянию горно-строительных работ, или такие, где процесс сдвига полностью закончился, т. е. площади, на которых строительство можно вести без всяких ограничений [7,14,80]. Остальную территорию разбивают на участки:

- с относительно небольшими деформациями, на которых можно располагать второстепенные, мало чувствительные к подработке здания и сооружения;
- с затухающими деформациями, на которых можно в ближайшее время начинать строительство;
- участки с интенсивными деформациями, где возводить здания и сооружения в ближайшее время нецелесообразно.

Геомеханическое обеспечение при освоении недр наилучшим образом осуществляется на основании карт прогноза сдвижений и деформаций, что позволяет полнее учитывать все факторы, оказывающие влияние на процесс

сдвижений и деформирования объектов: геологические, геомеханические, технологические и геоситуационные [47].

Следует отметить что, успех освоения подземного пространства, его эффективность и безопасность во многом будут зависеть от того, насколько надежно мы сумеем оценить геомеханическое состояние грунтового массива и спрогнозировать его изменения под влиянием подземного строительства, а также насколько грамотно и оперативно сумеем воспользоваться этими знаниями. По данным Трубецкого К.Н., Иофиса М.А. [78] для предотвращения негативных последствий освоения подземного пространства города Москвы каждой стройке должно предшествовать надежное геомеханическое обоснование и последующее геомеханическое обеспечение.

Планировочные меры предусматривают такое расположение подземного объекта в плане, при котором осадки и деформации земной поверхности будут иметь минимальные значения и не будут влиять на состояние зданий и инженерных коммуникаций.

Это достигается трассированием подземных объектов преимущественно под мало застроенными участками городской территории, под скверами, парками, площадями, магистралями, под участками с малоценной застройкой и зданиями, подготовленными к сносу, и т.п.

Горнотехнические меры охраны направлены на уменьшение деформаций земной поверхности и подрабатываемых объектов. Они включают в себя специальные методы ведения горно-строительных работ.

К горным мерам защиты эксплуатируемых зданий и сооружений относятся:

- охрана сооружений с помощью закладки выработанного пространства;
- предварительное усиление и закрепление горных пород в зоне забоя и за контурами обделок горных выработок;
- уменьшение сечений и размеров горных выработок;

- применение проходческих комплексов с закрытым забоем и его пригрузом;
- нагнетание тампонажных (твердеющих) растворов в заобделочное пространство одновременно или сразу после перемещения проходческих комплексов;
- увеличение расстояний между горными выработками и фундаментами эксплуатируемых зданий и сооружений;
- применение монолитной прессбетонной обделки;
- выбор метода и технологического режима проходки, обеспечивающих уменьшение перебора грунта в забое и наиболее раннее подкрепление выработки и др.

Конструктивные меры защиты имеют целью приспособить здания и сооружения к перенесению деформаций с минимальными последствиями. На послеосадочный ремонт таких зданий и сооружений требуется значительно меньше средств, чем для зданий и сооружений, не имеющих указанных мер защиты. Эти меры наиболее эффективны, если их предусматривают и осуществляют в период строительства здания (сооружения).

Для эксплуатируемых зданий, построенных без специальных конструктивных мероприятий, применяют следующие меры защиты [42]:

- разделение зданий на секции путем создания деформационных швов;
- усиление зданий тяжами, установленными на одном или нескольких уровнях по периметру стен;
- установка зданий на домкраты с подведением металлических или железобетонных обвязочных балок под наружные и внутренние стены;
- отрывка вокруг зданий компенсационных траншей, концентрирующих в себе основные виды деформаций с целью разрядки напряжений в зданиях;
- мероприятия, предохраняющие грунты основания от ухудшения их строительных свойств;

- устройство железобетонных плит и поясов по грунту или на уровне перекрытия над подвалом;
- укрепление отдельно стоящих колонн;
- подведение железобетонных фундаментов;
- усиление фундаментов зданий и сооружений.

В соответствии с «Рекомендациями» [61], для защиты зданий от горизонтальных деформаций растяжения и кривизны (выпуклости) рекомендуется неполная разрезка при помощи пробуривания шнуров в стенах и фундаментах.

технологические меры охраны, направленные на устранение причин развития сдвижений и деформаций. Они дифференцированы в зависимости от способа строительства сооружений в различных инженерно-геологических условиях.

Одной из наиболее радикальных мер по устранению или уменьшению сдвижений и деформаций при строительстве городских подземных частей зданий и сооружений является применение специальных способов закрепления неустойчивых грунтов [37].

Приведенные выше меры способствуют уменьшению сдвижений и деформаций породного массива и земной поверхности при строительстве подземных объектов, однако не всегда полностью исключают нарушение поверхностных условий. В связи с этим в ряде случаев принимают специальные меры по защите фундаментов зданий, инженерных коммуникаций и других объектов, расположенных в зоне влияния подземного сооружения.

Комплексные меры — это любые сочетания перечисленных выше мер охраны. К комплексным мерам относятся также оперативное устранение повреждений, которые возникают в подрабатываемых объектах, и своевременное принятие других мер, необходимых для предотвращения

аварийных ситуаций. Комплексные меры проводятся обычно в сочетании с постоянным инструментальным и визуальным контролем.

Анализ представленных методов защиты зданий и сооружений от вредных геомеханических воздействий с точки зрения их применимости в отношении набухающих глинистых грунтов показывает, что все группы мер в той или иной степени связаны с воздействием на грунты, однако принимая во внимание специфику набухающих грунтов можно отметить, что задача отбора действенных мер требует проработки вопроса о характеристиках набухающих глинистых грунтов Сирии.

1.4. Обоснование целей и задач работы

На основании данных настоящей главы сформулированы цели и задачи работы.

Цель работы – установление механизмов развития деформационных процессов в основании зданий и сооружений при строительстве подземной части зданий и сооружений на набухающих грунтах Сирии и разработка принципов, методов и рекомендаций по управлению геомеханическими процессами.

Задачи работы:

1. Совершенствование методов расчета деформаций глинистых грунтово-породных массивов от совместного влияния горно-строительных работ и процесса набухания-осадки.
2. Выбор и совершенствование методики испытаний набухающих глинистых грунтов Сирии с учетом их особенностей и характеристик.
3. Исследование закономерностей развития сдвижений и деформаций грунтово-породного массива основания сооружений с учетом особенностей набухающих грунтов Сирии.
4. Разработка классификации методов управления геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в Сирии.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. Анализ видов и факторов повреждений зданий и сооружений, указывает что наличие набухающих грунтов в основаниях зданий и сооружений представляет серьезную опасность для их устойчивости, и требует проработки и обоснования методических и технических решений.

2. На настоящее время практически отсутствуют достоверные данные по повреждениям зданий и сооружений Сирии, вызванных набухающими грунтами.

3. Установлено, что в связи с использованием в городской застройке современных интенсивных геотехнологий актуализируется задача уточнения механизмов развития деформационных процессов в основании зданий и сооружений при их строительстве на набухающих грунтово-породных массивах.

4. На основе анализа литературных данных показано, что фактор погодно- климатических условий способен сильно воздействовать на деформационные свойства набухающих грунтов.

5. Анализ принципов и методов решения проблемы защиты зданий и сооружений при освоения подземного пространства показывает, что в случае набухающих грунтов в основании существует несколько не полностью решенных задач научного и методического характера.

6. Обоснованы цели и задачи работы.

ГЛАВА II. ПРИРОДА И СВОЙСТВА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ. АНАЛИЗ СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИСТИК НАБУХАЮЩИХ ГРУНТОВ СИРИИ

Глины составляют более 60 % осадочной оболочки земной коры, и по происхождению относятся к эпохам от верхнего протерозоя до плейстоцена [21].

Теоретические основы и практические проработки в области деформационных свойств грунтов заложены в работах русских и зарубежных ученых Е.А. Алексеева, Вознесенского С.И., Вялова С.С., Герсевича Н.М., Дарси А., Маслова Н.Н., Терцаги К., Трофимова В.Т., Ухова С.Б., Флорина В.А., Цытовича Н.А. и др.

Междисциплинарная методология исследования грунтов

Для решения проблемы прогнозирования развития деформационных процессов при строительстве подземной части зданий и сооружений на слабых набухающих грунтах требуется привлечение комплексных подходов на основе таких дисциплин как геомеханика, механика грунтов, инженерная геология, материаловедение, физическая химия, неорганическая химия и др.

Наряду с этим, перспективно необходимо использование таких методов, как теория сложных систем, системный анализ, методы исследования структур и др.

В совокупности перечисленные научные дисциплины и методы составляют междисциплинарную методологию исследований.

Целесообразность использования междисциплинарной методологии вызвано тем, что грунт, и, особенно, глинистый грунт- сложная материальная система, что делает неперспективными узкоспециальные и не комплексные методы описания его свойств.

2.1. Глинистые грунты- природа, свойства и классификация

Набухающие грунты- один из видов глинистых грунтов, и основные свойства набухающих грунтов имеет смысл рассмотреть, исследуя глинистые грунты.

Свойства и структура грунтов исключительно разнообразны. Так, пески обладают свойством сыпучести, а глины – пластичны. Грунты не только механические системы, но и физико-химические среды, свойства которых в значительной степени определяются взаимодействием фаз – минерального скелета, связующих композиций в узлах пространственной структуры грунта и поровой жидкости. Факторы физико-химического взаимодействия фаз особенно сильны в глинистых грунтах.

Основополагающее значение для понимания свойств грунтов имеет деление их на два класса- связные и несвязные, табл.2.1 [28].

Таблица 2.1

Класс природных дисперсных грунтов.

Группа	Подгруппа	Тип	Вид
Связные	Осадочные	Минеральные	Глинистые грунты
		Органоминеральные	Илы, заторфованные грунты
		Органические	Торфы и др.
Несвязные		Минеральные	Пески, крупноблочные грунты

Связный грунт: дисперсный грунт с физическими и физико-химическими структурными связями [28].

Несвязный грунт: дисперсный грунт, обладающий механическими структурными связями и сыпучестью в сухом состоянии [28].

К глинистым грунтам относятся глины, суглинки и супеси.

Содержание тонких частиц в глинистых грунтах падает от глины к супеси, и в этом же ряду снижается число пластичности, табл.2.2.

Таблица 2.2

Классификация грунтов по содержанию глинистых частиц и числу пластичности.

№ п/п	Наименование грунта	Содержание частиц <0,005 (%)	Число пластичности, J_p
1	Глины	> 30	> 0,17
2	Суглинок	10-30	0,07-0,17
3	Супесь	3-10	0,01-0,07
4	Песок	< 3	Не пласт.

Число пластичности I_p , %; определяют по формуле:

$$I_p = w_L - w_p, \quad (2.1)$$

где w_L - влажность на границе текучести, % (ГОСТ 5180);

w_p - влажность на границе раскатывания, % (ГОСТ 5180).

Высокое содержание тонких частиц коллоидного размера – один из главных наряду со связностью признаков глин.

Природа и свойства глинистых грунтов

Принцип деления грунтов на связные и несвязные относится к способу организации структуры грунта. Само понятие структура грунта нетривиально.

Так, по Осипову В.И. структура грунта— это пространственная организация всего вещества породы, характеризующаяся совокупность морфометрических, геометрических и энергетических признаков и определяющаяся составом, количественным соотношением и взаимодействием компонентов породы [51].

Энергетический признак грунта определяется из классификации структур, предложенной П. А. Ребиндером в его физико-химической механике дисперсных систем [60].

Глинистые грунты- наиболее сложные среди всех грунтов материальные системы, характеризующиеся признаками:

- высокой связностью структурных элементов, что достигается за счет участия воды в организации взаимодействия структурных элементов;
- высоким содержанием коллоидных частиц;
- сложным деформационным и фильтрационным поведением.

Одно из ярких проявлений деформационного поведения глин-тиксотропия – способность грунта после снятия воздействия к возврату в исходное состояние.

По Вознесенскому Е.А. при динамическом воздействии в глинистом грунте происходит полное или частичное разрушение структурных связей с последующим их восстановлением в покое [15].

Различается тиксотропия и квазитиксотропия, рис. 2.1.

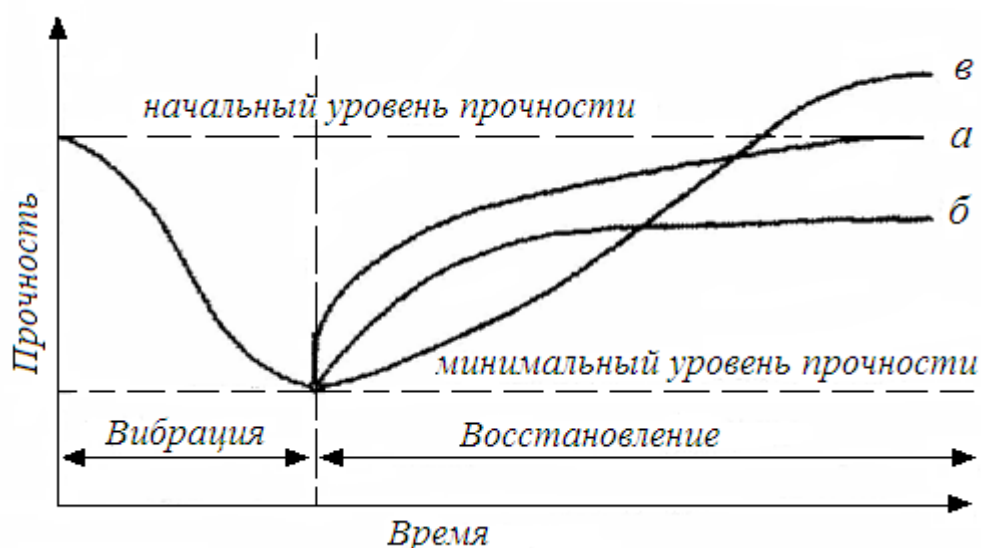


Рис. 2.1. Кинетика восстановления прочности тиксотропной системой (а) и квазитиксотропных природных грунтов (б, в).

При тиксотропии имеет место полное восстановление прочности, а при квазитиксотропии- прочность после восстановления либо больше, либо меньше начальной.

С тиксотропией связывается динамическая неустойчивость глинистых грунтов. Быстрое восстановление структурных связей после снятия воздействия характерно для жидких тел, тогда как в твердых телах такие эффекты, как правило, не наблюдаются. Тем самым, тиксотропные проявления

в глинистых грунтах могут рассматриваться как свидетельство жидкофазной природы этих грунтов.

Принципиально важно, что деформационные процессы в глинистых грунтах могут проходить по двум вариантам:

- при постоянном объеме – за счет изменения формы грунта;
- при переменном объеме– либо увеличении, либо сокращении объема.

В первом случае плотность, пористость и влажность остаются неизменными, а прочностные свойства восстанавливаются за счет тиксотропных процессов.

Во втором случае изменение объема грунта происходит за счет потери или роста доли воды в грунте. При этом плотность, пористость и влажность меняются разнонаправленно, а тиксотропные эффекты также имеют место.

На особую роль воды в глинах указывают многие авторы- Гольдберг В. М., Кульчицкий Л. И., Осипов В. И., Мироненко В. А., Ребиндер П. А., Храмченков М. Г., Урьев Н. Б. и др.

Вода присутствует в глинах в разнообразных видах, рис.2.2 [21].

Между твердыми частицами грунта и водой существуют химические, коагуляционные, адсорбционные и другие виды контактов, что обеспечивает непрерывное взаимодействие в глинистых грунтах. [43].

По мере удаления гидратированных частиц от твердых элементов связь слабеет, и гидратированные частицы переходят в поровое пространство.

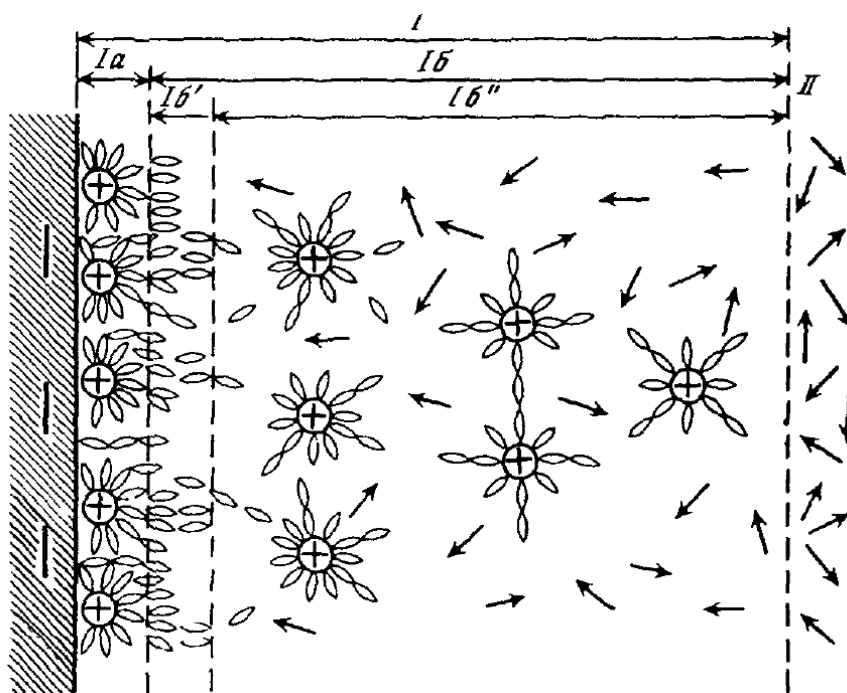


Рис. 2.2. Схема строения связанной воды в глинах (по Е М Сергееву): I - связанная: Ia - прочносвязанная (адсорбционная), Ib - рыхлосвязанная (осмотически поглощенная): Ib' – вторично-ориентированная, Ib'' — осмотическая; II — свободная.

Описанное взаимодействие в глинистых грунтах может быть интерпретировано как сродство твердой фазы к поровой воде (жидкой фазе), обусловленное физико-химическими и химическими свойствами твердого скелета и поровой жидкости.

Таким образом, модель глинистого грунта представляет собой сложную динамическую систему твердое- жидкое:

- в основе которой находится твердый скелет, оформленной в виде пространственной дисперсной системы;
- связность и прочность пространственного твердого скелета обеспечивается гидратированными образованиями, присутствующими на поверхности твердых частиц;

- в пустотах скелета располагается поровая жидкость, представленная растворами минеральных солей и коллоидными частицами, состав которых близок к твердой фазе;
- соотношение твердой и жидкой фаз может достигать высоких значений (1:1), что позволяет отнести глинистые грунты к промежуточным средам между твердыми и жидкими телами;
- деформационные процессы в глинистых грунтах могут протекать по двум механизмам- при постоянном или переменном объеме и сопровождаются тнксотропными эффектами.

На рис.2.3 представлена модель глинистого грунта.

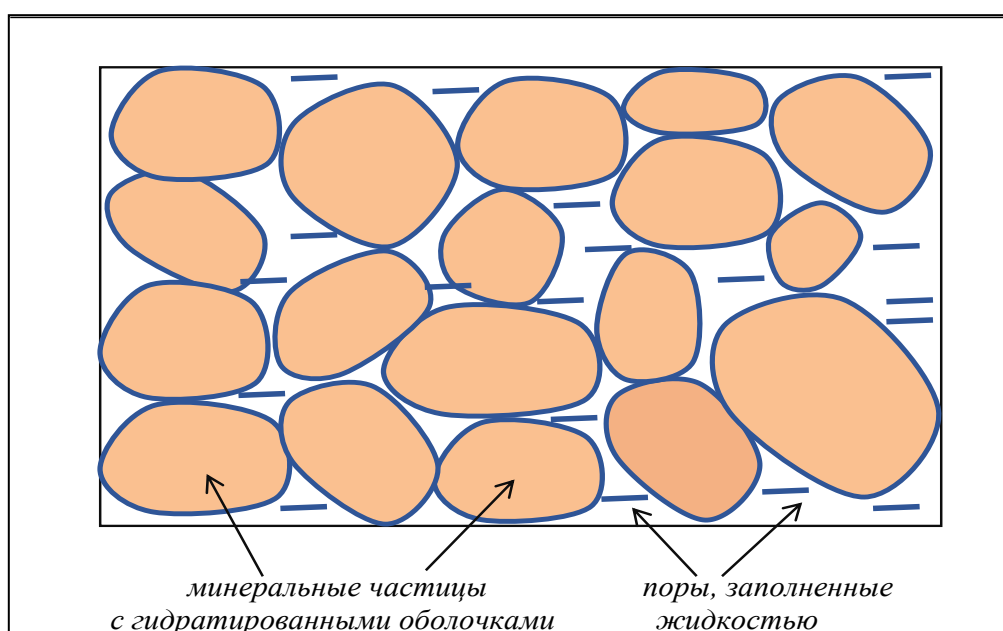


Рис. 2.3. Модель глинистого грунта.

Разработанная модель представляет глинистый грунт как совокупность двух взаимодополняющих непрерывных континуумов- твердого скелета, выстроенного из минеральных гидратированных частиц, и жидкой фазы, с помощью которой осуществляется массоперенос по открытому поровому пространству.

Представленная модель глинистого грунта может рассматриваться как предпосылка решения задачи исследования механизмов развития

деформационных процессов в основании зданий и сооружений при их строительстве на слабых грунтах.

2.2. Классическая задача деформации глинистого грунта

Для набухающего грунта присущи деформации двух видов- сжатия при усаживании и расширения при набухании.

Классическая задача деформации глинистого грунта рассмотрена основоположниками теории грунтов Терцаги, Герсевановым, Цитовичем и другими учеными и относится к первому виду деформаций- усаживанию.

Задача уплотнения (консолидации) грунта- одна из ключевых в теории и строительной практике грунтов. Практическая цель уплотнения состоит в придании грунту качеств устойчивости и стабильности при эксплуатационных нагрузках.

При использовании грунтов в основаниях зданий и сооружений консолидация грунтов до нормативных значений необходима для обеспечения устойчивости зданий и сооружений.

В применяемые расчетные схемы определения деформаций грунтового массива оснований используются аналитические подходы модели компрессионного уплотнения грунтов.

Решение указанной задачи основано на предположении, что осадка грунта происходит в результате внешнего давления, вызывающего уменьшение пористости грунта из- за отжатия части поровой воды. При этом объем твердой части грунта остается неизменным. Процесс отжатия воды описывается фильтрационными законами.

Предпосылки задачи консолидации грунта:

1. Грунт водонасыщенный.
2. Отвод воды подчиняется закону Дарси.
3. Все поры активны на протяжении всего процесса консолидации.

4. Энергия воздействия не рассеивается в объеме грунта, и для любой точки грунта выполняется соотношение $p_z + p_w = p_0$ (допущение Терцаги) [73], где p_z - эффективное давление; p_w - поровое давление в воде; p_0 - внешнее давление.

Начальные условия (рис.2.4):

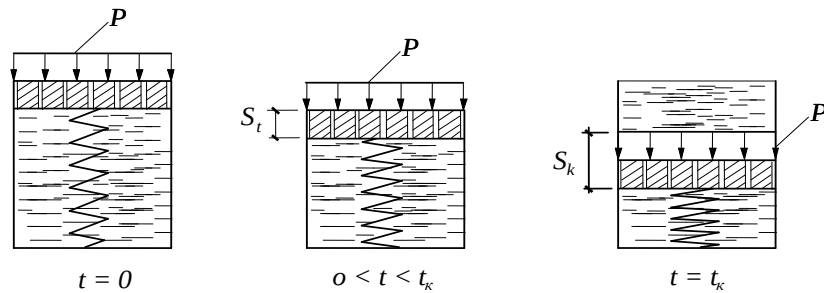


Рис.2.4. Механическая модель уплотнения полностью водонасыщенного грунта.

На рис.2.5 показано распределение компонентов давления по высоте грунта.

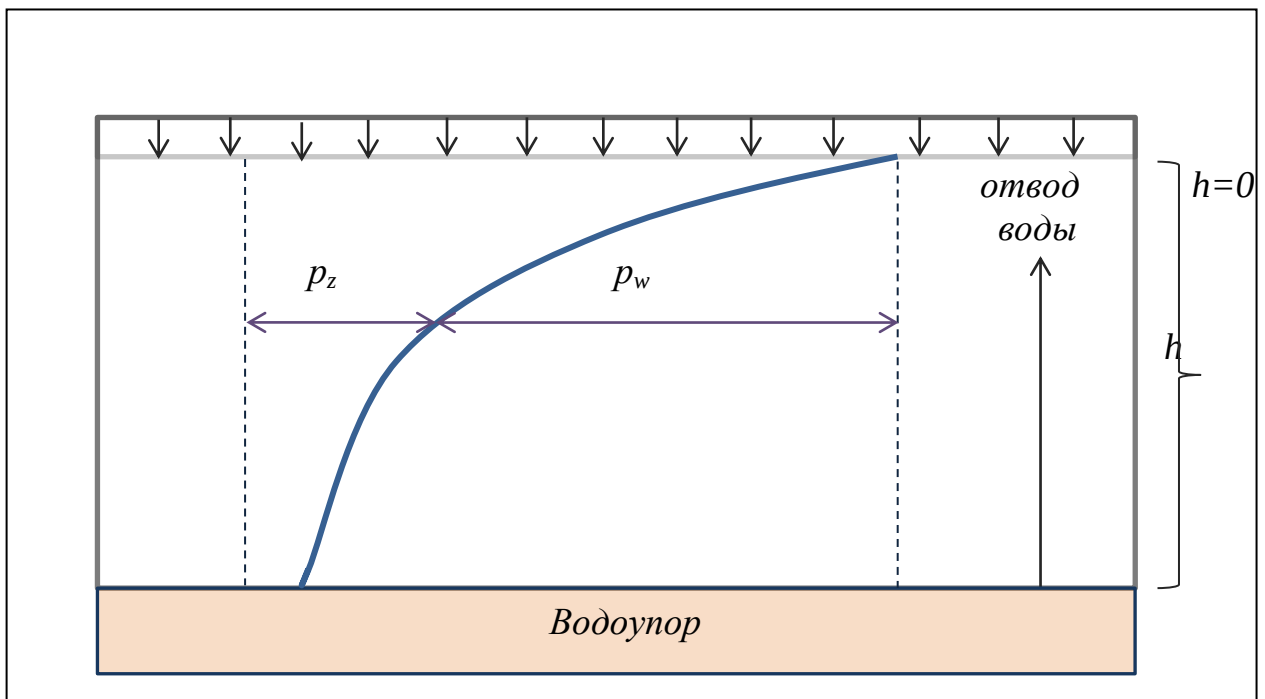


Рис.2.5. Распределение компонентов давления по высоте грунта.

Используя подходы Цитовича Н. А. [87], запишем дифференциальное уравнение для одномерной задачи консолидации

$$\frac{\partial H}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 H}{\partial z^2}, \quad (2.2)$$

где c_v - коэффициент консолидации, H - напор, t - время; z - глубина;

$$c_v = \frac{k_\phi}{m_v \gamma_w} \quad (2.3),$$

где m_v - коэффициент относительной сжимаемости; γ_w - удельный вес воды; k_ϕ - коэффициент фильтрации.

