

**МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО  
ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

---

Проект

С В О Д П Р А В И Л

СП XXX.13330.XXXX

**СООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫЕ. ПРАВИЛА  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**Underground structures. Design principles**

Москва, 2014

## Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила разработки – Постановлением Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2008 г. № 858 «О порядке разработки и утверждения сводов правил»

### Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛИ – Научно-исследовательский, проектно изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им Н.М. Герсеванова – институт ОАО «НИЦ «Строительство» (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 ПОДГОТОВЛЕН к утверждению

4 УТВЕРЖДЕН

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН

*Отзывы и замечания по проекту свода правил принимаются по адресу: 109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., д. 6, стр. 12, или по электронной почте: [niosp@niosp.ru](mailto:niosp@niosp.ru)*

## Содержание

Введение.....	5
1. Область применения.....	6
2. Нормативные ссылки.....	6
3. Термины и определения.....	8
4. Общие положения.....	8
5. Номенклатура подземных сооружений. Геотехнические категории.....	10
6. Исходные данные для проектирования и требования к инженерным изысканиям.....	13
7. Основные принципы проектирования.....	16
7.1 Общие указания.....	16
7.2 Предельные состояния.....	17
7.3 Коэффициенты надежности.....	19
7.4 Проектирование с использованием расчетов.....	20
7.5 Проектирование по предписаниям.....	20
7.6 Использование экспериментальных моделей и натурных испытаний.....	21
7.7 Наблюдательный метод.....	22
8. Требования к расчетным методам и моделям.....	23
8.1 Общие указания.....	23
8.2 Нагрузки и воздействия.....	24
8.3 Характеристики конструкционных материалов.....	27
8.4 Характеристики грунтов.....	27
8.5 Геометрические параметры.....	28
8.6 Расчет по первой группе предельных состояний.....	29
8.7 Расчет по второй группе предельных состояний.....	33
8.8 Расчетные модели.....	34
8.9 Верификация расчетных моделей.....	36
9. Геотехнический прогноз влияния строительства на окружающую застройку.....	37
10. Надзор за строительством, геотехнический мониторинг.....	41
11. Проектирование котлованов.....	48
11.1 Проектирование откосов.....	48
11.2 Проектирование ограждений котлованов.....	52
11.3 Проектирование удерживающих конструкций.....	57
12. Проектирование грунтовых анкеров.....	58
13. Проектирование фундаментов в глубоких котлованах.....	64

14. Проектирование тоннелей.....	68
15. Проектирование конструкций подземных сооружений.....	73
16. Учет подземных вод при проектировании сооружений .....	75
16.1 Требования к расчетам и проектированию.....	75
16.2 Проектирование защиты от подземных вод в строительный период.....	79
16.3 Проектирование защиты от подземных вод в эксплуатационный период.....	80
17. Проектирование защиты окружающей застройки.....	80
Приложение А (обязательное) Термины и определения.....	87
Приложение Б (обязательное) Основные буквенные обозначения.....	92
Приложение В (справочное) Особенности инженерно-геологических условий на территории г. Москвы.....	94
Приложение Г (справочное) Стратиграфические схемы г. Москвы.....	99
Приложение Д (справочное) Схематическая карта инженерно-геологического районирования г. Москвы по степени опасности проявления карстово-суффозионных процессов.....	101
Приложение Е (справочное) Схематическая карта инженерно-геологического районирования г. Москвы по степени проявления оползневых процессов.....	102
Приложение Ж (рекомендуемое) Частные коэффициенты надежности по нагрузке для расчетов по первой группе предельных состояний.....	103
Приложение З (справочное) Пояснения к выбору частных коэффициентов надежности для проектных подходов 1, 2 и 3.....	105
Библиография.....	109

## **Введение**

Настоящий свод правил составлен с учетом обязательных требований технических регламентов, отраженных в федеральных законах от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Свод правил разработан по заказу Департамента градостроительной политики города Москвы и содержит указания по расчету и проектированию подземных сооружений различного назначения, а также заглубленных частей зданий. В приложениях к своду правил приведены рекомендации по учету особенностей инженерно-геологических условий Москвы при проектировании подземных сооружений.

Разработан НИИОСП им. Н.М.Герсеванова – институтом ОАО «НИЦ «Строительство» (д-р техн. наук *В.П. Петрухин*, канд. техн. наук: *И.В. Колыбин*, *Д.Е. Разводовский* – руководители темы; д-р техн. наук *В.И. Шейнин*; канд. техн. наук: *В.В. Астряб*, *О.И. Игнатова*, *А.В. Скориков*, *В.Г. Федоровский*, *О.А. Шулятьев*; инженеры: *М.М. Кузнецов*, *О.А. Мозгачева*).

# СВОД ПРАВИЛ

---

## СООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫЕ. ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

---

### Underground structures. Design principles

---

#### 1 Область применения

Настоящий свод правил (далее – СП) разработан в развитие действующих нормативных документов в области строительства и распространяется на проектирование подземных сооружений различного назначения, а также заглубленных частей зданий.

**П р и м е ч а н и е** – далее вместо термина «подземные сооружения и заглубленные части зданий» используется термин «подземные сооружения».

Настоящий СП не распространяются на проектирование магистральных трубопроводов, неэксплуатируемых сооружений, сооружений специального назначения, а также сооружений, возводимых на многолетнемерзлых грунтах.

#### 2 Нормативные ссылки

В настоящем СП приведены ссылки на следующие нормативные документы:

Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»

Федеральный закон от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации»

Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

СП 11-110-99 «Авторский надзор за строительством зданий и сооружений»

СП 16.13330.2011 «СНиП II-23-81\* Стальные конструкции»

СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия»

СП 21.13330.2010 «СНиП 2.01.09-91 Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах»

СП 22.13330.2011 «СНиП 2.02.01-83\* Основания зданий и сооружений»

СП 23.13330.2011 «СНиП 2.02.02-85 Основания гидротехнических сооружений»

СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты»

СП 28.13330.2010 «СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии»

СП 32-105-2004 «Метрополитены»

СП 35.13330.2011 «СНиП 2.05.03-84\* Мосты и трубы»

СП 45.13330.2010 «СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты»

СП 47.13330.2010 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»

СП 48.13330.2011 «СНиП 12-01-2004 Организация строительства»

СП 63.13330.2010 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции»

СП 91.13330.2012 «СНиП II-94-80 Подземные горные выработки»

СП 102.13330.2012 «СНиП 2.06.09-84 Туннели гидротехнические»

СП 103.13330.2012 «СНиП 2.06.14-85 Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод»

СП 116.13330.2011 «СНиП 22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения»

СП 120.13330.2012 «СНиП 32-02-2003 Метрополитены»

СП 122.13330.2012 «СНиП 32-04-97 Тоннели железнодорожные и автодорожные»

СП XXX.13330.XXXX «Здания и сооружения. Защита от подземных вод»

СНиП 12-03-2001 Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования

СНиП 12-04-2002 Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство

СанПиН 2.1.7.1287-03 Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы

ГОСТ Р 53778-2010 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния

ГОСТ Р 54257-2010 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования

ГОСТ 20522-2012 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний

ГОСТ 24846-2012 Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений

ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация

ГОСТ 30416-2012 Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения

ГОСТ 30672-2012 Грунты. Полевые испытания. Общие положения

П р и м е ч а н и е - При пользовании настоящим СП целесообразно проверять действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям,

опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ изменен (заменен), то при пользовании настоящим СП следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

### **3 Термины и определения**

Термины и определения, принятые в настоящем СП, приведены в приложении А.

### **4 Общие положения**

4.1 Настоящий СП предназначен для использования совместно с ГОСТ Р 54257-2010, в котором устанавливаются принципы и требования к безопасности, пригодности к эксплуатации и долговечности сооружений.

СП применим для решения вопросов, связанных с геотехническими аспектами проектирования подземных сооружений, и отражает требования к прочности, устойчивости, пригодности к эксплуатации и долговечности их конструкций. Другие требования, например, архитектурно-планировочные, вопросы термической и звуковой изоляции, пожарной безопасности не рассматриваются.

4.2 Настоящий СП обобщает требования, содержащиеся в нормативных документах Российской Федерации, в области проектирования подземных сооружений, оснований и фундаментов, а также учитывает основные положения европейского стандарта [1, 2].

4.3 Положения настоящего СП основаны на следующих допущениях и подразумевают выполнение требований:

- исходные данные для проектирования должны собираться в необходимом и достаточном объеме, регистрироваться и интерпретироваться специалистами, обладающими надлежащей квалификацией и опытом;
- расчет и проектирование должны выполняться специалистами, имеющими надлежащую квалификацию и опыт;
- должны быть обеспечены координация и связь между специалистами по изысканиям, проектированию и строительству;
- должен быть обеспечен соответствующий надзор и контроль качества при производстве строительных изделий и выполнении работ на строительной площадке;
- строительные работы должны выполняться квалифицированным и опытным персоналом и удовлетворять требованиям стандартов и технических условий;



- используемые материалы и изделия должны удовлетворять требованиям проекта, стандартов и технических условий;

- техническое обслуживание подземного сооружения и связанных с ним инженерных систем должно обеспечивать его безопасность и рабочее состояние на весь срок эксплуатации;

- подземное сооружение должно использоваться по его назначению в соответствии с проектом.

4.4 Требования 4.3 должны быть удовлетворены качественными и полными материалами изысканий, адекватным выбором конструктивных схем, способов устройства и материалов конструкций подземных сооружений, использованием соответствующих методов расчета, установлением методов контроля при изготовлении конструкций, производстве строительных работ и эксплуатации подземного сооружения, выполнением геотехнического мониторинга.

4.5 При проектировании подземных сооружений должны быть предусмотрены решения:

- обеспечивающие надежность, долговечность и экономичность на всех стадиях строительства и эксплуатации сооружений;

- не допускающие ухудшения условий эксплуатации существующих зданий, сооружений и инженерных коммуникаций (далее – «окружающей застройки»);

- не допускающие вредных воздействий на экологическую ситуацию;

- допускающие перспективное использование подземного пространства города.

4.6 Подземные сооружения в городской среде должны проектироваться таким образом, чтобы минимизировать негативное влияние их строительства и эксплуатации на окружающую застройку. При выборе проектных решений должен оцениваться сопоставимый опыт строительства, в первую очередь на близлежащих площадках.

4.7 При проектировании подземных сооружений следует учитывать не только их влияние на существующие сооружения и коммуникации, но также возможное влияние окружающей застройки и городской инфраструктуры на проектируемое сооружение, а также общую градостроительную ситуацию и перспективы развития подземной инфраструктуры города.

При проектировании должны учитываться:

- вибрационные воздействия от транспорта и метрополитена;

- необходимость сноса старых строений на площадках строительства;

- необходимость разборки старых подземных сооружений и фундаментов;

- необходимость ремонта, выноса и перекладки подземных коммуникаций;

- возможность аварийных утечек из водонесущих подземных коммуникаций;
- необходимость проведения археологических изысканий;
- необходимость реконструкции окружающей застройки;
- перспективное использование подземного пространства на близлежащих участках.

## **5 Номенклатура подземных сооружений. Геотехнические категории**

5.1 Номенклатура объектов по их назначению, размещаемых в подземном пространстве городов, на которые распространяются требования настоящего СП, включает в себя:

- гражданские сооружения жилого, административного назначения и сферы обслуживания, спортивные сооружения;
- сооружения промышленного назначения;
- транспортные сооружения и пешеходные переходы;
- гидротехнические сооружения;
- инженерные сооружения и сети, трубопроводы;
- многофункциональные комплексы.

5.2 В зависимости от пространственной компоновки подземные сооружения подразделяются на линейные (протяженные объекты и их комплексы: тоннели, подземные переходы, магистральные сети и др.) и компактные (локальные отдельно стоящие объекты и их комплексы).

5.3 Подземные сооружения по способу их устройства следует классифицировать на:

- сооружения, возводимые в пониженных формах рельефа с помощью обратной засыпки;
- сооружения, возводимые открытым или полужакрытым способом в котлованах и траншеях;
- сооружения, возводимые закрытым способом.

5.4 Требования, предъявляемые к инженерным изысканиям, расчетам и проектированию подземных сооружений, зависят от уровня их ответственности и их геотехнической категории.

5.5 Уровень ответственности подземного сооружения следует устанавливать в соответствии с Федеральным законом от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации» и указаниями ГОСТ Р 54257-2010.

В том случае, если строительство или эксплуатация подземного сооружения оказывает влияние на существующее здание или сооружение более высокого уровня ответственности, то уровень ответственности проектируемого подземного сооружения должен приниматься соответствующим уровню ответственности объекта окружающей застройки, подверженного влиянию.

5.6 Геотехническая категория объекта строительства, в частности подземного сооружения, представляет собой категорию его сложности с точки зрения геотехнического проектирования, которая определяется в зависимости от совокупности: уровня ответственности и сложности объекта в целом, а также сложности инженерно-геологических условий площадки строительства.

Категорию сложности инженерно-геологических условий строительства следует определять в соответствии со СНиП 11-02-96/СП.

Для назначения требований к инженерным изысканиям и геотехническим разделам проекта подземного сооружения могут устанавливаться три геотехнические категории: 1 (простая), 2 (средней сложности), 3 (сложная).

Геотехническую категорию подземного сооружения следует устанавливать в соответствии с таблицей 5.1.

Таблица 5.1

Геотехнические категории объектов строительства

Категория сложности инженерно-геологических условий (в соответствии с СНиП 11-02-96/СП)	Уровень ответственности подземных сооружений (в соответствии с ГОСТ Р 54257-2010)		
	1а (особо высокий) 1б (высокий)	2 (нормальный)	3 (пониженный)
I (простая)	2	2	1
II (средняя)	3	2	1
III (сложная)	3	3	2

Примечания – 1. К геотехнической категории 1 относятся небольшие и относительно простые сооружения, в частности: котлованы, траншеи и выработки в грунте глубиной не более 2 м, устраиваемые выше уровня подземных вод.

2. К геотехнической категории 2 относится большинство подземных сооружений в тех случаях, когда для подобных сооружений имеется сопоставимый опыт, на площадке отсутствуют неблагоприятные природные и техногенные процессы, а также специфические и структурно-неустойчивые грунты.

3. Геотехническая категория 3 включает очень большие и необычные подземные сооружения, для которых отсутствует сопоставимый опыт; подземные части высотных зданий; сооружения, связанные с высоким риском или находящиеся в исключительно сложных инженерно-геологических условиях; сооружения, на площадках которых развиваются неблагоприятные природные и техногенные процессы.

5.7 Геотехническую категорию подземного сооружения следует устанавливать до начала изысканий на основе анализа материалов изысканий прошлых лет и уровня

ответственности сооружения. Эта категория может быть уточнена как на стадии изысканий, так и на стадии проектирования и строительства.

Для линейных подземных сооружений или сооружений комплексов (например: включающих различные по сложности части или участки; имеющих существенно разную глубину заложения, инженерно-геологические условия или градостроительную ситуацию) допускается назначать различную геотехническую категорию для отдельных частей.

5.8 Проектные требования, предъявляемые к сооружениям геотехнической категории 1, как правило, могут быть выполнены на основании сопоставимого опыта и качественных инженерных изысканий. Возможные риски при этом должны быть незначительны.

Для подземных сооружений геотехнической категории 1 допустимо использовать проектирование по предписаниям в соответствии с указаниями 7.5.

5.9 Проекты подземных сооружений геотехнической категории 2 должны выполняться на основании количественных данных инженерных изысканий и выполнения расчетов. При проектировании должен учитываться сопоставимый опыт.

Для проектирования сооружений геотехнической категории 2, как правило, можно использовать результаты стандартных полевых и лабораторных методов исследований свойств грунтов, а также стандартные методы расчета, конструирования и производства работ.

5.10 Для проектирования подземных сооружений геотехнической категории 3 могут использоваться правила и положения, выходящие за рамки требований настоящего СП.

При проектировании таких сооружений могут потребоваться дополнительные исследования свойств грунтов, выполняемые по специально разрабатываемым программам, нестандартные полевые исследования, испытания опытных образцов материалов и конструкций, апробация новых технологий специальных работ на опытных площадках и пр. Могут использоваться нестандартные методы расчета, применяться специальные модели поведения грунта. Методы выполнения геотехнического мониторинга могут быть расширены по сравнению с требованиями настоящего СП.

Для сооружений геотехнических категорий 3 следует предусматривать научно-техническое сопровождение проектирования и строительства в соответствии с указаниями СП 22.13330.2011.

## **6 Исходные данные для проектирования и требования к инженерным изысканиям**

6.1 Проектирование подземных сооружений должно осуществляться на основании технического задания на проектирование. Разработку геотехнических и конструктивных разделов проекта следует осуществлять на основании следующей исходной документации:

- отчетов об инженерных изысканиях (инженерно-геодезических, инженерно-геологических, инженерно-геотехнических, инженерно-экологических);
- инженерной цифровой модели местности (ИЦММ) с отображением подземных и надземных сооружений и коммуникаций;
- отчетов о техническом обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений окружающей застройки в зоне влияния строительства;
- проектов строящихся зданий и сооружений в зоне влияния строительства;
- результатов стационарных наблюдений и мониторинга (при строительстве на территориях с проявлениями опасных геологических и инженерно-геологических процессов);
- технических условий, выданных всеми уполномоченными заинтересованными организациями.

6.2 Исходные данные для разработки проектов должны быть актуальны на момент выполнения проектирования. Необходимость актуализации исходных данных следует проверять до начала проектирования.

Результаты инженерных изысканий и ИЦММ допускается использовать без актуализации при сроке давности их выполнения, не превышающем 3-х лет. Для подземных сооружений мелкого заложения рекомендуется использовать цифровую модель ситуации, являющуюся составной частью ИЦММ, без ее актуализации сроком давности не более 1-го года.

Результаты технического обследования зданий и сооружений допускается использовать при сроке давности выполнения обследования, не превышающем 3-х лет для сооружений, имеющих категорию технического состояния I (нормальное или нормативное) или II (удовлетворительное или работоспособное), и не превышающем 2-х лет для сооружений категорий III (неудовлетворительное или ограниченно-работоспособное) или IV (предаварийное или аварийное). Для актуализации ранее выполненных результатов обследований следует повторно определять категорию технического состояния сооружений.

П р и м е ч а н и я – 1. Категории технического состояния сооружений приведены в соответствии с указаниями СП 22.13330.2011 и ГОСТ Р 53778-2010.

2. Для надземных зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения следует использовать классификацию категории технического состояния согласно ГОСТ Р 53778-2010, для прочих – согласно СП 22.13330.2011.

6.3 Инженерные изыскания для проектирования подземных сооружений должны проводиться в соответствии с СП 47.13330.2010, ГОСТ 30416-2012, ГОСТ 30672-2012 и удовлетворять требованиям настоящего СП.

Наименование грунтов и их классификационные характеристики, приводимые в отчетах об инженерно-геологических и инженерно-геотехнических изысканиях, следует принимать в соответствии с ГОСТ 25100-2011.

Техническое задание и программу инженерно-геологических и инженерно-геотехнических изысканий следует составлять с учетом дополнительных указаний СП 22.13330.2011, СП 23.13330.2011, СП 24.13330.2011, СП 91.13330.2012, СП 102.13330.2012, СП 120.13330.2012, СП 122.13330.2012.

6.4 Инженерные изыскания следует планировать с учетом требований строительства и эксплуатации проектируемого подземного сооружения. Объем инженерных изысканий может пересматриваться по мере поступления новой информации в процессе производства изысканий.

6.5 До начала выполнения изысканий следует изучить историю использования площадки проектируемого строительства и прилегающей территории, выявить возможные формы техногенного воздействия на геологическую среду: погребенный рельеф, техногенные включения, области загрязнения, эксплуатируемые и заброшенные подземные сооружения и коммуникации и пр.

6.6 Инженерные изыскания должны планироваться на основании технического задания, в соответствии с которым разрабатывается программа изысканий.

При составлении программы и проведении изысканий необходимо учитывать геотехническую категорию объекта строительства. В зависимости от геотехнической категории сооружения следует назначать объемы и методы исследований.

6.7 При планировании инженерно-геологических и инженерно-геотехнических изысканий следует учитывать в ряде случаев необходимость выполнения изысканий вне границ площадки строительства в соответствии с СП 22.13330.2011.

6.8 К составлению технического задания и согласованию программы инженерно-геологических и инженерно-геотехнических изысканий для проектирования подземных сооружений геотехнической категории 2 рекомендуется, а геотехнической категории 3 - следует привлекать специалистов, ответственных за геотехнические разделы проекта.

П р и м е ч а н и е - Выбор методов полевых и лабораторных методов исследования свойств грунтов должен во многом определяться используемыми геотехническими моделями и методами расчета и, в силу этого, оставаться в компетенции проектировщика.

6.9 Для проектирования объектов геотехнической категории 1 характеристики грунтов допустимо назначать на основании материалов изысканий прошлых лет, по таблицам СП 22.13330.2011, результатам зондирования, в соответствии с имеющимся сопоставимым опытом.

6.10 Для проектирования сооружений геотехнической категории 2 характеристики грунтов следует устанавливать на основании непосредственных испытаний грунтов в полевых и лабораторных условиях.

6.11 Для проектирования сооружений геотехнической категории 3 дополнительно к требованиям 6.10 должны быть определены состав и свойства специфических грунтов, проведены все необходимые исследования, связанные с развитием опасных геологических и инженерно-геологических процессов. Должны выполняться опытно-фильтрационные работы, стационарные наблюдения и другие специальные работы и исследования в соответствии с техническим заданием и программой изысканий.

Для подземных сооружений в зависимости от их особенностей при полевых и лабораторных исследованиях физико-механических свойств грунтов и скальных массивов по специальному заданию могут определяться дополнительные специфические характеристики, необходимые для расчетов оснований сооружений и их конструкций, комплексно применяться геофизические и другие методы.