Решение (2.2) может быть получено с использованием однородного уравнения теплопроводности методом разделения переменных [64].

$$H(t, z) = T(t)Z(z)$$

Далее (2.2) приводим к виду:

$$\frac{Z''(z)}{Z(z)} = \frac{T'(t)}{c^2 T(t)}$$

Таким образом, для определения зависимости осадки s_t во времени справедливо соотношение:

$$s_t = s \left(1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-N} \right) \quad (2.4)$$

где s - полная (предельная) осадка.

$$N = \frac{\pi^2 c_v}{4h^2} t \quad (2.5)$$

Для определения осадки набухающих массивов соотношения (2.4) и (2.5) могут быть использованы с учетом данных экспериментальных исследований грунтов.

Введем понятие о деформационно-пространственной стабильности грунтов - способность грунта сохранять пространственную форму и размеры

в условиях естественных и техногенных нагрузок и воздействий. В случае нарушения деформационно- пространственной устойчивости – выходе параметров за нормативные пределы - наступает деформационно- пространственная неустойчивость, а в предельном случае- разрушение.

Термин динамическая неустойчивость грунта предложен Е.А. Вознесенским [15], который связал динамическую неустойчивость грунта с повышением вероятности разрушения грунта при динамическом воздействии по сравнению со статическими условиями.

Анализ (2.4) и (2.5) показывает, что деформационно- пространственная устойчивость грунтов тем выше, чем меньше полная (предельная) осадка.

Помимо этого, к значимым параметрам деформационно- пространственной устойчивости грунтов относятся такие характеристики как коэффициент относительной сжимаемости, удельный вес поровой жидкости и коэффициент фильтрации, от величины которых зависит скорость деформационного процесса. Интенсивность деформации зависит также от таких факторов как параметры внешнего воздействия на грунт- механическое, волновое или иное.

Полный деформационный цикла набухающего грунта

В состоянии предельного уплотнения фильтрационная активность грунта полностью подавлена и грунт становится идеально устойчивым в отношении сжимающих воздействий при сохранении параметров воздействия, влажности, термодинамических параметров- температуры, давления и др.

С использованием разработанной модели глинистого грунта (рис.2.3) идеально устойчивый предельно уплотненный грунт может быть описан как система, в которой минеральные частицы сближены настолько что сквозные транспортные поры, через которые происходит массоперенос, закрываются, и транспорт воды из грунта прекращается.

Обратный процесс- набухание грунта – возможен при изменении термодинамических условий (температуры, давления) и параметров

пограничных сред. Так, например, в случае возрастания в пограничной с набухающим грунтом давления воды возникают условия для набухания грунта.

Высокая деформационно- пространственная устойчивость набухающего грунта в состоянии предельного уплотнения сохраняется только по отношению к сжимающим воздействиям, тогда как в отношении увеличения объема грунт в указанном состоянии предельно неустойчив, и обладает максимальным потенциалом расширения.

Набухание глинистых грунтов при взаимодействии с водой носит сложный физико-механический и физико-химический характер [21,60].

Более подвержены усадке и набуханию высокодисперсные глины средней и высокой степени литификации, обладающие обратимыми коагуляционными и стабилизационными структурными связями.

Глинистый грунт может быть водонасыщенным или неводонасыщенным, в водонасыщенном грунте все поры заполнены жидкостью.

Набухание возможно в неводонасыщенных грунтах, причем чем ниже влажность грунта, тем выше потенциал набухания. Таким образом, к числу параметров грунта, определяющих потенциал набухания, должны быть отнесены пористость и влажность грунта.

В случае полного деформационно- пространственного цикла набухающего грунта стадия осадки сменяется стадией набухания, и грунт возвращается в исходное состояние.

В реальности может иметь место большое число вариантов циклов осадка- набухание в зависимости от гидрогеологических условий, состояния массива грунта, внешних воздействий и иных факторов.

Таким образом, набухающий грунт может быть описан как высокоподвижная и активная к взаимодействиям физико- химическая система, способная к интенсивному обратимому деформационно- пространственному поведению.

Физико- химическая природа набухающего грунта как циклической системы с чередующимися этапами сжатия- расширения непосредственно следует описанного выше свойства глинистого грунта- высокого сродства твердой основы скелета к жидкой фазе.

Характер взаимодействия набухающего грунта и нахождение его в одной из фаз сжатия- расширения определяется внутренним состоянием грунта и состоянием внешней среды.

Само взаимодействие грунта имеет внутренний и внешний аспект. Внутренне взаимодействие заключается в процессах водопоглощения в фазе расширения, и удалении воды из грунта в фазе его сжатия.

Один из значимых факторов деформационно- пространственной устойчивости набухающих грунтов- гидродинамический.

По закону Дарси скорость фильтрации w определяется из соотношения [8]:

$$w = \frac{k\Delta P^*}{\eta L}, \quad (2.6)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/с;

η – динамический коэффициент вязкости жидкой фазы;

L – длина образца, м;

Δp^* – приведенное давление, Па.

Из (2.6) следует, что скорость фильтрации тем выше, чем выше коэффициент фильтрации и градиент давления между грунтом и окружающей средой. Это означает, что деформационно- пространственная устойчивость грунтов находится в обратной зависимости от указанных параметров- коэффициента фильтрации и градиента давления.

Параметр динамического коэффициента вязкости жидкой фазы также оказывает влияние на деформационно- пространственную устойчивость грунтов- чем выше η , тем ниже деформационно- пространственная устойчивость.

2.3. Нормативные показатели набухающих глинистых грунтов

В [53] показано, что, к набухающим грунтам относятся глинистые грунты, для которых значение показателя:

$$\Pi = \frac{e_L - e_0}{1 + e_0} \geq 0,03 \quad (2.7)$$

где e_0 - коэффициент пористости грунта природного сложения и влажности; e_L - коэффициент пористости при влажности на границе текучести.

Параметр e_L находят из соотношения:

$$e_L = w_L \gamma_s / \gamma_w \quad (2.8)$$

В зависимости от величин относительной деформации набухания без нагрузки ε_{sw} в соответствии с ГОСТ [28] глинистые грунты подразделяются следующим образом (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Виды глинистых грунтов по показателю относительной деформации набухания без нагрузки ε_{sw} .

Разновидность глинистых грунтов	Относительная деформация набухания без нагрузки ε_{sw} , д. е.
Ненабухающий	< 0,04
Слабонабухающий	0,04 - 0,08
Средненабухающий	0,08 - 0,12
Сильнонабухающий	> 0,12

Относительная деформация набухания без нагрузки ε_{sw} , д. е. - отношение увеличения высоты образца грунта после свободного набухания в условиях невозможности бокового расширения к начальной высоте образца природной влажности [28].

Нормативные документы для набухающих грунтов устанавливают следующие параметры: относительное набухание при заданном давлении ε_{sw} , давление набухания p_{sw} , влажность набухания w_{sw} и относительную усадку при высыхании ε_{sh} .

Относительное набухание ε_{sw} , давление набухания p_{sw} и относительную усадку ε_{sh} определяют по результатам лабораторных испытаний (ГОСТ 24143) с учетом указанных в [53] причин набухания или усадки.

Подъем основания при набухании грунта h_{sw} определяют из соотношения:

$$h_{sw} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sw,i} h_i k_{sw,i} \quad (2.9)$$

где $\varepsilon_{sw,i}$ - относительное набухание грунта i -го слоя, определяемое в соответствии с (2.10);

h_i - толщина i -го слоя грунта, см;

$k_{sw,i}$ - коэффициент, определяемый в зависимости от суммарного вертикального напряжения $\sigma_{z,tot}$ на рассматриваемой глубине.

n - число слоев, на которое разбита зона набухания грунта.

Относительное набухание грунта i -го слоя определяется из соотношения:

$$\varepsilon_{sw} = (h_{sat} - h_n) / h_n, \quad (2.10)$$

где h_n - высота образца, см, природной влажности и плотности, обжатого без возможности бокового расширения давлением p , равным суммарному вертикальному напряжению на рассматриваемой глубине;

h_{sat} - высота того же образца, см, после замачивания до полного водонасыщения и обжатого в тех же условиях.

Изложенный выше метод основывается на предположении о полном замачивании грунтов основания, которые набухают в условиях без возможности бокового расширения. Эти условия не всегда имеют место в основаниях сооружения, особенно при неполном его замачивании.

Следует отметить, что как было показано ранее, набухание – сложное многофакторное явление. На параметры набухания влияют большое число факторов- плотность, влажность грунта, содержание коллоидной фракции, минералогический состав и др. Поэтому классификации по показателю относительной деформации набухания и относительной деформации просадочности не дают полной информации по испытываемому грунту. Для получения такой информации необходимо выполнение испытаний грунтов в условиях, приближенных к эксплуатационным воздействиям.

2.4. Анализ особенностей и характеристик глинистых грунтов Сирии

Набухающие грунты имеют широкое распространение по всему миру и занимают 2.42 % площади полушарий суши [92].

В Сирии набухающие грунты занимают около 10.5% от общей площади страны [1,39,65]. Эти грунты широко распространены в провинциях Хама, Деръа, Эс-Сувейда, Эль-Кунейтра, Алеппо, а также в городах Эль-Камышлы, Латакия, Хомс и Дейр-эз-Зор, и в других регионах, рис. 2.6. [1].

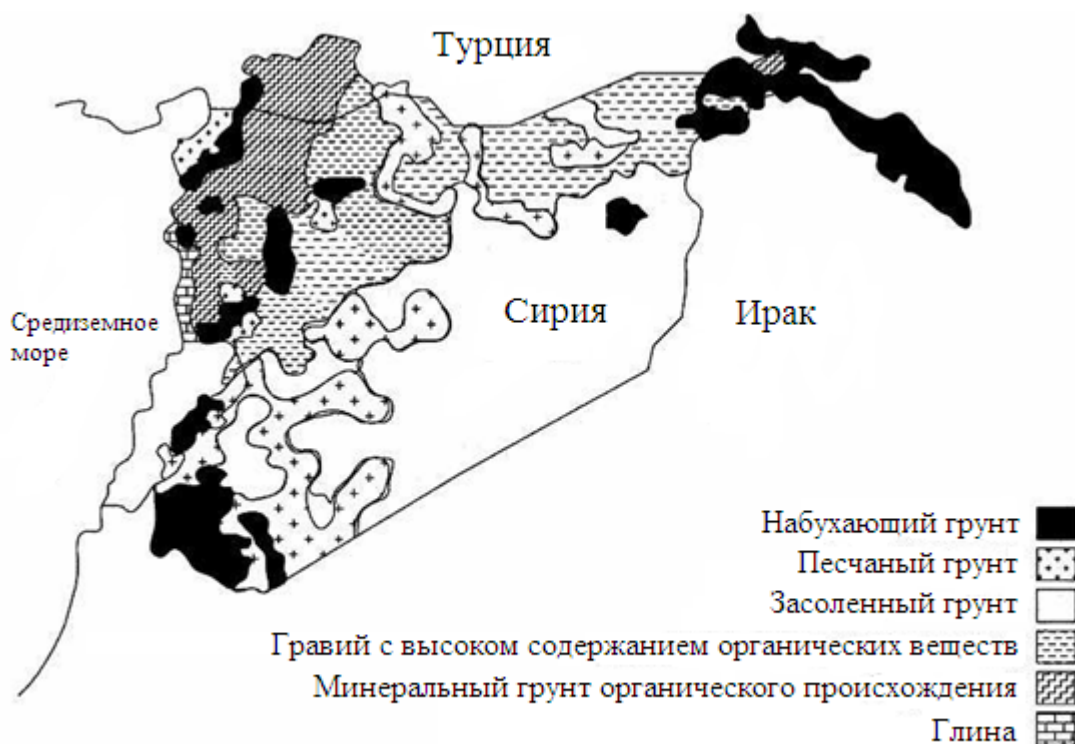


Рис. 2.6. Области распространения набухающих грунтов в Сирии [1].

В табл. 2.4 и 2.5 приведены характеристики глинистых грунтов, распространенных в Сирии (провинция Дерья).

Таблица 2.4

Физические характеристики глинистых грунтов Сирии (провинция Дерья) [65].

Место образца	Физические характеристики												
	Основные			Гранулометрия				Удельная поверхность m^2/g	пределы Аттерберга				
	w_n (%)	γ кн/ m^3	γ_s кн/ m^3	крупнозерни- стый	ил	глина	Коллоиды		Wl	Wp	Ws	IP	IR
Ашшажар а	36,3	18,4	26,9	11,2	28,8	41	19	136,19	96,6	41,3	8,6	55,3	87,7
Эзра	35	18,1	26,9	4,3	42,7	38	15	115,45	93,4	39,7	9,7	53,7	83,7
Аум валад	34	18,4	26,7	8,3	27,7	56	8	101,05	89,7	39,1	10,4	50,6	79,3
Махажа	34,8	18,6	27	6	43	32	19	96,25	87,6	38,6	11,36	49	76,24
Цииль	33,9	18,3	26,8	14	40	30	16	90,3	84,3	38	11,9	46,3	72,4
Дейр аль-адас	36	18,7	26,6	5,3	39,5	48	7,2	82,3	81	37,8	12,4	43,4	68,6
Шейх-Мискин	34,7	17,9	26,7	11,6	38,2	40	10,2	76,19	76	36	13,2	40	62,8
Сайда	34	18	26,8	15	40	25	20	75,96	73,4	35,6	14,7	37,8	58,7
Аль-Мзериб	32,5	18,3	26,5	7	33	49	11	69,84	72,3	35	15	37,3	57,3
Дерья	36,2	18,4	26,9	8	49,5	22	18,5	59,24	67,4	33,9	15,6	34,5	51,4

Таблица 2.5

**Механические характеристики глинистых грунтов Сирии (провинция
Дерья) [65].**

Место образца	Характеристик- и сдвига природных образцов		Условия Проктора		Характеристи- ки сдвига образцов согласно Проктору		Характеристики набухания природных образцов		Максимальное набухание (%) согласно Проктору
	C кп/м ²	Трение (степень)	w _{op} (%)	γ _d max кп/м ³	C кп/м ²	Трение (степень)	Максимальное набухание (%)	Давление набухания (кп/м ²)	
Альшажар а	51	7	25	14,1	59	16	4,51	203	17,9
Эзра	40	12	24	13,8	65	17	4,26	175	16,5
Аум валад	46	8	23,3	14,5	49	14	4,02	164	15,8
Махажа	48	6	24,3	14	71	18	3,35	151	14,7
Цииль	40	10	24	14,6	70	14	3,15	148	14,3
Дейр аль- адас	28	11	23,8	15,1	69	17	2,9	131	13,7
Шейх- Мискин	31	12	22,7	15,4	75	19	2,65	124	12,9
Сайда	10	9	32	15,2	60	15	2,43	107	12,4
Аль- Мзериб	26	14	21	14,8	74	13	1,98	94	11,4
Дерья	36	9	21,5	14,9	63	17	1,71	52	10

В таблице 2.6 представлены данные по степени набухания грунтов Сирии в соответствии с несколькими классификациями.

Эти классификации отличаются друг от друга по параметрам, принятым в качестве классификационного признака, например согласно классификации Rangana степень набухания определяется по числу усадки (IR), а согласно классификации Snethen степень набухания определяется по числу пластичности (IP).

Таблица 2.6

Степень набухания грунтов Сирии (провинция Дерья) [65].

Место отбора образца	Rangana	Holtz	Bre	Snethen	Ghen
Альшажара	очень высокая	от очень высокой до высокой	от очень высокой до высокой	очень высокая	от очень высокой до высокой
Эзра	очень высокая	от очень высокой до высокой	от очень высокой до высокой	очень высокая	от очень высокой до высокой
Аум валад	очень высокая	от очень высокой до высокой	от очень высокой до высокой	очень высокая	от очень высокой до высокой
Махажа	очень высокая	от очень высокой до высокой	от очень высокой до высокой	очень высокая	от очень высокой до высокой
Цииль	очень высокая	от очень высокой до высокой	от очень высокой до высокой	очень высокая	от очень высокой до высокой
Дейр аль-адас	высокая	от очень высокой до средней	от очень высокой до средней	очень высокая	от очень высокой до высокой
Шейх-Мискин	высокая	от очень высокой до средней	от очень высокой до средней	очень высокая	от очень высокой до высокой
Сайда	высокая	от очень высокой до средней	от очень высокой до средней	очень высокая	от очень высокой до средней
Аль-Мзериб	очень высокая	от очень высокой до средней	от очень высокой до высокой	очень высокая	от очень высокой до высокой
Дерья	высокая	от высокой до средней	от высокой до средней	высокая	от очень высокой до высокой

Анализ характеристик глинистых грунтов, приведенных в табл. 2.4-2.6, позволяют сделать выводы:

- по степени набухания грунты находятся в диапазоне от средней до высокой, а иногда до очень высокой, что подтверждает комплекс показателей пластичности, предела текучести, предела усадки и других характеристик;
- высокое содержание иловой компоненты, которая по характеристикам дисперсности может быть отнесена к коллоидным частицам;

- усадка грунтов представляет значимую опасность для объектов, находящихся в этом регионе, особенно в случае оснований мелкого заложения.

В работах [6,41] приведены более подробные данные по набухающим грунтам Сирии.

В [41] исследовали набухающие грунты провинции Дерья на юге Страны.

В глинистых породах установлено присутствие монтмориллонита, каолинита, гидрослюда (иллит, гидробиотит, гидромусковит), коллодно-дисперсного кварца, полевых шпатов (олигоклаз, альбит).

Анализ гранулометрического состава четвертичных глинистых грунтов показывает, что исследуемые глины высокодисперсны и содержание глинистых частиц составляет более 50%, табл.2.7.

Таблица 2.7

Гранулометрический состав четвертичных глинистых грунтов Сирии.

Наименование грунта	Количество определений	Содержание частиц, %							
		Крупность > 0,05 мм		Крупность 0,05 - 0,005 мм		Крупность 0,005 - 0,001 мм		Крупность < 0,001 мм	
		Инте- рвал расп- реде- ления	Сред- нее значе- ние	Инте- рвал расп- реде- ления	Сред- нее значе- ние	Инте- рвал расп- реде- ления	Сред- нее значе- ние	Инте- рвал расп- реде- ления	Сред- нее значе- ние
Глина красно-коричневая, четвертичная в интервале: 0 – 3 м	28	8-17	12	18-59	34	26-65	38	11-24	16
3 – 5 м	19	8-15	10	21-60	34	31-56	40	9-25	16
5 – 10 м	17	7-18	10	17-58	32	30-62	44	10-24	14
Более 10 м	12	5-16	9	18-54	33	35-65	48	8-21	10

По величине удельной поверхности минеральные компоненты глин характеризуются высокими и сверхвысокими значениями: каолинит $A_y = 5-30$ м²/г, иллит $A_y = 50-100$ м²/г, монтмориллонит $A_y = 600-800$ м²/г.

Необходимо отметить, что возможны некоторые методические несоответствия при определении размеров частиц глинистых грунтов (табл.2.7) в сопоставлении с данными измерения удельной поверхности.

Удельная поверхность частиц и их радиус r , связаны соотношением:

$$A_y = \frac{3}{r\rho}, \quad (2.11)$$

где ρ_m – плотность твердой фазы; r – радиус сферы.

Пересчет радиусов частиц по (2.11) исходя из величин удельной поверхности минеральных компонент глин при плотности 1,8 г/см³ дает следующие значения радиусов: каолинит- 0,33- 0,056 мкм; иллит- 0.033-0,016 мкм; монтмориллонит- 0,0028- 0,0021 мкм.

Полученные значения радиусов частиц существенно ниже приведенных в табл. 2.7. Принимая во внимание, что как правило метод определения удельной поверхности дает достаточно достоверные значения, можно допустить, что при определении размеров частиц (табл. 2.7) не были в должной мере учтены факторы слипания частиц, что особенно характерно для ультрадисперсных частиц.

Коллоидная фракция в силу исключительно высокого сродства с водой определяет главные свойства набухающих грунтов- влагопоглощение, влажность, пористость, способность к набуханию, деформационные свойства и ряд других свойств. Помимо содержания дисперсных частиц влияние на величину набухания глин провинции Дерья оказывают начальная влажность и плотность грунта, глубина его залегания и давление на грунт.

*Погодно-климатические факторы деформационной активности
набухающих грунтов Сирии на примере провинции Дерья*

Значение и роль погодно-климатических факторов деформационной активности набухающих грунтов Сирии прослежено на примере провинции Дерья в [41].

По климатическим и природным условиям провинция Дерья относится к переходной степной зоне средиземноморского типа. Среднегодовая температура колеблется в пределах 11,3–17,4°C. Наиболее жаркими месяцами являются июнь- сентябрь, холодными- ноябрь-февраль, абсолютный температурный максимум приходится на август $t=34^{\circ}\text{C}$, а минимум на январь и февраль $t=3^{\circ}\text{C}$ (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Температура воздуха в провинции Дерья по месяцам.

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Среднемесячная температура, °C	7	9	12	15	20	24	25	25	23	20	15	13
Абс.температурный максимум, °C	14	16	19	23	28	32	33	34	31	28	22	16
Абс.температурный минимум, °C	3	3	5	8	11	15	18	18	15	12	8	5

Количество осадков в среднем колеблется от 350 до 400 мм в год. Подавляющее количество атмосферных осадков выпадает в период с декабря по май (табл. 2.9). Сумма осадков в этот период составляет 87% суммы годовых осадков. В связи с этим можно выделить два сезона: сезон дождей – декабрь–май, и сухой сезон – июнь–ноябрь.

Таблица 2.9

**Количество атмосферных осадков и влажность воздуха в провинции
Дерья по месяцам.**

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Среднемесячное количество осадков, мм	35	40	60	35	10	0–5	0	0	0	25	40	75
Влажность, %	70	70	65	60	55	50	55	60	60	50	60	70

Показано, что основной причиной, вызывающей деформации зданий и инженерных сооружений, возведенные на четвертичных глинах в провинции Дерья являются деформации набухания-осадки, вызванные сезонными колебаниями количества атмосферных осадков и температуры воздуха.

При этом отмечены значительные деформации грунтовых массивов: амплитуда колебаний поверхности открытой площадки в среднем составляла 45 мм, а подъем поверхности экранированной площадки в ее центре за 3,5 года составил 155 мм; неравномерность подъема центра площадки и ее краев составляет 100 мм, рис.2.7.

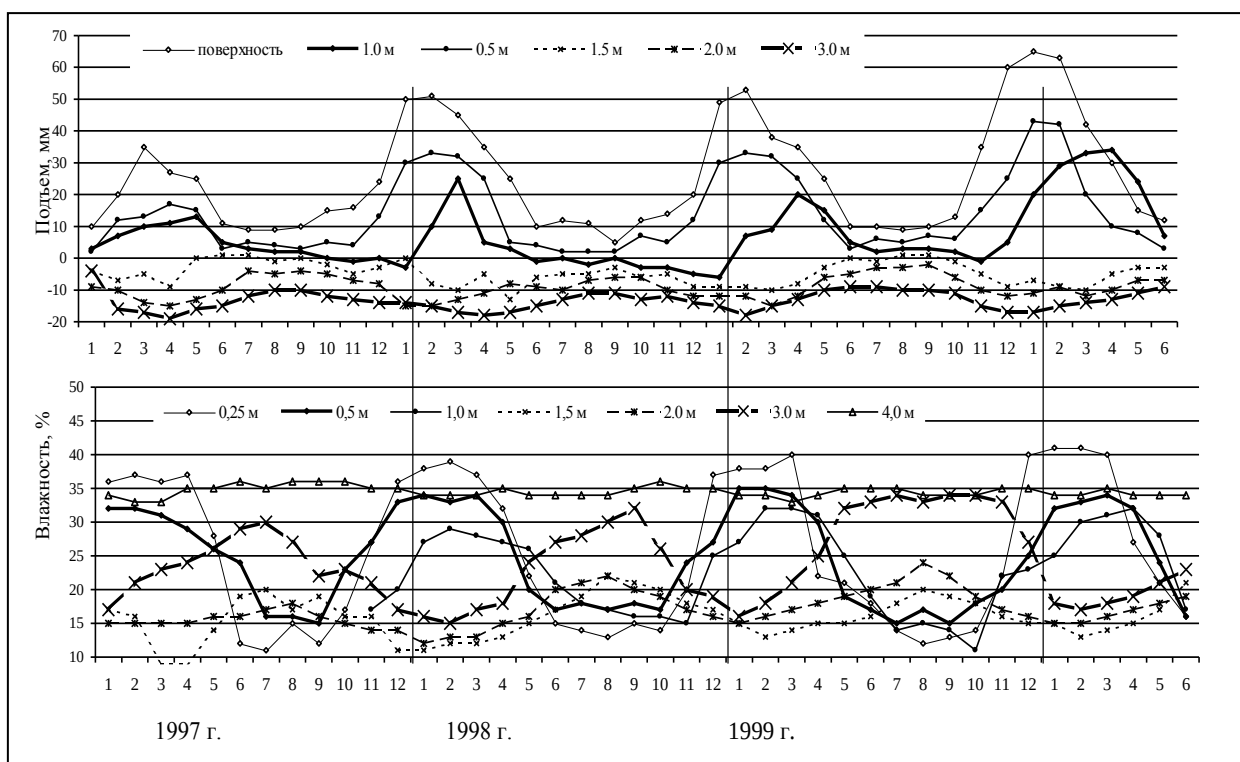


Рис. 2.7. График изменения деформации и влажности грунтов на открытой площадке по годам.

Введенное ранее понятие деформационно-пространственной стабильности применительно к набухающим грунтам в основании зданий имеет особый смысл, состоящий в том, что грунты в основаниях работают в условиях ограничений степеней свободы:

- часть массива набухающего грунта, находящегося в пределах площади фундамента, воспринимает непосредственную нагрузку от здания и тем самым ограничена в свободе перемещения в вертикальном направлении;
- другая часть массива набухающего грунта, находящаяся за пределами площади фундамента, не воспринимает непосредственную нагрузку от здания и имеет свободу перемещения в вертикальном направлении.

В результате создаются условия для неравномерности осадок по основанию зданий.

Таким образом, на основании анализа приведенных выше данных можно указать на ряд существенных признаков набухающих грунтов Сирии:

- набухающие грунты Сирии характеризуются высоким содержанием коллоидной фракции, что наряду с другими свойствами придает этим грунтам качества высокой деформационной способности в циклах набухания- усадки;
- погодно-климатические факторы имеют решающее значение в инициации деформации набухания-осадки, что ведет к повреждениям зданий и инженерных сооружений;
- массивы набухающих грунтов Сирии с учетом действия погодно—климатического фактора могут рассматриваться как элементы тонкой оболочки земной коры наиболее сильно в сравнении с другими породами взаимодействующие с атмосферой, при этом взаимодействие сопровождается интенсивным тепло-массообменом.