6.12 Для определения и выбора расчетных значений механических характеристик свойств грунтов для сооружений геотехнической категории 2 и 3 при изысканиях следует предусматривать комплексирование полевых и лабораторных методов определения, а также различных лабораторных методов.

Статистическую обработку результатов определений следует выполнять в соответствии с ГОСТ 20522-2012 отдельно для каждого из методов испытаний. В отчете об изысканиях должно быть обязательно указано, каким способом получены те или иные значения.

П р и м е ч а н и е – Следует учитывать, что различные методы испытаний позволяют получить различные значения механических характеристик грунта, являющихся зависимыми от вида напряженно-деформированного состояния и уровня напряжений. В связи с этим окончательный выбор значений характеристик грунта должен осуществлять проектировщик в зависимости от используемых моделей и методов расчета.

6.13 При наличии сопоставимого опыта изысканий для сооружений геотехнических категорий 1 и 2 допускается использовать региональные рекомендации и таблицы характеристик грунтов, типичных для данного региона.

*Примечание* – Например, при отсутствии комплексирования в процессе изысканий методов определения деформационных и прочностных характеристики юрских глинистых грунтов в условиях Москвы для подземных сооружений за исключением геотехнической категории 3 допускается пользоваться рекомендации и таблицы, приведенные в [7].

6.14 В процессе изысканий для глинистых грунтов должны быть получены значения прочностных характеристик, соответствующих как дренированному, так и недренированному характеру их разрушения, если иное не указано в техническом задании.

*Примечание* – Характеристики дренированной ( $\text{tg } \varphi'$ ,  $c'$ ) и недренированной прочности ( $c_u$ ) грунта используются при анализе долговременных и кратковременных расчетных ситуаций соответственно.

6.15 Для трещиноватых скальных и полускальных грунтов, в частности отложений карбона, в процессе изысканий должны быть получены количественные и качественные характеристики физико-механических свойств, характеризующие как основной материал грунта массива (образец), так и массив в целом. Определяемые характеристики должны устанавливаться в программе изысканий в соответствии с СП 47.13330.2010, ГОСТ 25100-2011, СП 22.13330.2011, СП 23.13330.2011, СП 120.13330.2012.

*Примечание* – При оценке качества и свойств скальных и полускальных грунтов необходимо проводить различие между поведением грунта при испытаниях ненарушенных образцов и поведением значительно больших по размерам скальных массивов, которые включают структурные разрывы сплошности, напластования, трещины, зоны сдвигов и пустоты выщелачивания и в силу этого могут характеризоваться значительно более низкими интегральными механическими свойствами.

6.16 При определении свойств грунтов следует учитывать их чувствительность по отношению к различным факторам: изменениям климатических условий или напряженного состояния, замачиванию, химическим воздействиям и пр.

## **7 Основные принципы проектирования**

### **7.1 Общие указания**

7.1.1 Проектные решения должны удовлетворять требованиям 4.5. Требования к долговечности подземных сооружений должны определяться техническим заданием на проектирование и в соответствии с ГОСТ Р 54257-2010.

7.1.2 При проектировании сооружений должны быть рассмотрены все проектные ситуации и их сценарии как для стадии строительства сооружения, так и для стадии его эксплуатации. Должны рассматриваться как кратковременные проектные ситуации и их сценарии, так и долговременные.



Примечания – 1. Проектные сценарии следует рассматривать, например, при выполнении всех видов поэтапных (постадийных) расчетов.

2. В геотехническом проектировании различие между кратковременной проектной ситуацией и длительной заключается преимущественно в наличии или, соответственно, отсутствии избыточного порового давления в грунте.

7.1.3 Для каждой проектной ситуации и их сценария должно проверяться, что не возможно наступление ни одного из предельных состояний в соответствии с указаниями ГОСТ Р 54257-2010, СП 22.13330.2011 и настоящего СП.

7.1.4 Следует проверять предельные состояния, которые могут возникать в грунтовом основании или подземном сооружении, либо одновременно в обоих при их взаимодействии.

Примечание – Практический опыт часто показывает, какой вид предельного состояния является определяющим для проектного решения, возможность избежать других предельных состояний можно определить с помощью контрольных проверок.

7.1.5 Предельные состояния следует проверять на основании:

- использования расчетов в соответствии с подразделом 7.4 и разделом 8;
- назначения предписывающих мероприятий в соответствии с подразделом 7.5;
- использования экспериментальных моделей и натурных испытаний в соответствии с подразделом 7.6;
- применения наблюдательного метода в соответствии с подразделом 7.7.

Примечание – Результаты проверки предельных состояний по возможности следует сравнивать с сопоставимыми опытными данными.

7.1.6 Минимальные требования к объему и содержанию контрольных проверок и расчетов устанавливаются в зависимости от геотехнической категории объекта строительства в соответствии с 5.8-5.10.

7.1.7 Для обеспечения требований по долговечности подземного сооружения в проекте следует оценить влияние условий окружающей среды на долговечность материалов и предусмотреть защиту или подбор материалов с соответствующими свойствами.

При оценке долговечности материалов, используемых в подземных конструкциях, следует учесть возможность наличия агрессивных веществ в подземных водах и грунте, электрохимической коррозии, влияния грибков и аэробных бактерий в присутствии кислорода, влияния температурных воздействий и пр.

Обеспечение требований по долговечности следует выполнять в соответствии с указаниями СП 28.13330.2010.

## **7.2 Предельные состояния**

7.2.1 При проектировании подземных сооружений следует проверять две группы

предельных состояний:

- первая группа предельных состояний (ULS) – состояния строительных объектов, достижение которых ведет к потере несущей способности строительных конструкций или основания, к невозможности эксплуатации сооружения;

- вторая группа предельных состояний (SLS) – состояния, при достижении которых нарушается нормальная эксплуатация сооружений, исчерпывается ресурс долговечности конструкций, нарушаются условия комфортности.

7.2.2 Для подземных сооружений к первой группе предельных состояний (ULS) следует относить:

- потеря устойчивости (равновесия) сооружением и основанием, которые рассматриваются как жесткое тело, при недостаточном сопротивлении конструктивных материалов и грунтов основания для обеспечения равновесия (EQU);

- внутреннее разрушение сооружения или его конструктивных элементов, т.е. ситуации, в которых прочность конструктивных элементов важна для обеспечения сопротивления (STR);

- разрушение или чрезмерные деформации основания, т.е. ситуации, в которых прочность грунта важна для обеспечения сопротивления (GEO);

- потеря равновесия сооружением или основанием из-за увеличения давления воды (взвешивания) или иными направленными вверх воздействиями (UPL);

- гидравлический подъем в основании, внутренняя суффозия и прочие явления, связанные с наличием гидравлических градиентов (HYD).

К первой группе предельных состояний относятся также аварийные предельные состояния - специфические предельные состояния, отнесенные ГОСТ Р 54257-2010 к особым предельным состояниям.

Аварийные предельные состояния – состояния возникающие при аварийных воздействиях и ситуациях, имеющих малую вероятность появления и форс-мажорный характер, достижение которых приводит к разрушению с катастрофическим последствиями (EXD).

**П р и м е ч а н и е** – Примером аварийных предельных состояний может являться выход из строя конструктивного элемента подземного сооружения в результате взрыва, пожара, террористического акта; аварийный прорыв напорной водонесущей коммуникации и пр.

7.2.3 Для подземных сооружений ко второй группе предельных состояний (SLS) следует относить:

- достижение предельных деформаций конструкций подземного сооружения или основания, устанавливаемых исходя из конструктивных, технологических или эстетико-психологических требований;

- образование трещин, не нарушающих нормальную эксплуатацию объекта, или достижение предельной ширины раскрытия трещин;
- достижение предельных деформаций окружающей застройки, расположенной в зоне влияния;
- недопустимые уровни вибрационных воздействий;
- недопустимое влияние на гидрогеологические и экологические условия;
- прочие явления, при которых возникает необходимость ограничения во времени эксплуатации подземного сооружения (например, коррозионные повреждения).

7.2.4 Предельные состояния, требующие проверки при проектировании оснований и различных конструкций подземных сооружений, приведены в разделах 11-16.

### **7.3 Коэффициенты надежности**

7.3.1 Проектные решения должны обеспечивать невозможность наступления какого-либо предельного состояния с требуемой степенью надежности.

7.3.2 Для обеспечения требуемой степени надежности при выполнении расчетов и проверок следует использовать частные коэффициенты надежности, учитывающие возможные неблагоприятные отклонения тех или иных параметров, условий строительства и эксплуатации, а также необходимость повышения надежности для отдельных видов строительных объектов.

7.3.3 При проектировании следует использовать следующие группы частных коэффициентов надежности:

$\gamma_n$  - по ответственности сооружений, определяемые в соответствии с ГОСТ Р 54257-2010;

$\gamma_f$  - по нагрузке, определяемые в соответствии с подразделом 8.2;

$\gamma_m$  - по материалу конструкций, определяемые в соответствии с ГОСТ Р 54257-2010;

$\gamma_g$  - по грунту, определяемые в соответствии с подразделом 8.4;

$\gamma_d$  – коэффициенты условий работы, устанавливаемые в соответствии со строительными нормами на проектирование различных подземных сооружений и их конструкций;

$\gamma_R$  - по сопротивлению, определяемые в соответствии с подразделом 8.6.

П р и м е ч а н и я – 1. В ряде случаев коэффициенты условий работы могут представлять собой комбинацию с коэффициентами надежности по сопротивлению  $\gamma_{Rd}$ .

2. В численных моделях для определения расчетного значения сопротивления воздействию  $R_d$  или расчетного значения результата воздействий  $E_d$  могут вводиться коэффициенты модели  $\gamma_{Rd}$  и  $\gamma_{Sd}$

соответственно, чтобы результаты проектной модели отклонялись в сторону запаса надежности (см. 8.6.3).

7.3.4 Частные коэффициенты надежности, принадлежащие к одной группе, могут быть различны для разных характеристик, параметров или условий.

Пр и м е ч а н и е – например значения частных коэффициентов надежности по грунту, применяемые к сдвиговой прочности грунта, различны для внутреннего трения и сцепления.

7.3.5 Правила учета частных коэффициентов надежности при проектировании с использованием расчетов устанавливаются в разделе 8.

#### **7.4 Проектирование с использованием расчетов**

7.4.1 Проектирование с использованием расчетов является основным способом обеспечения требований надежности подземных сооружений и может выполняться для объектов любой геотехнической категории.

7.4.2 При проектировании подземных сооружений с помощью расчетов, следует выполнять расчеты для всех проектных ситуаций и их сценариев по двум группам предельных состояний.

В первую очередь следует выполнять расчеты для тех предельных состояний, которые определяют основные конструктивные решения и геометрические характеристики подземного сооружения или его элементов. Невозможность наступления прочих предельных состояний следует подтверждать расчетными проверками.

7.4.3 Расчет аварийных предельных состояний (EXD) следует выполнять для подземных сооружений с уровнем ответственности 1а и 1б. Для прочих подземных сооружений его требуется выполнять, если это указано в техническом задании.

7.4.4 Требования к расчетным методам и моделям указаны в разделе 8, а указания и рекомендации по расчетам оснований и конструкций подземных сооружений, приведены в разделах 11-16.

#### **7.5 Проектирование по предписаниям**

7.5.1 В том случае, когда расчетные модели отсутствуют или не нужны, возможно избежать достижения предельных состояний, используя предписания, которые включают традиционные и, как правило, консервативные правила проектирования и контроль материалов, выполнения работ, техники безопасности и технического обслуживания.

7.5.2 Проектирование по предписаниям допустимо, если имеется сопоставимый опыт, который делает излишним проведение расчетов.

Пр и м е ч а н и е – Проектирование исключительно по предписаниям допускается только для подземных сооружений геотехнической категории 1.

7.5.3 Проектирование по предписаниям допускается в отношении обеспечения

морозостойкости, защиты от химической и биологической агрессии, которые обычно невозможно достоверно учесть расчетным путем.

7.5.4 Проектирование по предписаниям допускается выполнять для избежания предельных состояний при аварийных воздействиях, возникновение которые невозможно или очень сложно исключить расчетным путем. При этом предписания должны содержать указания организационного характера, позволяющие исключить рассматриваемое аварийное воздействие.

## **7.6 Использование экспериментальных моделей и натурных испытаний**

7.6.1 В том случае, когда расчетные модели отсутствуют, недостаточно достоверны или не подтверждаются местным сопоставимым опытом, при проектировании следует использовать результаты экспериментальных исследований – модельных или натурных испытаний.

7.6.2 При оценке достоверности результатов экспериментальных исследований следует рассматривать и учитывать следующие факторы:

- различие грунтовых условий при испытаниях и на строительной площадке проектируемого объекта;
- временные эффекты, особенно в тех случаях, когда продолжительность испытаний намного меньше, чем продолжительность нагружения реальных конструкций;
- масштабные эффекты, особенно в случае использования малых моделей.

7.6.3 Испытания допускается проводить на образцах или фрагментах реальных конструкций, полномасштабных или маломасштабных моделях.

7.6.4 Выполнение испытаний следует проводить на основании технического задания и программы работ.

7.6.5 Подготовку и проведение испытаний следует осуществлять таким образом, чтобы условия эксперимента были подобны условиям работы проектируемого подземного сооружения или его конструкций во взаимодействии с грунтовым основанием.

**П р и м е ч а н и я** – 1. Условия могут считаться подобными, если соблюдаются критерии подобия.

2. При испытаниях маломасштабных моделей для задач, в которых объемные силы, такие как, например, удельный вес грунта или удельное сцепление, играют важную роль, для соблюдения критериев подобия рекомендуется использовать центробежное моделирование.

7.6.6 Допускается использовать испытания, соответствующие условиям неполного или приближенного подобия. В этом случае условия, которые не удовлетворяются в процессе проведения эксперимента, следует учитывать при сопоставлении результатов испытаний с критериями недостижения предельных

состояний за счет введения коэффициентов надежности.

### **7.7 Наблюдательный метод**

7.7.1 Если прогноз поведения подземного сооружения, выполненный на основании расчетных или экспериментальных работ, затруднен, то допускается применять подход, известный как «наблюдательный метод» [1,2], который предполагает возможность корректировать проект в процессе строительства на основании результатов геотехнического мониторинга.

7.7.2 Для применения наблюдательного метода необходимо выполнение следующих требований до начала строительства:

- должны быть установлены контролируемые критерии и характеристики;
- следует установить допустимые пределы контролируемых характеристик;
- следует оценить возможный диапазон этих характеристик и удостовериться, что с приемлемой вероятностью реальные характеристики будут находиться в допустимых пределах;

- должна быть разработана программа контроля (мониторинга) изменения выбранных характеристик;

- следует убедиться, что время реакции измерительных систем мониторинга и процедуры обработки и анализа результатов занимают достаточно мало времени по отношению к ожидаемой скорости развития ситуации на площадке для принятия своевременных действий;

- должен быть разработан план мероприятий, которые следует применить в случае превышения контролируемыми характеристиками допустимых пределов.

7.7.3 Контроль и мониторинг на площадке должны выполняться строго в соответствии с программой.

Мониторинг на площадке должен однозначно устанавливать, находятся ли контролируемые характеристики в допустимых пределах. Он должен выполняться с начальной стадии строительства, с регулярностью, позволяющей предпринять необходимые действия в случае превышения допустимых пределов.

7.7.4 Результаты мониторинга должны анализироваться поэтапно по мере их поступления. Намеченные мероприятия по корректировке проекта должны выполняться незамедлительно в случае превышения контролируемыми характеристиками допустимых пределов.

7.7.5 Если наблюдательные системы для проведения мониторинга не дают требуемых надежных данных в достаточном объеме, они должны быть заменены или дополнены.

7.7.6 В случае выполнения намеченных мероприятий и корректировки проекта, программа мониторинга и план дальнейших мероприятий могут быть изменены и дополнены на основании обратных расчетов.

## **8 Требования к расчетным методам и моделям**

### **8.1 Общие указания**

8.1.1 При выполнении расчетов условием обеспечения надежности конструкций и оснований является проверка того, чтобы расчетные значения усилий, напряжений, деформаций, перемещений, раскрытий трещин не превышали соответствующих им предельных значений, установленных нормами проектирования.

8.1.2 Расчеты должны выполняться с использованием адекватных расчетных методов и моделей, отражающих действительные условия работы подземных сооружений в их взаимодействии с основанием и соответствующих рассматриваемой проектной ситуации или сценарию.

8.1.3 Расчетные модели (расчетные схемы) должны учитывать инженерно-геологические условия, конструктивные особенности и особенности технологии возведения подземного сооружения, особенности поведения грунта и конструкций вплоть до достижения рассматриваемого предельного состояния, действующие нагрузки и воздействия, влияние на объект внешней среды, а также, при необходимости, возможные геометрические и физические несовершенства.

8.1.4 Для выполнения расчетов должны быть заданы:

- нагрузки и воздействия, а также их сочетания;
- свойства материалов конструкций;
- свойства грунтов и массивов скальных грунтов;
- геометрические данные;
- предельные величины деформаций, раскрытия трещин, вибраций и пр.;
- расчетные модели, устанавливающие связь результатов расчета с исходными данными.

8.1.5 При выборе метода расчета и расчетных моделей подземное сооружение и основание должны рассматриваться в их единстве, т.е. должно учитываться их взаимодействие.

8.1.6 Расчетная модель системы «подземное сооружение-основание» должна выбираться с учетом наиболее существенных факторов, определяющих напряженное состояние и деформации основания и конструкций сооружения. Рекомендуется учитывать пространственную работу конструкций и основания; геометрическую, физическую и

конструктивную нелинейность; анизотропию, пластические и реологические свойства грунтов и материалов.

При необходимости расчетная модель может включать упрощения. Упрощения, как правило, следует вводить по отношению к учету менее существенных факторов, а также факторов, обладающих значительной степенью неопределенности. Упрощения следует учитывать с помощью частных коэффициентов надежности.

**П р и м е ч а н и е** – При выборе уровня сложности расчетной модели следует учитывать объем информации об инженерно-геологических условиях и свойствах грунтов. Знания инженерно-геологических условий площадки, зависящие от качества инженерных изысканий, обычно оказываются более важными для выполнения фундаментальных требований проектирования, чем сложность расчетных моделей.

#### 8.1.7 Расчетная модель может быть:

- аналитической;
- полуэмпирической;
- численной.

Численные модели, преимущественно используемые для расчета подземных сооружений, подразделяются на контактные модели и модели сплошной среды.

Контактные модели учитывают взаимодействие конструкций сооружения с основанием на контакте «сооружение-грунт», однако напряженно-деформированное состояние массива грунта не рассматривается.

В моделях сплошной среды рассматриваются подземное сооружение и окружающий массив грунта в пределах расчетной области и анализируется их совместное напряженно-деформированное состояние.

## 8.2 Нагрузки и воздействия

8.2.1 Нагрузки и воздействия, учитываемые при проектировании подземных сооружений, должны устанавливаться расчетом, как правило, исходя из рассмотрения совместной работы сооружения и основания с учетом возможного их изменения на различных стадиях возведения и эксплуатации сооружения.

Нагрузки и воздействия на основание, подземное сооружение или его отдельные конструктивные элементы, коэффициенты надежности по нагрузке, а также возможные сочетания нагрузок и коэффициенты сочетаний должны приниматься согласно требованиям СП 20.13330.2011, СП 22.1333.2011, СП 23.1333.2011, СП 35.1333.2011, СП 91.13330.2012, СП 102.13330.2012, СП 120.13330.2012, СП 122.13330.2012 и дополнительных указаний настоящего СП.

8.2.2 При определении нагрузок и воздействий на основание и подземные сооружения к *постоянным* нагрузкам относят:

- вес конструкций сооружения;



- вес грунта засыпки;
- вес зданий и сооружений, находящихся в зоне их воздействия на подземное сооружение;

- давление грунта и напряжения в основании в долговременных ситуациях;
- давление подземных вод и фильтрационные силы при установившемся режиме;
- усилия предварительного напряжения в постоянных конструкциях и пр.

К *временным длительным* нагрузкам и воздействиям относят:

- вес стационарного оборудования;
- давление грунта и напряжения в основании в кратковременных ситуациях;
- снятие нагрузки при выемке грунта;
- давление подземных вод и фильтрационные силы при неустановившемся режиме, избыточное поровое давление;

- давление воды внутри подземного сооружения;
- вибрационные воздействия от оборудования и транспорта;
- нагрузки от складываемых на поверхности грунта материалов;
- температурные воздействия в период эксплуатации, включая температурные воздействия от транспортируемых жидкостей и газов;

- усилия во временных анкерах и распорных конструкциях;
- нагрузки, обусловленные изменением влажности, усадкой и ползучестью материалов;

- силы морозного пучения грунта;
- деформации основания, вызванные подработкой или устройством котлованов;
- деформации основания, вызванные ухудшением свойств грунта и не сопровождающиеся коренным изменением структуры грунта;
- отрицательное трение и пр.

К *кратковременным* нагрузкам и воздействиям относят:

- транспортные нагрузки в пределах подземного сооружения;
- давление грунта, вызванное транспортными нагрузками на земной поверхности;
- нагрузки и воздействия в процессе сооружения тоннеля: давление щитовых домкратов, усилия от веса и воздействия проходческого и другого строительного оборудования;

- давление пульсации потока и гидравлического удара в водонесущих сооружениях;

- давление растворов при цементации;
- температурно-климатические воздействия в период строительства и пр.

К *особым* нагрузкам и воздействиям относят:

- воздействия, обусловленные опасными инженерно-геологическими процессами;
- воздействия, обусловленные деформациями основания и сопровождающиеся коренным изменением структуры грунта, например, при просадках и набухании грунтов;
- взрывные воздействия;
- аварийные нагрузки и воздействия и пр.

П р и м е ч а н и е – В зависимости от рассматриваемого предельного состояния, а также проектной ситуации (долговременной или кратковременной) некоторые временные длительные нагрузки могут быть отнесены к кратковременным и наоборот.

8.2.3 Расчетные значения нагрузок и воздействий  $F_d$  следует определять в зависимости от их нормативных значений по формуле:

$$F_d = \gamma_f (\psi F_n) , \quad (8.1)$$

где  $F_n$  – нормативное значение данной нагрузки или воздействия,

$\gamma_f$  – частный коэффициент надежности по нагрузке,

$\psi$  – коэффициент сочетания нагрузок, определяемый в соответствии с ГОСТ Р 54257-2010, СП 20.13330.2011 и СП 23.13330.2011.

8.2.4 Следует учитывать, что одни и те же нагрузки и воздействия могут оказывать, как неблагоприятное, так и благоприятное влияние при анализе некоторых предельных состояний. В тех случаях, когда нагрузки и воздействия оказывают благоприятное влияние, коэффициент надежности по нагрузке следует принимать меньшим единицы.

П р и м е ч а н и е – Примером может служить собственный вес сооружения при его расчете на всплытие (UPL).

8.2.5 При назначении коэффициентов сочетаний нагрузок следует учитывать возможность совместности тех или иных воздействий, в особенности для кратковременных проектных ситуаций в строительный период.

8.2.6 Длительность воздействий на основание должна рассматриваться с учетом изменений свойств грунтов и порового давления во времени, особенно для глинистых грунтов, склонных к длительным деформациям.

8.2.7 Вибрационные и циклические воздействия на основание должны рассматриваться с учетом возможности длительных деформаций, разжижения, изменения прочностных и деформационных характеристик грунтов.

8.2.8 Минимальные значения частных коэффициентов надежности  $\gamma_f$  для основных нагрузок и воздействий, учитываемых при расчете подземных сооружений по первой группе предельных состояний, приведены в соответствии с требованиями действующих сводов правил в приложении Ж.

В особых сочетаниях коэффициенты надежности  $\gamma_f$  для постоянных и длительных нагрузок следует принимать равными единице, а кратковременные нагрузки допускается не учитывать, если в нормах проектирования отдельных видов подземных сооружений не оговаривается иное.

В расчетах по второй группе предельных состояний коэффициенты надежности  $\gamma_f$  следует принимать равными единице.

### **8.3 Характеристики конструкционных материалов**

8.3.1 Нормативные и расчетные значения характеристики материалов конструкций определяются в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54257-2010 и положениями сводов правил проектирования конструкций.

8.3.2 В расчетах подземных сооружений следует использовать расчетные значения характеристик конструкционных материалов  $M_d$ , получаемые делением нормативного значения соответствующей характеристики  $M_n$  на коэффициент надежности по материалу  $\gamma_m$ .

### **8.4 Характеристики грунтов**

8.4.1 В качестве основных параметров механических свойств грунтов следует устанавливать нормативные и расчетные значения прочностных, деформационных и других физико-механических характеристик, определяемых на основании данных инженерных изысканий участка строительства с учетом сопоставимого опыта.

8.4.2 Нормативные значения характеристик грунта или параметров, определяющих взаимодействие подземного сооружения с грунтом, следует принимать равными их математическим ожиданиям, полученным на основании обработки результатов испытаний, если не оговорены иные условия, определяющие их значения.

8.4.3 Возможные отклонения в неблагоприятную сторону прочностных и других характеристик грунтов от их нормативных значений следует учитывать с помощью частных коэффициентов надежности по грунту  $\gamma_g$ . Значения этих коэффициентов могут быть различны для различных характеристик и предельных состояний.

Как правило, в расчетах надлежит использовать следующие частные коэффициенты надежности по грунту, значения которых отличны от 1,0:

$\gamma_{g,c'}$  – для эффективного сцепления  $c'$ ;

$\gamma_{g,c_u}$  – для недренированной прочности  $c_u$ ;

$\gamma_{g,\varphi'}$  – для угла внутреннего трения, используется:  $(\text{tg } \varphi'_n)/\gamma_{g,\varphi'}$ ;

$\gamma_{g,\rho}$  – для плотности грунта  $\rho$ ;

$\gamma_{g,R_c}$  – для сопротивления одноосному сжатию  $R_c$ ;

П р и м е ч а н и е – Помимо указанных, допустимо использовать частные коэффициенты надежности и для других характеристик, определяющих прочность, деформируемость и сопротивление грунта.

8.4.4 Расчетные значения характеристик грунтов  $X_d$  следует определять по формуле:

$$X_d = X_n / \gamma_g , \quad (8.2)$$

где  $X_n$  – нормативное значение данной характеристики.

Коэффициент надежности по грунту  $\gamma_g$  устанавливают в зависимости от изменчивости характеристик, числа определений и требуемой доверительной вероятности.

8.4.5 Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов следует устанавливать в соответствии с ГОСТ 20522-96 с учетом указаний СП 22.13330.2011 и СП 23.13330.2011.

П р и м е ч а н и я – 1. Снижение расчетных значений характеристик грунтов по отношению к их нормативным значениям может как повышать, так и понижать надежность. Например, вес грунта (плотность) является благоприятным фактором при расчете на всплытие подземного сооружения или несущей способности фундамента и неблагоприятным при определении активного давления грунта. В ряде случаев расчетные значения характеристик грунта должны быть определены с двусторонней доверительной вероятностью, а в качестве расчетных приняты значения, повышающие надежность проектного решения.

2. При проверке ряда предельных состояний EQU и GEO вес грунта является как воздействием, так и удерживающим фактором, в силу этого является неочевидным, какое расчетное значение плотности грунта должно быть принято в запас надежности. Особенно это характерно для численных моделей. В таких случаях следует для плотности грунта  $\rho$  принимать  $\gamma_{g,\rho}=1,0$ , для веса грунта  $\gamma_f=1,0$  и при необходимости использовать коэффициенты надежности модели  $\gamma_{Rd}$  и  $\gamma_{Sd}$ .

8.4.6 При выполнении расчетов следует учитывать, что механические характеристики грунта (определяющие прочность и деформируемость), являются зависимыми от вида напряженно-деформированного состояния, уровня напряжений, скорости нагружения и других факторов, а следовательно и от способа испытаний.

В расчетах следует использовать характерные расчетные значения механических характеристик грунтов и скальных массивов, полученные в полевых или лабораторных условиях методом наиболее соответствующим используемой расчетной модели.

П р и м е ч а н и е – Характерные расчетные значения механических характеристик грунтов могут корректироваться на основании сопоставимого опыта.

## 8.5 Геометрические параметры

8.5.1 В качестве геометрических параметров должны рассматриваться: отметки и уклоны поверхности грунта, уровней подземных вод, слоев грунта, котлованов и выемок в грунте, размеры сооружений и их положение, расположение конструкций и их размеры.

8.5.2 Как правило, частные коэффициенты надежности по нагрузкам и по материалам учитывают возможные малые вариации геометрических параметров. В этих случаях дополнительный запас надежности геометрических параметров не требуется.

8.5.3 Если вариации геометрических параметров существенно влияют на надежность сооружения, то проектные значения геометрических параметров  $a_d$  должны оцениваться либо непосредственно, либо в соответствии со следующим уравнением:

$$a_d = a \pm \Delta a, \quad (8.3)$$

где значения  $\Delta a$  определяются на основании указаний разделов 11-14.

**П р и м е ч а н и е** – Необходимость учета вариаций геометрических параметров может быть связана, например, с возможностью избыточной экскавации в котловане, существенными эксцентриситетами при выполнении скрытых работ и пр.

## 8.6 Расчет по первой группе предельных состояний

8.6.1 Расчет по первой группе предельных состояний (ULS) должен заключаться в проверке того, чтобы ни одно из предельных состояний, указанных в 7.2.2 не было достигнуто при всех проектных ситуациях и их сценариях.

В общем случае невозможность наступления предельных состояний первой группы для конструкции, взаимодействующей с основанием, следует проверять с помощью неравенства:

$$\gamma_n \Sigma E_d \{ \gamma_f \psi F_n; M_n/\gamma_m; X_n/\gamma_g; a_d \} \leq \Sigma \gamma_d R_d \{ \gamma_f \psi F_n; M_n/\gamma_m; X_n/\gamma_g; a_d \}, \quad (8.4)$$

а для элемента такой конструкции с помощью:

$$\gamma_n \Sigma E_d \{ \gamma_f \psi F_n; M_n/\gamma_m; X_n/\gamma_g; a_d \} \leq \gamma_d R_d \{ \gamma_f \psi F_n; M_n/\gamma_m; X_n/\gamma_g; a_d \}, \quad (8.4a)$$

где  $E_d$  – расчетное значение результата воздействия,

$R_d$  – расчетное значение сопротивления воздействию,

$\gamma_n, \gamma_f, \gamma_m, \gamma_g, \gamma_d$  – частные коэффициенты надежности по ответственности, по нагрузке, по материалу, по грунту, условий работы в соответствии с 7.3.3,

$F_n, M_n, X_n$  – нормативные значения воздействий, характеристик материалов и грунтов в соответствии с 8.2-8.4;

$\psi$  – коэффициенты сочетания нагрузок;

$a_d$  – проектные значения геометрических параметров (см. 8.5).

**П р и м е ч а н и е** – Формулы (8.4) и (8.4a) включают отношение  $X_n/\gamma_g$  в расчет не только сопротивлений, но и воздействий, поскольку свойства грунтов могут в некоторых случаях влиять на значения геотехнических воздействий.

8.6.2 Проверку статического равновесия (EQU) подземного сооружения, рассматриваемого как жесткое тело, следует выполнять с целью убедиться, что ни сооружение в целом, ни какая из его частей не превращается в механизм. В этом случае можно считать, что результаты воздействий не зависят от характеристик материалов и грунтов, а предельные величины сопротивлений не зависят от воздействий и геометрических параметров:

$$\gamma_n \sum E_d \{ \gamma_f \psi \quad F_n; \quad a_d \} \leq \sum \gamma_d \quad R_d \quad \{ \quad M_n/\gamma_m; \quad X_n/\gamma_g \quad \} \quad , \quad (8.5)$$

Для жесткого тела или его фрагмента допускается рассматривать соблюдение условий равновесия:

$$\gamma_n (E_{dst,d} - E_{stb,d}) \leq \gamma_d T_d \quad , \quad (8.6)$$

где  $E_{dst,d}$  - расчетное значение равнодействующей результата дестабилизирующих (сдвигающих, опрокидывающих и др.) воздействий;

$E_{stb,d}$  - расчетное значение равнодействующей результата стабилизирующих (удерживающих) воздействий;

$T_d$  - расчетное значение равнодействующей предельных сопротивлений.

П р и м е ч а н и я – 1. Проверка данного предельного состояния, как правило, является второстепенной при проектировании подземных сооружений. Ее следует использовать, например, для проверки возможности сдвига или поворота одной части сооружения относительно другой.

2. Не следует путать данную проверку равновесия с расчетом общей устойчивости и несущей способности основания или расчетом сооружения на всплытие.

8.6.3 Расчеты конструкций подземного сооружения и основания по предельным состояниям (STR) и (GEO) должны заключаться в проверке невозможности разрушения конструктивных элементов сооружения, разрушения основания или развития чрезмерных его деформаций, приводящих к разрушению конструкций. Эту проверку следует выполнять в соответствии с (8.4) и (8.4а).

В практике проектирования допускается применять несколько подходов, различающихся использованием в (8.4) и (8.4а) специфичных наборов частных коэффициентов надежности, в зависимости от рассматриваемых проектных ситуаций и используемых расчетных моделей.

Для проектных ситуаций, в которых результаты воздействий не зависят или незначительно зависят от характеристик грунтов, допускается в расчетах рассматривать:

$$E_d = E_d \{ \gamma_f \psi \quad F_n; \quad M_n/\gamma_m; \quad X_n; \quad a_d \} \quad \text{или} \quad (8.7)$$

$$E_d = \gamma_E E_d \{ \psi F_n; M_n/\gamma_m; X_n; a_d \} \quad \text{или} \quad (8.7a)$$

$$E_d = \gamma_E E_d \{ \psi F_n; M_n/\gamma_m; X_n/\gamma_g; a_d \} = \gamma_{Sd} E_d \{ \psi F_n; M_n/\gamma_m; X_n; a_d \} , \quad (8.7b)$$

где  $\gamma_E$  – частный коэффициент надежности для воздействия,  
 $\gamma_{Sd}$  – частный коэффициент модели для результатов воздействий, учитывающий неопределенность при их моделировании.

Для разных проектных ситуаций, расчетные значения сопротивления воздействиям могут как зависеть, так и нет, от характеристик грунтов. В расчетах допускается рассматривать:

$$R_d = \gamma_d R_d \{ \gamma_f \psi F_n; M_n/\gamma_m; X_n/\gamma_g; a_d \} \quad \text{или} \quad (8.8)$$

$$R_d = (\gamma_d/\gamma_R) R_d \{ \gamma_f \psi F_n; M_n/\gamma_m; X_n; a_d \} = \gamma_{Rd} R_d \{ \gamma_f \psi F_n; M_n/\gamma_m; X_n; a_d \} , \quad (8.8a)$$

где  $\gamma_R$  – частный коэффициент надежности по сопротивлению,  
 $\gamma_{Rd} = (\gamma_d/\gamma_R)$  – частный коэффициент модели для сопротивления.

Для проверки предельных состояний (STR) и (GEO) рекомендуется использовать один из вариантов выбора наборов частных коэффициентов надежности в табл. 8.1 в зависимости от рассматриваемых проектных ситуаций.

Таблица 8.1

Проектный подход		Набор коэффициентов надежности						Примеры использования
		$\gamma_f$	$\gamma_E$	$\gamma_m$	$\gamma_g$	$\gamma_R$	$\gamma_d$	
1	А	$\neq 1.0$	-	$\neq 1$	1.0	$\neq 1.0$	$\neq 1.0$	При расчете тоннельных обделок
	Б	1.0	$\neq 1.0$		1.0			
2	А	$\neq 1.0$	-		$\neq 1.0$	-	$\neq 1.0$	По ГОСТ Р 54257-2010 При расчете несущей способности и устойчивости оснований При расчете свайных фундаментов и анкеров
	Б	$\neq 1.0$	-		$\neq 1.0$	$\neq 1.0$	$\neq 1.0$	
	В	$\neq 1.0$	-		$\neq 1.0$	$\gamma_{Rd} \neq 1.0$		
3	-	1.0	$\gamma_{Sd} \neq 1.0$		1.0	-	$\neq 1.0$	В численных расчетах при неопределенности моделирования воздействий

Примечания – 1. Минимальные значения коэффициентов надежности по нагрузкам или для воздействий приведены в приложении Ж.

2. В российских нормативных документах используются различные наборы частных коэффициентов надежности в соответствии с разными проектными подходами. В таблице указаны примеры использования

того или иного проектного подхода. Пояснения к выбору частных коэффициентов надежности для используемых проектных подходов даны в приложении 3.

8.6.4 Расчеты конструкций подземного сооружения и основания по аварийным предельным состояниям (EXD) следует выполнять аналогично расчетам для (STR) и (GEO) в соответствии с 8.6.1 и 8.6.3 с учетом следующих указаний:

- в рассматриваемом сочетании нагрузок следует рассматривать только постоянные и длительные нагрузки совместно с аварийным воздействием;
- значения всех частных коэффициентов надежности принимаются равными 1,0.

8.6.5 Проверка возможности потери равновесия сооружением или основанием от всплытия (UPL) заключается в проверке того, что расчетное сочетание постоянных и временных направленных вверх дестабилизирующих воздействий  $V_{dst,d}$  меньше или равно сумме расчетных значений постоянных и длительных удерживающих нагрузок и сил сопротивления всплытию:

$$\gamma_n V_{dst,d} \leq \gamma_{f1} \Sigma G_{stb,c} + \gamma_{f2} \Sigma G_{stb,t} + (\Sigma R_{stb})/\gamma_R, \quad (8.9)$$

где  $G_{stb,c}$  – нормативное значение постоянной удерживающей нагрузки,

$G_{stb,t}$  – нормативное значение длительной удерживающей нагрузки,

$R_{stb}$  – нормативное значение силы сопротивления всплытию,

$\gamma_{f1}$ ,  $\gamma_{f2}$ ,  $\gamma_R$  – коэффициенты надежности, значения которых следует устанавливать в соответствии с СП 22.13330.2011 и СП 24.13330.2011,

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый равным 1,0 для кратковременных проектных ситуаций и устанавливаемый в соответствии с ГОСТ Р 54257-2010 для долговременных ситуаций.

8.6.6 При рассмотрении предельного состояния (HYD), связанного с разрушением основания из-за восходящей фильтрацией подземных вод для каждого характерного вертикального элемента (столба) грунта следует проверить, чтобы расчетная величина дестабилизирующего полного порового давления  $u_{dst,d}$  по низу элемента или расчетная величина фильтрационной силы в элементе грунта  $S_{dst,d}$  была меньше или равна удерживающему полному вертикальному напряжению  $\sigma_{stb,d}$  по низу элемента или весу столба во взвешенном состоянии  $G'_{stb,d}$ :

$$u_{dst,d} \leq \sigma_{stb,d}, \quad (8.10a)$$

$$S_{dst,d} \leq G'_{stb,d}, \quad (8.10б)$$



В формулах (8.10а) и (8.10б) для постоянных и временных воздействий следует использовать частные коэффициенты надежности по нагрузке  $\gamma_f$  в соответствии с табл. 8.2.

Таблица 8.2

Воздействие	Значение $\gamma_f$
Постоянное: - неблагоприятное (дестабилизирующее)	1,35
- благоприятное (удерживающее)	0,9
Кратковременное: - неблагоприятное (дестабилизирующее)	1,50

### 8.7 Расчет по второй группе предельных состояний

8.7.1 Расчет оснований или конструкций, их элементов и стыков по предельным состояниям второй группы (SLS) должен состоять в проверке выполнения следующего неравенства:

$$E_d \leq C_d \quad , \quad (8.11)$$

где  $E_d$  – расчетное значение результата воздействия,

$C_d$  - предельная величина, допустимая для результата воздействия.

8.7.2 Значения частных коэффициентов надежности в расчетах по второй группе предельных состояний следует принимать равными 1,0.

**Примечание** – Значения коэффициента по ответственности сооружений  $\gamma_n$  могут приниматься больше 1,0, если это предусмотрено в техническом задании.

8.7.3 Расчет по второй группе предельных состояний следует выполнять на основные сочетания нагрузок.

8.7.4 Расчет по второй группе предельных состояний следует выполнять, как правило, для долговременных проектных ситуаций и их сценариев. Предельные состояния второй группы, для которых следует рассматривать кратковременные проектные ситуации, указаны в сводах правил на проектирование подземных сооружений различного назначения или должны приводиться в техническом задании.

**Примечание** – Примером кратковременной проектной ситуации, для которой требуется расчет по второй группе предельных состояний, является проверка крена подземной части высотных зданий при действии ветровых нагрузок, регламентированная СП 22.13330.2011.

8.7.5 Расчет деформаций оснований подземных сооружений совместно с их конструкциями следует выполнять с учетом следующих особенностей:

- деформационные процессы в грунтах могут быть существенно растянуты во времени в силу процессов консолидации и ползучести;
- механические характеристики грунтов могут существенно зависеть от скорости приложения нагрузок;
- вибрационные воздействия могут приводить к длительным деформациям;
- изменения уровней подземных вод могут приводить к деформациям;
- физико-механические характеристики грунтов могут изменяться в процессе эксплуатации сооружения.

8.7.6 Развитие деформаций основания во времени следует определять расчетом, в тех случаях, когда относительная неравномерность деформаций конструкций подземного сооружения для кратковременных проектных ситуаций может оказаться выше, чем для долговременной или когда требуется определить время стабилизации деформационных процессов.

8.7.7 Расчет деформаций подземных сооружений и деформаций зданий и сооружений, на которые оказывает влияние строительство, как правило, следует выполнять с учетом:

- метода строительства;
- последовательности и скорости нагружения;
- изменения жесткости и конструктивной схемы подземного сооружения в процессе строительства и эксплуатации.

П р и м е ч а н и е – Для удовлетворения этого требования должны выполняться поэтапные расчеты, учитывающие проектные сценарии.

8.7.8 Значения предельных величин  $S_d$  для результата воздействия устанавливаются в нормах проектирования подземных сооружений различного назначения, указываются в техническом задании либо устанавливаются проектировщиком на основании расчетов и сопоставимого опыта.

8.7.9 Предельные прогибы и перемещения несущих конструкций подземных сооружений следует устанавливать с учетом указаний СП 20.13330.2011.

8.7.10 Значения предельных величин совместных деформаций основания и подземного сооружения, имеющего надземную часть, следует принимать в соответствии с указаниями СП 22.13330.2011.

8.7.11 Значения предельных величин дополнительных деформаций для зданий и сооружений окружающей застройки, вызванных строительством подземного сооружения, следует устанавливать в соответствии с указаниями СП 22.13330.2011.

8.7.12 Значения предельных величин дополнительных деформаций подземных водонесущих коммуникаций, вызванных строительством подземного сооружения, рекомендуется устанавливать в соответствии с указаниями [5].

## **8.8 Расчетные модели**

8.8.1 Расчетная модель должна адекватно описывать принятое механическое поведение основания и/или конструкций подземного сооружения для рассматриваемого предельного состояния и характера нагружения.

При отсутствии надежной расчетной модели для конкретного предельного состояния должен выполняться расчет с использованием нескольких расчетных схем или моделей, чтобы вероятность достижения этого предельного состояния была минимальна.