Из вышесказанного вытекает, что при решении задачи защиты строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений от влияния подземных горно-строительных работ необходимо принять во внимание следующие обстоятельства:

- высокую деформационную способность массивов набухающих грунтов в циклах набухания- усадки;
- погодно—климатические условия Сирии, характеризующиеся резкой сменой сезона дождей на засушливый жаркий сезон;
- факторы техногенных воздействий в связи с использованием в плотной городской застройке современных интенсивных геотехнологий, способных инициировать деформационные процессы в основании зданий и сооружений при их строительстве на набухающих массивах.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. Установлено, что набухающие грунты Сирии характеризуются рядом существенных признаков:

- высоким содержанием коллоидной фракции, что наряду с другими свойствами придает этим грунтам качества высокой деформационной способности в циклах набухания- усадки;
- преобладающим влиянием погодно-климатических факторов на процессы деформации грунтового-породного массива.

2. Показано, что при решении задачи защиты строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений от влияния подземных горно-строительных работ необходимо принять во внимание характерные признаки набухающих грунтов и погодно—климатические условия Сирии.

3. Разработана модель глинистого грунта как сложной динамической тиксотропной системы твердое- жидкое, и совокупности двух взаимодополняющих непрерывных континуумов- твердого скелета, выстроенного из минеральных гидратированных частиц, и жидкой фазы, с помощью которой осуществляется массоперенос по открытому поровому пространству.

4. Для определения осадки набухающих массивов предложены к использованию аналитические соотношения консолидации грунта Терцаги—Герсеванова.

ГЛАВА III. МЕТОДЫ КОРРЕКТИРОВКИ РАСЧЕТНЫХ СООТНОШЕНИЙ ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВО-ПОРОДНОГО МАССИВА ОСНОВАНИЙ НА НАБУХАЮЩИХ ГРУНТАХ

3.1. Методы расчета деформаций грунтово-породного массива оснований зданий и сооружений

В настоящее время известно большое число методов расчета деформаций грунтово-породного массива оснований зданий и сооружений [3,4,9,52,53,88,89].

Базовые методы расчета оснований исходят из двух предельных состояний— по несущей способности и по предельным деформациям, табл.3.1 [4].

Таблица 3.1

Предельные состояния основания.

1	По несущей способности: $N \leq \frac{\gamma_c \cdot P_{np}}{\gamma_q}$	N – заданная расчетная нагрузка на основание в наиболее невыгодной комбинации; P_{np} – несущая способность (предельная нагрузка) основания для данного направления нагрузки N ; γ_c – коэффициент условия работы основания (<1); γ_q – коэффициент надежности (>1).
2	По предельным деформациям: $S_{pac} \leq S_{u.s.}$ $\Delta S_{pac} \leq \Delta S_{u.s.}$	S_{pac} – расчетная абсолютная осадка фундамента; ΔS_{pac} – расчетная относительная разность осадок фундаментов; $S_{u.s.}$ $\Delta S_{u.s.}$ – предельные величины, соответственно абсолютной и относительной разности осадок фундаментов (СНиП 2.02.01–83*)

Согласно требованиям норм [52], расчет оснований и фундаментов зданий и сооружений на набухающих грунтах производят по второму предельному состоянию— по деформациям, а при необходимости и по первому—по несущей способности.

Цель расчета по предельным состояниям – ограничение усилий (по первому предельному состоянию) или деформаций (по второму предельному состоянию), чтобы эти предельные состояния не наступили, то есть чтобы была обеспечена в дальнейшем возможность эксплуатации здания или сооружения.

Рассмотрим основные методы расчета осадки основания.

В табл.3.2 приведены сравнительные данные по методам расчета осадки основания, в которую наряду с методами послойного суммирования и эквивалентного слоя включены также методы расчета осадки основания на структурно-неустойчивых грунтах и на скальных грунтах, элювиальных грунтах, при закарстовании и на подрабатываемых территориях.

Значительные усилия ученых и специалистов направлены на учет свойств грунтов, деформационное поведение которых отличается от линейной зависимости между напряжениями и деформациями.

В условиях современной плотной городской застройки при активном освоении подземного пространства решение проблемы устойчивости зданий и сооружений возможно при совместном расчете основания и сооружения.

Таблица 3.2

Сравнительные данные по методам расчета осадки основания зданий и сооружений.

№	Наименование метода	Достоинства метода	Недостатки метода	Область применения
1	Метод послойного суммирования [88]	Позволяет оценивать многослойные основания	Высокая трудоемкость, Недостаточная методическая отработка на связных грунтах	Многослойные основания
2	Метод эквивалентного слоя [88]	Большой опыт применения в строительстве зданий	Недостаточная методическая отработка на связных грунтах	Расчет оснований на упруго деформируемых грунтах
3	Метод расчета осадки основания на структурно-неустойчивых грунтах [3,53,89]	Большой опыт применения на мерзлых, лессовых просадочных, заторфованных и ряде других грунтах	Недостаточная методическая отработка для оснований на подрабатываемых территориях	Расчет оснований на мерзлых, лессовых просадочных, заторфованных и ряде других грунтах
4	Метод расчета осадки основания на скальных грунтах, элювиальных грунтах, при закарстовании и на подрабатываемых территориях [53]	Опыт применения на скальных грунтах, элювиальных грунтах, при закарстовании и на подрабатываемых территориях	Недостаточная методическая отработка для оснований на связных грунтах	Расчет оснований на скальных грунтах, элювиальных грунтах, при закарстовании и на подрабатываемых территориях
5	Метод С. Н. Сотникова – определение доп. осадки от соседнего строительства [72] $S_{ad} \leq S_{ad.u.}$	Позволяет нормировать дополнительные деформации от соседнего строительства	Оценивается только статическая компонента осадки (метод в следствие улучшен Улицким В.М., Шашкиным А.Г.1998 г.)	Расчет осадок зданий на глинистых грунтах
6	Модель Винклера: предпосылка – прямая пропорциональность между давлением и местной осадкой [82]	Пригодна для некоторых упрочняющихся грунтов.	Не дает возможность оценки напряженно-деформированного состояния неоднородного массива грунтов.	Упрощенные модели.
7	Билинейная (упругопластическая модель) [25]	Позволяет оценивать сочетание упругих и пластических деформаций.	Не учитывает тиксотропные свойства грунтов.	Расчет осадок зданий на упругопластичных грунтах
8	Двухконстантная модель (К.Г. Шашкин,1999) [82]	Параметры модели привязаны к физико-механическим характеристикам грунтов.	Сложность расчетных схем.	Расчет осадок зданий на глинистых грунтах

9	Нелинейная упрочняющаяся вязко-упруго-пластическая модель грунта (Шашкин А. Г., 2005) [81]	Позволяет учесть формоизменение глинистых грунтов-основной составляющей деформации	Сложность определения параметров грунтов.	Расчет осадок зданий на глинистых грунтах
10	Усложненные модели на основе численных методов (МКЭ, МГЭ и др)- - билинейная, неоднородная и многослойная с реализацией в SCAD-KPOCC и аналогичные решения [13].	Позволяет учесть физическую нелинейность грунта неоднородность грунтового основания, а также конечную жесткость фундамента и здания	Сложность расчетных схем.	Применима к неоднородным основаниям.

Анализ методов расчета осадки основания зданий и сооружений

Приведенные в табл.3.2 методы - С. Н. Сотникова, двухконстантная модель и ряд других представляют собой примеры современных геотехнических решений.

Обобщение комплекса методов расчета осадки основания зданий и сооружений дает возможность сделать ряд замечаний:

- базовое направление развития представленных методов состоит в постоянном усложнении технических подходов и решений с переходом от примитивных к многофакторным моделям;
- в совокупности методов расчета осадки основания центральное место занимает модель грунта;
- усложнение методов расчета осадки основания происходит по принципу углубления моделей грунта и привнесения новых групп факторов - расчета сооружений;
- анализ проблем, связанных с выполнением совместных расчетов оснований и конструкции зданий, данный Улицким В.М., Шашкиным А.Г. и Шашкиным К.Г. в одной из лучших современных монографий [82], показывает, что выполнение таких расчетов требует весьма

высокой квалификации специалистов, и в случае недостаточно уровня знаний ошибки могут иметь катастрофические последствия.

В отношении расчета оснований на набухающих грунтах можно отметить, что одним из нововведений стало привнесение в расчетные схемы фактора *формоизменение глинистых грунтов*- основной составляющей деформации этих грунтов. В этой связи можно указать, что предложенное нами понятие *деформационно- пространственной устойчивости* грунтов представляет собой аналог понятия *формоизменение глинистых грунтов*.

Приобретает актуальность вопрос о факторах формоизменения набухающих грунтов, например, о том, как влияет пространственное ограничение (степени свободы) на формоизменение грунта.

Еще один важный фактор в расчетах оснований на набухающих грунтах - неоднородность грунтового основания, обусловлен высокой деформационной способностью набухающих грунтов.

При обсуждении вопроса о возможности усовершенствования методов расчета оснований на глинистых грунтах необходимо принять во внимание мнение ряда ученых [13,20,49,81].

Так, Голли О. Р. указывает, что ряд характеристик набухающих грунтов (давление набухания и влажность набухания) являются многофункциональными характеристиками и однозначно определяться не могут [20]. Другие характеристики (деформации свободного набухания ε_{sw} , давления набухания p_{sw} не могут быть достоверно измерены, поскольку в существующие методики необходимо внесение поправок на основе некоторых неизвестных в широкой практике закономерностей процессов набухания.

В исследовании [49] показано, что серьезные трудности возникают при определении модулей деформации грунта.

Улицкий В. М. с сотрудниками указывает, что при лабораторных испытаниях глинистых грунтов, характерных для Санкт-Петербурга (Россия), не удастся выявить так называемую структурную прочность или коэффициент переуплотнения [81].

3.2. Физические модели грунта при разработке усовершенствованных методов расчета грунтово-породного массива осадки основания зданий и сооружений

Приведенный выше анализ комплекса методов расчета осадки основания зданий и сооружений показывает, что перспективы создания усовершенствованных методов расчета осадки основания зависят главным образом от качества моделирования грунта. Однако до настоящего времени многие вопросы природы и моделирования грунтов остаются недостаточно проясненными. В наибольшей степени это относится к глинистым грунтам.

Одно из проявлений слабости научной основы представления о глинистых грунтах состоит в недостаточной отработанности методических решений определения характеристик грунтов.

Покажем это на примере набухающих грунтов.

Как было показано, ряд нормативных характеристик набухающих грунтов не могут быть определены при лабораторных испытаниях.

При расчетах оснований зданий особое значение придается прочностным показателям грунтов (ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости), поэтому рассмотрим простейший случай испытания идеального образца водонасыщенного набухающего грунта в условиях одностороннего сжатия без возможности отвода поровой жидкости, рис.3.1.

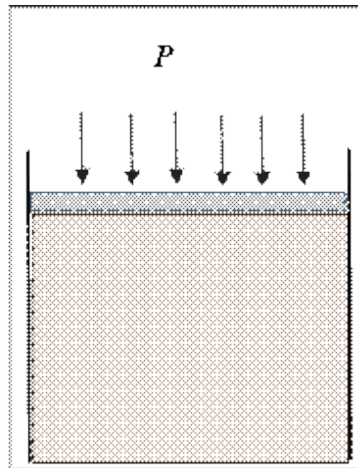


Рис. 3.1. Испытание образца водонасыщенного набухающего грунта в условиях одностороннего сжатия без возможности отвода поровой жидкости.

В этих условиях в соответствии с основополагающими принципами Терцаги- Герсеванова нагрузка воспринимается поровой жидкостью, а затем передается на скелет грунта, и его перекомпоновка- уплотнение определяют деформационное поведение грунта. Однако в водонасыщенном грунте структурные пустоты отсутствуют, все пространство грунта занято либо минеральными частицами, либо поровой жидкостью. При этом и жидкость, и минеральные частицы практически несжимаемы, а это значит, что прочность на сжатие такого образца окажется сколь угодно велика.

Если же изменить схему опыта, и допустить отвод воды, то условная прочность на сжатие окажется тем меньше, чем больше площадь отвода жидкости.

Если взять противоположное водонасыщенному глинистому грунту состояние- усаженный обезвоженный до известного предела глинистый грунт, то такой грунт может утратить связность, и будет представлять собой

дисперсную структуру. Прочностные свойства такого грунта будут иметь мало общего с водонасыщенным грунтом.

Из этого следует, что применительно к набухающим грунтам стандартные испытания на прочность могут давать недостоверные результаты.

Не менее сложно трактовать результаты определения упругих свойств набухающих грунтов, поскольку теоретические представления волновых процессов в таких средах еще мало изучены, и природа их неясна [16,24].

Кроме того, при испытаниях глинистых грунтов необходимо учитывать фактор тиксотропии- способности грунта к восстановлению структурных связей.

Таким образом, существует проблема методов определения и трактовки результатов определения прочностных и упругих свойств набухающих грунтов.

В связи с этим перспективным для исследования набухающих грунтов выглядит использование физических моделей грунта, основанных на применении таких параметров как плотность, объем и скорость отвода или поглощения воды, влагоемкость, водопроницаемость и влажность грунтов. Использование методов физического моделирования набухающих грунтов может рассматриваться как дополнение.

Гидродинамическая модель набухающих грунтов

Цель гидродинамического моделирования набухающих грунтов- изучение закономерностей механизмов развития деформационных процессов в набухающих грунтах в циклах набухания-усадки с использованием классических задач деформации грунта Терцаги – Герсеванова.

Как указывалось, выше, глинистые грунты наиболее сложные в плане деформационного поведения материальные системы. Эти грунты

характеризуются интенсивным взаимодействием скелета грунта и жидкой фазы, что приводит к большому числу эффектов:

- сложному деформационному поведению, в котором сочетаются элементы упругости, пластичности и вязкости;
- интенсивным и во многих случаях высокоинтенсивным (набухающие грунты) массообменом с окружающей средой;
- нелинейным проявлениям на деформационных кривых;
- внезапной потерей устойчивости при длительном нагружении (провалы породы);
- релаксационными эффектами- тиксотропией, способностью грунта к восстановлению структурных связей и свойств после снятия воздействия.

Набухающий грунт может находиться как в стадии увеличения объема (разжижения), так и в стадии усаживания (уплотнения).

В качестве экспериментальной основы гидродинамической модели использованы данные по набухающим грунтам Сирии, характеризующиеся рядом существенных признаков:

- высоким содержанием коллоидной фракции, что наряду с другими свойствами придает этим грунтам качества высокой деформационной способности в циклах набухания- усадки;
- преобладающим влиянием погодно-климатических факторов на процессы деформации грунтово-породного массива.

Рассмотрим систему характеристик грунта, связанных с процессами его взаимодействия с водой.

Различают влагоемкость, водопроницаемость и влажность грунтов [4].

Коэффициент водонасыщения грунта (степень влажности):

$$G = \frac{W}{W_0} \quad (3.1)$$

W - природная влажность; W_0 – влажность, при которой все поры заполнены водой (полная влагоемкость).

$$W_0 = \frac{m_2}{m_1} = \frac{n\rho_w}{m\rho_s} = \frac{e\rho_w}{\rho_s} \quad (3.2),$$

Где m_2 - масса воды в порах; m_1 - масса твердых частиц;

ρ_w , ρ_s - плотность воды и твердых частиц, соответственно.

Влагоемкость связного грунта может превышать количество воды, которое необходимо, чтобы заполнить все поры грунта. Это превышение может иметь место в том случае, когда твердая основа грунта способна к поглощению и удержанию большого количества водной фазы. Такой эффект объясняется высоким сродством твердой основы грунта к водной фазе. Природа этого эффекта имеет физико-химическую и химическую основу. Результатом активного водообмена – водоотдачи и водопоглощения – становится усаживание и набухание грунта.

Фильтрационные характеристики глинистых грунтов

По закону Дарси количество воды, прошедшей через грунт, определяется из соотношения:

$$\Theta = tFK_{\phi}I \quad (3.3)$$

где t - время, F - площадь фильтрации пористой среды, I - гидравлический напор; K_{ϕ} - коэффициент фильтрации.

$$I = \frac{H - H_1}{L}, \quad (3.4)$$

где $H - H_1$ - разность давлений, созданных на концах испытуемого образца;
 L - длина испытуемого образца породы.

Фильтрационная проницаемость песков (несвязных грунтов) и глин (связных грунтов) принципиально отлична друг от друга, рис. 3.2.

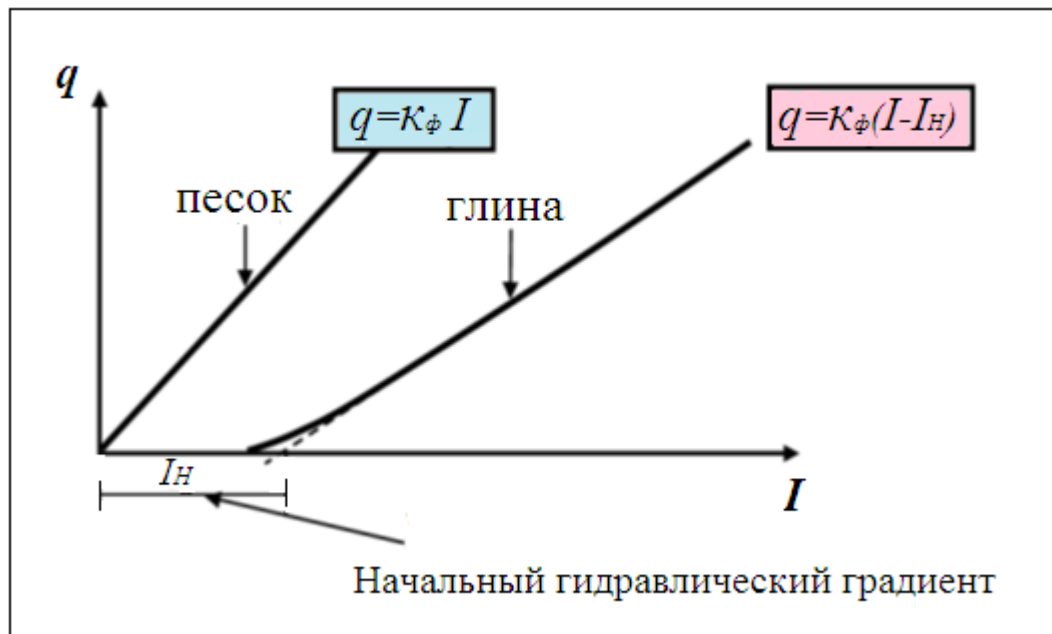


Рис. 3.2. Фильтрационная проницаемость песков и глин.

Коэффициент фильтрации глин на несколько порядков ниже, чем у песка. Кроме того, для начала фильтрации жидкости через глинистый грунт необходимо преодоление начального напора.

Таким образом, фильтрация, водоотдача и водопоглощение – основные физико-химические процессы, в результате которых глинистый грунт деформируется с набуханием или усаживанием. Следует отметить, что набухающие глинистые грунты относятся к водонасыщенным системам, в которых поры заполнены водой.

При описании деформации грунта используются традиционные модели Терцаги-Герсеванова [18,73], при создании которых были сделаны допущения, согласно которым считалось, что после приложения давления к грунтам основания все давление воспринимается поровой водой, а давление в скелете грунта равно нулю. По мере отжатия поровой воды из водонасыщенного грунта основания падает поровое давление и развивается давление в скелете грунта. В [21] показано, что эти допущения в отношении водонасыщенных глинистых грунтов не соответствуют экспериментальным данным.

В настоящее время получает подтверждение мнение, что глинистые грунты не подчиняются закону Дарси [3,24].

Отклонение от закона Дарси возможно в двух случаях: а) больших скоростей движения жидкости в поровом пространстве и б) отличии реологических соотношений фильтрующейся жидкости от закона Навье – Стокса, описывающих движение вязкой ньютоновской жидкости [40].

Неньютоновское поведение жидкостей в глинистых грунтах может иметь место по причинам:

- изменения характера движения жидкости за счет физико-химического взаимодействия жидкости со стенкой, что ведет к преимущественно турбулентному движению;
- замедления движения жидкости по капиллярным каналам грунта.

Согласно [21], механизм транспорта воды через глинистые породы состоит в движении воды по наиболее крупным порам. Малые поры полностью заняты прочносвязанной водой, и через них транспорт жидкости не происходит.

В табл. 3.3 приведены экспериментальные параметры газо- и водопроницаемости глинистых пород.

Таблица 3.3

Газо- и водопроницаемости глинистых пород [21].

Номер образца	Геологический возраст	Глубина отбора, м	$k_n^g, 10^{-4} \text{ мкм}^2$	$k_n^в, 10^{-6} \text{ мкм}^2$	$k_n^g/k_n^в$
<i>Для глин</i>					
1	D ₃ sv	227	2,24	0,36	620
2	D ₃ sv	229	1,85	0,11	1700
3	D ₃ sv	239	1,84	0,24	770
4	D ₃ sv	244	3,47	0,24	1400
5	D ₃ sv	267	7,51	0,87	860
6	D ₁ km	391	1,31	0,12	1100
7	J ₁ mk ₂ +	501	0,51	0,072	710
8	+ J ₂ it	599	15,2	0,96	600
9	J ₂ it	675	12,6	0,25	2900
<i>Для аргиллитов</i>					
1	S ₁	701	0,34	0,25	140
2	O ₃	798	0,16	0,13	120
3	J ₂ it	604	1,6	0,89	180
4	J ₂ it	624	1,32	0,41	90
5	O ₂	1160	2,45	0,65	380
6	O ₁	1200	2,6	0,8	330
7	O ₁	1210	0,27	0,062	430
8	O ₁	1215	0,6	0,23	260
9	O ₁	1220	3,7	0,54	690
10	O ₁	1248	0,32	0,18	180

K_n^g - проницаемость образца по газу (воздуху), $K_n^в$ проницаемость образца по воде.

Сопоставление данных табл.3.3 показывает, что существует большое различие в проницаемостях одних и тех же образцов по газу и воде: проницаемость по газу и воде может отличаться на три порядка. Различия указанных проницаемостей в целом для глин больше, чем для аргиллитов.

Согласно [84,88], коэффициенты фильтрации глинистых грунтов при давлении 0,1-0,2 МПа составляют:

- супеси $K_{\phi} = r(10^{-3} \div 10^{-6})$ см/с;
- суглинки $K_{\phi} = r(10^{-5} \div 10^{-8})$ см/с;
- глины $K_{\phi} = r(10^{-7} \div 10^{-10})$ см/с;

где r –любое число от 1 до 9.

Приведенные данные по коэффициентам фильтрации для глинистых грунтов имеют принципиальное значение в понимании природы деформации этих грунтов.

Прежде всего, следует отметить исключительно широкий диапазон разброса значений коэффициентов фильтрации глинистых грунтов, составляющий семь десятичных порядков. Даже в пределах одного типа грунтов, например, глин разброс значений коэффициента фильтрации составляет три порядка.

При оценивании этого эффекта необходимо иметь в виду, что супеси, суглинки и глины, упомянутые выше, имеют близкие показатели по плотности и пористости, а значит потенциально равные возможности для прохода жидкой фазы через свой объем.

Закономерность изменения коэффициентов фильтрации глинистых грунтов, приведенная выше, может быть прослежена с привлечением классификации глинистых грунтов, табл.2.2 (глава 2).

Как видно из табл.2.2, в ряду от супеси до глины наблюдается существенный рост содержания тонких дисперсных частиц, что в сопоставлении коэффициентами фильтрации этих грунтов позволяет сделать предположение о существовании зависимости коэффициентов фильтрации от содержания тонких частиц.

В качестве меры содержания тонких частиц принят параметр C_q – средний показатель содержания тонких частиц в глинистых грунтах, табл.2.3. Усредняя показатели содержания тонких частиц по видам грунта, имеем для глины $C_{q-г} = 65$; суглинка $C_{q-суг} = 20$; супеси $C_{q-суп} = 6,5$.

На рис. 3.3 представлена зависимость отрицательного логарифма коэффициенты фильтрации от содержания тонких частиц – параметра C_q .

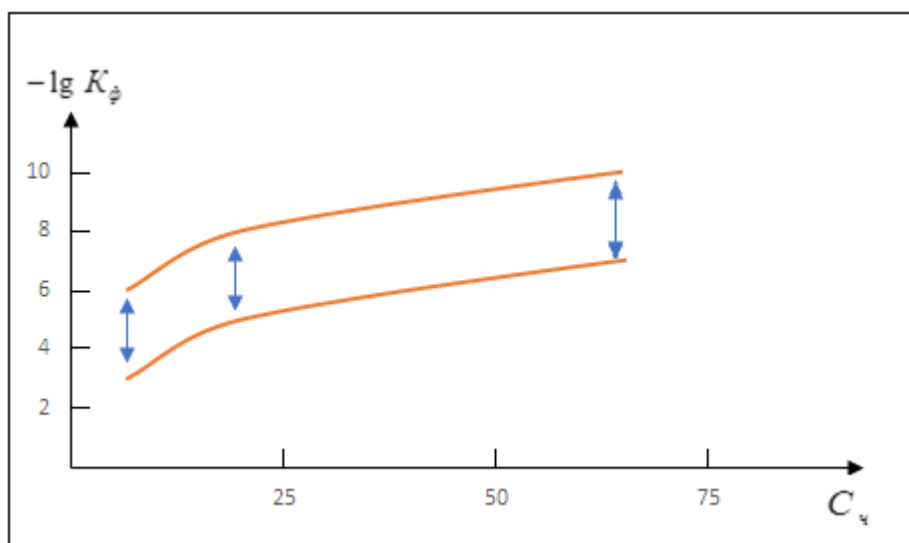


Рис. 3.3. Зависимость отрицательного логарифма коэффициенты фильтрации от содержания тонких частиц – параметра C_q .

Как видно из рис. 3.4, существует отчетливая зависимость между отрицательным логарифмом коэффициента фильтрации и содержанием тонких частиц C_q .

Увеличение доли коллоидных глинистых веществ в грунтах может вызывать закупорку транспортных пор, что и становится причиной резкого падения коэффициенты фильтрации глин в сравнении с суглинками и супесями.

С другой стороны, между содержанием тонких частиц и показателями набухания так же существует связь.

Так, по данным Сорочана Е. А. между числом тонких частиц и набуханием ε_{sw} существует зависимость, характер которой представлен на рис. 3.4 [71].