8.8.2 Любая расчетная модель должна быть либо основана на точном аналитическом решении, либо давать погрешность в сторону запаса надежности.

8.8.3 Допускается использовать частные коэффициенты надежности модели  $\gamma_{Rd}$  и  $\gamma_{sd}$  (поправочные коэффициенты) для того, чтобы погрешности результатов расчета были в сторону запаса надежности.

Если при использовании результатов расчета используется поправочный коэффициент, то он должен учитывать:

- чувствительность модели, т.е. диапазон неопределенности результатов, получаемых с помощью данной расчетной модели;
- любые известные систематические погрешности, связанные с данным методом расчета.

8.8.4 Если в расчете используется эмпирическая зависимость, то должны быть четко оговорены границы ее применения и однозначно установлено, что она соответствует преобладающим грунтовым условиям.

8.8.5 Если в расчете используется аналитическая модель, то должно быть четко установлено ее соответствие предельному состоянию, относительно которого выполняется проверка.

8.8.6 При выборе расчетной модели следует учитывать, какой кратковременной или долговременной проектной ситуации должна соответствовать модель.

Пр и м е ч а н и е – Характеристики грунтов в кратковременных и долговременных ситуациях могут отличаться.

8.8.7 Расчетная модель должна учитывать возможность выполнения поэтапного расчета для проектных сценариев в том случае, если стадийность и очередность возведения подземного сооружения влияет на напряженно-деформированное состояние основания и самого сооружения.

**П р и м е ч а н и е** – Примером может являться расчет ограждений котлованов, имеющих многоярусное крепление.

8.8.8 Модели взаимодействия конструкций с основанием должны учитывать не только совместность их деформаций, но и возможность нарушения такой совместности на контакте «конструкция-грунт».

В качестве нарушений совместности деформаций следует рассматривать проскальзывание и отлипание. Условие проскальзывания соответствует равенству касательных напряжений на контакте предельной величине. Условие отлипания соответствует невозможности возникновения растягивающих нормальных напряжений на контакте.

**П р и м е ч а н и е** – Для учета возможной несовместной деформации на контакте «конструкция-грунт» в методе конечных элементов следует использовать специальные контактные элементы.

8.8.9 При использовании численных контактных моделей жесткость основания следует определять исходя из его напряженно-деформированного состояния, которое может быть рассмотрено отдельно, либо сопоставимого опыта.

**П р и м е ч а н и е** – Жесткость основания, например, может быть определена на основании упрощенных предварительных расчетов методом конечных элементов.

8.8.10 При использовании моделей сплошной среды следует установить, какими зависимостями должна описываться связь напряжений и деформаций, определить критерии прочности для грунтов и конструкционных материалов.

Основными моделями сплошной среды, описывающими механическое поведение грунтов, которые рекомендуется использовать в расчетах подземных сооружений, являются:

- линейно-упругая модель (Гука), применимость которой определяется СП 22.13330.2011;

- модель упруго-идеальнопластической среды (Мора-Кулона) с ассоциированным или неассоциированным законом пластического течения. Угол дилатансии рекомендуется назначать в зависимости от плотности грунта, действующих напряжений и других факторов;

- упруго-пластические модели с упрочнением, как правило, с замкнутой поверхностью текучести, которые наиболее уместны в тех задачах, где нужно учесть различие свойств грунта при нагружении и разгрузке;

- реологические модели, позволяющие описывать развития деформаций и напряжений во времени;

- модель упруго-идеальнопластической среды с критерием прочности Хоека-Брауна, описывающая поведение изотропных массивов скальных и полускальных грунтов различной степени трещиноватости.

### **8.9 Верификация расчетных моделей**

8.9.1 При использовании результатов расчета для проектирования любая расчетная модель, с помощью которой были получены эти результаты, должна быть верифицирована.

**П р и м е ч а н и е** – Аналитические и полуэмпирические модели и методы расчета, регламентированные нормативными документами, не требуют дополнительной верификации.

8.9.2 Основным критерием верификации расчетных моделей должно являться наличие сопоставимого опыта. Расчетная модель может считаться верифицированной для определенных условий, если результаты расчета демонстрируют хорошее соответствие экспериментальным результатам в сходных условиях.

8.9.3 Наибольшие трудности может вызывать верификация сложных численных моделей (например МКЭ) подземных сооружений в их взаимодействии с основанием. Каждая из таких моделей может являться уникальной, для которой сопоставимый опыт отсутствует.

При отсутствии сопоставимого опыта условиями верификации численной модели должны являться:

- верификация программного обеспечения, с помощью которого создается модель;
- проверка самой численной модели.

**П р и м е ч а н и е** – Следует учитывать, что правильность результатов расчетов, полученных с использованием численных моделей, обычно зависит в меньшей степени от возможностей используемого программного обеспечения и в большей - от квалификации специалистов, отвечающих за выбор расчетной модели, выполняющих расчеты и их анализ.

8.9.4 Верификацию программного обеспечения следует выполнять с помощью расчетов тестовых моделей, для которых известны аналитические решения и/или сопоставимый экспериментальный опыт.

8.9.5 Верификация численной модели, как правило, должна включать:

- проверку исходных данных на формальное соответствие условиям задачи;
- проверку правильности граничных условий;
- проверку общего равновесия системы для всех сочетаний нагрузок и воздействий;
- проверку локального равновесия для всех подсистем модели;
- проверку имеющихся условий симметрии;
- анализ соответствия характера полученных перемещений и деформаций граничным условиям и заданным связям;

- анализ соответствия характера распределения внутренних усилий в конструкциях сооружения характеру деформаций;

- оценку соответствия результатов расчета порядку ожидаемых величин в допустимом диапазоне.

**П р и м е ч а н и е** – Порядок ожидаемых величин результатов расчета следует определять на основании использования простых моделей, не требующих дополнительной верификации, или их комбинаций.

8.9.6 Для верификации сложных численных моделей, используемых в расчетах сооружений геотехнической категории 3, допускается выполнять независимые сопоставительные расчеты с использованием различных программных средств.

## **9 Геотехнический прогноз влияния строительства на окружающую застройку**

9.1 Геотехнический прогноз, представляющий собой комплекс работ аналитического и расчетного характера, следует выполнять, в том числе, для качественной и количественной оценки влияния возведения подземных сооружений на существующие здания, сооружения и инженерные коммуникации, находящиеся от него в непосредственной близости. Геотехнический прогноз должен выполняться в соответствии с требованиями СП 22.13330.2011 и с учетом положений настоящего раздела.

9.2 Геотехнический прогноз состоит из расчетного и экспертно-аналитического блоков. На основании работ расчетного блока следует определять изменение напряженно-деформированного состояния грунтового массива, прилегающего к возводимому объекту, дополнительные деформации существующих зданий и сооружений. В рамках работ экспертно-аналитического блока должна производиться оценка технологических воздействий при возведении подземных конструкций на примыкающие здания и сооружения. Экспертную оценку технологических воздействий следует производить на основании обобщения сопоставимого опыта производства работ на территории города.

9.3 Геотехнический прогноз должен выполняться специализированными организациями, обладающими геотехническим программным обеспечением, и имеющими собственный сопоставимый опыт выполнения таких работ.

9.4 Работы расчетного блока геотехнического прогноза следует выполнять в рамках расчетов по второй группе предельных состояний (SLS) (см. раздел 8) преимущественно методами математического (численного) моделирования с использованием апробированного геотехнического программного обеспечения.

Математическое моделирование изменений напряженно-деформированного состояния грунтового массива, вызванное подземным строительством следует выполнять с учетом:

- геологического строения площадки строительства;
- нелинейного механического поведения грунтов основания;
- результатов гидрогеологического прогноза (см. раздел 16);
- очередности и стадийности экскавации грунта и возведения конструкций;
- технологии производства работ;
- фундаментов и конструкции зданий на примыкающей территории;
- наличия подземных коммуникаций на примыкающей территории;
- взаимодействия конструкций подземных сооружений с примыкающим грунтовым массивом;
- жесткости надземных конструкций проектируемого сооружения.

9.5 В результате геотехнического прогноза следует определить:

- характерные размеры или радиус зоны влияния;
- величины дополнительных деформаций существующих зданий, сооружений и коммуникаций;
- необходимость и состав мероприятий по инженерной защите окружающей застройки от влияния строительства.

П р и м е ч а н и я – 1. Для линейных подземных сооружений следует определять характерный размер зоны влияния строительства, а для компактных – радиус.

2. В пределах зоны влияния следует выделять размеры зоны интенсивных деформаций в массиве грунта, в которой перемещения в массиве превышают 10 мм. Допустимо принимать плановые размеры зоны интенсивных деформаций, соответствующим размерам области, в которой осадки земной поверхности, вызванные строительством, превышают 10 мм.

9.6 Для подземных сооружений, возводимых открытым или полужакрытым способом, следует выполнять предварительную оценку размеров зоны влияния нового строительства в соответствии с указаниями СП 22.13330.2011 или на основании предварительного моделирования влияния строительства подземного сооружения с учетом нагрузок, передаваемых на основании зданиями и сооружениями окружающей застройки. Жесткость конструкций окружающей застройки в предварительных расчетах допускается не учитывать.

9.7 Для сооружений, возводимых закрытым способом, предварительное определение границ зоны влияния допускается проводить методом характерных кривых на основании эмпирических зависимостей согласно СП 21.13330.2011. Допускается также в этих целях использовать предварительное численное моделирование аналогично 9.6.

9.8 Для зданий и сооружений, находящихся в зоне влияния подземного строительства, должны быть собраны архивные материалы, а также выполнены их обследования с учетом 6.2.

Примечание – При обследовании зданий, находящихся в зоне интенсивных деформаций, следует предусмотреть вскрытие их фундаментов не менее чем в 2-х шурфах, а также выявить дефекты и повреждения, которые должны учитываться при проведении математического моделирования.

9.9 Допустимые величины дополнительных деформаций зданий и сооружений окружающей застройки должны назначаться в ходе обследований с учетом требований СП 22.13330.2011. Допустимо назначение иных величин при проведении специальных исследовательских работ, а также их уточнение в процессе мониторинга.

9.10 При выполнении работ расчетного блока геотехнического прогноза принимаемые при моделировании значения прочностных и деформационных характеристик грунтов и материалов должны соответствовать второй группе предельных состояний (SLS).

При необходимости определения усилий в конструкциях, например при моделировании усиления окружающей застройки, значения прочностных и деформационных характеристик грунтов и материалов должны соответствовать первой группе предельных состояний (ULS).

9.11 При проведении численного моделирования допускается применение геотехнических моделей, использующих нестандартные характеристики деформационных и прочностных свойств грунтов основания и скальных массивов. В этом случае в техническом задании на инженерно-геологические и геотехнические изыскания должны содержаться указания по определению соответствующих характеристик. Выбор характерных расчетных значений свойств грунтов при проведении моделирования находится в компетенции и ответственности специалиста, проводящего такие расчеты.

9.12 Выбор геотехнической модели должен осуществляться специалистом, выполняющим геотехнический прогноз, в зависимости от инженерно-геологического строения площадки строительства, полноты инженерно-геологических изысканий, глубины заложения подземного сооружения, а также технологии производства работ.

9.13 Моделирование влияния строительства подземных сооружений на окружающую застройку и коммуникации должно выполняться с использованием геотехнической модели, описывающей наиболее существенные механические процессы в основании при подземном строительстве. Выбранная геотехническая модель основания должна иметь достаточную апробацию. При проведении расчетов с использованием моделей, не имеющих достаточной апробации, необходимо выполнять дублирующий расчет с использованием апробированных моделей.



9.14 На основании результатов геотехнического прогноза должна определяться необходимость усиления фундаментов или конструкций зданий и сооружений, находящихся в зоне влияния строительства подземного сооружения, а также проведения мероприятий по инженерной защите подземных коммуникаций.

9.15 При нахождении в зоне интенсивных деформаций от влияния подземных сооружений зданий, находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии, рекомендуется предусмотреть проведение комплекса работ по их ремонту и усилению до начала подземного строительства.

9.16 Если на основании геотехнического прогноза выявляется необходимость проведения мероприятий по инженерной защите окружающей застройки, следует выполнять повторный геотехнический прогноз, учитывающий проведение указанных мероприятий.

9.17 Для зданий, находящихся в зоне интенсивных деформаций, численное моделирование должно проводиться с учетом жесткости их надземного строения, глубины заложения фундаментов и нагрузок, передаваемых на них. Для остальных зданий допустимо применение упрощенных расчетных схем.

Для инженерных коммуникаций, находящихся в зоне интенсивных деформаций, необходимо проведение численного моделирования, учитывающего их фактические размеры и местоположение.

9.18 Экспертно-аналитическая часть геотехнического прогноза должна состоять в качественной оценке следующих факторов:

- технологических воздействий при строительстве сооружения;
- технологических воздействия при проведении работ по усилению фундаментов зданий окружающей застройки и работ по их инженерной защите;
- вероятности возникновения дефектов в существующих конструкциях в ходе производства работ и необходимости проведения послеосадочного ремонта;
- необходимости мероприятий и предписаний по недопущению катастрофических последствий строительства (EXD).

9.19 Точность геотехнического прогноза должна оцениваться на основании мониторинга, проводимого в процессе производства работ по строительству подземного сооружения в соответствии с указаниями раздела 10. Результаты мониторинга следует заносить в базы данных специализированных организаций, ответственных за его проведение, для накопления сопоставимого опыта.

9.20 Если в процессе мониторинга (см. указания раздела 10) выявлено, что фактическая величина деформаций какого-либо из существующих зданий и сооружений

превысила предельно допустимые величины, то работы по строительству подземного сооружения должны быть немедленно приостановлены. После этого следует выполнить повторное обследование и геотехнический прогноз, разработать мероприятия по дополнительному усилению здания, получившего недопустимые деформации, и/или по корректировке проекта, и/или предусмотреть изменение технологии производства работ.

## **10 Надзор за строительством, геотехнический мониторинг**

10.1 Надзор за строительством осуществляется в рамках авторского надзора проектной организации, технического контроля заказчика, уполномоченными государственными службами, а также для подземных сооружений геотехнической категории 3 – в рамках научно-технического сопровождения проектирования и строительства.

10.2 Задачами проведения надзора за строительством являются:

- проверка достоверности выполненных инженерно-геологических изысканий;
- проверка достоверности проектных предпосылок;
- контроль качества выполняемых работ;
- контроль соответствия выполняемых работ и их последовательности проекту;
- принятие по актам конструкций или отдельных видов работ;
- проверка соответствия материалов и технологий, принятым в проекте;
- разрешение на выполнение отдельных видов работ или конструкций;
- фиксация контролируемых параметров и сравнение их с расчетными значениями;
- принятие решений в случае несоответствия результатов мониторинга прогнозным значениям;
- внесение в проект необходимых корректив.

10.3 Объем работ по надзору за строительством и геотехническому мониторингу определяется в соответствии с положениями СП 11-110-99, СП 22.13330.2011, СП 48.13330.2011 и должен быть достаточным для выполнения задач, указанных в 10.2.

10.4 Надзор за строительством должен заключаться в периодическом проведении инспектирования строительной площадки и контроля проводимых на ней работ.

Результаты инспектирования и контроля площадки строительства должны фиксироваться в соответствующих документах: надзор со стороны проектной организации – в журнале авторского надзора; технический контроль со стороны заказчика – в журнале производства работ.

10.5 При проведении надзора за строительством должны фиксироваться и согласовываться следующие документы:

- исполнительные схемы и чертежи;
- акты на скрытые работы;
- акты приемки сооружения и отдельных конструкций;
- проекты производства работ;
- регламенты на выполнение сложных видов геотехнических работ;
- сертификаты на отдельные материалы;
- отступления от проекта;
- результаты геотехнического мониторинга.

10.6 Документы, перечисленные в 10.5, должны передаваться в проектную организацию незамедлительно для оперативного внесения в проект требуемых корректировок (при необходимости). Указанные документы должны храниться заказчиком не менее 10 лет, для уникальных сооружений – весь период его эксплуатации.

10.7 Объем и периодичность проведения инспектирования назначаются в зависимости от геотехнической категории сложности подземного сооружения.

Для сооружений геотехнической категории 1 надзор за строительством допускается ограничить периодической инспекцией, как правило, со стороны заказчика, и качественной оценкой поведения сооружения, без проведения инструментального геотехнического мониторинга.

Для сооружений геотехнической категории 2 надзор за строительством следует выполнять в полном масштабе, включая авторский надзор и технический контроль заказчика, а также геотехнический мониторинг, проводимый в объеме, соответствующем положениям СП 22.13330.2011, а для геотехнической категории 3 помимо этого следует предусматривать научно-техническое сопровождение проектирования и строительства.

10.8 В процессе строительства подземного сооружения проверку достоверности инженерно-геологических изысканий следует осуществлять путем освидетельствования грунта в котловане (бортов и его дна) или горной выработке (забое, своде и стенах выработки) инженером-геологом, а также по результатам геотехнического мониторинга путем сравнения полученных обратными расчетами параметров с проектными величинами.

В случае несовпадения освидетельствованных видов грунтов и их свойств, а также гидрогеологических условий с проектными данными следует незамедлительно сообщить об этом в проектную организацию для проведения соответствующей корректировки проекта или назначения дополнительных инженерно-геологических изысканий.

П р и м е ч а н и е – Дополнительные требования к составу инженерно-геологических работ при строительстве линейных сооружений закрытым способом следует назначать в соответствии с СП 120.13330.2012.

10.9 В процессе производства работ следует контролировать соответствие фактического положения УПВ (уровней подземных вод) принятым в проекте уровням (при необходимости, также химического состава и температуры подземных вод).

10.10 При необходимости в процессе строительства могут быть выполнены дополнительные инженерно-геологические и геотехнические изыскания (испытания грунтов сваями, штампами со дна котлована и др.) для уточнения характеристик грунта, выполнения поверочных расчетов или корректировки проекта.

10.11 Оценка правильности принятых проектных решений для подземных сооружений геотехнических категорий 1 и 2 должна проводиться проектной организацией на основе результатов надзора и геотехнического мониторинга, для сооружений геотехнической категории 3 – совместно организацией, осуществляющей научно-техническое сопровождение проектирования и строительства, проектной организацией и техническим контролем заказчика, по результатам надзора и комплекса работ по научно-техническому сопровождению.

10.12 При проведении геотехнического мониторинга должны решаться следующие задачи:

- систематическая фиксация изменений контролируемых параметров конструкций сооружений и геологической среды, оперативное выявление отклонений контролируемых параметров от прогнозных значений;

- анализ степени опасности выявленных отклонений контролируемых параметров и установление причин их возникновения;

- разработка мероприятий, предупреждающих и устраняющих выявленные негативные процессы или причины, которыми они обусловлены.

10.13 Геотехнический мониторинг следует осуществлять в соответствии с программой, которая для сооружений геотехнических категорий 2 и 3 разрабатывается в процессе проектирования и должна являться разделом утверждаемой части проектной документации.

10.14 При разработке программы геотехнического мониторинга должны быть определены состав, объемы, периодичность, сроки и методы работ, которые назначаются применительно к рассматриваемому объекту строительства с учетом его специфики, включающей: результаты инженерных изысканий на площадке строительства, особенностей проектируемого сооружения и сооружений окружающей застройки и пр.

10.15 В программе геотехнического мониторинга следует учитывать факторы, которые будут оказывать влияние на вновь возводимое подземное сооружение, его основание, грунтовый массив и сооружения окружающей застройки в процессе строительства и эксплуатации, в том числе, расположение площадки строительства на территории с распространением специфических грунтов и возможностью проявления опасных геологических процессов, а также вибрационные и динамические воздействия от строительных работ и внешних источников.

10.16 В программе геотехнического мониторинга подземного сооружения следует указывать:

- уровень ответственности и геотехническую категорию, конструктивную схему, проектные решения по устройству основания, фундаментов и конструкций сооружения, способ строительства, особенности возведения, эксплуатации и пр.;

- инженерно-геологические и гидрогеологические условия, включая характеристики грунтов основания, прогнозируемые изменения уровня подземных вод, опасные инженерно-геологические процессы (карстово-суффозионные, оползневые и пр.), прогнозируемые величины перемещений грунтового массива, окружающего сооружение и пр.;

- проектные (расчетные) параметры, в т.ч. временные, такие как: давление на основание; деформации основания, фундаментов и конструкций; напряжения в сваях, обделках тоннелей и других конструкциях сооружения; горизонтальные перемещения ограждений котлована и усилия в конструкциях, обеспечивающих их устойчивость и пр.;

- сведения о сооружениях окружающей застройки, такие как уровень ответственности сооружений, прогнозируемые и предельные значения дополнительных деформаций оснований и фундаментов, предполагаемые защитные мероприятия и др.;

- контролируемые параметры, в том числе предполагаемое количество наблюдательных марок или скважин;

- методы фиксации изменений контролируемых параметров и требования к точности измерений;

- этапы, периодичность и сроки проведения наблюдений за контролируемыми параметрами с учетом последовательности строительства сооружения;

- критерии стабилизации контролируемых параметров;

- требования к структуре, составу и периодичности выпуска отчетной документации.

10.17 На основе программы геотехнического мониторинга для сооружений геотехнической категории 3 должен разрабатываться проект мониторинга

(наблюдательной станции), в котором, помимо сведений, содержащихся в программе мониторинга (см. 10.16), следует представить:

- схемы установки наблюдательных марок, скважин, маяков, датчиков и др.;
- конструкции и характеристика оборудования для проведения наблюдений;
- методика измерений, оценка точности измерений и др.;
- требования к визуально-инструментальному обследованию сооружений окружающей застройки.

10.18 Для объектов подземного строительства геотехнический мониторинг должен заключаться в наблюдениях за состоянием самого строящегося объекта, окружающего массива грунта и существующей застройки.

Геотехнический мониторинг строящегося объекта заключается в наблюдении за состоянием ограждающей конструкции котлована или подземной выработки, удерживающих систем, конструкций подземной части, а также за деформациями основания в процессе строительства и в начальный период его эксплуатации.

Геотехнический мониторинг окружающей площадку строительства подземного сооружения массива грунта заключается в наблюдении за состоянием перемещений грунта в зоне деформаций, а также за уровнями подземных вод (для отдельных сооружений – также за температурой и химическим составом подземных вод).

Геотехнический мониторинг окружающей застройки заключается в наблюдении за состоянием конструкций зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния строительства, в том числе подземных инженерных коммуникаций.

10.19 Методы инструментальных измерений контролируемых параметров должны обеспечивать необходимые достоверность и точность получаемых результатов и удовлетворять требованиям ГОСТ 24846-2012.

При выполнении геотехнического мониторинга применяются следующие методы:

- визуальный – наблюдения за состоянием конструкций, в том числе с фиксацией дефектов маяками (гипсовыми, электронными), фотофиксацией и др.

- инструментальный – измерения УПВ; температуры подземных вод и грунта; деформаций и перемещений ограждений котлованов, обделок тоннелей, фундаментов и грунтового массива (например, с помощью инклинометров, оптико-волоконных технологий) и пр.

- инструментальный геодезический – измерения вертикальных и плановых перемещений конструкций строящегося и существующих зданий и сооружений, грунтовых марок и реперов с применением оптических или электронных нивелиров, тахеометров;

- тензометрические - измерения напряжений в основаниях, ограждениях котлованов и выработок, обделках тоннелей, сваях, несущих конструкциях (в арматуре, бетоне, металлических конструкциях) с применением датчиков напряжений и деформаций;

- виброметрические - измерение кинематических параметров колебаний (виброперемещений, виброскоростей, виброускорений);

- геофизические - электромагнитные, сейсмические и др.

10.20 Объем, сроки, периодичность и методы работ при выполнении геотехнического должны назначаться в зависимости от геотехнической категории строящегося сооружения (уровня ответственности и сложности инженерно-геологических условий площадки строительства) и градостроительной ситуации на площадке в соответствии с положениями СП 22.13330.2011.

10.21 Геотехнический мониторинг сооружений окружающей застройки 1-го и 2-го уровня ответственности, в т.ч. подземных инженерных коммуникаций, необходимо проводить при их расположении в зоне влияния строительства, размеры которой определяются по результатам геотехнического прогноза (см. раздел 9).

10.22 Результаты геотехнического мониторинга должны отражаться в отчетной документации, для которой рекомендуется следующий состав:

а) начальный отчет, включающий описание методов наблюдения за изменениями контролируемых параметров, характеристики применяемого оборудования, результаты оценки точности измерений, схемы фактического расположения участков измерений контролируемых параметров, результаты фиксации их первоначального положения или состояния и др.;

б) промежуточные отчеты, включающие оперативную информацию об изменениях контролируемых параметров и рекомендации о необходимых дополнительных защитных, компенсационных или противоаварийных мероприятиях (при выявлении отклонений контролируемых параметров от ожидаемых величин) и др.;

в) итоговый (заключительный) отчет, включающий окончательные результаты фиксации изменений контролируемых параметров, подтверждающие их стабилизацию, анализ результатов измерений и их сопоставление с ожидаемыми величинами, последствия влияния на окружающую застройку, рекомендации по необходимым ремонтно-восстановительным мероприятиям и др.

10.23 Геотехнический мониторинг следует выполнять до момента стабилизации (прекращения изменения) контролируемых параметров.

Стабилизацией контролируемых параметров допускается считать изменение их величин по сравнению с предыдущими циклами измерений не более чем на величину точности измерений.

При измерении осадок зданий и сооружений допускается также принимать за критерий их стабилизации скорость развития осадок, не превышающую среднюю многолетнюю осадку, составляющую, например, для условий Москвы 2 мм/год.

**П р и м е ч а н и я** – 1. Количество циклов измерений, необходимых для вывода о стабилизации контролируемых параметров, зависит от периодичности измерений, сезонных и других факторов. Критерии стабилизации контролируемых параметров должны указываться в программе геотехнического мониторинга (см. 10.16).

2. Для сооружений, расположенных ниже уровня подземных вод и подверженных всплытию, необходимо проводить наблюдения за величинами порового давления в основании до тех пор, пока вес сооружения и/или обратной засыпки не станет достаточным, чтобы исключить возможность гидравлического подъема.

3. Для сооружений, расположенных на территориях с проявлением опасных инженерно-геологических процессов, таких как карст и оползни, в случае отсутствия мероприятий, исключающих возможность проявления таких процессов, геотехнический мониторинг следует предусматривать на весь срок эксплуатации подземного сооружения.

10.24 В случае нештатных ситуаций методы, объем и периодичность измерений геотехнического мониторинга могут быть откорректированы.

10.25 В процессе геотехнического мониторинга необходимо обеспечить своевременность информирования организаций, осуществляющих надзор за строительством, о выявленных отклонениях контролируемых параметров (в т.ч. тенденции их изменений, превышающие ожидаемые) от проектных значений и результатов геотехнического прогноза.

## **11 Проектирование котлованов**

Устройство котлованов может вестись как в естественных откосах, так и с использованием ограждающих и удерживающих конструкций. Выбор способа разработки котлована должен определяться его глубиной, уровнем подземных вод и стесненностью условий окружающей застройки.

Проектные решения котлованов, ограждающих и удерживающих конструкций должны соответствовать требованиям расчетов по первой и второй группам предельных состояний, обеспечивать как безопасность производства работ, так и сохранность окружающей застройки и коммуникаций.

### **11.1. Проектирование откосов**

11.1.1 Проектирование откосов выполняется при устройстве котлованов, земляных



выемок и траншей подземных сооружений, возводимых открытым способом, в тех ситуациях, когда возможность устройства откоса не исключается стесненностью площадки строительства.

11.1.2 Геометрические размеры откоса должны определяться расчетами.

11.1.3 Расчеты откосов следует выполнять по двум группам предельных состояний с применением расчетных значений воздействий и сопротивлений. При этом следует использовать частные коэффициенты надежности в соответствии с разделом 8.

11.1.4 Для первой группы предельных (ULS) состояний должны быть рассмотрены следующие проектные ситуации:

- общая потеря устойчивости откоса, в том числе совместно с удерживающими конструкциями и близрасположенными сооружениями (GEO и STR);

- местная потеря устойчивости откоса (GEO);

- разрушение под действием гидравлического разрушения или суффозии (HYD).

Примечания – 1. Указания по проектированию удерживающих откосы конструкций см. 11.2 и 11.3.

2. Указания по проверке возможности гидравлического разрушения см. 16.1.

3. Проверку устойчивости откосов, сложенных водонасыщенными глинистыми грунтами, следует выполнять с использованием характеристик, соответствующих как дренированной, так и недренированной прочности грунта.

11.1.5 Для второй группы предельных состояний (SLS) должны быть рассмотрены следующие проектные ситуации:

- перемещение массива грунта, слагающего откос, которое может вызвать недопустимые деформации удерживающих конструкций;

- перемещение массива грунта, слагающего откос, которое может нарушить условия эксплуатации соседних сооружений, дорог, коммуникаций.

11.1.6 Расчеты общей и местной устойчивости откосов следует выполнять в соответствии с указаниями 8.6.3 для предельных состояний (GEO), применяя при этом проектный подход 2А, в котором используются частные коэффициенты надежности для прочностных характеристик грунта  $\neq 1,0$ , и частный коэффициент надежности для удельного веса грунта равный 1,0.

Такие расчеты могут выполняться методами теории предельного равновесия или методом конечных элементов с использованием упругопластических моделей грунта и процедуры снижения прочностных характеристик.

11.1.7 В расчетах устойчивости, основанных на теории предельного равновесия, рассматривается схема смещения некоторой части массива грунта по поверхности скольжения, на которой касательные напряжения достигают значений предельной

сдвиговой прочности. При этом должно исследоваться равновесие сдвигаемой части массива, ограниченного этой поверхностью.

Критерием обеспечения требуемой степени надежности является частный коэффициент модели, называемый коэффициентом устойчивости  $\gamma_{st}$ , который для выбранной поверхности скольжения определяется отношением сдвиговой прочности грунта к касательным напряжениям, действующим на этой поверхности скольжения.

11.1.8 Величину коэффициента устойчивости  $\gamma_{st}$  допускается принимать равной числу, на которое следует разделить исходные характерные расчетные значения прочностных показателей грунта  $tg\varphi'_I$  и  $c'_I$  или  $c_{ul}$ , чтобы грунтовый массив, ограниченный выбранной поверхностью скольжения, перешел в состояние предельного равновесия.

11.1.9 Расчетный коэффициент устойчивости откоса следует находить как минимальное из всех значений, полученных для всех возможных поверхностей скольжения. Коэффициент устойчивости откоса  $\gamma_{st}$  должен быть больше или равен нормированного допустимого значения  $[k_{st}]$ , определяемого согласно СП 116.13330.2011.

Следует обращать внимание на то, что допустимые значения  $[k_{st}]$  зависят в том числе от уровня ответственности рассматриваемой проектной ситуации, см. 11.1.11.

11.1.10 При выборе метода расчета устойчивости откоса необходимо учитывать следующие факторы:

- неоднородность основания;
- фильтрацию и распределение порового давления воды;
- внешние нагрузки, действующую на откос или поверхность земли;
- длительность проектных ситуаций;
- возможность изменения механических свойств грунтов во времени;
- возможный механизм разрушения (круговая или некруговая поверхность скольжения, течение);
- возможность возникновения вертикальных трещин (заколов).

11.1.11 В случае расположения вблизи проектируемого откоса сооружения или объекта инфраструктуры следует рассмотреть возможные механизмы потери устойчивости с учетом соответствующей нагрузки на основание и частных коэффициентов надежности по нагрузкам от сооружения согласно разделу 8 настоящего СП. Допустимые значения  $[k_{st}]$  для таких проектных ситуаций следует назначать в зависимости от уровня ответственности сооружения.

С учетом частных коэффициентов надежности по ответственности сооружения поверхности скольжения, затрагивающие сооружение, могут оказаться наиболее

опасными.

11.1.12 Грунтовый массив, ограниченный поверхностью скольжения, в методах теории предельного равновесия следует рассматривать как твердое тело или несколько твердых тел (отсеков), сдвигаемых одновременно. В зависимости от предполагаемого механизма разрушения могут рассматриваться поверхности скольжения разной формы: плоские, круглоцилиндрические, в виде логарифмической спирали или более сложные. Границы между отсеками принимают, как правило, вертикальными или наклонными.

Если грунтовый массив, слагающий откос, относительно однороден и изотропен, то допускается принимать плоские или круглоцилиндрические поверхности скольжения. Кроме того, такие простые формы поверхности сдвига почти всегда целесообразно рассматривать для предварительного анализа устойчивости откоса.

В случае откосов, слагаемых грунтами, значительно отличающихся своей прочностью, следует обращать особое внимание на наиболее слабые слои. При этом, как правило, следует проводить расчет с поверхностями скольжения произвольной формы. Форму критических поверхностей скольжения в таких случаях следует определять на основании итерационных алгоритмов.

11.1.13 В большинстве практических случаев расчеты устойчивости откосов допускается выполнять в плоской постановке (задача плоской деформации). Если учет пространственности проектной ситуации является существенным фактором, следует выполнять расчеты устойчивости путем рассмотрения трехмерных поверхностей скольжения.

**П р и м е ч а н и е** – Примером может являться котлован малых в плане размеров или траншея для захватки стены в грунте.

11.1.14 Крутизну откосов при устройстве котлованов, земляных выемок и траншей следует принимать, исходя из требований техники безопасности, не более величин, указанных в СНиП 12-04-2002.

Для сооружений геотехнической категории 1 допускается принимать:

- предельно допустимый угол наклона поверхности откоса, сложенного сыпучими грунтами, равным  $tg\varphi'_I$ ;
- допустимую высоту неподкрепленного вертикального откоса в связных грунтах не превышающей  $2c_{ul} / \gamma_I$  или  $(2c'_I \cos\varphi'_I) / [\gamma_I (1 - \sin\varphi'_I)]$ , где  $\gamma_I$  - расчетной значение удельного веса грунта.

11.1.15 При проектировании откосов следует проверить, что деформации грунтового массива, слагающего откос, не могут нарушить условия эксплуатации соседних сооружений, дорог, коммуникаций. Эту проверку следует выполнять в

соответствии с указаниями раздела 9.

11.1.16 При проектировании организации строительных работ следует учитывать возможность их влияния на устойчивость откоса или величину перемещений.

Проект организации строительства должен обеспечить, чтобы все земляные работы в пределах и за пределами площадки были запланированы и выполнены так, чтобы возникновение аварийного (EXD) или иного предельного состояния было крайне маловероятно. Производство земляных работ должно выполняться с соблюдением требований СП 45.13330.2010.

11.1.17 Если устойчивость откоса не подтверждается расчетом с заданной степенью надежности или полученные расчетом перемещения оказываются неприемлемыми для запланированного использования площадки, в проекте возможно предусмотреть мероприятия по стабилизации откоса. Наиболее простым и эффективным способом повышения устойчивости откоса является образование его рационального профиля за счет уположения и террасирования (устройства берм).

11.1.18 Поверхность откосов, служащих длительное время, следует защищать и искусственно укреплять. Для террасированных откосов рекомендуется предусматривать дренажную систему.

При необходимости следует укреплять наклонные поверхности откоса, подверженные потенциальной эрозии, для обеспечения требуемого уровня безопасности. В случае крепления откосов с помощью удерживающих конструкций следует учитывать положения 11.2, 11.3.

11.1.19 Требования к проектированию и расчетам устойчивости при строительстве подземных сооружений на оползнеопасных склонах регламентируются СП 116.13330.2011.

## **11.2 Проектирование ограждений котлованов**

11.2.1 Требования настоящего подраздела распространяются на проектирование подпорных стен, служащих ограждением котлована при строительстве подземных сооружений открытым или полужакрытым способом.

11.2.2 В качестве ограждений котлованов, как правило, следует использовать:

- ограждения типа «стена в грунте», устраиваемые траншейным способом, из буросекущихся или касательных свай;
- ограждения из отдельных элементов: металлических труб, двутавров, свай и пр.;
- шпунтовые ограждения различного профиля;
- ограждения, устраиваемые с использованием струйной или иной технологии закрепления грунта.

- ограждения комбинированного типа.

11.2.3 Выбор ограждающих конструкций котлована должен определяться исходя из следующих факторов:

- глубины котлована;
- инженерно-геологического строения площадки строительства;
- гидрогеологических условий;
- наличия в зоне влияния окружающей застройки и инженерных коммуникаций.

11.2.4 При проектировании ограждающих конструкций котлованов следует рассматривать, как минимум, следующие предельные состояния, требующие расчетов:

- общая потеря устойчивости;
- разрушение конструктивных элементов, например, ограждения, анкера, обвязочного пояса или распорки, разрушение соединения между такими элементами;
- совместное разрушение основания и элементов конструкции;
- перемещение подпорной конструкции, которое может вызвать потерю эксплуатационной пригодности зданий и инженерных коммуникаций на прилегающей территории;
- недопустимая фильтрация воды через ограждающую котлован конструкцию или из-под нее;
- суффозия грунта через ограждение котлована или из-под нее;
- недопустимое изменение гидрогеологических условий.

Следует также рассматривать возможные комбинации предельных состояний. Предельные состояния (HYD) следует рассматривать с учетом указаний раздела 16, а (SLS) с учетом дополнительных указаний раздела 9.

11.2.5 Нагрузки на подпорные стены и ограждающие конструкции котлованов, включая давление грунта и подземных вод, следует определять в соответствии с требованиями СП 22.13330.2011, используя характерные расчетные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов в соответствии с рассматриваемым предельным состоянием.

11.2.6 Следует учитывать, что величина и распределение давления грунта на ограждение, величины внутренних сил в конструкциях в значительной степени зависят от жесткости конструкций, прочности и жесткости основания, природного напряженно-деформированного состояния основания и последовательности выполнения работ.

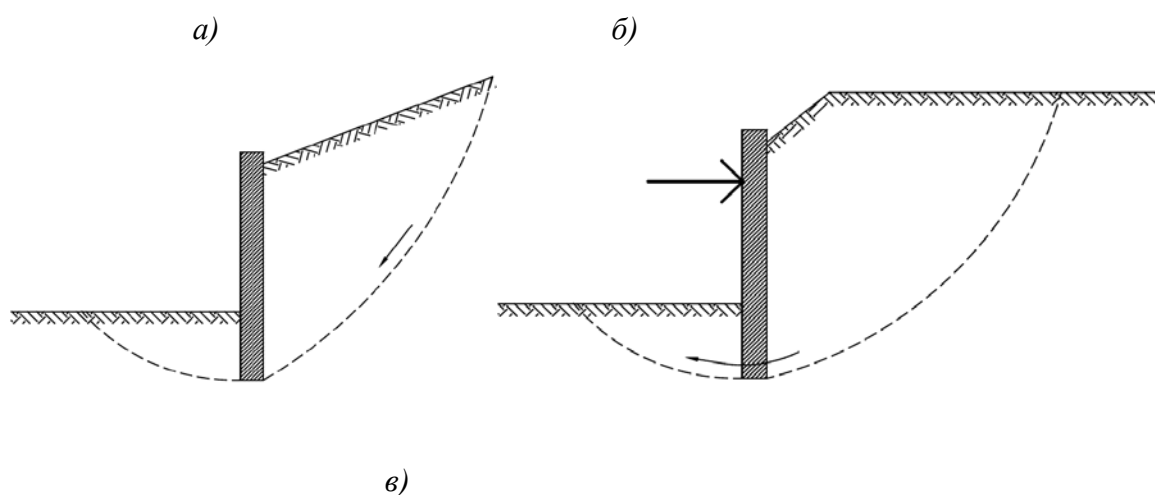
При проектировании ограждений котлованов обязательно должны рассматриваться все как долговременные, так и кратковременные проектные ситуации, и их сценарии.

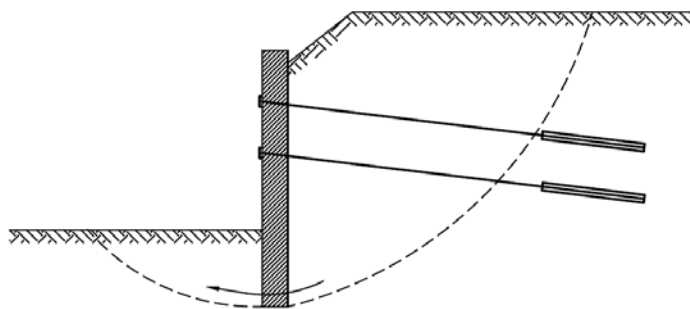
11.2.7 Модели для расчета ограждений котлованов следует строить на основании требований СП 22.13330.2011. Расчеты деформаций или внутренних усилий в подпорных конструкциях допускается выполнять путем решения контактной задачи или численного моделирования задачи сплошной среды о взаимодействии ограждения котлована и прилегающего грунтового массива.

Характерные расчетные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов следует принимать в этих расчетах в зависимости от вида предельного состояния, для которого они проводятся. Расчеты должны выполняться с учетом этапов экскавации грунта в котловане и последовательности установки удерживающих конструкций (анкеров, распорок, дисков перекрытий).

11.2.8 При проектировании ограждений котлованов следует учитывать действующие на нее нагрузки и воздействия, возникающие в условиях строительства и эксплуатации (в том числе от складирования материалов и веса механизмов), а также воздействия от элементов, опирающихся на подпорную конструкцию, или зданий и сооружений, расположенных в непосредственной близости от нее.

11.2.9 При анализе общей устойчивости подпорной конструкции следует использовать расчетные подходы, изложенные в 11.1. В обязательном порядке должны быть рассмотрены проектные ситуации, связанные с общим сдвигом (см. рисунок 11.1) или опрокидыванием (см. рисунок 11.2.в).