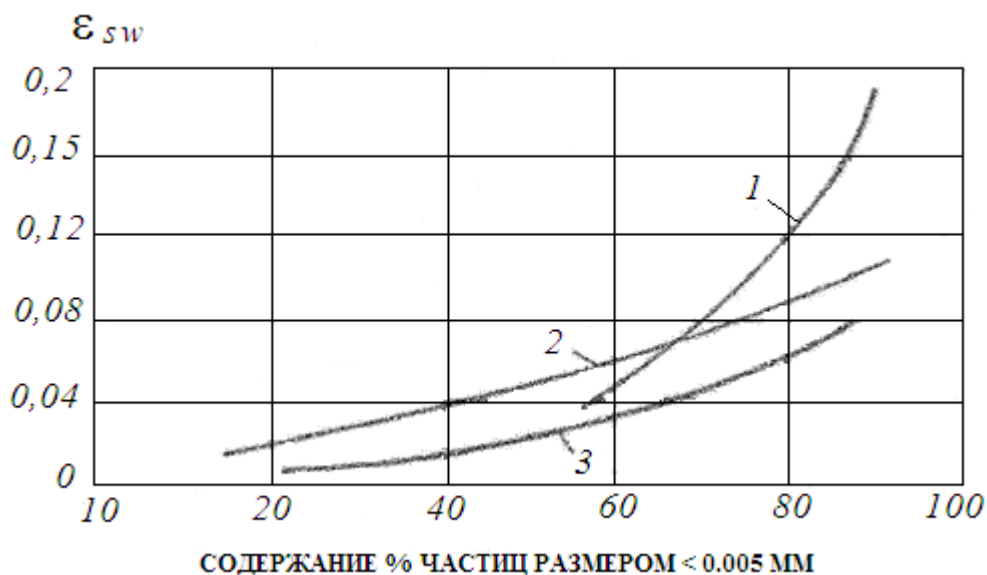


Рис. 3.4. Зависимость набухания от количества частиц размерами менее 0,005 мм для глин: 1- хвалынские; 2- сарматские; 3- киммерийские.

По результатам испытаний нескольких глин установлено (рис.3.4), что:

- с увеличением числа тонких частиц отмечается рост набухания и скорость набухания;
- характер зависимости набухания от количества тонких частиц определяется видом грунта.

Кроме того, по приведенным ранее данным набухающие грунты Сирии характеризуются высоким содержанием коллоидной фракции, что наряду с другими свойствами придает этим грунтам качества высокой деформационной способности в циклах набухания- усадки.

Таким образом, фактор содержания тонкой коллоидной фракции может рассматриваться как значимый при разработке гидродинамического моделирования набухающих грунтов.

3.3. Определение расчетных параметров гидродинамической модели глинистых грунтов с учетом отклонений от закона Дарси

Один из значимых факторов деформационно-пространственной устойчивости набухающих грунтов – гидродинамический.

Для закона Дарси было использовано соотношение, в котором скорость фильтрации w определяется из [2]:

$$w = \frac{k_{\phi} \Delta P^*}{\eta L}, \quad (3.5)$$

где k_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/с;

η – динамический коэффициент вязкости жидкой фазы;

L – длина образца, м;

Δp^* – приведенное давление, Па.

Соотношение (3.5) отличается от другой формы записи закона Дарси (3.3) тем, что в (3.5) присутствует параметр динамического коэффициента вязкости жидкой фазы. Вместе с тем, в случае отклонения от закона Дарси в аналитические записи должны быть внесены изменения, отвечающие характеру искажений закона Дарси.

Как было показано в п. 3.2. причина отклонения от закона Дарси может состоять в том, что реологические свойства поровой жидкости не подчиняются закону Навье – Стокса.

Рассмотрим условия движения жидкости по трубе как равноценной поре грунта.

Согласно Ландау-Лившица [40] для жидкости, движущейся по трубе, можно записать следующие соотношения.

Уравнение Навье-Стокса имеет вид:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial w^2}{\partial z^2} = \frac{1}{\eta} \frac{dp}{dx} \quad (3.6),$$

где w - скорость жидкости;

p - давление;

η - коэффициент вязкости.

В случае:

$$\frac{dp}{dx} = \text{const}$$

градиент давления можно записать в виде $\Delta p / L$, где Δp - разность давлений на концах трубы, L - ее длина.

С использованием оператора Лапласа в полярных координатах, имеем:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dw}{dr} \right) = - \frac{\Delta P}{\eta L} \quad (3.7)$$

В результате интегрирования запишем:

$$w = - \frac{\Delta P}{4\eta L} r^2 + a \ln r + b \quad (3.8)$$

Тогда соотношение для скорости примет вид:

$$w = - \frac{\Delta P}{4\eta L} (R^2 - r^2) \quad (3.9),$$

в соответствии с которым скорость по сечению трубы распределена по параболическому закону, рис.3.5.

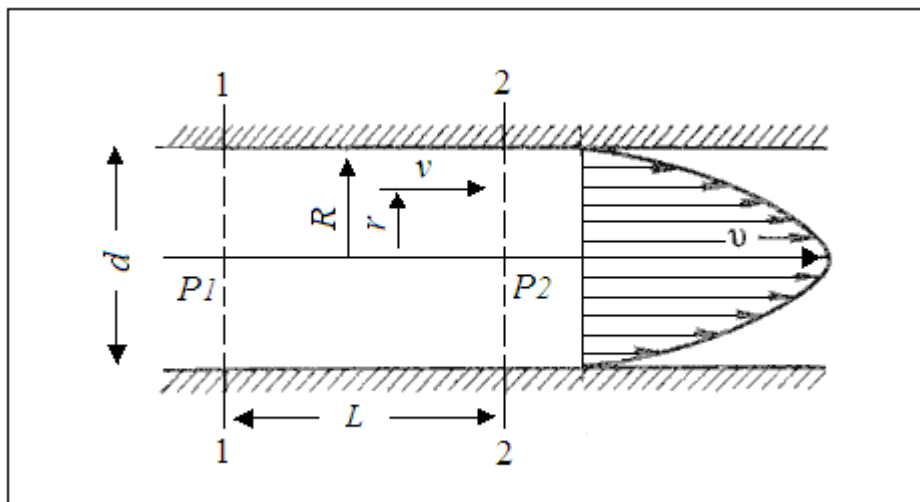


Рис. 3.5. Распределение скорости потока жидкости по сечению трубы.

Количество жидкости, протекающей через равноценную пору, определяется из выражения:

$$\theta = \frac{\pi \Delta P}{8 \nu L} R^4, \quad (3.10)$$

где $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ - кинематическая вязкость,

Согласно (3.10) объем жидкости, проходящей через пору (трубу), пропорционален четвертой степени радиуса поры.

Для учета реологических свойств поровой жидкости как меры отклонения от закона Навье – Стокса применим параметр β , рассчитываемый как отношение эффективной вязкости $\nu_{эф}$ к кинематической вязкости:

$$\beta = \frac{\nu_{эф}}{\nu} \quad (3.11)$$

Параметр эффективной вязкости определяется экспериментально, и связан с величиной потери напора при развитом турбулентном течении.

Аналитическое соотношение для количества жидкости (3.10) с учетом турбулентности движения поровой жидкости имеет вид:

$$\theta_m = \frac{\pi \Delta P}{8 \beta \nu L} R^4 \quad (3.12).$$

На рис. 3.6 приведен график зависимости количества жидкости, проходящей через грунт, от параметра β . θ_0 - количество жидкости, проходящей через грунт, в случае $\beta=1$ (турбулентность отсутствует).

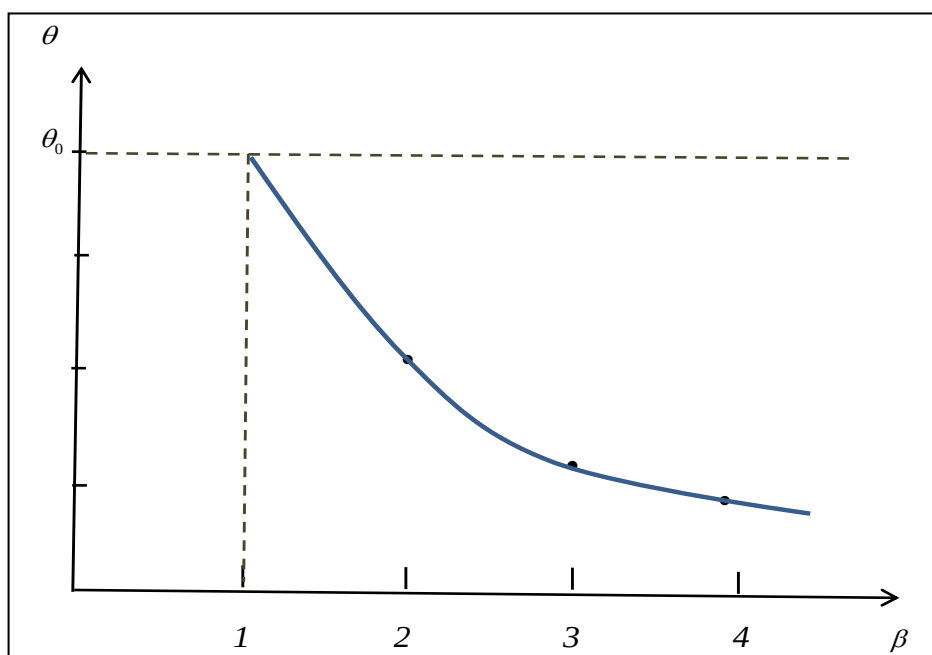


Рис. 3.6. Зависимость количества жидкости, проходящей через грунт, от параметра β .

В глинистых грунтах проявляется физико-химический фактор взаимодействия поровой жидкости со скелетом грунта, что приводит к

пристенному торможению в поровых каналах грунта, и появлению турбулентности, а также к падению скорости транспорта жидкости через грунт. Чем выше параметр β , тем больше эффективная вязкость, и тем медленнее движение жидкости по порам.

В случае $\beta = 1$ имеет место отсутствие взаимодействия поровой жидкости со скелетом грунта, и закон Дарси выполняется.

При $\beta > 1$ проявляется взаимодействие поровой жидкости со скелетом грунта и закон Дарси не выполняется.

На основании представленных данных можно сделать следующие обобщения:

- гидродинамический фактор в глинистых грунтах проявляется в том, что вследствие взаимодействия поровой жидкости со скелетом грунта движение жидкости по каналам затрудняется и сопровождается турбулентными явлениями;
- в качестве количественного параметра, характеризующего степень отклонения от закона Дарси предложен β , рассчитываемый как отношение эффективной вязкости $\nu_{эф}$ к кинематической вязкости.

Таким образом, обоснованы и разработаны расчетные параметры гидродинамической модели глинистых грунтов в фазе осадки с учетом отклонений от закона Дарси, а также исследованы вопросы природы и механизмов ограничений транспорта жидкой фазы через поровое пространство грунта.

3.4. Методы корректировки расчетных соотношений деформаций глинистых грунтово-породных массивов

При решении задач настоящей работы- разработке методов прогноза развития деформационных процессов при строительстве подземной части зданий и сооружений на набухающих грунтово-породных массивах и выработке рекомендаций по управлению геомеханическими процессами при строительстве подземной части зданий и сооружений на набухающих грунтово-породных массивах Сирии- необходимо разработать методы корректировки расчетных соотношений деформаций оснований с учетом особенностей глинистых грунтов.

Для решения задачи прогноза развития деформационных процессов при строительстве подземной части зданий и сооружений на набухающих глинистых массивах могут быть использованы соотношения для определения зависимости осадки s_t грунтов во времени, приведенные ранее (глава 2):

$$s_t = s \left(1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-N} \right) \quad (3.13)$$

где s - полная (предельная) осадка, см.

Фактор времени N (он является безразмерной величиной):

$$N = \frac{\pi^2 c_v}{4h^2} t \quad (3.14)$$

где c_v - коэффициент консолидации, см²/сек; t - время, сек; h - глубина, см.

Коэффициент консолидации:

$$c_v = \frac{k_\phi}{m_v \rho_w} \quad (3.15),$$

где k_ϕ - коэффициент фильтрации (см/сек); m_v - коэффициент относительной сжимаемости (m^2/kn); ρ_w - удельный вес воды (H/m^3).

В (3.15) коэффициент фильтрации наиболее зависим от параметра эффективной вязкости.

Как следует из (3.11) с ростом параметра β существенно падает транспорт жидкости, проходящей через грунт.

Тогда правомерно записать:

$$k_\phi = \frac{k_{\phi 0}}{\beta}, \quad (3.16),$$

где $k_{\phi 0}$ - коэффициент фильтрации системы, подчиняющейся закону Дарси.

Далее имеем:

$$c_v = \frac{k_{\phi 0}}{\beta m_v \rho_w} \quad (3.17).$$

Параметр N :

$$N = \frac{\pi^2}{4h^2} \frac{k_{\phi 0}}{\beta m_v \rho_w} t \quad (3.18).$$

И окончательно:

$$s_t = s \left(1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{\pi^2}{4h^2} \frac{k_{\phi 0}}{\beta m_v \rho_w} t} \right) \quad (3.19).$$

Обозначим $\frac{\pi^2 k_{\phi 0}}{4h^2 m_v \rho_w} = N_1$, тогда:

$$s_t = s \left(1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{N_1}{\beta} t} \right) \quad (3.20).$$

Откуда находим параметр β (коэффициент $\frac{8}{\pi^2}$ не учитывается):

$$\beta = N_1 t \ln \frac{s - s_t}{s} \quad (3.21).$$

В (3.21) параметр β *зависит* от времени, что не всегда удобно. Более перспективен производный от β *параметр*, инвариантный в отношении времени:

$$\beta_t = \frac{\beta}{t} = N_1 \ln \frac{s - s_t}{s} \quad (3.22).$$

Как видно из (3.22), параметр β_t (берется в абсолютных значениях) определяется величиной $\frac{s - s_t}{s}$, которая представляет собой отношение разницы между полной и текущей осадкой к полной осадке, т. е. приведенной незавершённой осадкой.

В табл. 3.4 представлены значения параметра β_t при разных соотношениях текущей и полной осадки ($N_1 = 1$).

Таблица 3.4

Значения параметра β_t при разных соотношениях текущей и полной осадки.

Параметр	Значение параметра										
$\frac{s_t}{s}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,99
$\frac{s - s_t}{s}$	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,01
β_t	0	0,105	0,22	0,36	0,51	0,69	0,91	1,20	1,61	2,3	4,6

Диапазон изменения параметра β_t в соотношении (3.22) от 0 до ∞ . В водонасыщенном грунте сопротивление транспорту жидкости по порам минимально, и параметр β_t близок к нулю, а по мере усаживания грунта размеры пор будут сокращаться, и параметр β_t растёт, наконец, в состоянии предельного сжатия движение жидкости прекращается и β_t становится равным бесконечности.

Таким образом, параметр характеризует степень торможения деформационных процессов в фазе осадки, обусловленных замедлением массопереноса в грунте с учетом отклонений от закона Дарси.

С использованием соотношения (3.20) могут быть получены базовые выражения для корректировки расчетных соотношений деформаций грунтово-породного массива оснований при строительстве зданий и сооружений применительно к набухающим грунтам.

При выводе аналитических соотношений для фазы набухания имеет смысл привлечь экспериментальные данные по грунтам Сирии [41], приведенные ранее (глава 2).

На рис.2.7 был представлен график изменения деформации и влажности грунтов провинции Дерья на открытой площадке.

Как видно из графика на рис.2.7 диапазон деформаций поверхности при набухании- усадке находится в пределах 10- 50 мм по вертикали и имеет тенденцию к плавному смещению в область больших абсолютных значений от года к году.

По характеру деформаций на стадии набухания и последующей осадки можно видеть относительную симметрию и равнозначность амплитуд подъема и спада грунтового массива.

Это позволяет принять фазу набухания идентичной фазе осадки по амплитуде деформаций.

Тогда считая равными полную осадку и полное набухание, запишем для стадии набухания:

$$s_t = se^{-\kappa t_n}, \quad (3.23).$$

где κ - параметр, характеризующий скорость набухания; t_n – время набухания, отсчет которого ведется при завершении осадки.

На рис. 3.7 представлен деформационный цикл осадка- набухание с равными полными осадкой и набуханием.

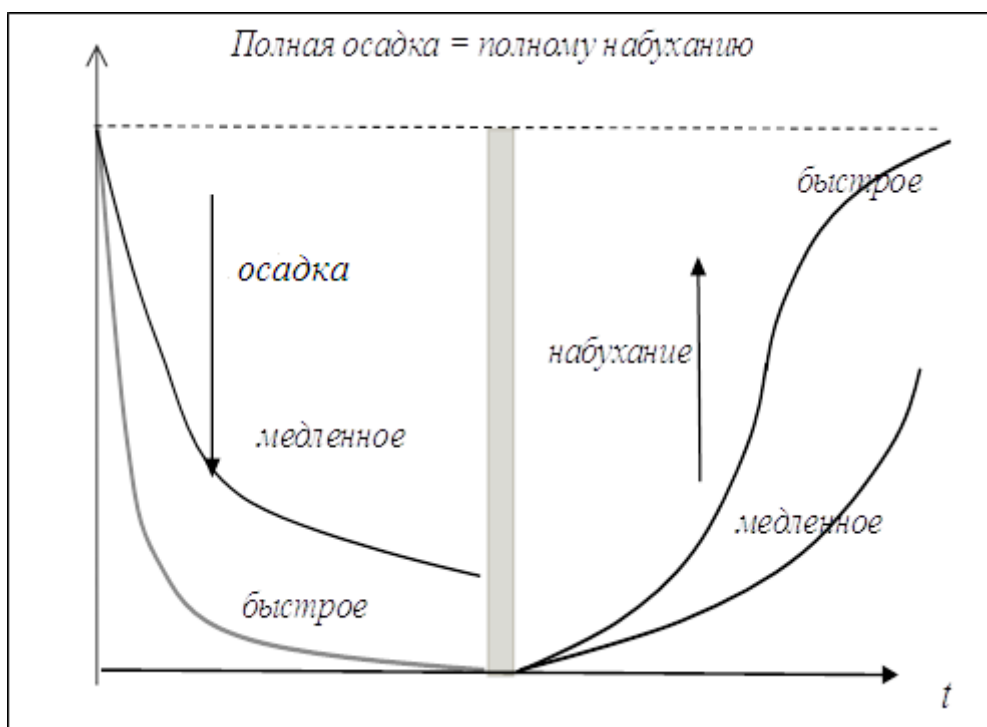


Рис. 3.7. Деформационный цикл осадка- набухание с равными полными осадкой и набуханием.

В состав факторов, определяющих скорость набухания, входят влажность грунта, температура, давление, содержание коллоидных частиц, гидравлический напор и другие параметры.

Природа и механизмы набухания еще очень мало изучены. В фазе уплотнения основной процесс- удаление жидкости по поровому пространству- фильтрация. В соответствии с этим последовательно выстраиваются расчетные схемы определения параметров грунта в зависимости от разных факторов.

В отношении набухания грунта понятной схемы механизмов физической и физико- химической трансформации грунта еще не выработано. Поэтому пока возможно только в общем плане обозначить роль таких процессов как адсорбция атмосферной влаги, диффузия жидкости по поверхности частиц и вглубь грунта, слипание гидратированных частиц с формированием связной структуры.

В состоянии полной осадки обезвоженный грунт имеет максимум открытой поверхности, и его готовность к водопоглощению максимальна, поэтому скорость его набухания тоже предельно высока. По мере насыщения грунта водой скорость набухания будет падать тем сильнее, чем меньше влаги он может принять. Скорость набухания может быть разной в зависимости от характеристик грунта, температуры, давления, увлажнения и других факторов.

В отношении областей применимости методов корректировки расчетных соотношений деформаций глинистых грунтово-породных массивов можно сказать, что, хотя при выводе расчетных соотношений нет ограничений на использование тех или иных соотношений, предпочтительно ограничить указанные методы корректировки набухающими грунтами Сирии, которые были взяты за опытную основу.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Разработан обоснованный параметр набухающих глинистых грунтов, характеризующий степень торможения деформационных процессов в фазе осадки, обусловленных замедлением массопереноса в грунте с учетом отклонений от закона Дарси.

2. Составлены методы корректировки расчетных соотношений деформаций грунтово-породного массива оснований на набухающих глинистых грунтах, выработанные с использованием параметра торможения деформационных процессов в фазе осадки, обусловленных замедлением массопереноса в грунте с учетом отклонений от закона Дарси.

3. Обоснованы и разработаны расчетные параметры гидродинамической модели глинистых грунтов с учетом отклонений от закона Дарси.

4. На основе анализа методов расчета осадки основания зданий и сооружений исследованы базовые тенденции развития указанных методов.

ГЛАВА IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ НАБУХАЮЩИХ ГРУНТОВ СИРИИ

4.1. Цели, методика, аппаратура и объекты испытаний

Цели испытаний набухающих глинистых грунтов Сирии:

- исследование фильтрационных характеристик набухающих глинистых грунтов на выполнимость закона Дарси и оценка достоверности предпосылок методов корректировки расчетных соотношений деформаций оснований на набухающих глинистых грунтах (глава 3);
- оценка характеристик набухания грунтов.

Ранее указывалось, что существует значительный разрыв между уровнем разработанности механизмов деформирования и структурообразования в набухающих глинистых грунтах на стадиях осадки (уплотнения) и набухания. Если уплотнение, происходящее за счет удаления из грунта жидкости, достаточно хорошо в общих подходах описывается теоретическими и практическими решениями, то природа процессов набухания исследована только экспериментально.

В то же время, своеобразие набухающих глинистых грунтов проявляется в различных эффектах и в фазе уплотнения, которые требуют уточнения и развития теоретических положений. Так, принципиальным представляется вопрос о пределах применимости закона Дарси, и о мере отклонения от него.

Испытание глинистых грунтов в фазе набухания проводили на стандартном приборе ПНГ-1, рис.4.1.



Рис.4.1. Прибор ПНГ-1 для определения свободного набухания грунтов.

Существует проблема методического обеспечения испытания набухающих грунтов в фазе набухания в условиях, приближенных к реальным.

Так, например, свойства набухающих глинистых грунтов Сирии в значительной степени зависят от погодно- климатических факторов.

Аппаратуру для испытания набухающих глинистых грунтов в стадии уплотнения выбирали с учетом того, что доминирующую роль при уплотнении играют фильтрационные процессы.

Согласно ГОСТ 25584-90 для определения коэффициента фильтрации грунтов рекомендован прибор, рис.4.2 [29].

Испытуемый образец грунта помещается в цилиндр с внутренним диаметром 56,5 мм и высотой 100 мм. Гидравлический напор создается с помощью телескопического приспособления, снабженного регулировкой градиента напора.

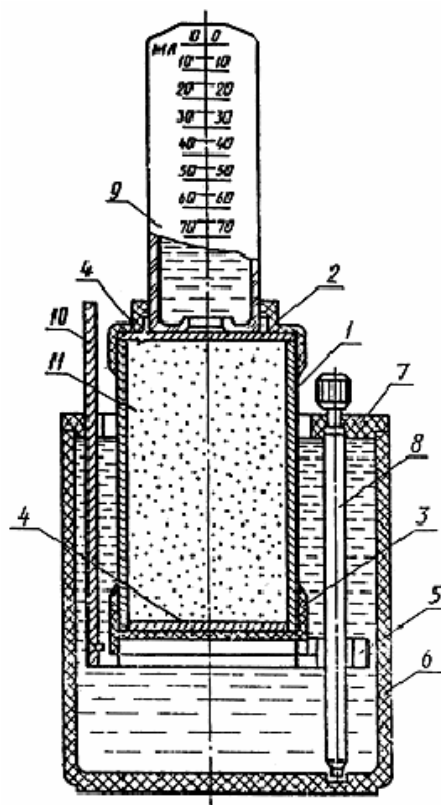


Рис.4.2. Прибор для определения коэффициента фильтрации грунтов:

1 - цилиндр; 2 - муфта; 3 - перфорированное дно; 4 - латунная сетка; 5 - подставка; 6 - корпус; 7 - крышка; 8 - подъемный винт; 9 - стеклянный баллон со шкалой объема фильтрующейся жидкости; 10 - планка со шкалой градиентов напора; 11 - испытуемый образец грунта.

Однако описанный прибор плохо пригоден для испытания набухающих глинистых грунтов, которые характеризуются чрезвычайно малыми коэффициентами фильтрации.

На рис.4.3 приведена схема компрессионного прибора-одеметра, в котором осуществляется одноосное сжатие на образец грунта с отводом воды снизу [26].

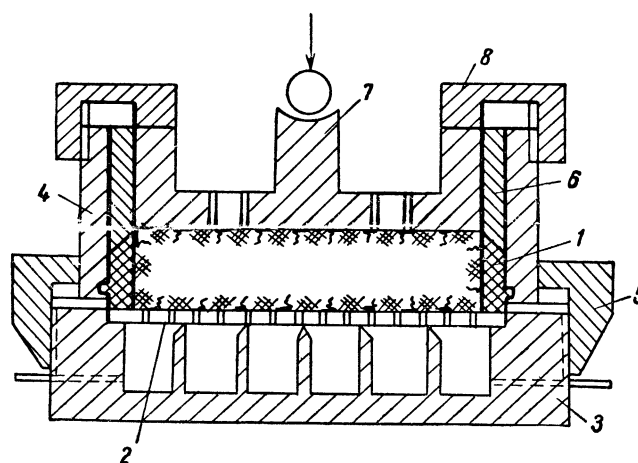


Рис.4.3. Схема компрессионного прибора-одеметра:

1- режущее кольцо; 2- пористая пластинка; 3- поддон прибора; 4- корпус или внешняя обойма прибора; 5- прижимное кольцо; 6- направляющее кольцо; 7-фигурный штамп; 8- арритирное кольцо.

Более привлекательным представляется использование прибора по схеме компрессионно-фильтрационного воздействия с восходящим потоком воды, рис.4.4 [76].

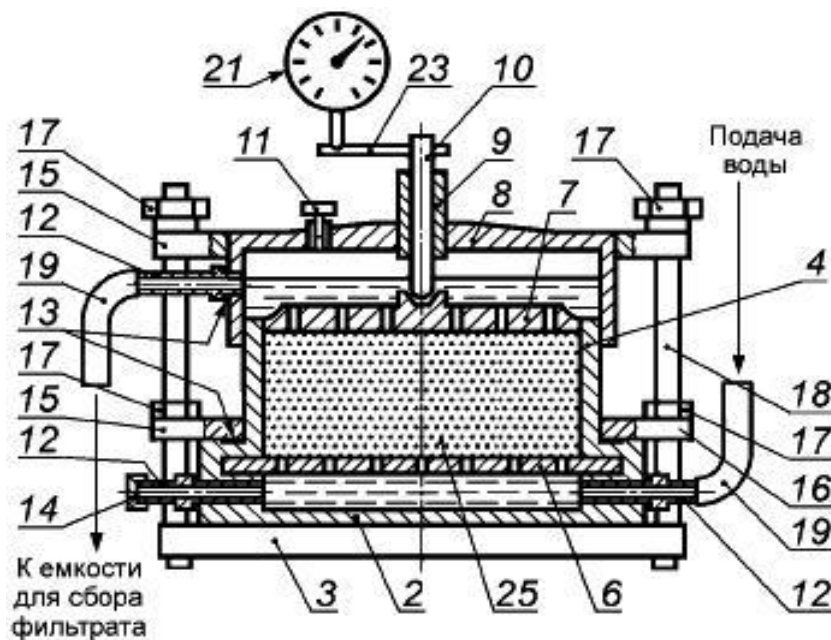


Рис.4.4. Прибор по схеме компрессионно-фильтрационного воздействия с восходящим потоком воды:

1 — корпус; 2 — поддон корпуса; 3 — основание корпуса; 4 — рабочее кольцо; 5 — направляющее кольцо; 6 — перфорированный вкладыш; 7 — перфорированный штамп; 8 — крышка; 9 — втулка; 10 — шток; 11 — спускная пробка; 12 — штуцер; 13 — резиновая прокладка; 14 — заглушка; 15 — верхнее прижимное кольцо; 16 — нижнее прижимное кольцо; 17 — гайка; 18 — стойка; 19 — шланг; 20 — стеклянная трубка; 21 — индикатор; 22 — держатель индикатора; 23 — опорная пятка индикатора; 24 — шарик; 25 — образец грунта.