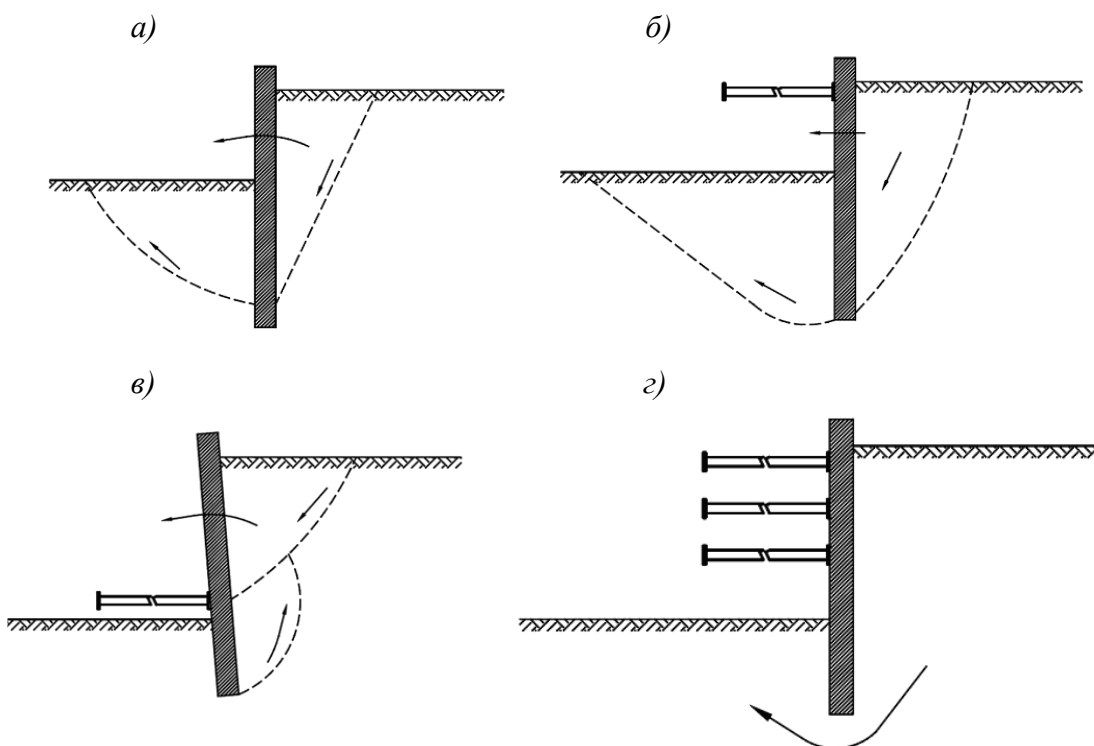




**Рисунок 11.1 - Схемы потери общей устойчивости:**

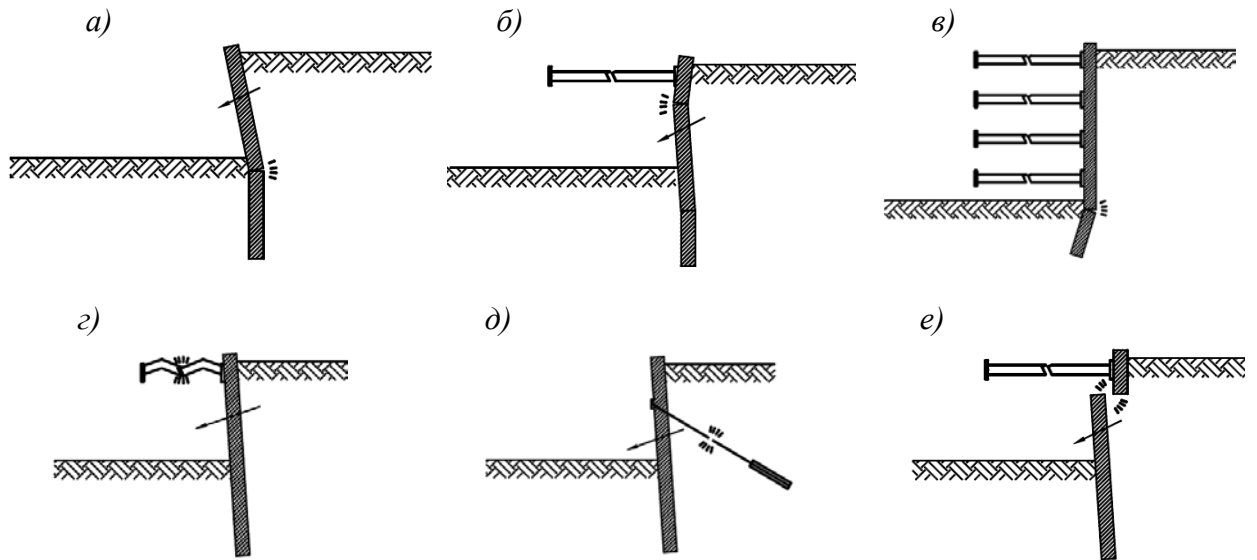
**а) для консольных стен, б) для стен с распорным креплением, в) для стен с анкерным креплением**

11.2.10 Глубина заделки подпорной стены ниже дна котлована должна быть выбрана из условия невозможности разрушения основания при повороте стены. Расчетom следует проверить невозможность схем разрушения на рисунке 11.2.



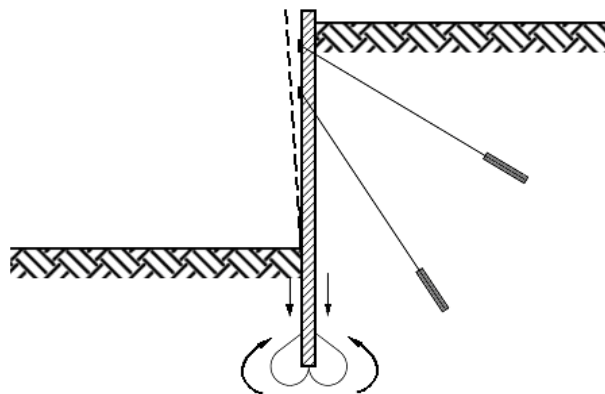
**Рисунок 11.2 - Схемы разрушения при недостаточной заделке ограждения котлована**

11.2.11 Расчетом следует проверить невозможность разрушения конструктивных элементов ограждения котлована и удерживающих конструкций (STR) в соответствии с разделом 15. При этом должны быть, как минимум рассмотрены проектные ситуации на рисунке 11.3.



**Рисунок 11.3 – Проектные ситуации, соответствующие разрушению конструктивных элементов**

11.2.12 Если ограждающая конструкция котлована воспринимает вертикальные нагрузки, то несущая способность по грунту должна быть проверена в соответствии с требованиями СП 24.13330.2011. При этом следует учитывать собственный вес ограждения котлована, а при анкерном креплении также дополнительную вертикальную составляющую усилий в анкерах в соответствии с рисунком 11.4.





#### **Рисунок 11.4 – Разрушение основания от вертикальных нагрузок на ограждение котлована**

11.2.13 При проведении расчетов ограждений котлованов следует учитывать возможность случайного переуглубления котлована или перебор грунта при устройстве земляных берм. В расчетах рекомендуется принимать величину переуглубления не менее 0,5 м.

11.2.14 В случае наличия в геологическом разрезе грунтов, проявляющих пучинистые свойства, на глубинах меньших глубины котлована, в расчетах следует учитывать влияние сил морозного пучения.

11.2.15 В случае нахождения подземных водонесущих коммуникаций в зоне активных деформаций от влияния устройства котлована, следует выполнять расчет ограждающей конструкции на аварийный подъем подземных вод (EXD): для напорных трубопроводов - до планировочной отметки земли, для ненапорных - до отметки верха трубопровода.

11.2.16 При устройстве траншейных стен следует проверять расчетом или подтверждать сопоставимым опытом устойчивость стенок траншей, заполненных тиксотропным раствором. При выполнении таких расчетов следует учитывать наличие нагрузок от технологического оборудования, а также зданий и сооружений вблизи траншей.

11.2.17 Величины предельно допустимых деформаций ограждений котлованов следует устанавливать с учетом предельно допустимых деформаций окружающей застройки (см. 9.9).

11.2.18 Ограждения котлованов, устраиваемые способом «стена в грунте», наиболее рационально предусматривать при строительстве:

- в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях, при высоком уровне подземных вод;
- в условиях плотной городской застройки вблизи существующих зданий, сооружений и подземных коммуникаций;
- при строительстве подземных сооружений способом «сверху-вниз».

Проектирование конструкций, устраиваемых способом «стена в грунте», рекомендуется выполнять с учетом положений [6].

### **11.3 Проектирование удерживающих конструкций**

11.3.1 Ограждения глубоких котлованов следует, как правило, закреплять одним или несколькими ярусами грунтовых анкеров, временных распорок или постоянных дисков перекрытий. Количество ярусов и конструктивные параметры удерживающих

конструкций должны определяться расчетом в зависимости от глубины котлована, конструкции ограждения, грунтовых условий и условий окружающей застройки.

11.3.2 Усилия в удерживающих конструкциях должны определяться на основании совместного расчета ограждения котлована и прилегающего массива грунта в соответствии с 11.2.

11.3.3 Проектирование удерживающих конструкций с использованием грунтовых анкеров должно выполняться с учетом требований раздела 12.

11.3.4 Временные распорные системы могут состоять из: собственно распорок горизонтальных или наклонных, обвязочных поясов, поддерживающих вертикальных опор, связей жесткости.

Расчет элементов временной распорной системы должен учитывать:

- пространственное положение элементов системы;
- наклон распорных элементов системы;
- конструктивную связь распорок с ограждением котлована и конструкциями, в которые они упираются;
- наличие случайных прогибов и эксцентриситетов.

11.3.5 Расчет и проектирование металлических элементов распорных систем следует выполнять в соответствии с указаниями СП 16.13330.2011, а железобетонных элементов – указаниями СП 63.13330.2010.

11.3.6 Выбор распорной системы следует производить исходя из требований обеспечения прочности и устойчивости ограждающей конструкции котлована, а также непревышения предельно допустимых деформаций сооружений окружающей застройки и инженерных коммуникаций.

11.3.7 При проектировании распорных систем котлованов в проектных ситуациях, когда отметки верха подпорных стен или поверхности грунта существенно различаются в пределах строительной площадки, или есть отличия в геологическом строении у противоположных границ котлована, следует проводить расчет с использованием моделей, учитывающих отсутствие симметрии.

11.3.8 Устойчивость как распорной системы в целом, так и ее отдельных элементов должна быть обеспечена расчетом. Устойчивость элементов распорной системы должна проверяться расчетом на продольно-поперечный изгиб с учетом требований 11.3.5.

Для уменьшения свободной длины элементов распорной системы в проекте следует предусматривать устройство временных вертикальных опор или дополнительных связей.

11.3.9 При проектировании временных распорных систем требуется выполнять расчеты для сценариев, соответствующих как стадиям экскавации котлована, так и стадиям демонтажа распорок после возведения постоянных конструкций.

11.3.10 Обязочные пояса распорной системы следует рассчитывать как многопролетные балки с податливыми опорами в местах расположения распорок или наклонных подкосов. Проектные решения обязочных поясов должны предусматривать надежную связь распорных элементов с ограждением котлована.

11.3.11 При проектировании распорных систем следует учитывать температурно-климатические воздействия. Расчетные значения температурных воздействий следует определять в соответствии с СП 20.13330.2011.

11.3.12 Для сооружений геотехнической категории 3 следует проводить расчет на аварийный выход из строя одного из элементов (EXD). Для особо ответственных элементов распорной системы, выход из строя которых может привести к катастрофическим последствиям, в проекте следует предусматривать предписания, исключающие такую возможность.

## **12 Проектирование грунтовых анкеров**

12.1 Положения настоящего раздела относятся к проектированию временных и постоянных грунтовых анкеров, используемых для:

- удержания подпорных конструкций;
- обеспечения устойчивости откосов, котлованов и выработок в грунте;
- восприятия сил всплытия, действующих на подземные сооружения.

**П р и м е ч а н и я** – 1. Грунтовые анкеры, как правило, возможно применять в грунтах всех видов за исключением слабых глинистых, органо-минеральных и органических.

2. На городских территориях в условиях стесненной застройки при устройстве котлованов рекомендуется преимущественно применять временные анкеры с извлекаемой свободной тягой.

3. Постоянные анкеры могут применяться для защиты сооружений от всплытия, в качестве оползнеудерживающих конструкций, а также в прочих ситуациях, когда устройство иных удерживающих конструкций невозможно или нежелательно.

12.2 Для систем анкеров и отдельных анкеров следует рассматривать следующие предельные состояния и их сочетания:

- обрыв тяги или разрушение головной части анкера;
- деформация или коррозия головной части анкера;
- разрушение по контакту корня инъекционного анкера с грунтом;
- разрушение сцепления тяги инъекционного анкера с материалом корня;
- разрыв тяги анкера;

- потеря общей устойчивости сооружения вместе с анкерами;
- ослабление натяжения анкера за счет больших перемещений головной части, ползучести и релаксации напряжений;
- разрушение конструкций, вызванных анкерными усилиями;
- взаимодействие групп анкеров с грунтом основания и примыкающими сооружениями.

12.3 При выборе проектных ситуаций и сценариев, для которых должны выполняться расчеты, следует учитывать:

- все особенности возведения сооружения и последовательность строительных работ;
- все ожидаемые ситуации, возникающие в процессе эксплуатации подземного сооружения;
- все предельные состояния, указанные в 12.2, а также их сочетания;
- прогнозируемые уровни подземных вод, а также напоры в нижних горизонтах;
- последствия выхода из строя любого анкера;
- возможность того, что усилие предварительного натяжения может оказаться выше проектной нагрузки на анкер.

12.4 При проектировании грунтовых анкеров следует учитывать все процессы в массиве грунта, которые могут привести к снижению несущей способности анкеров (водопонижение, устройство подземных выработок, вибрационные воздействия и пр.).

12.5 При проведении инженерно-геологических изысканий следует предусматривать выполнение разведочных выработок в зоне предполагаемого расположения корней анкеров.

12.6 Для предварительно напряженных анкеров головная часть анкера должна давать возможность натяжения пряди или стержня, проведения испытаний нагрузкой, фиксации и, если потребуется по проекту, ослабления, снятия напряжения и повторного натяжения.

12.7 Антикоррозионная защита анкеров со стальной тягой должна проектироваться с учетом агрессивности подземных вод и грунтов. В качестве средств антикоррозионной защиты возможно использование защитной оболочки или увеличение сечения тяги с учетом развития коррозии в зависимости от срока эксплуатации анкера.

12.8 При проектировании анкеров следует предусматривать длину анкерной тяги таким образом, чтобы выполнялись следующие условия:

- анкерное усилие должно передаваться на основание на таком расстоянии от удерживаемых конструкций и массива грунта, чтобы не снижалась устойчивость этого массива от данного воздействия;

- анкерное усилие должно передаваться на грунт на достаточном расстоянии от существующих фундаментов и сооружений во избежание любых неблагоприятных воздействий;

- необходимо избегать неблагоприятного взаимодействия между близко расположенными заделками тяг (корнями) анкеров.

12.9 В проектах анкерных креплений рекомендуется предусматривать соблюдение следующих указаний:

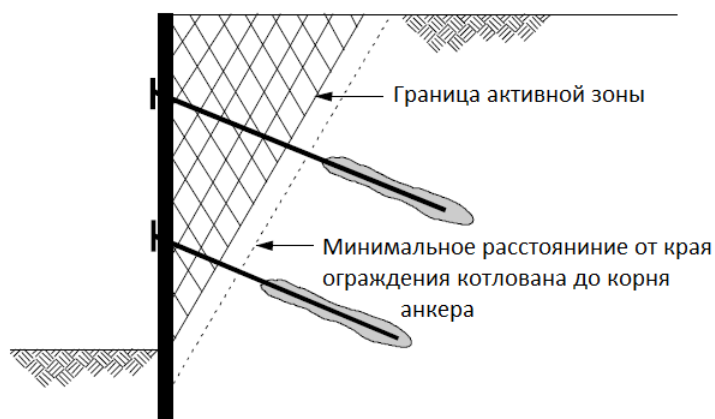
- Глубина от поверхности грунта до начала заделки (корня) анкеров должна быть не менее 4 м.

- Расстояние между анкерами в зоне расположения их корней должно быть не менее 1,5 м. При меньших расстояниях между оголовками анкеров следует обеспечивать рекомендуемое минимальное расстояние между корнями, изменяя угол наклона анкеров или их длину.

- Если расстояние между корнями анкеров менее 1,5 м, необходимо в пробных испытаниях (см. 12.18) проводить опытную проверку несущей способности анкеров при их групповом испытании в количестве трех или пяти.

- Следует избегать устройства анкеров под фундаментами существующих зданий и сооружений, а также водонесущими коммуникациями. В случае, если это невозможно, расстояние в свету от корня анкера до фундаментов соседних зданий или подземных сооружений и водонесущих коммуникаций должно быть не менее 4 м в глинистых грунтах и не менее 6 м в песчаных и супесчаных грунтах.

- Свободная длина тяги анкера должна не менее чем на 2 м выходить за пределы призмы активного давления (активной зоны) в соответствии с рисунком 12.1.



**Рисунок 12.1 - Рекомендуемое расположение корней анкеров по отношению к активной зоне**

12.10 В проекте анкерного крепления должны задаваться расчетные величины нагрузок на анкеры, шаг анкеров в горизонтальном и вертикальном направлении.

12.11 При проектировании анкеруемого сооружения нагрузка на анкер должна рассматриваться как неблагоприятное воздействие.

12.12 При выполнении расчетов анкеруемых конструкций следует выбирать наиболее неблагоприятное сочетание минимальной и максимальной жесткости элементов, моделирующие анкеры с минимальным и максимальным предварительным натяжением. При назначении жесткости элементов, моделирующих анкеры, следует учитывать их податливость, а также предварительное натяжение.

12.13 Расчетную нагрузку на анкер  $P_d$ , используемый для удержания ограждения котлована, допускается определять на основании решения контактной задачи взаимодействия подпорной конструкции и примыкающего массива грунта с учетом стадийности разработки котлована и усилия натяжения анкера или с использованием метода конечных элементов.

12.14 Для буроинъекционных и винтовых анкеров нормативное значение сопротивления выдергиванию  $R_{a;k}$  (несущей способности по грунту) следует определять на основании результатов пробных статических испытаний или сопоставимого опыта. На предварительной стадии проектирования величину  $R_{a;k}$  допускается назначать на основании расчетов.

12.15 Расчетная нагрузка на анкер  $P_d$ , не должна превышать расчетной величины сопротивления анкера выдергиванию  $R_{a;d}$ :

$$P_d \leq R_{a;d} , \quad (12.1)$$

где  $R_{a;d}$  следует определять как:

$$R_{a;d} = R_{a;k} / \gamma_a . \quad (12.2)$$

В формуле (12.2)  $\gamma_a$  – частный коэффициент надежности по сопротивлению для анкеров, учитывающий возможные неблагоприятные отклонения и условия работы, а также степень ответственности выхода анкера из строя, принимаемый по таблице 12.1.

**П р и м е ч а н и е** – Коэффициент надежности  $\gamma_a$  фактически является частным коэффициентом модели и представляет собой произведение коэффициента условий работы и коэффициента надежности по ответственности.

12.16 При проектировании конструкции анкерной тяги минимально требуемую расчетную прочность тяги на разрыв  $R_{t;d}$  (несущая способность анкера по материалу тяги) следует определять из соотношения:

$$R_{a;d} \leq R_{t;d} / \gamma_{a,t} , \quad (12.3)$$

где величина  $R_{t;d}$  должна определяться расчетом в соответствии с СП 16.13330.2011;

$\gamma_{a,t}$  – частный коэффициент надежности по сопротивлению материала тяги анкера, принимаемый в соответствии с таблицей 12.1.

Если тяга анкера подвергается испытаниям на растяжение, то  $R_{t;d}$  следует назначать по результатам испытаний, при этом допускается принимать в (12.3)  $\gamma_{a,t}=1,05$ .

Таблица 12.1

Тип анкера	Минимальная величина коэффициента надежности	
	$\gamma_a$	$\gamma_{a,t}$
Временные анкеры со сроком службы менее 6 месяцев. В том случае, когда разрушение анкера не вызывает опасных последствий для окружающей инфраструктуры и людей.	1.40	1.05
Временные анкеры со сроком службы до двух лет. В том случае, когда разрушение анкера не вызывает опасных последствий для окружающей инфраструктуры и людей.	1.50	1.10
Постоянные и временные анкеры с длительным сроком эксплуатации. В том случае, когда разрушение анкера связано со значительным риском для окружающей инфраструктуры и безопасности людей.	1.75	1.15

12.17 В проекте анкерного крепления должны содержаться требования по проведению пробных, контрольных и приемочных испытаний анкеров.

12.18 Пробные испытания следует проводить для определения несущей способности анкеров в наиболее характерных с точки зрения геологического строения местах на максимально возможную разрушающую нагрузку, определяемую прочностью грунта или материала анкера.

12.19 Контрольные испытания анкеров следует проводить для проверки правильности принятых в проекте конструкций и технологии устройства анкеров на нагрузку, в 1,4-1,75 раза превышающую расчетную нагрузку на анкер в соответствии с табл. 12.1.

Число контрольных испытаний, рекомендуется назначать в следующей пропорции от общего количества анкеров:

- при общем количестве до 50 анкеров - 10 %;
- при общем количестве до 100 анкеров - 7 %;

- при общем количестве свыше 100 анкеров - 5 %.

Число контрольных испытаний должно быть не менее трех для каждого яруса анкеров при условии нахождения корней анкеров в одном инженерно-геологическом элементе.

12.20 Приемочные испытания анкеров проводят в ходе натяжения анкеров для проверки их эксплуатационной пригодности на нагрузку, в 1,25 раза превышающую расчетную нагрузку на анкер. Приемочные испытания следует проводить для всех анкеров кроме тех, на которых были проведены контрольные испытания.

12.21 При устройстве извлекаемых анкеров необходимо проведение не менее двух испытаний на возможность извлечения свободной тяги анкера.

12.22 Проведение работ по устройству анкеров под эксплуатируемыми сооружениями или подземными коммуникациями допускается при обязательном выполнении геотехнического мониторинга в соответствии с указаниями раздела 10.

12.23 При эксплуатации постоянных грунтовых анкеров в составе мониторинга следует, а временных - рекомендуется предусмотреть контроль за величинами усилий в анкерах.

12.24 При проектировании ненапрягаемых анкеров, используемых для обеспечения устойчивости сооружения от всплытия, следует руководствоваться указаниями СП 24.13330.2011, относящимися к проектированию свай, работающих на выдергивающие нагрузки.

### **13 Проектирование фундаментов в глубоких котлованах**

13.1 Требования настоящего раздела распространяются на проектирование фундаментов зданий и сооружений с многоэтажной подземной частью, устраиваемых в глубоких котлованах открытым, полужакрытым или комбинированным способами, а также их оснований.

**П р и м е ч а н и е** – Комбинированный способ предполагает одновременное строительство подземной части полужакрытым способом (по схеме "сверху-вниз") и наземной части (по традиционной схеме "снизу-вверх") или по общей схеме "вверх и вниз".

13.2 Проектирование оснований и фундаментов в глубоких котлованах следует выполнять в соответствии с требованиями СП 22.13330.2011, СП 24.13330.2011 и дополнительными указаниями настоящего раздела.

13.3 При проектировании фундаментов в глубоких котлованах следует учитывать:



- возможность изменения физико-механических характеристик грунтов при их вскрытии за счет разгрузки, механических воздействий, замачивания атмосферными осадками, промораживания;
- различие в характерных расчетных значениях деформационных характеристик грунтов при их разгрузке и повторном нагружении;
- деформационные процессы в основании, связанные с его разгрузкой, развитие этих процессов во времени;
- изменения порового давления в основании в процессе строительства и в начальный период эксплуатации;
- возможность передачи на фундаменты горизонтальных нагрузок;
- влияние ограждений котлованов на напряженно-деформированное состояние основания фундаментов;
- влияние устройства свайных фундаментов на напряженно-деформированное состояние ограждений котлована;
- взаимное влияние разновысотных частей проектируемых объектов;
- стесненные условия производства работ.

13.4 Расчет оснований и фундаментов в глубоких котлованах следует выполнять по двум группам предельных состояний (ULS) и (SLS), рассматривая проектные сценарии, как для кратковременных, так и для долговременных проектных ситуаций в периоды строительства и эксплуатации сооружения.

13.5 Возможность использования того или иного типа фундамента, как правило, следует определять на основании расчетов по деформациям. В большинстве случаев рекомендуемыми типами фундаментов в глубоких котлованах являются:

- монолитные фундаментные плиты;
- свайные фундаменты, объединенные монолитным ростверком;
- комбинированные свайно-плитные фундаменты;
- фундаменты на искусственном основании (например: закреплённом или армированном).

Выбор типа фундамента в каждом проекте должен осуществляться на основании технико-экономического сравнения вариантов.

**П р и м е ч а н и я** – 1. Технико-экономическое сравнение вариантов должно учитывать стоимость подготовки основания, устройства гидроизоляции, дренажа, временных конструкций, а также дополнительные затраты, связанные со стесненными условиями строительства.

2. В ряде случаев в качестве фундамента, а также несущей конструкции целесообразно использовать ограждение котлована типа «стена в грунте» (траншейного типа или из секущихся свай), что может дать экономический эффект. При этом дополнительные затраты могут понадобиться на обеспечение требований

по ограничению неравномерности осадок между центральной и контурной частями сооружения и защиту сооружения от подземных вод.

13.6 При наличии ниже отметок дна котлована слабых или техногенных грунтов следует рассматривать варианты их замены, закрепления или прорезки фундаментами.

13.7 При проектировании фундаментов в глубоких котлованах в ряде случаев следует учитывать расчетом поднятие дна котлована, связанное с уменьшением эффективных вертикальных напряжений в основании.

Поднятие дна котлована следует учитывать:

- при наличии в основании глинистых грунтов, склонных к длительным деформациям;
- при строительстве полужакрытым способом по схеме «сверху-вниз» с использованием промежуточных опор перекрытий.

П р и м е ч а н и я – 1. Следует учитывать, что поднятие дна котлована происходит неравномерно в плане, достигая максимума в центре котлована и уменьшаясь к его границам.

2. Подъем дна котлована рекомендуется учитывать с помощью численного моделирования методом конечных элементов.

13.8 Расчет по деформациям оснований и фундаментов в глубоких котлованах следует выполнять, рассматривая совместную работу системы «основание - фундамент - сооружение» с учетом последовательности разгрузки и нагружения основания.

Характеристики жесткости основания, используемые в расчетах с помощью контактных моделей, должны определяться с учетом плановой неоднородности в геологическом строении площадки строительства, изменения деформационных характеристик грунта при экскавации котлована, а также с учетом уровня нагрузок, передаваемых сооружением на основание. Следует анализировать чувствительность используемых моделей по отношению к возможным вариациям характеристик жесткости основания.

П р и м е ч а н и е – Следует учитывать, что расчеты осадок не являются точными. Принимаемые проектные решения по устройству фундаментов должны учитывать возможные отклонения реальных величин осадок от расчетных. При значительной чувствительности расчетных моделей рекомендуется применять наблюдательный метод (см. 7.7).

13.9 Для определения характеристик жесткости основания вблизи ограждающих конструкций котлована рекомендуется использовать численное моделирование методом конечных элементов. Полученные значения характеристик жесткости основания допускается принимать в расчетах, основанных на использовании контактных моделей.

13.10 В случае, если на проектируемые фундаменты в котлованах передаются горизонтальные нагрузки от давления грунта на подпорные стены, следует выполнять их расчеты по предельным состояниям (GEO), (STR) и (EQU).

Проверку равновесия фундамента или части сооружения (EQU) следует выполнять для проектных ситуаций строительного периода, например, при опирании распорок или подкосов ограждения котлована непосредственно на фундамент. Для этого должна быть рассмотрена возможность плоского сдвига фундамента или фрагмента сооружения по подготовке или по гидроизоляционному слою.

13.11 Для избежания возникновения в фундаментах, имеющих большие плановые размеры, значительных усилий от температурно-климатических воздействий и неравномерных осадок в проекте допускается предусматривать разрезку фундаментных плит и ростверков временными деформационными швами. При этом в проекте должны указываться условия или период замыкания временных швов.

Примечания – 1. Как правило, обетонирование временных швов следует предусматривать после создания замкнутого температурного контура в подземной части здания или реализации значительной части прогнозируемых осадок в соответствии с требованиями проекта.

2. Замыкание временных швов при строительстве ниже уровня подземных вод следует увязывать также с необходимостью работы водопонижительных систем.

13.12 При устройстве фундаментов в глубоких котлованах, экскавация которых в плане выполняется несколькими этапами, или возведение конструкций различных секций в которых происходит не одновременно, следует учитывать последовательность производства работ при выборе проектных сценариев.

В проекте должны указываться допустимые величины строительного превышения этажности одной секции над другой в процессе производства работ. Допустимые величины превышения этажности следует назначать из условия обеспечения допустимых осадок и деформаций, а также проверки возможности локального разрушения основания (потери несущей способности) под краем наиболее нагруженной секции.

13.13 При проектировании фундаментов подземных сооружений, устраиваемых полужакрытым способом по схеме «сверху-вниз» или комбинированным способом по схеме «вверх и вниз», следует учитывать проектные сценарии, наличие временных или постоянных опор, а также их конструктивную связь с фундаментами.

Примечание – При расчете заглубленного сооружения на эксплуатационные нагрузки необходимо учитывать жесткость частей временных опор, оставляемых ниже подошвы постоянных фундаментов.

13.14 При проектировании свайных фундаментов следует учитывать способ крепления ограждения котлована и возможность выполнения свайных работ в котловане. При использовании распорных систем или невозможности спустить крупногабаритную буровую технику в котлован проектом следует предусматривать выполнение свайных работ с поверхности.

13.15 Несущая способность свайных фундаментов, устраиваемых в глубоких котлованах, должна определяться с учетом заглубления от поверхности голов свай в соответствии с СП 24.13330.2011.

Величину несущей способности свай допускается уточнять на основании экспериментальных исследований, численного моделирования или корректирующих зависимостей, полученных в соответствии с сопоставимым опытом.

13.16 При расчете фундаментов подземных частей сооружений, расположенных ниже уровня подземных вод, следует учитывать давление подземных вод под подошвой фундамента в наиболее неблагоприятных сочетаниях нагрузок.

13.17 При проектировании конструкций фундаментов в глубоких котлованах следует предусматривать решения, позволяющие надежно и технологично выполнить гидроизоляцию подземных частей зданий и сооружений.

13.18 При проектировании свайных и комбинированных фундаментов в глубоких котлованах с целью обеспечить надежные решения гидроизоляции допускается не заводить головы свай в ростверк или фундаментную плиту.

**П р и м е ч а н и е** – Допускается по головам свай выполнить бетонную подготовку толщиной не менее 200 мм, по которой устраивается гидроизоляционный слой и его защитная подготовка. По защитной подготовке выполняют армированные ростверки или фундаментную плиту.

13.19 При проектировании фундаментов в котлованах рядом с охранной зоной метрополитена следует учитывать вибрационные воздействия и возможность их длительного влияния на снижение механических характеристик грунтов, вибрационное уплотнение рыхлых песков. Уровень вибрационных воздействий должен прогнозироваться расчетом и окончательно устанавливаться экспериментальным путем после выполнения экскавации котлована.

## **14 Проектирование тоннелей**

14.1 Требования настоящего раздела распространяются на проектирование тоннелей и тоннельных сооружений (далее «тоннелей») различного назначения, устраиваемых закрытым способом.

Проектирование тоннелей, устраиваемых открытым и полужакрытым способами, следует выполнять с учетом положений разделов 11 и 15 и п. 14.2.

14.2 При проектировании тоннелей помимо положений настоящего раздела следует руководствоваться указаниями СП 102.13330.2012, СП 122.13330.2012, СП 32-105-2004, СП 120.13330.2012 в зависимости от функционального назначения тоннеля.

14.3 Проектные решения должны обеспечивать прочность, устойчивость, пригодность к эксплуатации и долговечность конструктивных элементов тоннелей,

устойчивость оснований, безопасность выполнения строительных работ, нормальные условия эксплуатации окружающей (расположенной над тоннелем) застройки и отсутствие вредных воздействий на геологическую и гидрогеологическую среду.

14.4 К геотехническим задачам проектирования тоннелей следует относить:

- выбор очертания поперечного сечения тоннеля и глубины его заложения;
- выбор способа проходки и устройства конструкций тоннеля;
- определение необходимости и конструктивных параметров временной крепи тоннеля;
- определение конструктивных параметров постоянной обделки тоннеля;
- оценку влияния строительства на окружающую среду и существующую застройку;
- выбор средств и разработка программы контроля и мониторинга.

14.5 Внутренние размеры поперечных сечений тоннелей и притоннельных сооружений должны определяться в зависимости от их функционального назначения. В большинстве случаев форма поперечного сечения тоннелей должна приниматься кругового или сводчатого очертания и определяться расчетом.

14.6 Материалы и тип обделки должны выбираться в соответствии с СП 102.13330.2012, СП 122.13330.2012, СП 120.13330.2012 в зависимости от функционального назначения тоннеля.

14.7 Выбор способа проходки тоннеля и горнопроходческого оборудования следует выполнять в зависимости от инженерно-геологических и гидрогеологических условий по трассе тоннеля, их изменчивости, глубин заложения тоннеля, его поперечных размеров и формы, условий градостроительной и экологической ситуации, оценки рисков, а также на основе технико-экономического сопоставления вариантов.

**П р и м е ч а н и е** – В городских условиях для устройства тоннелей под застроенными территориями рекомендуется использовать механизированные щитовые комплексы с уравновешиванием давления в призабойной зоне с помощью гидравлического или грунтового пригруза.

14.8 Процесс проектирования должен основываться на результатах инженерно-геологических изысканий; выполнении расчетов; результатах экспериментальных работ; учете сопоставимого опыта строительства в схожих инженерно-геологических условиях; результатах натурных измерений и наблюдений в процессе проведения работ.

14.9 При проектировании тоннелей следует выполнять расчеты их конструкций и оснований до двум группам предельных состояний (ULS) и (SLS), рассматривая все возможные кратковременные и долговременные проектные ситуации и их сценарии как в период строительства, так и эксплуатации сооружения.

14.10 При проектировании должны быть рассмотрены как минимум следующие проектные ситуации и предельные состояния, соответствующие периоду строительства тоннеля:

- разрушение основания (вывал) при незакрепленной или недостаточно закрепленной площади в забое или своде тоннеля (GEO);
- поступление подземных вод в забое или своде тоннеля (HYD);
- всплытие тоннеля (UPL);
- разрушение, потеря устойчивости или недопустимые деформации временной крепи (EQU), (STR), (SLS);
- разрушение, потеря устойчивости или недопустимые деформации устраиваемой обделки или ее фрагмента (EQU), (STR), (SLS);
- недопустимые деформации грунтового массива, осадки поверхности или деформации окружающей застройки (SLS);
- недостаточное или избыточное давление пригруза в призабойной камере механизированного щитового комплекса (GEO), (SLS);
- недостаточное или избыточное давление щитовых домкратов (GEO), (SLS);
- недостаточное или избыточное давление нагнетания раствора за обделку (GEO), (SLS).

14.11 В проекте должны быть рассмотрены как минимум следующие проектные ситуации и предельные состояния, соответствующие периоду эксплуатации тоннеля:

- разрушение или потеря устойчивости обделки тоннеля (EQU), (STR);
- избыточные напряжения в элементах обделки тоннеля (STR), (SLS);
- чрезмерные деформации обделки тоннеля (SLS);
- потеря герметичности тоннеля (SLS), (HYD);
- потеря эксплуатационных качеств тоннеля (SLS);
- всплытие тоннеля (UPL);
- изменения гидрогеологических условий в результате строительства (SLS), (HYD);
- недопустимые деформации грунтового массива, осадки поверхности или деформации окружающей застройки (SLS);
- коррозия, вызванная агрессивной средой (SLS).

14.12 Расчетные модели, на основании которых следует выполнять проектирование, помимо общих требований раздела 8 должны учитывать:

- неоднородность геологического строения вдоль трассы протяженного сооружения;
- начальное напряженно-деформированное состояние грунтового массива;

- поровое давление в грунтовом массиве;
- нарушения структуры грунта в зависимости от способа работ;
- влияние способа работ на изменение напряженно-деформированного состояния грунтового массива;
- пространственный характер задачи при сопряжении тоннельных конструкций;
- пространственное и временное чередование этапов производства работ;
- наличие или отсутствие условий симметрии;
- взаимное влияние рядом расположенных тоннелей;
- температурный режим в тоннеле при его эксплуатации.

14.13 При проектировании тоннелей на территориях с проявлениями опасных инженерно-геологических процессов следует в проекте предусматривать мероприятия по защите тоннельных конструкций от таких процессов.

**П р и м е ч а н и я** – 1. При проектировании тоннелей на территориях опасных и потенциально опасных в отношении проявления карстово-суффозионных процессов (для условий г. Москвы см. приложение Д) в качестве защитных мероприятий допускается предусматривать тампонаж карстующихся отложений.

2. При проектировании порталов тоннелей на территориях с оползневой опасностью (для условий г. Москвы см. приложение Е) в проекте следует предусматривать противооползневые сооружения или иные мероприятия, исключающие возможность активизации оползней.

14.14 Для расчетов устойчивости основания при незакрепленной площади в забое и/или своде тоннеля (GEO) допускается использовать методы теории предельного равновесия или методы численного моделирования, например, метод конечных элементов. Рекомендуется выполнять расчет на основании трехмерных моделей, учитывающих пространственность задачи.

При выполнении расчетов допускается принимать, что данная проектная ситуация является кратковременной.

**П р и м е ч а н и е** – Методами численного моделирования допускается также определять время, в течение которого часть неподкрепленной выработки может сохранять устойчивость.

14.15 При недостаточной устойчивости основания в забое и/или своде тоннеля допускается проектом предусматривать специальные методы работ, позволяющие повысить устойчивость грунтового массива, такие как: закрепление грунтов, армирование грунтов, водопонижение, замораживание грунтов. Проектирование специальных методов работ следует выполнять в соответствии с СП 120.13330.2012 и [9].

Для принятия решения о целесообразности применения специальных методов работ следует выполнить расчетную оценку влияния этих работ на окружающую среду и существующую застройку.

14.16 Вертикальное и горизонтальное давление на временную крепь в устойчивых или закрепленных грунтах рекомендуется определять с помощью численного моделирования, рассматривая кратковременные проектные ситуации.

В условиях, соответствующих возможности сводообразования в грунтовом массиве, допускается также определять вертикальное давление на временную крепь как равномерно распределенную нагрузку от веса свода обрушения.

**Примечание** – Величины нагрузок на временную крепь при сводообразовании допускается определять как для постоянных обделок в соответствии с указаниями СП 102.13330.2012, СП 122.13330.2012, СП 120.13330.2012 с учетом коэффициента условий работы  $\gamma_d=1,0$ , соответствующего кратковременной проектной ситуации.

14.17 Расчет внутренних усилий, устойчивости и деформаций (EQU), (STR), (SLS) конструкций временной крепи следует выполнять теми же методами, что и постоянной обделки тоннеля (см. 14.20).

Проверку прочности сечений и узлов конструктивных элементов временной крепи следует выполнять согласно указаниям соответствующих сводов правил в зависимости от материала конструкций.

14.18 Расчет тоннеля на всплытие (UPL) и проверку возможности гидравлического разрушения основания (HYD) как для периода строительства, так и эксплуатации следует выполнять в соответствии с положениями раздела 16.

14.19 В конструкциях постоянных обделок тоннелей допускается предусматривать деформационные и температурно-усадочные швы.

Деформационные швы следует предусматривать, как правило, в местах резких изменений инженерно-геологических условий по трассе тоннеля.

Конструкция швов должна обеспечивать герметичность тоннеля.

14.20 Расчетные модели постоянных обделок следует разрабатывать с учетом проектного требования, что по всему контуру обделки должно обеспечиваться ее плотное примыкание к грунту.

14.21 Расчет внутренних усилий, устойчивости и деформаций (EQU), (STR), (SLS) конструкций постоянной обделки тоннеля рекомендуется выполнять с помощью численного моделирования с использованием методов, основанных на моделях сплошной среды. Нагрузки, передаваемые непосредственно на обделку, при использовании таких методов определяются в результате расчета взаимодействия обделки с грунтовым массивом. При необходимости допускается применять коэффициенты надежности модели.

В простых случаях допускается применять численные модели с заданной нагрузкой, основанные на положениях строительной механики. С этой целью следует



выполнять расчеты с использованием контактных моделей стержневых конструкций на основании, описываемом коэффициентом упругого отпора.

14.22 При использовании в расчетах обделок тоннелей контактных моделей величины давления грунта на обделку следует определять в соответствии с указаниями СП 102.13330.2012, СП 122.13330.2012, СП 120.13330.2012 в зависимости от функционального назначения тоннеля.

Значения коэффициентов надежности по нагрузкам  $\gamma_f$ , используемые в расчетах по первой группе предельных состояний (ULS) приведены в приложении Ж.

14.23 Расчеты обделок тоннелей следует выполнять с учетом нелинейных деформационных свойств материалов конструкций. На начальных стадиях проектирования допускается определять усилия в элементах конструкций и их деформации на основании использования линейных зависимостей между напряжениями и деформациями.

14.24 Проверку прочности сечений обделки тоннеля следует выполнять согласно требованиям соответствующих сводов правил в зависимости от материала конструкций с учетом коэффициентов условий работы  $\gamma_d$ , указанных в СП 102.13330.2012, СП 122.13330.2012, СП 120.13330.2012.

14.25 Проектные решения тоннелей не должны оказывать недопустимого негативного влияния на здания и сооружения окружающей застройки. При разработке проекта следует выполнять геотехнический прогноз в соответствии с указаниями раздела 9.

При выполнении геотехнического прогноза численными методами допускается учитывать воздействие устройства тоннеля на изменение напряженно-деформированного состояния грунтового массива и существующих сооружений путем использования алгоритма, моделирующего «перебор грунта» при проходке. Под «перебором грунта» понимается объем грунта, удаленного при проходке, избыточный по отношению к объему в наружных габаритах обделки. Перебор грунта допускается задавать в процентах от объема в наружных габаритах обделки.

Расчетную величину перебора грунта допускается устанавливать на основании сопоставимого опыта и корректировать ее в процессе выполнения тоннелепроходческих работ, используя наблюдательный метод.

14.26 Гидрогеологические расчеты, включая прогноз изменений гидрогеологических условий, вызванных строительством тоннеля, следует выполнять согласно 16.1.

14.27 При устройстве тоннелей необходимо выполнение надзора за строительством и геотехнического мониторинга в соответствии с указаниями раздела 10.

## **15 Проектирование конструкций подземных сооружений**

15.1 Конструкции подземных сооружений должны проектироваться в зависимости от их материала с учетом требований СП 16.13330.2011, СП 22.13330.2011, СП 63.13330.2010, а также дополнительных требований настоящего раздела.

15.2 При проектировании протяженных подземных сооружений различного назначения следует учитывать дополнительные конструктивные требования СП 120.13330.2012, СП 102.13330.2012, СП 122.13330.2012, СП 91.13330.2012, а также требования раздела 14.

15.3 Конструктивные решения подземных сооружений должны удовлетворять следующим требованиям:

- исключать возможность мгновенного (хрупкого) или прогрессирующего разрушения сооружения;
- обеспечивать по-возможности доступ к конструкциям в процессе эксплуатации;
- обеспечивать доступ к средствам и системам мониторинга;
- обеспечивать ремонтпригодность конструкций;
- учитывать возможность изменений гидрогеологических условий;
- учитывать возможность ремонта и перекладки подземных коммуникаций;
- учитывать возможность влияния соседних объектов, планируемых к строительству.

15.4 При проектировании конструкций подземных сооружений следует учитывать их механическое взаимодействие с примыкающим массивом грунта, подземными водами, зданиями и сооружениями окружающей застройки. Необходимо учитывать проектные сценарии в процессе строительства, а также возможные изменения нагрузок, воздействий и деформационных характеристик основания в процессе эксплуатации сооружения.

15.5 Проектирование конструкций подземных сооружений следует выполнять на основании их расчетов, а также дополнительных предписаний (см. 7.5), определяющих требования к строительным материалам, водонепроницаемости, долговечности, защите от агрессии, пожарной безопасности и пр.

Защиту строительных конструкций от коррозии следует выполнять в соответствии с указаниями СП 28.13330.2010.

**П р и м е ч а н и е** – При отсутствии апробированных методов расчета конструкций подземных сооружений допускается выполнять их проектирование на основании экспериментальных исследований в

соответствии с 7.6.