В приборе, показанном на рис.4.4, вода подается через нижнюю поверхность грунта, на грунт оказывается сжимающее воздействие, что ведет к отжиму поровой воды через верхнюю поверхность грунта. Форма образца сплюснутая, что благоприятствует испытанию глинистых грунтов, поскольку для уплотнения глинистых грунтов большой толщины нужны значительные давления.

Преимущество этого прибора перед ранее описанным устройством состоит в возможности одновременной фиксации компрессионных и фильтрационных характеристик.

Для выполнения испытаний был выбран прибор по схеме компрессионно-фильтрационного воздействия с восходящим потоком воды.

Методы определения размеров тонких глинистых частиц

Ранее было показано, что содержание глинистых частиц - один из основных параметров грунтов. Тем не менее, до настоящего времени определение этого параметра представляет существенные сложности, обусловленные такими причинами как:

- в настоящее время существует большое число методов измерения тонких дисперсных частиц, применяемых в микроэлектронике,

нанотехнологиях, технологиях химического синтеза, материаловедении и других случаях;

- однако указанные методы характеризуются методическими особенностями, которые необходимо учитывать при интерпретации данных измерения.

Стандартная подготовка проб для выделения фракций с размером тонких частиц предусматривает многоступенчатую процедуру- размачивание, кипячение в воде с добавлением аммиака и растирания исходного образца, а для грунта, суспензия которого коагулирует при опробовании на коагуляцию, - путем его растирания и добавления пиррофосфорнокислого натрия [11].

В нормативном документе ГОСТ 12536-79 предусмотрены методы определения размеров частиц грунтов [27], табл.4.1.

Таблица 4.1

Методы определения размеров частиц грунтов ГОСТ 12536-79.

Наименование грунтов		Состав грунта	Метод определения
Песчаные, при выделении зерен песка крупностью:	от 10 до 0,5 мм	Гранулометрический (зерновой)	Ситовой без промывки водой
	от 10 до 0,1 мм		Ситовой с промывкой водой
Глинистые		Гранулометрический (зерновой)	Ареометрический
		Гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный составы	Пипеточный. Применяется только для специальных целей, предусмотренных заданием

Приведенные в табл.4.1 методы устарели, и должны быть заменены на более совершенные.

К настоящему времени разработаны и находят практическое применение различные методы определения субмикронных частиц, табл.4.2 [17,22,75,97].

Методы определения размеров субмикронных частиц.

Метод анализа	Содержание метода определения размеров частиц
Рентгеновская дифракция	По уширению рентгеновских пиков
Малоугловое рентгеновское рассеяние	На основе анализа диффузного рентгеновского рассеяния в области малых углов
Электронная просвечивающая микроскопия	Анализ теневого изображения объекта в электронных лучах
Сканирующая электронная микроскопия	Анализ изображения объекта в рассеянных электронных лучах
Атомно- силовая микроскопия	Анализ изображения объекта, образованного на ван-дер-ваальсовских взаимодействиях зонда с поверхностью образца.
Лазерная дифрактометрия	Анализ данных, получаемых в результате статического рассеяния лазерного света
Адсорбционный метод	Пересчет размеров частиц по данным адсорбции газов
Седиментационное разделение	Анализ данных скорости осаждения частиц

Анализ методов определения размеров субмикронных частиц показывает, что их можно разделить на прямые и косвенные:

- методы электронной микроскопии относятся к числу прямых, поскольку эти методы позволяют непосредственно изучать субмикронные частицы непосредственным наблюдением;
- к числу косвенных методов относятся все остальные методы, поскольку в них изучаются определенное множество субмикронных частиц, и необходимы эталонные образцы, и программы пересчета фиксируемого сигнала или параметра в усредненную величину, характеризующую размерные параметры субмикронных как системы.

Для иллюстрации последнего положения рассмотрим метод БЭТ (Брюнера – Эммета - Теллера (*Brunauer- Emmett-Teller*) или BET. Этот метод использует уравнение BET [22]:

$$\frac{1}{\frac{P_0}{P} - 1} = \frac{1}{W_m C} + \frac{C - 1}{W_m C} \frac{P}{P_0} \quad (4.1),$$

где W – вес газа, адсорбированного при относительном давлении P/P_0 ,
 W_m – вес адсорбированного вещества, образующего покрывающий всю
поверхность монослой,
 C – константа BET, относящаяся к энергии адсорбции в первом
адсорбированном слое и, следовательно, ее значение является показателем
магнитуды взаимодействия адсорбент/адсорбат.

Из величины удельной поверхности объекта- совокупности
субмикронных частиц можно определить средний радиус субмикронных
частиц:

$$\bar{r} = \frac{3}{A_y \rho} \quad (4.2),$$

где $\bar{r}$ – средний размер частиц;

ρ – плотность образца;

A_y – удельная поверхность.

Прямые методы позволяют получать не только среднее значение, но и
распределение частиц по размерам.

Вместе с тем, субмикронные частицы при прямом исследовании
требуют сложных процедур приготовления образцов, что в ряде случаев
представляет значительные трудности и занимает много времени.

Более производительны методы рентгеновской дифракции [22].

Этот метод может применяться как на качественном, так и на количественном
уровне. На качественном уровне по расположению дифракционных пиков
можно идентифицировать фазовый состав субмикронных частиц.

На количественном уровне можно определять размер субмикронных частиц с
использованием метода, основанного на измерении полуширины
дифракционной линии [97].

Данный метод основан на том, что ширина дифракционной линии (HKL), согласно формуле Селякова – Шеррера, зависит от среднего размера области когерентного рассеяния (ОКР) в направлении нормали к плоскости:

$$(\beta_{HKL})_D = \frac{k\lambda}{\langle D \rangle_{HKL} \cos \theta} \quad (4.3),$$

где k — коэффициент, зависящий от формы области когерентного рассеяния, обычно полагают $k = 1$;

θ — дифракционный угол для отражения (HKL).

Хотя этот метод и перспективен для определения размеров тонкой фракции грунтов, тем не менее в методическом плане он еще недостаточно проработан для практического использования.

Объекты испытаний

В качестве объектов испытаний выступали набухающие грунты провинции Деръа, Сирия.

Как было показано ранее, набухающие грунты Сирии характеризуются высоким содержанием коллоидной фракции.

Для проверки влияния содержания тонких коллоидных частиц на деформационные свойства глинистых грунтов были отобраны керны грунтов с разной минеральной основой- каолинита и монтмориллонита.

Отбор кернов грунтов для исследования фильтрационного уплотнения проводили по завершении влажного периода в мае, когда грунты были в состоянии водонасыщения. Характеристики водонасыщенных набухающих глинистых грунтов приведены в табл.4.3.

Таблица 4.3

Характеристики набухающих глинистых грунтов, отобранных по завершении влажного периода.

Свойство	Обозначение грунта			
	К1 (каолинит)	К2 (каолинит)	М1 (монтмориллонит)	М2 (монтмориллонит)
Влажность, %	58	55	65	76
Плотность, г/см ³	1,82	1,87	1,88	1,79
Содержание тонкой фракции, %	58	54	57	56
Удельная поверхность тонкой фракции (по методу БЭТ), м ² /г	32	28	563	444

Отбор кернов грунтов для исследования набухания проводили по завершении засушливого периода, когда грунты были в усаженном и обезвоженном состоянии. Характеристики усаженных и обезвоженных глинистых грунтов приведены в табл.4.4.

Таблица 4.4

Характеристики набухающих глинистых грунтов, отобранных по завершении засушливого периода.

Свойство	Обозначение грунта			
	К3 (каолинит)	К4 (каолинит)	М3 (монтмориллонит)	М4 (монтмориллонит)
Влажность, %	16	18	25	26
Плотность, г/см ³	2,12	2,17	2,18	2,13
Содержание тонкой фракции, %	67	64	70	67
Удельная поверхность тонкой фракции (по методу БЭТ), м ² /г	44	52	583	503

Из сопоставления данных по характеристикам набухающих глинистых грунтов, отобранных по завершении влажного и засушливого периодов, можно указать на ряд обстоятельств:

- при переходе от водонасыщенных к обезвоженным грунтам отмечается значительный рост плотности и снижение влажности;
- содержание тонкой фракции и ее удельная поверхность при переходе от водонасыщенных к обезвоженным грунтам несколько возрастают.

4.2. Испытания набухающих глинистых грунтов в фазе осадки

Ранее (глава 3) был описан параметр набухающих глинистых грунтов, характеризующий степень торможения деформационных процессов в фазе осадки, обусловленных замедлением массопереноса в грунте с учетом отклонений от закона Дарси. Вместе с тем, вопрос о критерии отклонения некоторого грунта от закона Дарси требует проработки.

С точки зрения обеспечения устойчивости зданий и сооружений на слабых грунтах постановка вопроса о существовании состояния предельного уплотнения глинистого грунта имеет принципиальное значение. Если для слабого грунта существует состояние предельного уплотнения, связанное с его характеристиками и структурой, то при использовании такого грунта в качестве оснований зданий и сооружений необходимо обеспечить достижение этого состояния.

Свойства глинистого грунта сложны и противоречивы, и сочетают крайне низкую проницаемость с высокой способностью к осадке.

По нашему мнению, состояние предельного уплотнения глинистого грунта – одно из двух базовых состояний на диаграмме состояний глинистого грунта. Другое предельное состояние глинистого грунта- предельно разуплотненное, при котором из порового пространства удалена жидкая фаза.

Применительно к набухающим грунтам Сирии обозначенные состояния в некотором приближении соответствуют грунтам, отобранным по завершении влажного и засушливого периодов.

Относительно способов ускорения уплотнения глинистых грунтов есть много вариантов, среди которых можно выделить методы разблокирования порового пространства, применяемые в нефтегазодобыче при обработке призабойной зоны пласта, строительстве автодорог и других сферах [31,68,86].

В работе [31] показано, что деформационное поведение реальных глинистых грунтов непосредственно связано с наличием в грунте транспортных поровых каналов, по которым отводится жидкая фаза и грунт получает возможность уплотняться (усаживаться).

Суть метода электрофизической обработки состоит в приложении к грунту электрофизического поля, которое воздействует на агрегаты коллоидов, закупоривающих поровые каналы. В результате этого воздействия агрегаты распадаются и движение по поровому пространству резко ускоряется.

На рис.4.5 представлена зависимость влажности глины от времени при приложении динамического воздействия.

Как следует из рис. 4.5, использование метода электрофизической обработки значительно ускоряет процессы отвода жидкой фазы и способствует достижению предельно уплотненных состояний.

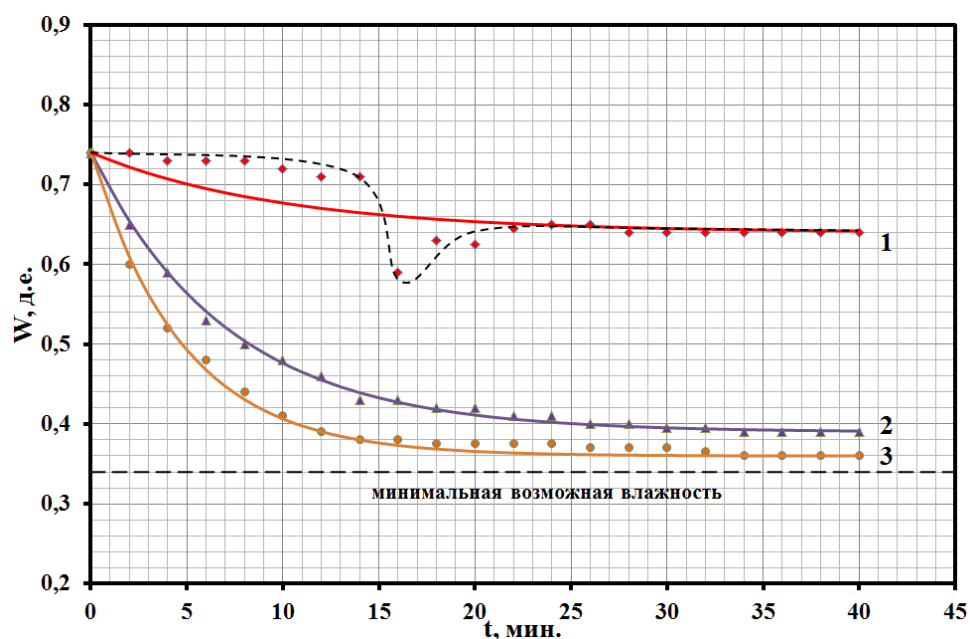


Рис.4.5. Зависимость влажности глины (1) предварительно подготовленной методом электрофизической обработки глины (2;3) от времени при приложении динамического воздействия частотой: 1 – 50 Гц; 2 – частотой 10 Гц; 3 – 50 Гц.

Метод электрофизической обработки достаточно прост для практического использования, и поэтому был использован нами при выработке критерия отклонения некоторого грунта от закона Дарси.

Испытания набухающих глинистых грунтов проводили методом компрессионно-фильтрационного воздействия с восходящим потоком воды на установке, представленной на рис.4.4.

В таблице 4.5 показаны результаты испытания каолинитовой глины по методу компрессионно-фильтрационного воздействия.

Таблица 4.5

Результаты испытания каолинитовой глины по методу компрессионно-фильтрационного воздействия.

Время, мин.	Высота образца К1 при разных нагрузках, мм		
	0,5 МПа	1 МПа	2 МПа
0	50	50	50
1	50	49	49
2	49	49	48
3	49	49	49
4	49	48	47
5	49	48	47
6	49	49	46
7	49	48	48
8	49	49	46
9	48	48	46
10	49	48	47
11	49	49	45
12	49	48	46
13	49	48	47
14	48	47	47
15	49	48	47
16	49	48	47
17	49	48	47
18	49	48	47
19	48	48	47
20	49	48	47

На рис.4.6 и 4.7 показаны зависимость осадки от времени при испытании каолинитовой глины (образец К1) и монтмориллонитовой глины (образец М1) по методу компрессионно-фильтрационного воздействия при разных нагрузках.

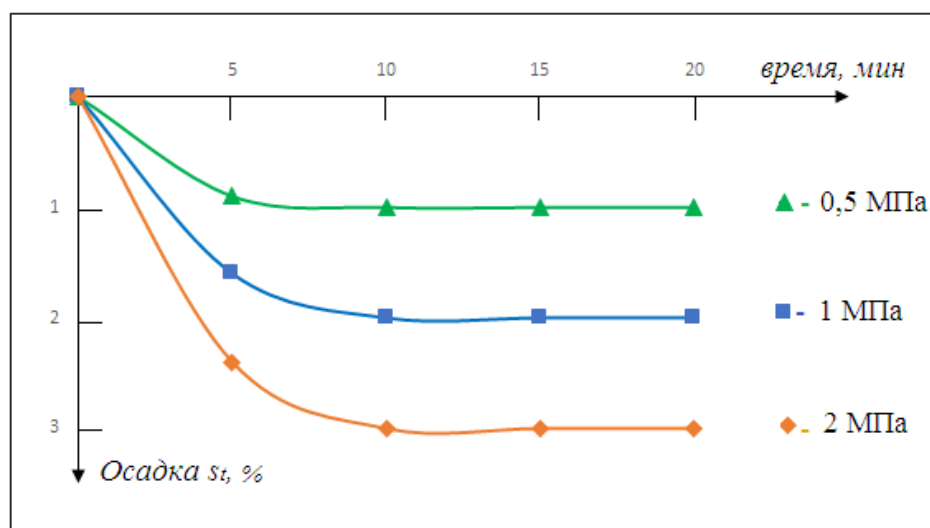


Рис.4.6. Зависимости осадки от времени при испытании каолиновой глины (образец K1) по методу компрессионно-фильтрационного воздействия при разных нагрузках.

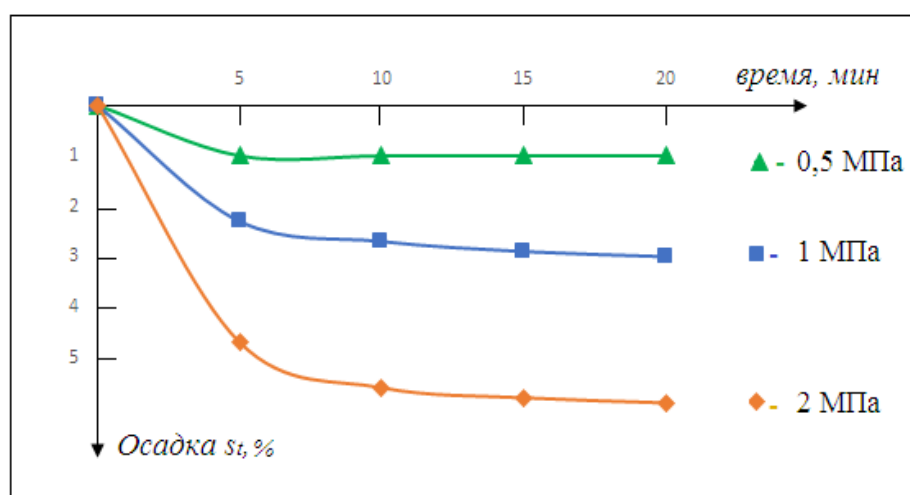


Рис.4.7. Зависимости осадки от времени при испытании монтмориллонитовой глины (образец M1) по методу компрессионно-фильтрационного воздействия при разных нагрузках.

Сравнение зависимостей осадки от времени при испытании каолиновой и монтмориллонитовой глин показывает, что в обоих случаях наблюдается схожая картина:

- сравнительно небольшая осадка даже при максимальной нагрузке;
- основная осадка происходит в первые минуты, а затем имеет место плавное замедление осадки.

На следующем этапе выполнена оценка потенциала уплотнения с использованием метода электрофизической обработки грунта до испытания. В качестве объектов испытания брали образцы *K1* и *K2* из каолинитовой глины.

Результаты представлены на рис. 4.8. Верхние кривые отвечают необработанным электрофизическим воздействием образцам.

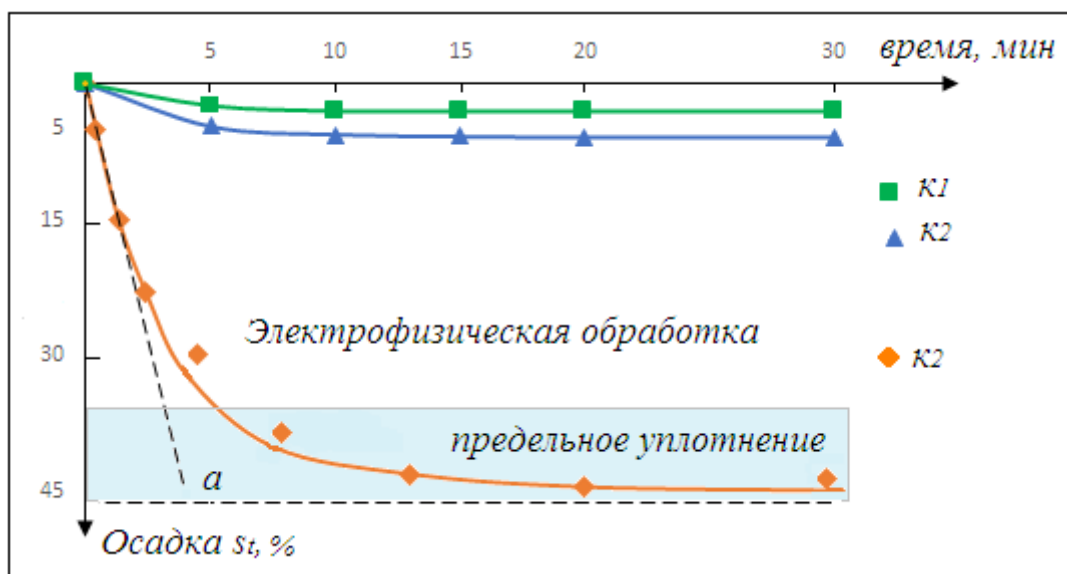


Рис.4.8. Зависимость осадки от времени при испытании по методу компрессионно-фильтрационного воздействия каолинитовой глины, предварительно подготовленной методом электрофизической обработки.

Как видно из графика, электрофизическое воздействие обеспечивает резкое ускорение деформации сжатия, причем этот же эффект достигался и на монтмориллонитовой глине, рис.4.9.

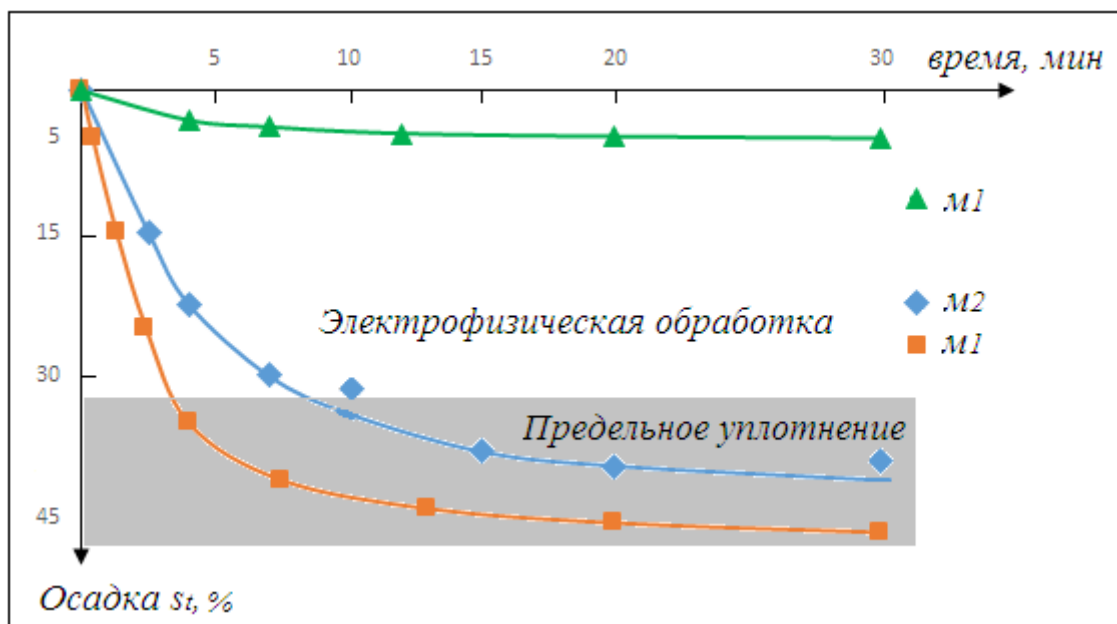


Рис. 4.9. Зависимость осадки от времени при испытании по методу компрессионно-фильтрационного воздействия монтмориллонитовой глины, предварительно подготовленной методом электрофизической обработки.

Можно показать, что производная по времени параметра β_t связана со скоростью осадки во времени.

Действительно, согласно ранее приведённому (глава 3) соотношению (3.30) параметр β_t имеет вид:

$$\beta_t = N_1 \ln \frac{s - s_t}{s} \quad (4.4),$$

дифференцируя по времени приходим к записи:

$$\frac{d\beta}{dt} = N_1 \frac{d}{dt} \ln \frac{s - s_t}{s} \quad (4.5).$$

Далее, преобразуя (4.5), имеем:

$$\frac{d\beta_t}{dt} = N_1 \frac{s}{s-s_t} \frac{d}{dt} \frac{s-s_t}{s} \quad (4.6),$$

или после упрощений:

$$\frac{d\beta_t}{dt} = N_1 \frac{1}{s-s_t} \frac{d}{dt} (s-s_t) \quad (4.7).$$

Как следует из (4.7), производная по времени параметра β_t непосредственно связана со скоростью изменения незавершенной осадки, отнесенной к величине незавершенной осадки.

Графически скорость изменения незавершенной осадки может быть представлена тангенсом угла α (рис.4.12):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{dt} (s-s_t) \quad (4.8).$$

По результатам компрессионно-фильтрационных испытаний каолиновой и монтмориллонитовой глин с использованием соотношения (4.8) определены значения параметра β_t на начальном наиболее активном этапе деформации, табл.4.6.

Таблица 4.6

Значения параметра β_t на начальном этапе деформации по результатам компрессионно-фильтрационных испытаний.

Состояние образца	Значение параметра β_t для грунта (безразмерная величина)			
	<i>K1</i> (каолинит)	<i>K2</i> (каолинит)	<i>M1</i> (монтмориллонит)	<i>M2</i> (монтмориллонит)
Исходный	0,05	0,08	0,1	0,12
С предварительной электрофизической обработкой	2,24	2,28	2,33	2,35

Как видно из табл. 4.6, после предварительной электрофизической обработки параметр β_t многократно возрастает.

Обработка более широкого массива данных позволяет заключить, что слабodeформируемые грунты с отклонением от закона Дарси имеют показатель $\beta_t \leq 0,8-1$, грунты с $0,8-1 \leq \beta_t \leq 2$ могут быть отнесены к среднедеформируемым, а при $\beta_t \geq 2$ - к высокодеформируемым.

Результаты компрессионно-фильтрационных испытаний каолинитовой и монтмориллонитовой глин Сирии с предварительной электрофизической обработкой показывают:

- существует *область предельно уплотнённого грунта*, характеризующая определенный грунт с его индивидуальными параметрами и видом и параметрами воздействия;
- характер деформационной зависимости достаточно хорошо описывается экспоненциальной функцией, что можно рассматривать как подтверждение справедливости подходов Терцаги -Гересеванова;
- характер деформаций глинистых грунтов при фильтрационном уплотнении резко меняется при разблокировании транспортных пор и активации массопереноса в результате предварительной электрофизической обработки;
- активация массопереноса приводит к многократному ускорению осадки по сравнению с необработанными грунтами, показывающими слабую реакцию на сжимающие воздействия;
- набухающие глинистые грунты Сирии обладают значительным потенциалом осадки, который реализуется при определенных условиях.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что метод электрофизической предварительной обработки грунта может быть

использован как критерий при отнесении глинистого грунта к системам, отклоняющимся от закона Дарси: если глинистый грунт после электрофизической обработки показывает значительное увеличение осадки при компрессионно-фильтрационном воздействии, то этот грунт имеет отклонения от закона Дарси.

Следует отметить, что выполнимость закона Дарси имеет место не на всем деформационном интервале грунтов, повергнутых электрофизической обработке, а только на участке интенсивной деформации, когда соблюдается прямая связь между напором и деформацией. По завершении этого периода эта связь нарушается из-за сжатия порового пространства.

4.3. Испытания набухающих глинистых грунтов в фазе набухания

Для испытания набухающих глинистых грунтов в фазе свободного набухания использовали набухающие глинистые грунты, отобранные по завершении засушливого периода, табл.4.4.

На рис.4.10 приведена зависимость относительного свободного набухания от времени для набухающих глинистых грунтов, отобранных по завершении засушливого периода.

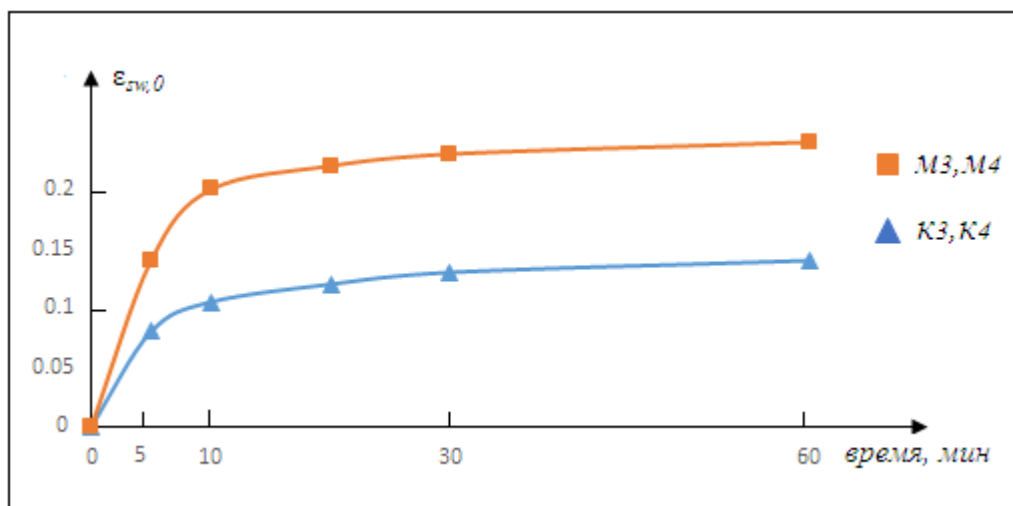


Рис. 4.10. Зависимость относительного свободного набухания от времени для набухающих глинистых грунтов, отобранных по завершении засушливого периода.

Как видно из рис. 4.10, испытанные набухающие глинистые грунты относятся к средненабухающим и сильнонабухающим, при этом монтмориллонитовые глины набухают более интенсивно, чем каолинитовые, что по-видимому связано с высокодисперсной минеральной основой монтмориллонитовых глин.

Как было показано ранее, монтмориллонитовые и каолинитовые глины без активации электрофизической обработкой массопереноса по поровому пространству, не подчиняются закону Дарси. В связи с этим представляло интерес исследование как ведут себя грунты с отклонениями от закона Дарси при набухании.

На рис. 4.11 приведены зависимости относительного свободного набухания от времени каолинитовой глины, предварительно подготовленной методом электрофизической обработки.

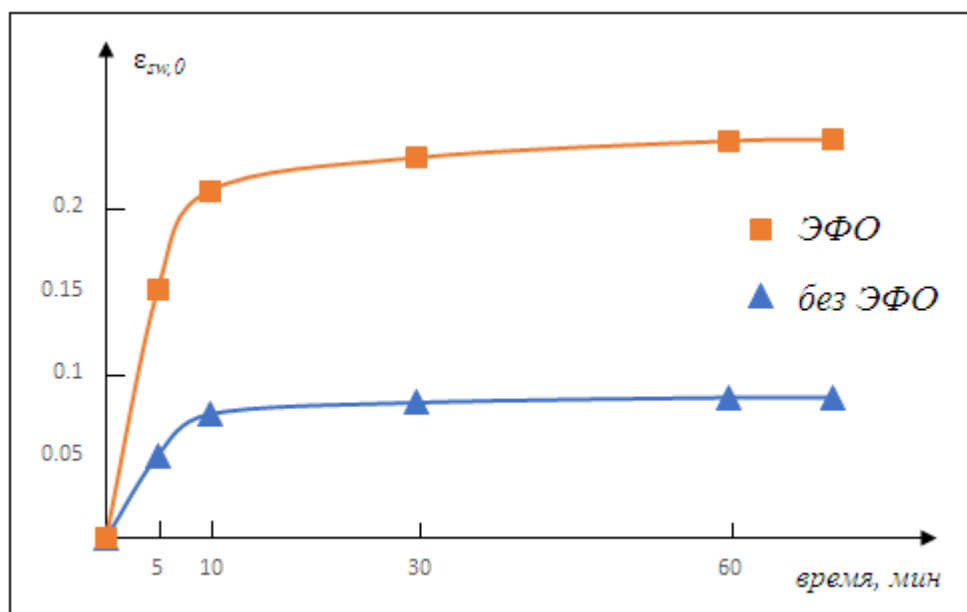


Рис. 4.11. Зависимость относительного свободного набухания от времени каолинистой глины, предварительно подготовленной методом электрофизической обработки.

Как видно из рис. 4.11, характер набухания каолинистых глин существенно меняется в зависимости от выполнимости закона Дарси:

- грунты с отклонениями от закона Дарси демонстрируют низкие способности к деформациям набухания ($\epsilon_{sw} < 0,1$);
- грунты, подчиняющиеся закону Дарси, демонстрируют высокие способности к деформациям набухания ($\epsilon_{sw} > 0,18$).

Как показывают экспериментальные исследования [41], поведение массива набухающих грунтов Сирии в значительной степени зависит от воздействия атмосферы, при этом взаимодействие массива с атмосферой сопровождается интенсивным тепло-массообменом.

Движение различных слоев грунта в массиве происходят по-разному в зависимости от удаленности от границы соприкосновения грунт- атмосфера. Деформации поверхностных слоев в интервале 0,0–1,0 м практически

полностью зависят от количества атмосферных осадков, поступающих в грунт. Деформации слоев на глубине 1,0 м более сглаженное, но и оно явным образом зависит от выпадающих атмосферных осадков.

Совершенно иначе ведут себя слои грунта, залегающие в интервале 1,5–2,5 м. Деформация этих слоев не увязывается с количеством атмосферных осадков и испарением влаги с поверхности.

Таким образом, влияние погодно–климатических факторов сосредоточено в узком поверхностном слое массива грунта мощностью до 1,5 м, в котором грунт проявляет себя как сильно набухающий и высоко деформируемый. Тем самым воздействие погодно – климатических факторов Сирии с ярко выраженными периодами дождей и засушливого жаркого сезона резко активизирует деформационные процессы в приповерхностном слое грунта, тогда как более глубоко залегающие слои грунта демонстрируют слабые деформационные эффекты, характерные для грунтов с отклонениями от закона Дарси.

На основании обобщения результатов испытаний набухающих глинистых грунтов Сирии в фазе осадки и набухания можно заключить, что полученные данные позволяют сформулировать подходы для уточнения методов прогнозирования сдвижений и деформаций грунтово-породного массива Сирии с учетом особенностей их деформационного поведения.

Принципы прогнозирования сдвижений и деформаций горных пород при освоении подземного пространства заложены учеными Баклашовым И.В. [7], Б. А. Картозия [37], Э.В. Каспарьяном, А.А. Козыревым, М.А. Иофисом, А.Б. Макаровым [36,38], Протосеня А. Г. [57], Улицким В.М., Шашкиным А.Г., Шашкиным К.Г. [82] и др.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4

1. На основе комплекса экспериментальных исследований установлены закономерности деформационного поведения каолинитовой и монтмориллонитовой глин Сирии в фазе осадки и набухания. Показано, что характер деформаций глинистых грунтов при фильтрационном уплотнении резко меняется при разблокировании транспортных пор и активации массопереноса в результате предварительной электрофизической обработки.

2. Разработан критерий отнесения глинистого грунта к системам, отклоняющимся от закона Дарси: если глинистый грунт после электрофизической обработки показывает значительное увеличение осадки при компрессионно-фильтрационном воздействии, то этот грунт имеет отклонения от закона Дарси.

3. Экспериментально показано, что характер набухания каолинитовых глин существенно меняется в зависимости от выполнимости закона Дарси:

- грунты с отклонениями от закона Дарси демонстрируют низкие способности к деформациям набухания ($\varepsilon_{sw} < 0,1$);
- грунты, подчиняющиеся закону Дарси, демонстрируют высокие способности к деформациям набухания ($\varepsilon_{sw} > 0,18$).

ГЛАВА V. МОДЕЛИРОВАНИЕ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ГРУНТОВО-ПОРОДНОГО МАССИВА ОСНОВАНИЙ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ГЕОМЕХАНИЧЕСКАМИ ПРОЦЕССАМИ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Методы геомеханического моделирования известны достаточно давно [12,19,32], в частности в геомеханике широко используются метод конечных элементов [34,63,83,99].

Существуют фундаментальные причины сложности решения задач геомеханического моделирования сдвижений и деформаций грунтового-породного массива, обусловленные чрезвычайно высоким разнообразием грунтов как природных и техногенных материальных систем. Применительно к моделированию сдвижений и деформаций оснований на набухающих грунтах указанная проблема связана с преодолением трудностей, вызванных тем, что глинистые грунты относятся к наиболее сложным материальным системам.

Можно также отметить, что общие системные представления о моделировании грунтов пока еще не выработаны, что сдерживает развитие методов геомеханического моделирования.

Вместе с тем, во многих случаях использование методов геомеханического моделирования позволяет решать практические задачи, например, [48,59,67].

В этой связи перспективным представляется концептуальный подход, развиваемый в настоящей работе, и состоящий в последовательном рассмотрении классической задачи деформации грунтового массива Терцаги-

Герсеванова с последующим внесением корректива в расчетные соотношения с учетом отклонения грунтов от закона Дарси.

Такой подход позволяет учесть особые свойства глинистых грунтов, определяемые экспериментально.

5.1. Качественный анализ сдвижений и деформаций глинистых грунтово-породных массивов с учетом нагрузки от сооружения

На основе результатов исследования, выполненных в главах 1-4, рассмотрим способы управления геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в Сирии.

Как было показано ранее в главе 4, глинистые набухающие грунты Сирии обладают ярко выраженными особенностями кинетического деформационного поведения, что должно быть учтено при прогнозировании сдвижений и деформаций и проектировании сооружений вблизи горных выработок.

Получены системы аналитических соотношений для прогнозирования сдвижений и деформаций применительно к грунтам, подчиняющимся закону Дарси и с отклонениями от него.

Выполним на данном этапе качественный анализ сдвижений и деформаций глинистых грунтово-породных массивов с учетом нагрузки от сооружения с тем, чтобы выделить наиболее опасные для устойчивости зданий и сооружений варианты.

Здания и сооружения создают определенную нагрузку на основания. Если эти основания составлены из глинистых набухающих грунтов, то возникает несколько возможностей работы нагруженного основания (рис.5.1):

- все основание находится в опасной зоне мульды, рис.5.1 А;
- часть основания находится в опасной зоне мульды, рис.5.1 Б.

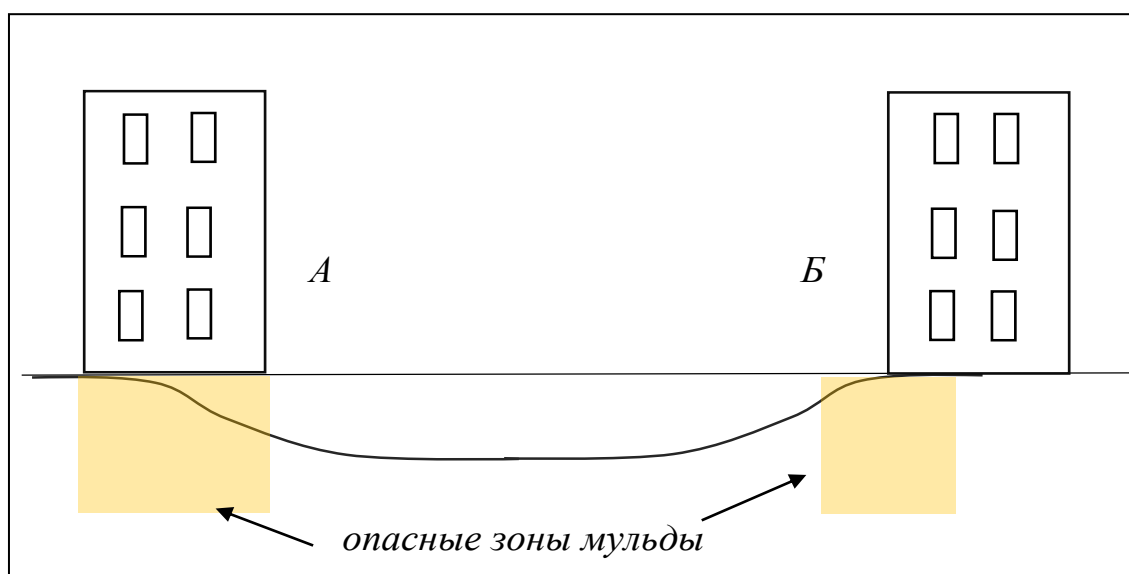


Рис. 5.1. Варианты расположения оснований зданий относительно опасной зоны мутьды.

В зависимости от соотношения размеров основания и опасной зоны мутьды возникают опасности потери устойчивости здания и сооружения.

Так, в случае *А*, если сдвиги и деформации в опасные зоны мутьды в пределах основания остаются одинаковыми вдоль основания, то опасность перекоса здания и сооружения не имеет места. В противном случае может возникнуть опасность неравномерной осадки основания и перекоса здания и сооружения.

В случае *Б* неравномерная осадка основания и перекос здания имеют место при всех вариантах.

Характер поведения, нагруженного сооружением основания, зависит не только от массы сооружения и площади основания, но и от характеристик глинистых грунтов основания, которые могут находиться либо в активной деформационной фазе – набухания или усаживания. При этом внешняя

нагрузка от здания будет являться значимым фактором изменения деформации грунтового-породного массива.

Рассмотрим возможные варианты вертикальных сдвижений глинистого грунта в фазе усаживания и набухания.

На рис. 5.2 представлен график вертикальных сдвижений глинистого грунтового-породного массива в фазе усаживания без нагрузки от сооружения (рис. 5.2, кривая 1), и с учетом нагрузки от сооружения (рис. 5.2, кривая 2).

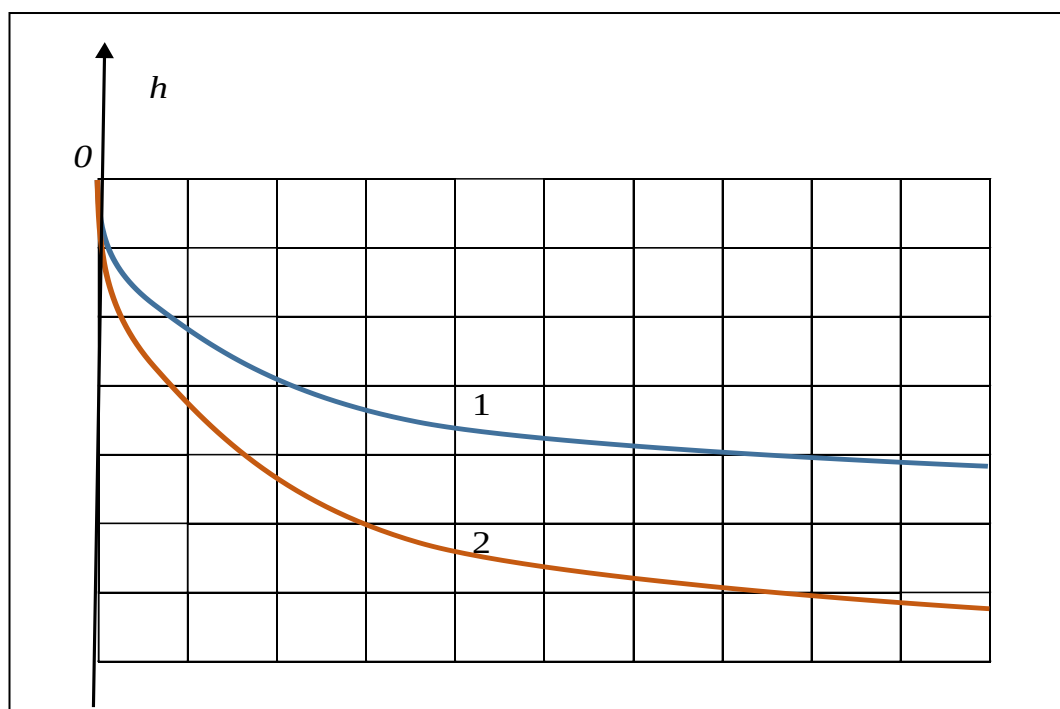


Рис. 5.2. График вертикальных сдвижений глинистого грунтового-породного массива в фазе усаживания без нагрузки от сооружения (кривая 1), и с учетом нагрузки от сооружения (кривая 2).

На рис. 5.3 представлен график вертикальных сдвижений глинистого грунтового-породного массива в фазе набухания без нагрузки от сооружения (рис. 5.3, кривая 1), и с учетом нагрузки от сооружения (рис. 5.3, кривые 2,3,4).

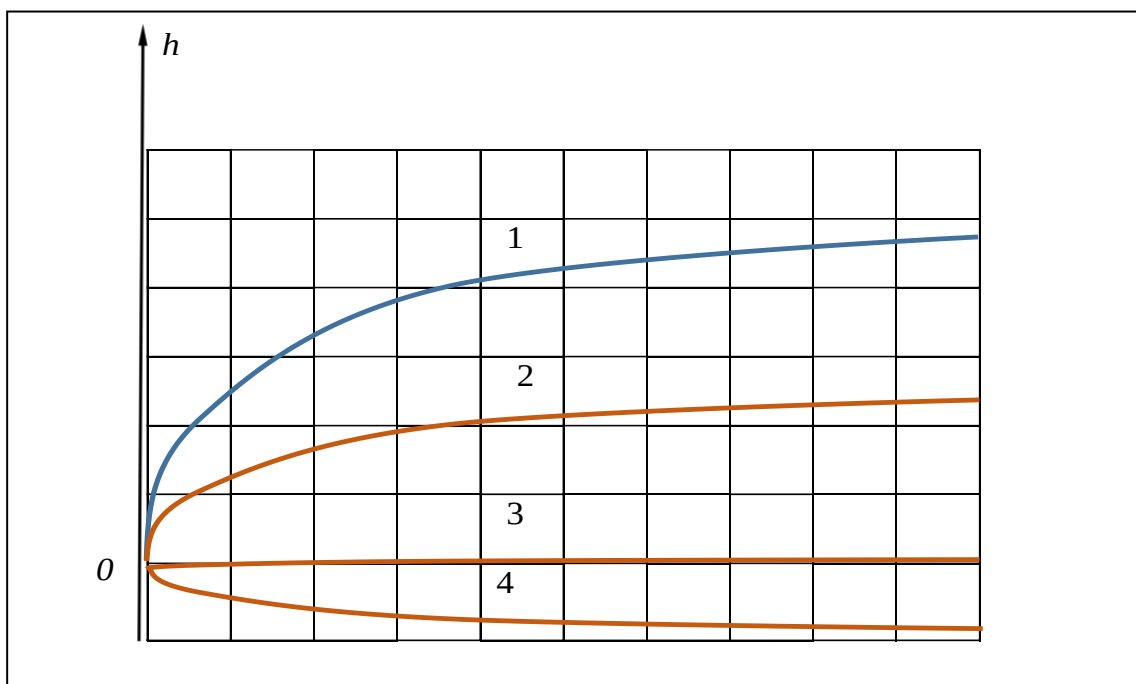


Рис. 5.3. График вертикальных сдвижений глинистого грунтового-породного массива в фазе набухания без нагрузки от сооружения (кривая 1), и с учетом нагрузки от сооружения (кривые 2,3,4).

Как следует из рисунка 5.3, в случае набухания возможны несколько вариантов влияния нагрузки от сооружения на сдвижение глинистого грунтового-породного массива:

- при небольших давлениях со стороны сооружения (например, малоэтажные легкие строения) сдвижения грунта по высоте, но остаются в положительной области (кривая 2);
- при более значительных давлениях наступает полная компенсация, и сдвижение глинистого грунта становится равным нулю (кривая 3);
- при еще более высоких давлениях (например, высотные легкие строения с малым основанием) сдвижение глинистого грунта в направлении вертикального расширения становится невозможным, и при этом

итоговые сдвиги грунта переходят в область отрицательных значений (кривая 4).

Таким образом, различие вертикальных сдвижений глинистого грунтового-породного массива в фазах усаживания и набухания при условии нагрузки от сооружения состоит в том, что давление от сооружения в случае фазы усаживания ведет к усилению вертикальных сдвижений, а в случае фазы набухания - к снижению вертикальных сдвижений. Из этого следует, что наибольшую опасность для устойчивости сооружений представляет фаза усаживания грунтов, хотя в отдельных случаях при высоких и очень высоких давлениях со стороны сооружений опасность устойчивости сооружений также может иметь место.

Возвращаясь к вариантам расположения оснований задний относительно опасной зоны мульды (рис. 5.1), можно отметить, что опасные деформации основания сооружения при сдвиге глинистых набухающих грунтового-породных массивов будут происходить как в варианте *А*, так и *Б*. Однако в случае *Б* дополнительный фактор опасности будет состоять в том, что возникает вероятность перекоса здания.

В итоге по степени опасности рассматриваемые варианты расположения оснований задний и сооружений относительно опасной зоны мульды могут быть систематизированы в последовательности:

- наибольшую опасность для устойчивости зданий и сооружений представляет случай, когда часть основания оказывается в опасной зоне мульды, тогда как остальная часть основания расположена вне опасной зоны мульды, и при этом глинистый грунт находится в фазе усаживания. Характер возникающей для здания и сооружения опасности состоит в потере вертикальной устойчивости, отрыве фундаментных конструкций

от надземной части здания со сдвигом по горизонтальному шву (глава 1) и других повреждениях зданий и сооружений;

- в случае, когда часть основания оказывается в опасной зоны мульды, тогда как остальная часть основания расположена вне опасной зоны мульды, и при этом глинистый грунт находится в фазе набухания масштаб сдвижений меньше, чем в предшествующем варианте. Характер возникающей для здания и сооружения опасности тот же, что в предшествующем варианте, но при этом вероятность повреждений зданий и сооружений несколько ниже;
- в случае, когда все основание оказывается в опасной зоны мульды, и при этом глинистый грунт находится в фазе усаживания опасность для зданий и сооружений выше, чем в варианте, когда глинистый грунт находится в фазе набухания.

Фактор резкого перехода от сезона дождей к засушливому периоду, характерного для климата Сирии, вносит ряд существенных моментов в деформационное поведение набухающих грунтов:

- в узком приповерхностном слое массива грунта до 1,5 м имеет место высоко активное деформационное поведение грунтов, инициированное тепло-влажностным воздействием атмосферы;
- на большей глубине имеют место слабые деформационные эффекты, характерные для грунтов с отклонениями от закона Дарси.

5.2. Аналитические соотношения сдвижений и деформаций глинистых грунтово-породных массивов в фазе набухания и усаживания с учетом нагрузки от сооружения

Для идеализированных глинистых грунтов, подчиняющихся закону Дарси, максимальная осадка в мульдe в момент времени t определяется соотношением:

$$s_t = hm_v p \left(1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-N}\right) \quad (5.1),$$

где $N = \frac{\pi^2 c_v}{4h^2} t$, p - давление на грунт.

Примем во внимание, что коэффициент консолидации:

$$c_v = \frac{k_\phi}{m_v \rho_w} \quad (5.2),$$

где m_v - коэффициент относительной сжимаемости;

ρ_w - удельный вес воды;

k_ϕ - коэффициент фильтрации.

С учетом нагрузки от сооружения соотношение (5.1) примет вид:

$$s_t = hm_v P \left(1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-N}\right), \quad (5.3),$$

где P - суммарное давление:

$$P = p_1 \pm p_2 \quad (5.4),$$

где p_1 - давление, обусловленное процессами набухания и усаживания грунта без учета давления от сооружения; p_2 - давление от сооружения.

Как было описано выше, в случае набухания происходит частичная или полная компенсация давлений, и соотношение (5.4) имеет вид:

$$P = p_1 - p_2 \quad (5.5),$$

а в случае усаживания давление на основание усиливается за счет сложения:

$$P = p_1 + p_2 \quad (5.6).$$

Таким образом, в случае набухания глинистого грунта, подчиняющегося закону Дарси, максимальная осадка в мульде в момент времени t определяется соотношением:

$$s_t = hm_v(p_1 - p_2)\left(1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-N}\right), \quad (5.7).$$

а в случае усаживания:

$$s_t = hm_v(p_1 + p_2)\left(1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-N}\right) \quad (5.8).$$

Аналогичные соотношения для максимальной осадки в мульде в момент времени t в случае набухания для отклонённых систем могут быть записаны с использованием соотношения (3.20- глава 3)) :

$$s_t = hm_v(p_1 - p_2)\left(1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{\pi^2}{4h^2} \frac{k_{\phi 0}}{\beta m_v \rho_w} t}\right) \quad (5.9).$$

а в случае усаживания:

$$s_t = hm_v(p_1 + p_2)\left(1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{\pi^2}{4h^2} \frac{k_{\phi 0}}{\beta m_v \rho_w} t}\right) \quad (5.10).$$

С использованием соотношений (5.9) - (5.10) могут быть определены основные параметры сдвижений и деформаций глинистых грунтового-породных массивов в фазе набухания и усаживания с учетом нагрузки от сооружения.

5.3. Моделирование сдвижений и деформаций грунтового-породного массива оснований с учетом особенностей набухающих грунтов Сирии

Целью моделирование сдвижения и деформаций грунтового-породного массива оснований является представление поведения набухающих глинистых грунтов Сирии в разных погодно-климатических условиях.

Рассмотрим две модели массива грунта:

- двухслойная модель массива глинистого грунта, состоящая из приповерхностного слоя мощностью 1,5 м, находящегося под воздействием атмосферных процессов и подчиняющегося закону Дарси, и подстилающего слоя той же мощности, слабodeформируемого по причине отклонения от закона Дарси;
- однослойная модель массива глинистого грунта мощностью 3 м, экранированного от воздействия атмосферных процессов и слабodeформируемого по причине отклонения от закона Дарси.

Описанные модели составлены на основе экспериментальных данных по характеристикам набухающих грунтов Сирии.

На рис.5.4 схематично представлены двухслойная и однослойная модель глинистого грунта.

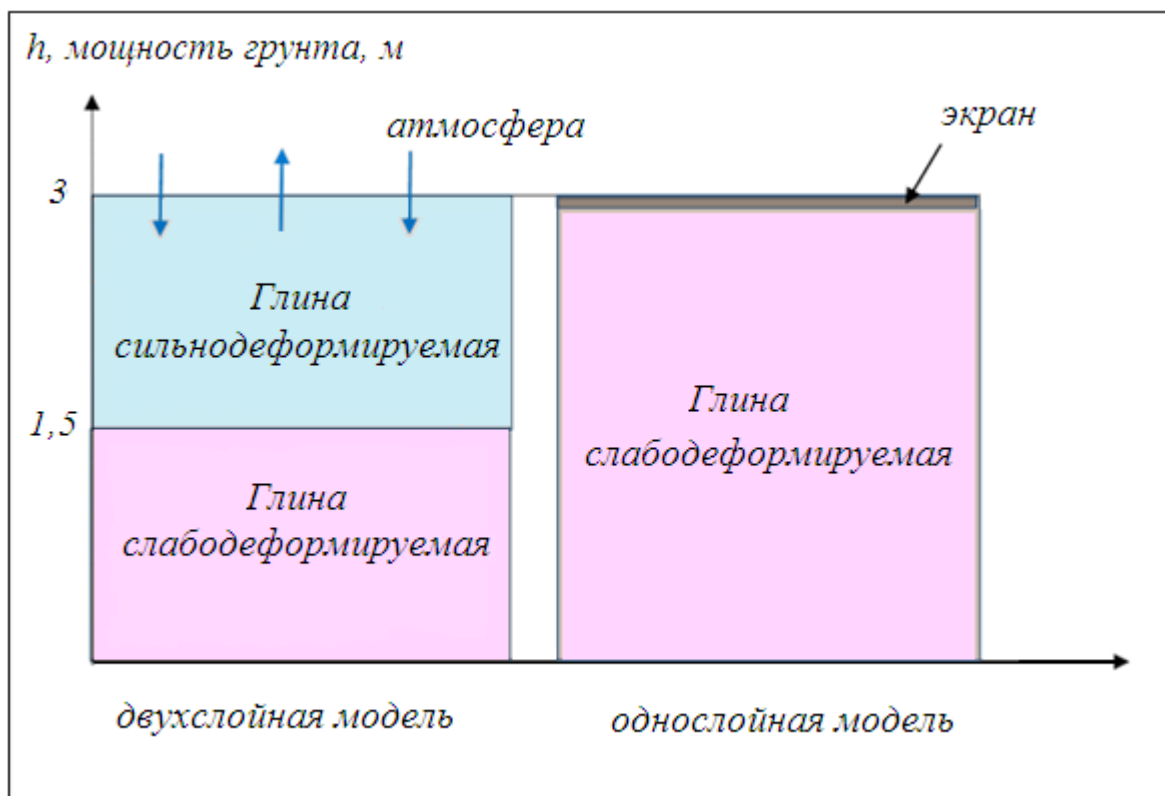


Рис. 5.4. Двухслойная и однослойная модель глинистого грунта.

В соотношении (5.1) и производных от него можно выделить две части:

- независимую от времени $hm_v p$, выражающую полную осадку;
- и зависящую от времени $(1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-N})$, определяющую кинетику процесса уплотнения.

При определении сдвижений и деформаций грунтового-породного массива оснований имеет смысл проанализировать как зависит полная завершённая деформация от параметров набухающих грунтов и характера нагрузки.

Обозначим через $\eta_{\max}$ завершённую деформацию основания:

$$\eta_{\max} = s_t = hm_v P \quad (5.11).$$

Рассмотрим, как меняется параметр $\eta_{\max}$ от соотношения компонент давления в однослойной модели.

Принятые параметры: нагрузка от сооружения $p_2=0,5 \text{ Мпа}$; $m_v=0,001 \text{ см}^2/\text{Н}$.

Параметр p_1 берется в долях от p_2 с учетом того, что грунт экранирован от воздействия атмосферных процессов и слабodeформируем по причине отклонения от закона Дарси и существенного торможения массопереноса (параметр β_t велик).

В табл. 5.1 представлены значения полной деформации грунтово-породного массива основания при разных нагрузках от сооружения для однослойной модели.

Таблица 5.1

Значения полной деформации грунтово-породного массива основания при разных нагрузках от сооружения для однослойной модели.

Параметр	Значение параметра $\eta_{\max}$ при разных нагрузках от сооружения, см					
	Стадия усаживания $P = p_1 + p_2$					
p_1 в долях от p_2	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\eta_{\max}$, см	15	16,5	18	19,5	21	22,5
	Стадия набухания $P = p_1 - p_2$					
p_1 в долях от p_2	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\eta_{\max}$, см	15	13,5	12	10,5	9	7,5

Как видно из табл.5.1, диапазон сдвижений экранированного основания в фазах набухания и осадки составляет от 7,5 до 22,5 см.

Применительно к двухслойной модели схема расчета строится с учетом того, что приповерхностный слой мощностью находящегося под воздействием атмосферных процессов и подчиняется закону Дарси, а подстилающий слой слабodeформируем по причине отклонения от закона Дарси. Для двухслойной модели полная осадка всего основания может быть определена методом послойного суммирования:

$$S = \sum_1^n h_i m_{vi} P_{zi} \quad (5.12),$$

где h_i - мощность i -ого слоя; m_{vi} - коэффициент относительной сжимаемости i -ого слоя; P_{zi} - природное давление в i -ом слое.

Принятые параметры для двухслойной модели отличаются для верхнего и нижнего слоя по показателю m_v , который имеет более высокие значения в верхнем слое:

- для верхнего слоя- нагрузка от сооружения $p_2=0,5 \text{ Мпа}$; $m_v=0,002 \text{ см}^2/\text{Н}$;
- для нижнего слоя - нагрузка от сооружения $p_2=0,5 \text{ Мпа}$; $m_v=0,001 \text{ см}^2/\text{Н}$.

В табл. 5.2- представлены значения полной деформации грунтово-породного массива основания при разных нагрузках от сооружения для двухслойной модели.

Таблица 5.2

Значения полной деформации грунтово-породного массива основания при разных нагрузках от сооружения для двухслойной модели.

Параметр	Значение параметра $\eta_{\max}$ при разных нагрузках от сооружения, см									
	Стадия усаживания $P = p_1 + p_2$									
p_1 в долях от p_2	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	1,25	1,5
$\eta_{\max}$, см	22,5	24,75	27	29,25	31,5	33,75	39,4	45	50,62	56,25
	Стадия набухания $P = p_1 - p_2$									
p_1 в долях от p_2	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	1,25	1,5
$\eta_{\max}$, см	22,5	20,25	18	15,75	13,5	11,25	5,06	0	-7,03	-11,25

На рис. 5.5 и 5.6 представлены графики полной деформации грунтово-породного массива основания при разных нагрузках от сооружения для однослойной и двухслойной моделей.

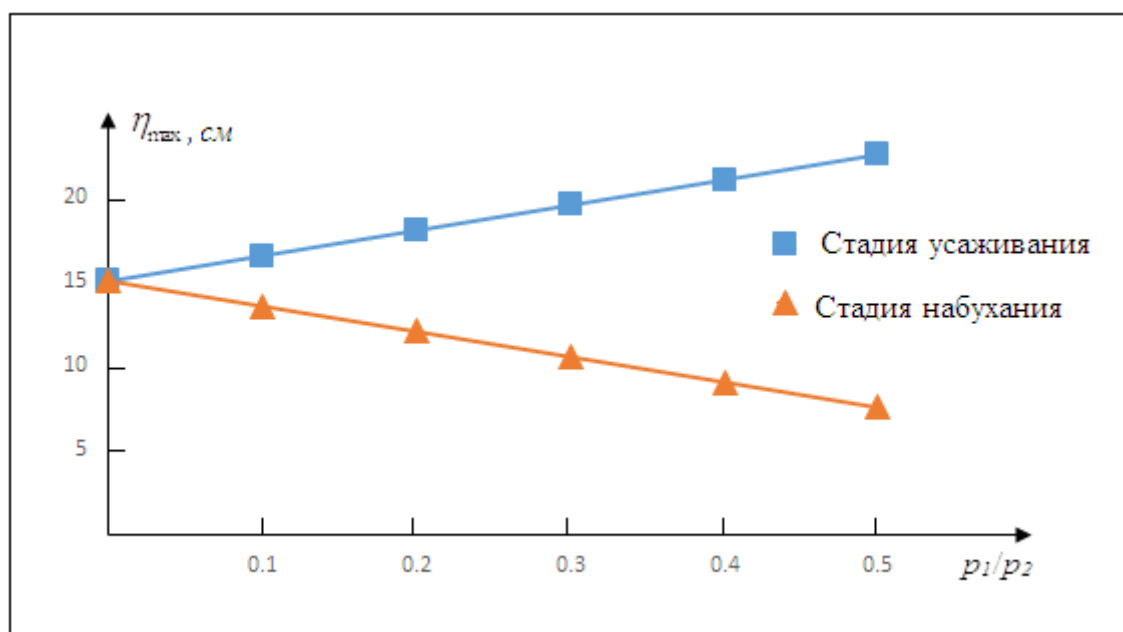


Рис. 5.5. График полной деформации грунтового-породного массива основания при разных нагрузках от сооружения для однослойной модели.

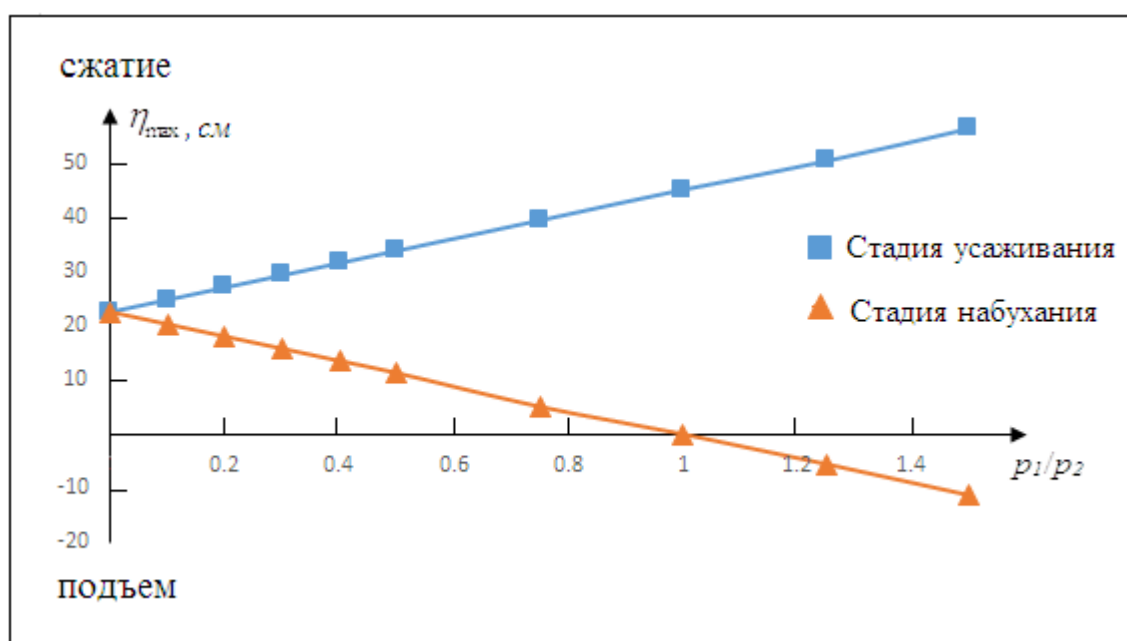


Рис. 5.6. График полной деформации грунтового-породного массива основания при разных нагрузках от сооружения для двухслойной модели.

Сопоставление данных полной деформации грунтово-породного массива основания при разных нагрузках от сооружения для однослойной и двухслойной моделей позволяет сделать выводы:

- диапазон деформаций в двухслойной модели существенно выше, чем в однослойной модели за счет того, что погодно- климатический фактор в случае двухслойной модели оказывает интенсифицирующее воздействие на сдвигание и деформацию грунтовых массивов;
- в двухслойной модели в результате активизации процессов набухания грунта при достаточно высоких значениях p_1/p_2 возможно изменение знака деформации, когда деформации сжатия сменяются деформациями подъема грунта;
- экранирование поверхности грунтово-породного массива от воздействия погодно- климатических факторов приводит к снижению деформации осадки и оказывает стабилизирующее влияние на грунтовое основание;
- сочетание постоянной нагрузки от сооружения и переменной нагрузки набухания-усаживания формирует систему ежегодно повторяющихся воздействий преимущественно осадочного характера с значениями, превышающими предельные деформации, что создает опасность для устойчивости зданий и сооружений.

Предельные деформации основания фундаментов объектов нового строительства определяются нормативным документом [53], табл. 5.3.

Согласно табл. 5.3 Диапазон параметров осадки деформации основания фундаментов составляет 10-40 см, что ниже значений осадки для двухслойной модели массива глинистого грунта.

Таблица 5.3

Предельные деформации основания фундаментов объектов нового строительства.

Сооружения	Предельные деформации основания фундаментов		
	Относительная разность осадок $(\Delta s/L)_u$	Крен i_u	Максимальная $S_u^{\max}$ или средняя $\bar{S}_u$ осадка, см
1 Производственные и гражданские одноэтажные и многоэтажные здания с полным каркасом:			
железобетонным	0,002	—	10
то же, с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий, а также здания монолитной конструкции	0,003	—	15
стальным	0,004	—	15
то же, с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий	0,005	—	18
2 Здания и сооружения, в конструкциях которых не возникают усилия от неравномерных осадок	0,006	—	20
3 Многоэтажные бескаркасные здания с несущими стенами из:			
крупных панелей	0,0016	—	12
крупных блоков или кирпичной кладки без армирования	0,0020	—	12
то же, с армированием, в том числе с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий, а также здания монолитной конструкции	0,0024	—	18
4 Сооружения элеваторов из железобетонных конструкций:			
рабочее здание и силосный корпус монолитной конструкции на одной фундаментной плите	—	0,003	40
то же, сборной конструкции	—	0,003	30
отдельно стоящий силосный корпус монолитной конструкции	—	0,004	40
то же, сборной конструкции	—	0,004	30
5 Дымовые трубы высотой H , м:			
$H \leq 100$	—	0,005	40
$100 < H \leq 200$	—	$1/(2H)$	30
$200 < H \leq 300$	—	$1/(2H)$	20
$H > 300$	—	$1/(2H)$	10
6 Жесткие сооружения высотой до 100 м, кроме указанных в позициях 4 и 5	—	0,004	20
7 Антенные сооружения связи:			
стволы мачт заземленные	—	0,002	20
то же, электрически изолированные	—	0,001	10
башни радио	0,002	—	—
башни коротковолновых радиостанций	0,0025	—	—
башни (отдельные блоки)	0,001	—	—

8 Опоры воздушных линий электропередачи: промежуточные прямые анкерные и анкерно-угловые, промежуточные угловые, концевые, порталы открытых распределительных устройств специальные переходные	0,003 0,0025 0,002	— — —	— — —
Примечания 1 Значение предельной максимальной осадки основания фундаментов $S_u^{\max}$ применяется к сооружениям, возводимым на отдельно стоящих фундаментах на естественном (искусственном) основании или на свайных фундаментах с отдельно стоящими ростверками (ленточные, столбчатые и т.п.). 2 Значение предельной средней осадки $\bar{S}_u$ основания фундаментов применяется к сооружениям, возводимым на едином монолитном железобетонном фундаменте неразрезной конструкции (перекрестные ленточные и плитные фундаменты на естественном или искусственном основании, свайные фундаменты с плитным ростверком, плитно-свайные фундаменты и т.п.). 3 Предельные значения относительного прогиба зданий, указанные в позиции 3, принимают равными $0,5(\Delta s/L)_u$, а относительного выгиба — $0,25(\Delta s/L)_u$. 4 При определении относительной разности осадок $(\Delta s/L)$ в позиции 8 таблицы Д.1 за L принимают расстояние между осями блоков фундаментов в направлении горизонтальных нагрузок, а в опорах с оттяжками — расстояние между осями сжатого фундамента и анкера. 5 Если основание сложено горизонтальными (с уклоном не более 0,1), выдержанными по толщине слоями грунтов, предельные значения максимальных и средних осадок допускается увеличивать на 20 %. 6 Предельные значения подъема основания, сложенного набухающими грунтами, допускается принимать: максимальный и средний подъем в размере 25 % и относительную разность осадок в размере 50 % соответствующих предельных значений деформаций, приведенных в настоящем приложении, а относительный выгиб — в размере $0,25(\Delta s/L)_u$. 7 На основе обобщения опыта проектирования, строительства и эксплуатации отдельных видов сооружений допускается принимать предельные значения деформаций основания фундаментов, отличающиеся от указанных в настоящем приложении.			

С использованием данных табл. 5.3 могут быть определены критические и запредельные деформации осадки оснований на набухающих грунтах, для предотвращения которых необходимо принятие методов по управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства.

5.4. Определение состава и структуры методов по управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в условиях набухающего грунтового-породного массива

Ранее (глава 1) уже были представлены общие подходы к описанию методов защиты зданий и сооружений от влияния горно-строительных работ. В настоящем разделе сделан акцент на такие методы защиты зданий и сооружений от влияния горно-строительных работ, которые опираются на

учет специфики деформации глинистых грунтов, исследуемых в данной работе.

Необходимо указать, что современный подход к выбору методов управления геомеханическими процессами при освоении подземного пространства отличается использованием комплексных решений и сочетанием горных, геомеханических, конструктивных, технологических, методических и иных решений заложены учеными Баклашовым И.В., Иофисом М.А., Картозия Б. А., Каспарьяном Э.В., Козыревым А.А., Макаровым А.Б., Мустафаевым А.А., Протосеня А. Г., Сорочаном Е. А., Улицким В.М., Шашкиным А.Г., Шашкиным К.Г. и др. [7,35,37,38,46,54,57,70,82].

В табл. 5.4 представлены нормативные методы защиты эксплуатируемых зданий и сооружений на подрабатываемых территориях [33].

Таблица 5.4

**Меры защиты эксплуатируемых зданий и сооружений на
подрабатываемых территориях.**

№	Группы методов	Состав методов
1	<i>Горные</i> – уменьшающие деформации оснований и фундаментов зданий и сооружений	а) полная или частичная закладка выработанного пространства; б) предварительное усиление и закрепление горных пород в зоне забоя и за контурами обделок горных выработок; в) применение проходческих комплексов с закрытым забоем и его пригрузом; д) уменьшение сечений и размеров горных выработок; г) увеличение расстояний между горными выработками и фундаментами эксплуатируемых зданий и сооружений; е) нагнетание тампонажных растворов в заобделочное пространство одновременно или сразу после перемещения проходческих комплексов; ж) применение монолитной прессбетонной обделки; з) выбор метода и технологического режима проходки, обеспечивающих уменьшение перебора грунта в забое и наиболее раннее подкрепление выработки, и др.

2	<i>Геотехнические – уменьшающие или устраняющие деформации оснований и фундаментов зданий и сооружений</i>	а) мероприятия, предохраняющие грунты основания от ухудшения их строительных свойств; б) мероприятия, направленные на преобразование строительных свойств грунтов с целью уменьшения деформаций оснований и приспособления их к сдвигам массива горных пород; в) усиление фундаментов зданий и сооружений; г) передача нагрузок от зданий и сооружений на нижележащие слои грунтов; д) отсечение грунтовых оснований зданий и сооружений от горных выработок путем устройства между ними разделительных стенок; е) снижение неравномерных осадок и выравнивание зданий и сооружений путем выбуривания грунтов из-под подошвы фундаментов, нагнетания в ограниченный объем грунта твердеющих растворов; ж) отрывка временных компенсационных траншей для уменьшения усилий от горизонтальных деформаций оснований и др.
3	<i>Конструктивные – уменьшающие чувствительность зданий и сооружений к деформациям их основания, а также уменьшающие или устраняющие деформации их конструкций</i>	а) разделение зданий и сооружений деформационными швами; б) усиление отдельных конструктивных элементов или сооружений тяжами, или железобетонными поясами; в) установка связей – распорок; г) выравнивание зданий и сооружений поддомкрачиванием и т. д.

Приведенные в табл.5.4 методы можно рассматривать как базовые, на основе которых с введением *дополнительных методов* строится современный комплекс способов управления геомеханическими процессами при освоении подземного пространства.

Как следует из табл. 5.4, во всех группах методов есть технологические приемы воздействия на горные породы и грунты с целью усиления и закрепления грунтов, мероприятия, предохраняющие грунты основания от ухудшения их строительных свойств, а также способы управления строительными свойствами грунтов с целью уменьшения деформаций

оснований и приспособления их к сдвигениям массива грунтов и ряд других методов.

Следует отметить, что учеными Улицким В.М., Шашкиным А.Г. и Шашкиным К.Г. недавно созданы принципиальные подходы по системе методов управления геомеханическими процессами при строительстве подземных сооружений, изложенные в Концепции геотехнического сопровождения. Концепция геотехнического сопровождения построена по принципу непрерывного обслуживания этапов жизненного цикла строительства с выделением содержания работ по каждому этапу, рис. 5.7.

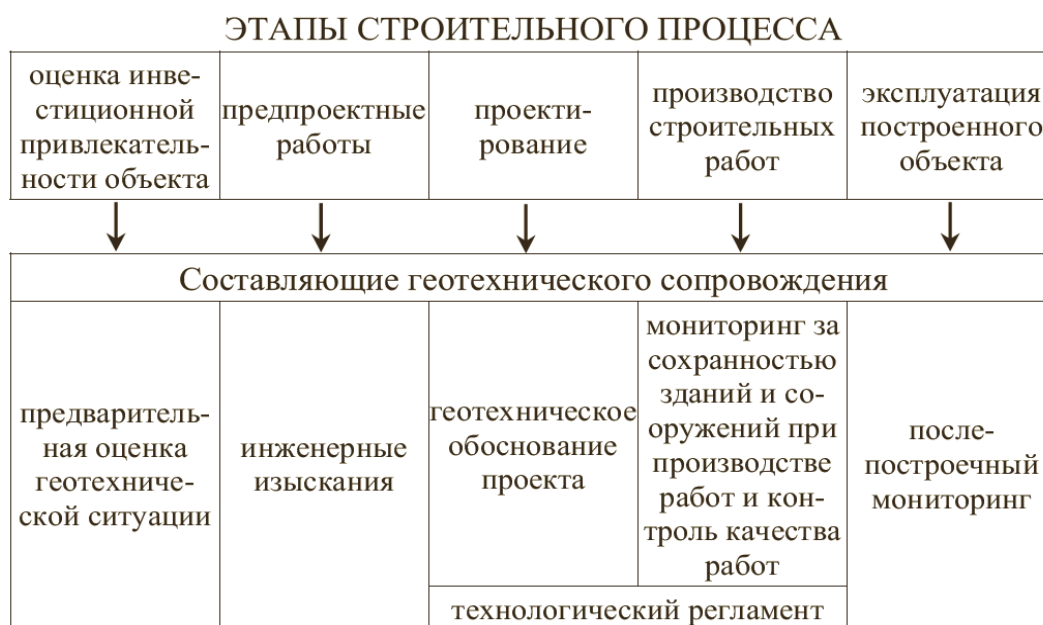


Рис. 5.7. Компоненты геотехнического сопровождения.

В условиях плотной городской застройки уровень нагруженности грунтовых оснований становится столь значительным, что становится необходимым учет взаимовлияния нового строительства на существующие сооружения, и наоборот- влияние изменяемого состояния оснований существующего сооружения на возводимый объект. В частности, возникает проблема нормирования дополнительных деформаций существующих

сооружений от нового строительства или реконструкции. Факторы негативного воздействия на окружающую застройку приведены на рис. 5.8.



Рис. 5.8. Факторы негативного воздействия на окружающую застройку.

Как видно из рис.5.8, значительное влияние на окружающую застройку оказывает изменение гидрогеологических условий, роль которых в набухающих грунтах Сирии особенно велика.

Один из элементов Концепции геотехнического сопровождения - *профилактические меры*, включающие мониторинг за деформациями породного массива при ведении горных и горно-строительных работ, как, например, по схеме, представленной на рис.5.9 [35].

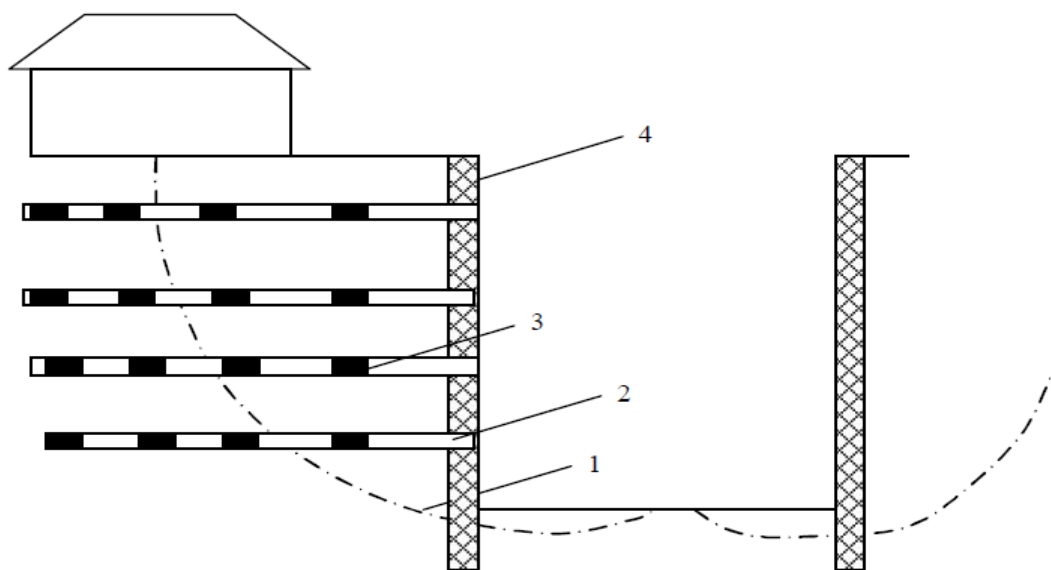


Рис. 5.9. Схема размещения наблюдательной станции за деформациями породного массива при ведении горных работ методом «стена в грунте»:

1 – потенциальная поверхность скольжения; 2 – скважина; 3 – глубинный репер; 4 – удерживающая конструкция котлована.

В числе других перспективных решений при разработке состава методов по управлению геомеханическими процессами можно указать на *методические подходы*, примером которых могут служить методы корректировки расчетных соотношений деформаций оснований на набухающих глинистых грунтах, описанные в главе 3.

Следует указать на актуальность использования таких решений как *моделирование и расчет грунтовых оснований* как необходимый элемент методов управления геомеханическими процессами.

Еще одну группу методов составляют *специальные технологические решения*, которые создаются на основе учета комплекса факторов-особенностей свойств набухающих грунтов и характера воздействия на них.

Применительно к набухающим грунтам Сирии при разработке *специальных технологических решений* должны быть приняты во внимание характерные особенности набухающих грунтов с учетом фактора погодноклиматических условий со сменой сезона дождей на засушливый период.

Как следует из обобщения данных по экспериментальным свойствам глинистых грунтов Сирии, выполненных в рамках настоящей работы и другими авторами [5,6,41,66], а также результатов моделирования деформаций оснований принципиальные особенности поведения набухающих грунтов Сирии определяются факторами:

- характером и интенсивностью взаимодействия поверхностных слоев набухающего грунта с атмосферой, при этом взаимодействие происходит посредством теплопередачи и переноса влаги;
- взаимодействие поверхностных слоев набухающего грунта с атмосферой подавляется при использовании методов тепло- и гидроизоляции поверхности раздела грунт- атмосфера;
- генезисом, составом и характеристиками грунтов Сирии (например, каолинитовая и монтмориллонитовая глины).

На рис. 5.10 представлена структура методов по управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в условиях набухающего грунтового-породного массива.

Входящие в структуру (рис. 5.10) методы можно условно разделить на группы в зависимости от их общего характера:

- группа методов, с помощью которых формируются базы данных для проектирования и строительства зданий и сооружений- инженерно-геологические изыскания, экспериментальные исследования набухающих грунтов, моделирование и расчет грунтовых оснований;
- нормативные методы защиты эксплуатируемых зданий и сооружений;

- дополнительные методы- профилактические меры, методические подходы, специальные технологические решения, методы усиления оснований и фундаментов, а также основных конструкций зданий.



Рис. 5.10. Структура методов по управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в условиях набухающего грунтового-порodного массива.

Специальные технологические решения при строительстве подземной части зданий и сооружений на набухающих грунтах Сирии состоят в регулировании водо- теплообмена грунта с окружающей средой.

В этом плане имеет смысл обратить внимание на те методы и технологии, которые используются в строительстве с наличием в основании слабых глинистых грунтов [4,55,56,69].

В отношении грунтов в фазе усаживания имеются ряд указаний на мероприятия, устраняющих или уменьшающих деформации оснований:

- устройство свайных фундаментов с прорезкой толщи свайными фундаментами из забивных, набивных, буронабивных и других типов свай;
- глубинное уплотнение с предварительным замачиванием нижних слоев грунта, регулируемое замачивание, также другие методы;
- уплотнение грунта тяжелыми трамбовками или устройством грунтовой подушки, препятствующей замачиванию грунтов сверху;
- уплотнение грунтов в фазе усаживания предварительным замачиванием для устранения усадки в нижних слоях толщи, снижения их деформативности и повышения несущей способности;
- проведение водозащитных мероприятий при строительстве зданий на грунтах в фазе усаживания для предотвращения или снижения вероятности замачивания основания зданий и развития неравномерных осадок и просадок грунтов, контроля за состоянием водонесущих сетей и для возможности их осмотра и ремонта.

Так, в [56] при строительстве сооружений в слабых водонасыщенных грунтах указывается на такие методы, как фильтрующая пригрузка, песчаные подушки, известковые сваи, электрохимическая обработка, свайные фундаменты и метод интенсивного ударного уплотнения.

На основании вышеизложенного, в табл. 5.5 приводится классификация методов по управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в условиях набухающего массива.

Таблица 5.5

**Классификация методов по управлению геомеханическими процессами
при освоении подземного пространства в условиях набухающего
грунтового-породного массива**

Наименование метода	Преимущества	Недостатки	Тип метода
Группа методов, с помощью которых формируются базы данных для проектирования зданий и сооружений	Позволяет повысить достоверность проектных решений	Высокие трудозатраты и стоимость	Инженерно-геологические изыскания, экспериментальные исследования, моделирование и расчет грунтовых оснований
Нормативные горные, геотехнические, конструктивные меры защиты эксплуатируемых зданий и сооружений на подрабатываемых территориях.	Высокая эффективность для оснований на структурно-устойчивые грунтовые основания	Недостаточно эффективны для оснований на слабых грунтах	Комплексные решения
Профилактические меры, включающие геомеханический мониторинг за деформациями породного массива при ведении горно-строительных работ	Своевременное обнаружение признаков, предшествующих возникновению аварийных ситуаций	В случае оснований на слабых грунтах требуется методическая доработка для учета дополнительных осадок	
Методические подходы (корректировка расчетных соотношений деформаций оснований на набухающих глинистых грунтах)	При расчете деформаций оснований позволяет учесть особенности набухающих глинистых грунтах	Необходимо дополнение нормативных документов	
Методы усиления оснований и фундаментов, а также основных конструкций зданий			
Цементирование	Высокая эффективность	Затратная технология	Химический
Усиление грунта вяжущими веществами	Пригоден для грунтов широкого спектра	Затратная технология	
Динамическая уплотнение (ударное уплотнение)	Высокая эффективность	Высокая энергоемкость технологии	Динамический
Предварительное замачивание основания	устранение свойства набухания грунтов	Требует много времени	Методический
Укрепление известью, золой	Низкая стоимость исходных материалов	Необходимость отбора сырья	Физический
Применение компенсирующих песчаных подушек	Пригодны для водонасыщенных грунтов	Ограниченная эффективность	

Армирование оснований	Стабилизирует горизонтальные деформации	Недостаточно эффективно для набухающих грунтов	Конструктивный
Устройство свайных фундаментов	Высокая эффективность для глинистых грунтов	Высокая стоимость технологии	
Углубление фундамента ниже зоны колебания водосодержания	Пригоден при необходимости переноса подошвы фундамента на более плотные нижележащие слои грунта	Значительная трудоемкость	
Увеличение опорной площади фундаментов, подведение железобетонных плит	Эффективно для высоконагруженных оснований	Недостаточно эффективно для набухающих грунтов	
Изменение конструктивной схемы здания, устройство металлических поясов и тяжей	Сохраняет устойчивость зданий при появлении дефектов	Ограниченная эффективность для набухающих грунтов	
Различные способы компенсационного нагнетания	Достаточная эффективность как локальное решение	Малая эффективность для набухающих грунтов	Конструктивно-технологический
Специальные технологические решения			
Экранирование поверхности грунтового основания от тепло- влагообмена с атмосферой	Снижает интенсивность тепло- влагообмена грунтового основания с атмосферой	Необходимо методическое решение определения зоны экранирования	Конструкционно-технологический
Замена слоя набухающего грунта ненабухающим	Низкие эксплуатационные деформации	Высокая стоимость технологии	Конструктивный
Вертикальное дренирование	Эффективно в водонасыщенных сильносжимаемых грунтах	Малая эффективность для грунтов с низким водообменом	

Применение и выбор методов в конкретной ситуации определяется на основе комплекса данных: расчётных прогнозируемых значений параметров сдвижений и деформаций глинистых массивов с учетом нагрузки от сооружения; испытаний грунтов в лабораторных условиях; инженерно-геологических обследований проектируемого объекта; мониторинга деформаций на этапе строительства и эксплуатации; природно-климатических многолетних наблюдений; иных данных, состав которых определяется с учетом особенностей территорий и возводимого объекта.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 5

1. С использованием методов моделирования и расчета сдвижений и деформаций оснований с учетом особенностей набухающих грунтов Сирии установлено, что:

- экранирование поверхности грунтово-породного массива от воздействия погодно- климатических факторов приводит к снижению деформации осадки и оказывает стабилизирующее влияние на грунтовое основание;
- сочетание постоянной нагрузки от сооружения и переменной нагрузки набухания-усаживания формирует систему ежегодно повторяющихся воздействий преимущественно осадочного характера с значениями, превышающими предельные деформации, что создает опасность для устойчивости зданий и сооружений.

2. Анализ опасности вариантов расположения оснований задний относительно опасной зоны влияния показывает, что наибольшую опасность для устойчивости сооружений представляет случай, когда часть основания оказывается в опасной зоны влияния, тогда как остальная часть основания расположена вне опасной зоны влияния, и при этом глинистый грунт находится в фазе усаживания.

3. Составлены аналитические соотношения для определения основных параметров сдвижений и деформаций глинистых грунтово-породных массивов в фазе набухания и усаживания с учетом нагрузки от сооружения для грунтов, подчиняющихся закону Дарси и отклоняющихся от него.

4. Разработаны структура и классификация методов управления геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в условиях набухающего грунтово-породного массива, учитывающая специфику деформирования массива набухающих глинистых грунтов в зависимости от воздействия погодно- климатических факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся законченной научно-квалификационной работой, изложено научно обоснованное решение актуальной научно-практической задачи обеспечения устойчивости зданий и сооружений при освоении подземного пространства в условиях набухающих грунтов Сирийской Арабской Республики. Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Разработан теоретически и экспериментально обоснованный параметр набухающих глинистых грунтов, характеризующий степень торможения деформационных процессов в фазе осадки, обусловленных замедлением массопереноса в грунте с учетом отклонений от закона Дарси.

2. С использованием параметра торможения деформационных процессов разработаны методы корректировки расчетных соотношений деформаций грунтово-породного массива оснований на набухающих глинистых грунтах.

3. На основе комплекса экспериментальных исследований установлены закономерности деформационного поведения каолинитовой и монтмориillonитовой глин Сирии в фазе осадки и набухания. Показано, что характер деформаций глинистых грунтов при фильтрационном уплотнении резко меняется при разблокировании транспортных пор и активации массопереноса в результате предварительной электрофизической обработки.

4. Экспериментально установлено, что характер набухания глин существенно меняется в зависимости от выполнимости закона Дарси:

- грунты с отклонениями от закона Дарси демонстрируют низкие способности к деформациям набухания ($\varepsilon_{sw} < 0,1$);
- грунты, подчиняющиеся закону Дарси, демонстрируют высокие способности к деформациям набухания ($\varepsilon_{sw} > 0,18$).

5. Разработан критерий отнесения глинистого грунта к системам, не подчиняющимся закону Дарси – значительное увеличение осадки при компрессионно-фильтрационном воздействии после его электрофизической обработки.

6. Анализ опасности вариантов расположения оснований зданий относительно опасной зоны влияния показывает, что наибольшую опасность для устойчивости сооружений представляет случай, когда часть основания оказывается в опасной зоне влияния, тогда как остальная часть основания расположена вне опасной зоны влияния, и при этом глинистый грунт находится в фазе усаживания.

7. С использованием методов моделирования и расчета сдвижений и деформаций грунтового-породного массива оснований с учетом особенностей набухающих грунтов Сирии установлено, что:

- экранирование поверхности грунтового-породного массива от воздействия погодных- климатических факторов приводит к снижению деформации осадки и оказывает стабилизирующее влияние на грунтовое основание;
- сочетание постоянной нагрузки от сооружения и переменной нагрузки набухания-усаживания формирует систему ежегодно повторяющихся воздействий преимущественно осадочного характера с значениями, превышающими предельные деформации, что создает опасность для устойчивости зданий и сооружений.

8. Разработаны структура и классификация методов управления геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в условиях набухающего грунтового-породного массива, учитывающая специфику деформирования массива набухающих глинистых грунтов в зависимости от воздействия погодных- климатических факторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абед А. Влияние давления набухания на несущую способность набухающих грунтов, Дисс. ... магистра техн. наук, Университет Аль Баас, Хомс (Сирия), 2003. (на арабском языке).
2. Абелев М. Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. М.:Стройиздат, 1983. 248 с.
3. Абелев М. Ю, Абелев К. М. Геотехнические исследования площадок строительства, сложенных слабыми водонасыщенными глинистыми грунтами. Международный журнал «Геотехника». №6/2010.
4. Алексеев С. И. Механика грунтов: учебное пособие для студентов вузов / С. И. Алексеев. – СПб. Петербургский государственный университет путей сообщения, 2007. – 111 с.
5. Альсусу. М. Влияние начальной влажности на свойства набухающих грунтов, распространенных в северо-восточной части Сирии. Дисс. ... магистра техн.наук, Дамасский университет (Сирия), 2006. (на арабском языке).
6. Ашрам Махмуд Нихад. Набухающие грунты как основания фундаментов зданий и сооружений в северо- восточных регионах Сирии: Дис... канд. техн. наук, 2000. - 160 л.
7. Баклашов И. В. Геомеханика: Учебник для вузов. Том 1. Основы геомеханики. М.: МГГУ, 2004. — 208 с.
8. Басниев К. С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика. - М.: Недра, 1993. - 416 с.
9. Болдырев Г. Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты (в вопросах и ответах) [Текст]: учеб. пособие / Г.Г. Болдырев, М.В. Малышев. 4-е изд., перераб. и доп.– Пенза: ПГУАС, 2009. – 412 с.

10. Брандль Х. Улучшение грунта и инновации при проведении земляных работ для транспортной инфраструктуры. Развитие городов и геотехническое строительство, №11/2007- С.137- 156.
11. Буданова Т. Е, Озмидов О. Р, Озмидов И. О. Современные методы изучения гранулометрического состава грунтов. Журнал «Инженерные изыскания», 08/2013.
12. Булычев Н. С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах: Учебное пособие для вузов.-М.: Недра, 1989, 270 с.
13. Ватин Н. И. Совместный расчет здания и фундамента мелкого заложения в SCAD [Электронный ресурс] / Н. И. Ватин, А. А. Мойся; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. — Электрон. текстовые дан. (1 файл: 132 Кб). — СПб., 2007. — <URL:<http://dl.unilib.neva.ru/dl/1382.pdf>>.
14. Викторов С. Д., Иофис М. А., Гончаров С. А. Сдвигение и разрушение горных пород М.: Наука, 2005. - 277 с.
15. Вознесенский Е. А. Динамическая неустойчивость грунтов / Е. А. Вознесенский. -М.: Эдиториал УРСС, 1999. -263 с.
16. Вознесенский Е.А. Поведение грунтов при динамических нагрузках. – М., 1997.
17. Гаврилова Н. Н. Микроскопические методы определения размеров частиц дисперсных материалов: учеб. пособие / Н. Н. Гаврилова, В. В. Назаров, О. В. Яровая. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. – 52 с.
18. Герсеванов Н. М. Основы динамики грунтовой массы. – М.: Госстройиздат, 1931, 242 с.
19. Глушихин Ф. П [и др]. Моделирование в геомеханике / М.: Недра, 1991. 240 с.

20. Голли О. Р. Использование закономерностей набухания глинистых грунтов в строительстве. Реконструкция городов и геотехническое строительство, №8/2004.
21. Гольдберг В. М., Скворцов Н. П. Проницаемость и фильтрация в глинах. — М.: Недра. 1986- 160 с.
22. Горелик С. С, Расторгуев Л. Н, Скаков Ю. А. Рентгенографический и электроннооптический анализ. Издательство: Металлургия: 1979.
23. Горно-геологический справочник по разработке рудных месторождений /под ред. А.М. Бейсебаева, М.Ж. Битимбаева, С.Ж. Даукеева, Алматы, Информационно-презентационный центр МСК РК,1997. В двух томах: I том - 575 с., II том – 252 с.
24. Городецкая Н. С. Волны в пористо-упругих насыщенных жидкостью средах // Акустичный вистник. 2007. 10, № 2. 43–63.
25. Городецкий А. С., Батрак Л.Г., Городецкий Д.А., Лазнюк М.В., Юсипенко С.В. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. - К, 2004 – С. 37-39.
26. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
27. ГОСТ 12536-79. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.
28. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация.
29. ГОСТ 25584-90. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. М. 1990.
30. Далматов Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты. Учебник для вузов. 2-е изд. -Л.: Стройиздат, 1988. - 415 с.

31. Долгов Д. В. Разработка методов и технологии ускорения осадок земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. Москва 2014.
32. Замышляев Б.В., Евтерев Л. С. Модели динамического деформирования и разрушения грунтовых сред. М.: Наука. 1990. 215 с.
33. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. Актуализированная редакция. СНиП 2.01.09-91. М., 2012.
34. Зенкевич О. Метод конечных элементов в теории сооружений и механике сплошных сред [Текст] / О. Зенкевич, И. Чанг : Пер. с англ. – М. : Недра, 1974. – 240 с.
35. Иофис М. А, Гришин А. В. Совершенствование методов геомеханического обеспечения освоения недр. // Горный информационный аналитический бюллетень, 2010. Специальный выпуск. – С. 56-59.
36. Иофис, М. А. Инженерная геомеханика при подземных разработках [Текст] / М. А. Иофис, А. И. Шмелев. – М.: Недра, 1985. – 248 с.
37. Картозия Б. А, Федунец Б. И, Шуплик М. Н и др. Шахтное и подземное строительство. Учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп.: В 2 т. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 815 с.
38. Каспарьян Э. В. Геомеханика: метод. пособие / Каспарьян Э. В., Козырев А.А., Иофис М.А., Макаров А.Б. – М: Высшая школа, 2006 - 503 с.
39. Коуса Исса. Фундаментостроение (3). Инженерно-строительный факультет. Издательство университета Аль Баас, Хомс (Сирия), 1997, 144 с. (на арабском языке).

40. Леонтьев Н. Е. Основы теории фильтрации: Учебное пособие. — М.: Изд-во Центра прикладных исследований при механико-математическом факультете МГУ, 2009. — 88 с.
41. Махер Шауки Омар. Набухающие грунты и строительство на них (в условиях Сирийской Арабской Республики): Дис... канд. техн. наук, 2002. - 145л.
42. Милюков Д. А., Петраков А. А. Строительство и защита жилых и гражданских зданий на подрабатываемых территориях, Киев, 1981- 104 с.
43. Мироненко В. А., Шестаков В. М. Основы гидрогеомеханики. М., «Недра», 1974. 296 С.
44. Мулюков Э. И. Классификация причин отказов оснований фундаментов // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1992. - № 3. - с. 28-30.
45. Мустафаев А. А. Расчет балочных фундаментов на набухающих грунтах /А. А. Мустафаев, Ф. Г. Габитов, А.П. Ерганджиев// Основания, фундаменты и механика грунтов. -1985. -№1-С.8-10.
46. Мустафаев А. А. Фундаменты на просадочных и набухающих грунтах. -М., 1989.
47. Негурица Д. Л . Геомеханические основы построения карт прогноза деформаций земной поверхности при разработке угольных месторождений: Дис... канд. техн. наук, Москва, 2000.-120 с.
48. Новоженин С. Ю. Прогноз сдвижений и деформаций горных пород при сооружении эскалаторных тоннелей метрополитена тоннелепроходческими механизированными комплексами: автореферат диссертации на соискание учен. степени кандидата техн. наук:– Санкт-Петербург, 2014. – 21 с.

49. Нуждин Л. В, Нуждин М.Л, Козьминых К. В. Сравнение результатов расчета осадок фундаментов по методам СП 22.13330.2011. Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2014 № 4.
50. Орлов Г. В. Сдвигение горных пород и земной поверхности под влиянием подземной разработки: учеб. пособие / Г.В. Орлов, М.А. Иофис. – М.: Изд-во МГИ, 1990. – 116 с.
51. Осипов В. И, Соколов В. Н, Румянцева Н. А. Микроструктура глинистых пород/Под ред. Академика Е. М. Сергеева —М.: Недра, 1989. - 211 с: ил.
52. Основания зданий и сооружений [Текст]: СНиП 2.02.01–83: введ. 01.01.1985. – М. – 1995. – 47 с.
53. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция. СНиП 2.02.01-83. Москва 2011.
54. Певзнер М. Е., Иофис М. А., Попов В. Н. Геомеханика: Учебник для вузов. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2005, 538 с.
55. Петраков А. А, Яркин В. В, Таран Р.А., Казачек Т.В.; Учебное пособие по курсу "Механика грунтов" / Под ред. Петракова А.А. – Макеевка: ДонНАСА, 2004. – 164 с.
56. Постовалова А. А. Строительство зданий и сооружений в усложненных условиях строительства. Лекции. <http://edu.dvgups.ru/METDOC/DVPRAZ/BSOSR/%D0%9F%D0%90-10.PDF>.
57. Протосеня А. Г. Механика подземных сооружений. Пространственные модели и мониторинг [Текст] / А. Г. Протосеня [и др.]. – СПб: СПГГУ–МАНЭБ, 2011. – 355 с. с ил.
58. Пьянков С. А. Механика грунтов: учебное пособие / С. А. Пьянков, З. К. Азизов; Ульянов. гос. техн. ун-т. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 103 с.

59. Разводовский Д. Е, Шулятьев О. А, Никифорова Н. С. Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих зданий и сооружений // РАСЭ. 2008. Т. XII: Строительство подземных сооружений. Режим доступа: http://www.eccpf.com/upload/publikazii/XII%20tom%20RASEh_prognoz%20vlyaniya.pdf.

60. Ребиндер П. А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. — М.: Наука, 1979.

61. Рекомендации по проектированию мероприятий для защиты эксплуатируемых зданий и сооружений от влияния горных выработок в основных угольных бассейнах. Л., Стройиздат, 1967.

62. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений. М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР, 1978.

63. Рыльникова М.В., Зотеев О.В. Геомеханика: Учебное пособие для студентов вузов. М.: «Руда и металлы», 2003. -240 с.

64. Ряды Фурье и дифференциальные уравнения математической физики. «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)». 2012. 137 с.

65. Салим Б, Аль-Мансури А. Исследование характеристик набухающих грунтов в провинции Деръа (Сирия), вестник Дамасского университета, том.9, серия № 2, 2003. (на арабском языке).

66. Салим Б. Исследование поведения глинистых грунтов в южном регионе Сирии, Дисс. ... магистра техн.наук, Дамасский университет (Сирия), 2003 . (на арабском языке).

67. Сашурин А. Д. Геомеханические модели и методы расчета сдвижений горных пород при разработке месторождений в скальных массивах: автореферат дис. ... доктора технических наук:/ Сиб. отд-ние Рос.

академии наук. Ин-т горного дела. - Екатеринбург, 1995. - 38 с.: ил. РГБ ОД, 9 95-2/2174-9.

68. Сердюк Н. И. Кавитационные способы декольматажа фильтровой области буровых скважин Издательство: М.: ВНИИОЭНГ. 2004.- 176 с.

69. Сирадж Обдуссалам. Фундаменты в сложных грунтовых условиях, Дом знаний, Дамаск (Сирия), 1992. (на арабском языке).

70. Сорочан Е. А. Строительство сооружений на набухающих грунтах. - М.: Стройиздат, 1989.- 312 с.

71. Сорочан Е. А. Строительство сооружений на набухающих грунтах. М.: Стройиздат, 1974. - 225 с.

72. Сотников С. Н, Симагин В. Г, Вершинин В. П. Проектирование и возведение фундаментов вблизи существующих сооружений: (Опыт строительства в условиях Северо-Запада СССР) /; Под ред. С. Н. Сотникова. — М.: Стройиздат, 1986. — 96 с: ил.

73. Терцаги К. Теория механики грунтов.- М.: Стройиздат, 1961- 507с.

74. Терцаги К., Пек Р. Механика грунтов в инженерной практике. М.: Госстройиздат, 1958. - 608 с.

75. Ткаченко С. И, Хоменко А. Ю. Определение удельной поверхности пористых материалов методами БЭТ и Ароновича: лабораторная работа .— М.: МФТИ, 2014. – 47 с.

76. Троицкая М. П. Пособие к лабораторным работам по механике грунтов М.: МГУ, 1961. - 306 с.

77. Трофимов В. Т, Королёв В. А, Вознесенский Е. А. и др. Грунтоведение (Под. ред. В. Т. Трофимова, 6-е изд.). — М., Изд-во МГУ, 2005. — 1024 с.

78. Трубецкой К.Н., Иофис М.А. Геомеханическое обеспечение комплексного освоения недр г. Москвы. //Горный журнал. – 1999. – №11.

79. Туполев М. С. (ред.) Архитектурные конструкции. Конструкции гражданских зданий. М.: Архитектура-С, 2006. — 240 с.
80. Турчанинов И. А, Иофис М. А, Каспарьян Э. В. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.: илн.
81. Улицкий В. М, Шашкин А. Г, Шашкин К. Г, Лучкин М. А. Расчет осадок зданий и сооружений на слабых глинистых грунтах с учетом развития деформаций сдвига во времени // Развитие городов и геотехническое строительство. 2007. № 11. С. 11-55.
82. Улицкий В. М, Шашкин А. Г, Шашкин К. Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Стройиздат Северо-Запад, Георекострукция, 2010. - 281 с. (Серия "Достижения современной геотехники").
83. Фадеев А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987.
84. Хамза М. Механика грунтов 1, Публикации университета Алеппо (Сирия), 2002, 245с. (на арабском языке).
85. Хэтч Ф, Уэллс А, Уэллс М. Петрология магматических пород. М. Издательство Мир. 1975.
86. Цымбалов А. А. Метод интенсификации закольматированных скважин вибрационным воздействием // Создание эффективных средств механизации в строительных и дорожных отраслях: сб. науч. тр. / Саратов. гос. техн. ун-т. – Саратов: СГТУ, 2013. – С.76-81.
87. Цытович Н. А. Механика грунтов. Краткий курс. Учебник для строительных вузов. — Изд. 4-е перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1983. — 288 с.: ил.
88. Цытович Н. А. Механика грунтов. М: 1979.

89. Цытович Н. А. Механика мерзлых грунтов (общая и прикладная). М.: Высшая школа, 1973.
90. Цытович, Н. А. Инженерный метод прогноза осадок фундаментов. -М.,1988.
91. Day, R. W. (1999), Geotechnical and foundation engineering design and construction, McGraw Hill Companies, New York.
92. Donalson, G.W. "The Occurrence of Problems of Heave and Factors Affecting its Nature" Second International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils, Texas A&M Press., (1969).
93. Lucian. Ch, Geotechnical Aspects of Buildings on Expansive Soils in Kibaha, Tanzania: Preliminary Study, Licentiate Thesis, Department of Civil and Architectural Engineering Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, 2011.
94. Lucian. Ch. Geotechnical Aspects of Buildings on Expansive Soils in Kibaha, Tanzania, Doctoral Thesis, Department of Civil and Architectural Engineering Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, 2008.
95. Lytton R. L. Analysis for Design of Foundations on Expansive Clay. / / Geomechanics Journal, Institution of Engineers, Australia. -1970.
96. Mika, S. L. J and Desch, S.C. (1998), Structural surveying, Macmillan Education LTD, London.
97. P. Scherrer, Nachr. Ges. Wissen. Cottin., July 26, 1918.
98. Ransom, W. H. (1981), Building failures; Diagnosis and avoidance, E. and FN Spon LTD, New York.
99. Volohov E. M., Novozhenin S.U., Bak N.S. Methods of tunneling excavation modeling on the basis of the finite element method in estimating of the earth' s surface displacements and strains above the tunnels / E.M. Volohov, S.U. Novozhenin, N.S. Bak. XI International ISM Congress, vol.1, 2013. P. 611-617.