15.6 Внутренние усилия в конструкциях подземных сооружений следует определять на основании выполнения расчетов по первой группе предельных состояний (ULS), рассматривая предельные состояния (EQU), (STR), (GEO), (UPL) и (EXD).

Проверку прочности сечений элементов конструкций следует выполнять в соответствии с предельным состоянием (STR).

15.7 Расчет конструкций подземного сооружения по второй группе предельных состояний (SLS) следует выполнять в соответствии с указаниями 8.7.

15.8 Расчет сложных статически неопределимых конструктивных схем подземных сооружений в их взаимодействии с основанием рекомендуется выполнять с использованием численных моделей – контактных или сплошной среды.

При использовании единой численной модели для расчетов по первой и второй группам предельных состояний следует учитывать различные значения частных коэффициентов надежности модели, соответствующие виду предельного состояния.

15.9 Перекрытия подземных сооружений следует проектировать с учетом продольных усилий, связанных с боковым давлением грунта и подземных вод на подземное сооружение.

15.10 Конструкции подземных сооружений, передающие распор на другие конструкции и/или основание, например сводчатые или купольные перекрытия, должны рассчитываться на проектные ситуации, в которых условия симметрии для восприятия распора не соблюдаются, если запрет таких ситуаций не оговорен проектом.

15.11 При строительстве подземного сооружения полузакрытым способом (по схеме «сверху-вниз» или «вверх и вниз») его перекрытия должны рассчитываться с учетом прогиба от прогнозируемых неравномерных подъемов или осадок опор при экскавации котлована (см. 13.7).

**П р и м е ч а н и е** – При строительстве по схеме «сверху-вниз» происходит преимущественно подъем опор, в то время как при строительстве «вверх и вниз» может происходить как их подъем, так и осадки.

15.12 При проектировании подземных сооружений в районах с опасностью или потенциальной опасностью проявления карстово-суффозионных процессов в основании следует учитывать указания СП 22.13330.2011.

При невозможности выполнения превентивных противокарстовых мероприятий для сооружений геотехнической категории 2 и 3 следует выполнять расчет их конструкций на образование под сооружением или рядом с ним единичного карстового провала расчетного диаметра. Расчет требуется выполнять для аварийного предельного состояния (EXD) на стадии эксплуатации сооружения. Плановое положение карстового

провала следует рассматривать в наиболее неблагоприятных местах, устанавливаемых проектировщиком.

15.13 Проектные решения должны предусматривать, чтобы конструкции подземных сооружений на стадии эксплуатации были защищены от возможности прогрессирующего разрушения в случае локального разрушения при аварийных воздействиях, не предусмотренных условиями нормальной эксплуатации (пожары, взрывы, ударные воздействия транспортных средств и пр.). Это требование означает, что в случае аварийных воздействий допускаются локальные разрушения отдельных конструктивных элементов, но эти разрушения должны иметь ограниченную площадь.

Требование недопущения прогрессирующего разрушения должно обеспечиваться расчетом для аварийного предельного состояния (EXD) или, в случае невозможности этого, путем предписаний.

15.14 Аварийные воздействия, а также соответствующие им проектные ситуации и их сценарии должны указываться в техническом задании, определяться проектной организацией или организацией, осуществляющей научно-техническое сопровождение проектирования и строительства.

## **16 Учет подземных вод при проектировании сооружений**

### **16.1 Требования к расчетам и проектированию**

16.1.1 Требования настоящего раздела распространяются на проектирование подземных сооружений или их частей, расположенных ниже пьезометрического уровня подземных вод.

Расчеты и проектирование следует выполнять на основании результатов инженерно-геологических изысканий в соответствии с указаниями раздела 6 и требованиями СП 22.13330.2011 с учетом особенностей гидрогеологических условий территории строительства.

16.1.2 При проектировании подземных сооружений, их оснований и выборе способов строительства следует выполнить следующие проверки того, что невозможно наступление предельных состояний первой группы, связанных с моделями разрушения, вызванного поровым давлением и фильтрацией подземных вод:

- разрушение за счет гидравлического подъема (всплытия) (UPL);
- гидравлическое разрушение основания восходящей фильтрацией (взвешивание частиц грунта) (HYD);
- разрушение, связанное в внутренней или внешней суффозией и эрозией за счет фильтрации (HYD).

16.1.3 В рамках расчетов по второй группе предельных состояний следует выполнять гидрогеологические расчеты для кратковременных и долговременных проектных ситуаций, в том числе:

- расчеты дебитов водопонижительных систем при осуществлении строительного водопонижения;
- расчеты водопритоков к дренажам, защищающим сооружения от подземных вод в эксплуатационный период;
- прогноз изменения гидрогеологических условий в результате строительства подземных сооружений.

В случае изменения гидрогеологических условий, вызванного подземным строительством как в строительный, так и в эксплуатационный период, на основании гидрогеологических расчетов следует выполнить на это воздействие расчеты по деформациям для зданий и сооружений окружающей застройки в соответствии с указаниями раздела 9.

16.1.4 При определении гидравлических градиентов, порового давления и фильтрационных сил следует учитывать кратковременные и долговременные проектные ситуации, обращая внимание на:

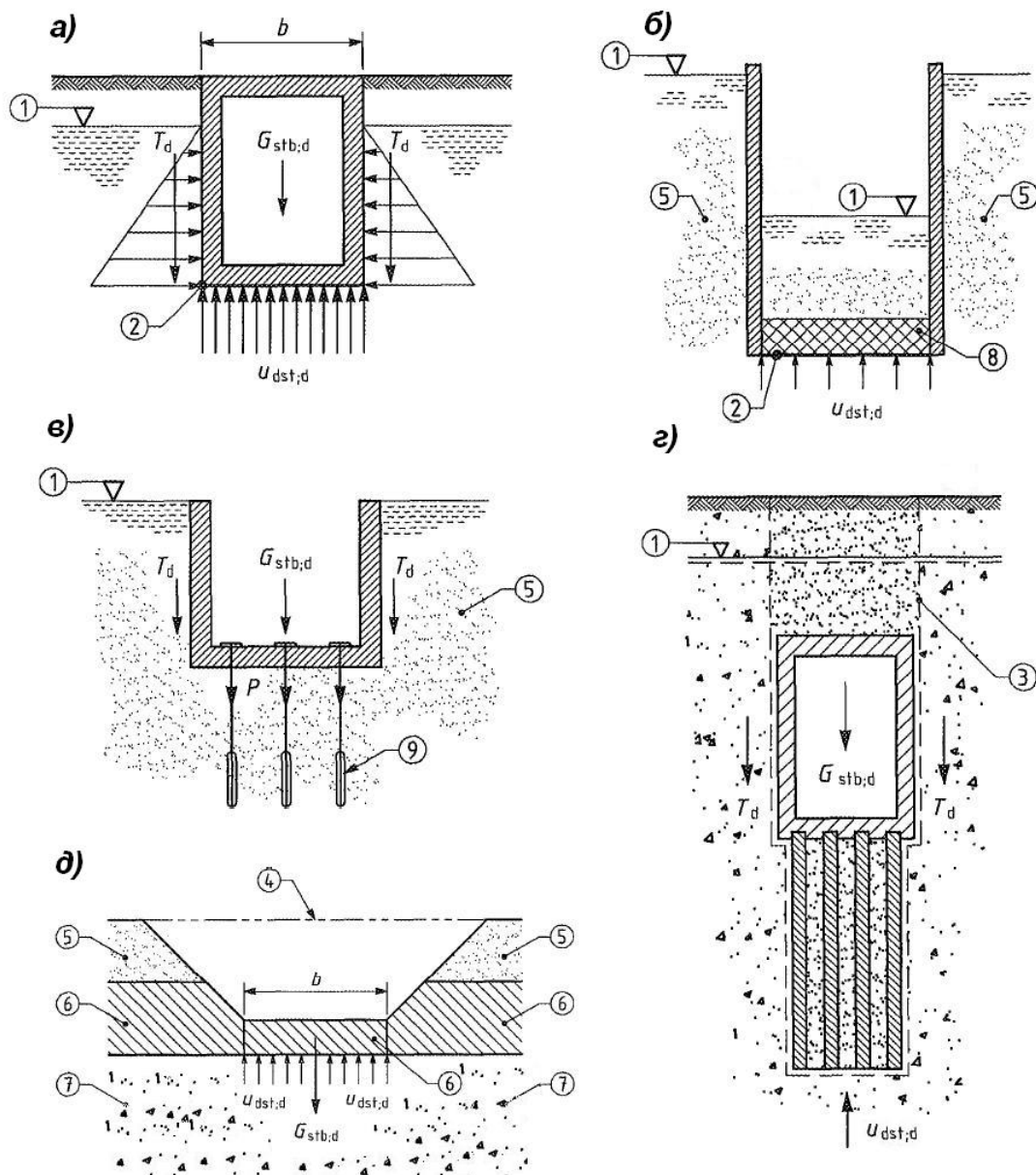
- изменения водопроницаемости грунта во времени и пространстве;
- изменения уровней подземных вод и порового давления во времени;
- изменения граничных условий и ситуации на соседней территории.

16.1.5 Устойчивость сооружения или слоя грунта с низкой проницаемостью против всплытия (UPL) следует проверять путем сравнения постоянных и длительных удерживающих воздействий (вес, трение по боковой поверхности, сопротивление свай и анкеров) с постоянными и временными дестабилизирующими воздействиями, вызванных поровым давлением и прочими причинами. Примеры проектных ситуаций, требующих проверки устойчивости против всплытия приведены на рисунке 16.1.

Проверку устойчивости против всплытия следует выполнять в соответствии с 8.6.5.

Для предотвращения разрушений от всплытия в проекте рекомендуется предусматривать:

- увеличение веса сооружения или засыпки;
- снижение порового давления под днищем сооружения с помощью дренажа;
- использование анкерного крепления конструкции в подстилающих слоях.

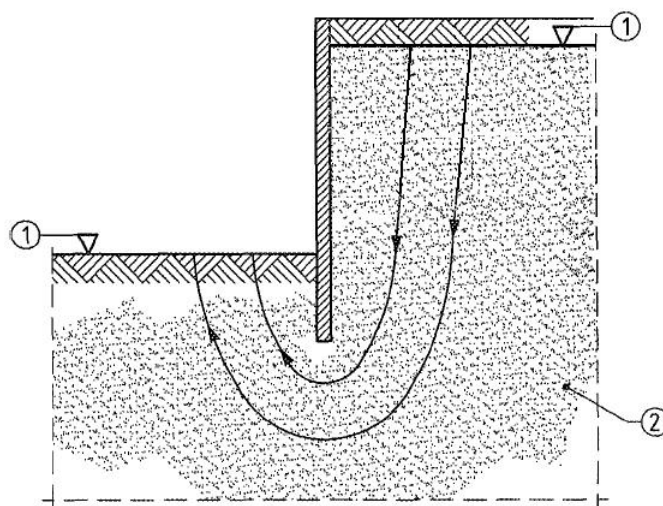


1 – уровень подземных вод; 2 – водонепроницаемая поверхность; 3 – поверхность разрушения;  
 4 – первоначальный уровень грунта; 5 – песок; 6 – глина; 7 – гравий; 8 – грунтоцемент; 9 – анкер.

**Рисунок 16.1 - Примеры проектных ситуаций, требующих проверки устойчивости против всплытия**

16.1.6 Проверку возможности гидравлического разрушения основания восходящей фильтрацией за счет взвешивания частиц грунта (НУД) следует выполнять как правило при строительстве подземных сооружений в котлованах, ограждения которых являются несовершенной противофильтрационной завесой (ПФЗ), т.е. остается возможность фильтрации в котлован из-под ПФЗ. Пример проектной ситуации, для которой требуется такая проверка, приведен на рисунке 16.2.

Устойчивость грунта основания против взвешивания частиц следует проверять в соответствии с указаниями 8.6.6.



1 – уровень подземных вод; 2 – песчаный грунт.

**Рисунок 16.2 - Пример проектной ситуаций, требующей проверки устойчивости против гидравлического разрушения при восходящей фильтрации**

16.1.7 Фильтрационное разрушение основания, связанное в внутренней или внешней суффозией и эрозией (НУД), вызывается перемещением более мелких частиц внутри слоя грунта, перемещением частиц грунта на контакте с сооружением или выносом частиц грунта на свободную поверхность.

Для проверки невозможности суффозионного разрушения грунта следует убедиться, что проектные значения градиента напора не превышают критических значений, зависящих от гранулометрического состава грунта.

Проверку суффозионного разрушения следует выполнять в соответствии с указаниями СП 23.13330.2011.

**Примечание** - При проектировании подземных сооружений возможность суффозионного разрушения грунта встречается в редких случаях. Указанная проверка, как правило, не бывает критической для принятия проектных решений.

16.1.8 Гидрогеологические расчеты следует выполнять на основании указаний СП «Здания и сооружения. Защита от подземных вод».

Гидрогеологические расчеты могут выполняться с использованием аналитических методов или с помощью математического моделирования.

Аналитические расчеты водопритоков к водопонизительным системам или дренажам, а также величин снижения уровней подземных вод на прилегающей к строительной площадке территории допускается выполнять в соответствии со СП 103.13330.2012 или с иными методиками, имеющими достаточную апробацию.

Математическое моделирование задач геофильтрации следует выполнять в соответствии с СП «Здания и сооружения. Защита от подземных вод» с учетом требований СП 22.13330.2011.

## **16.2 Проектирование защиты от подземных вод в строительный период**

16.2.1 Помимо требований, указанных в 16.1, проектные решения подземного сооружения должны обеспечивать возможность беспрепятственного выполнения работ в котлованах и горных выработках, находящихся в обводненных грунтах, в строительный период.

16.2.2 Для защиты котлованов и выработок от подземных вод в период строительства могут быть использованы следующие способы:

- водопонижение – искусственное понижение уровня подземных вод до требуемой отметки или понижение гидравлического напора в напорном горизонте подземных вод;
- устройство противофильтрационных завес – водонепроницаемых конструкций, практически исключающих притоки подземных вод в котлованы и выработки;
- искусственное замораживание грунтов.

П р и м е ч а н и я - 1. Водопонижение может выполняться с помощью открытого водоотлива, иглофильтров, водопонизительных скважин, разгрузочных скважин.

2. При глубоком залегании водоупорных слоев грунта в днище котлована может быть создана горизонтальная противофильтрационная завеса, создающая совместно с ограждением котлована малопроницаемый контур. Горизонтальные завесы могут быть выполнены, например, с помощью струйной цементации.

3. Замораживание грунтов не рекомендуется применять в условиях стесненной окружающей застройки, так как при оттаивании могут происходить значительные осадки. При проектировании замораживания грунтов рекомендуется выполнять опытные работы в условиях площадки строительства. Требования к проектированию искусственного замораживания следует устанавливать в соответствии с указаниями СП 120.13330.2012 и [8].

16.2.3 Проектирование защиты котлованов и выработок от подземных вод в строительный период следует выполнять с учетом положений СП «Здания и сооружения. Защита от подземных вод» и СП 22.13330.2011.

16.2.4 Эффективность работы водопонизительных систем и противофильтрационных завес следует проверять при необходимости посредством мониторинга за уровнями подземных вод в соответствии с указаниями раздела 10.

## **16.3 Проектирование защиты от подземных вод в эксплуатационный период**

16.3.1 Проектные решения подземного сооружения должны обеспечивать выполнение следующих требований в период его эксплуатации:

- защиту внутреннего объема сооружения от поступления подземных вод;



- защиту конструкций от агрессивного воздействия подземных вод и грунтов, а также от воздействий блуждающих токов;

- соблюдение термовлажностного режима в помещениях в соответствии с эксплуатационными требованиями;

- долговечность и ремонтпригодность средств защиты от подземных вод в течение всего срока эксплуатации сооружения;

- минимальное негативное воздействие на здания и сооружения окружающей застройки;

- соответствие требованиям пожарной безопасности;

- соответствие санитарным и экологическим нормам.

16.3.2 Для защиты подземного сооружения от подземных вод в период его эксплуатации допускается использовать следующие системы защиты:

Тип А – использование гидроизоляционных покрытий и материалов;

Тип В – использование конструкций из водонепроницаемого бетона;

Тип С – использование дренажных устройств и мероприятий, позволяющих снизить уровень подземных вод на прилегающей территории или выполнить перехват подземных вод непосредственно на контуре подземного сооружения.

*Примечание* - При необходимости допускается использовать комбинацию указанных систем защиты.

16.3.3 Выбор способа и проектирование систем защиты сооружений от подземных вод в период эксплуатации следует выполнять на основании положений СП «Здания и сооружения. Защита от подземных вод».

## **17 Проектирование защиты окружающей застройки**

17.1 При строительстве подземных сооружений необходимость защиты окружающей застройки может быть связана с развитием в конструкциях существующих объектов сверхнормативных деформаций или с передачей на них иных недопустимых воздействий (например, вибрационных). Проектные решения по защите окружающей застройки должны являться неотъемлемой частью проекта строительства подземного сооружения, их следует рассматривать в комплексе с техническими решениями по его устройству.

17.2 В том случае, если результаты геотехнического прогноза (см. раздел 9) показывают, что строительство окажет недопустимое влияние на какие-либо из объектов окружающей застройки, следует рассмотреть возможность внести в проект изменения, направленные на снижение такого влияния.

П р и м е ч а н и я - 1. Для проектируемых подземных сооружений, устраиваемых открытым способом, для снижения влияния на окружающую застройку следует рассматривать возможность следующих изменений в проекте: уменьшение глубины котлована, увеличение жесткости ограждения котлована, увеличение количества ярусов удерживающих конструкций, переход на полужакрытый способ строительства, исключение строительного водопонижения, изменение технологии и последовательности работ и пр.

2. Для сооружений, устраиваемых закрытым способом, для снижения влияния на окружающую застройку следует рассматривать возможность: переноса трассы линейного сооружений, увеличения глубины заложения, изменения технологии производства работ.

17.3 В случае невозможности исключить недопустимое влияние подземного строительства на объекты окружающей застройки путем изменения проектных решений, в проекте должны быть предусмотрены решения по защите таких объектов (защитные мероприятия) от сверхнормативных деформаций и иных воздействий.

Защитные мероприятия для объекта окружающей застройки могут быть направлены на:

- снижение величин его дополнительных деформаций;
- приспособление его конструкций к дополнительным деформациям;
- выравнивание его дополнительных деформаций;
- защиту от иных воздействий (вибраций, подтопления и пр.).

Допускается также использовать комплексные защитные мероприятия, включающие комбинации указанных видов защиты.

17.4 В качестве мероприятий по снижению величин дополнительных деформаций защищаемого объекта могут применяться: усиление его основания и фундаментов, устройство защитных разделительных экранов и стенок и пр.

17.5 В качестве мероприятий по приспособлению конструкций защищаемого объекта к дополнительным деформациям следует рассматривать усиление его несущих конструкций, а также изменение конструктивной схемы.

17.6 Мероприятия, направленные на выравнивание дополнительных деформаций защищаемого объекта, могут включать: компенсационное нагнетание, выравнивание и подъем с помощью домкратной технологии; дозированное выбуривание грунта и пр.

17.7 В качестве исходных данных для проектирования защитных мероприятий должны использоваться: документация, указанная в разделе 6, проект подземного сооружения, а также результаты геотехнического прогноза (см. раздел 9).

17.8 Выбор защитных мероприятий должен осуществляться в зависимости от:

- характера оказываемого влияния строительства, зависящего от способа устройства подземного сооружения: открытого, полужакрытого, комбинированного или закрытого;

- степени влияния и расстояния между проектируемым и защищаемым объектами;
- конструктивной схемы защищаемого сооружения, категории состояния его конструкций, материала конструкций;
- архитектурной и исторической ценности защищаемого объекта;
- типа и глубины заложения фундаментов защищаемого объекта, конструктивных особенностей и материала фундаментов;
- особенностей инженерно-геологического строения основания защищаемого сооружения;
- доступа и возможности выполнения работ во внутренних помещениях защищаемого объекта, необходимости его эксплуатации.

**Примечание** - Выбор мероприятий по защите объектов окружающей застройки должен осуществляться также на основании технико-экономического сравнения вариантов. При этом проектные решения защитных мероприятий следует рассматривать в комплексе с общими решениями по возведению подземных сооружений. Общая стоимость проектных решений подземного сооружения должна учитывать стоимость выполнения мероприятий по защите объектов окружающей застройки при их необходимости.

17.9 При разработке проектов защитных мероприятий должны выполняться следующие требования:

- усилия в конструкциях защищаемых зданий и сооружений, дополнительные перемещения фундаментов, их относительная неравномерность и крен должны соответствовать величинам, не превышающим предельно допустимые значения;
- устройство самих защитных мероприятий не должно вызывать недопустимые дополнительные технологические воздействия на защищаемые объекты;
- должен существовать доступ, необходимый для практической реализации проектных решений.

17.10 При проектировании защитных мероприятий следует учитывать, что для зданий и сооружений, имеющих до начала строительства категорию технического состояния III (неудовлетворительное или ограниченно-работоспособное) или IV (предаварийное или аварийное), вне зависимости от выбранного способа защиты, как правило, рекомендуется предусматривать мероприятия по усилению их надземных конструкций с целью повышения категории технического состояния.

17.11 Расчет и проектирование усиления оснований и фундаментов защищаемых зданий следует выполнять в соответствии с положениями СП 22.1330.2011 и СП 24.13330.2011, а также дополнительными указаниями настоящего раздела.

17.12 Усиление фундаментов защищаемых зданий может заключаться в укреплении тела фундаментов, изменении геометрических размеров (увеличении ширины подошвы, заглубления), подведении новых фундаментов, устройстве свай усиления.

П р и м е ч а н и е - Усиление фундаментов допускается выполнять для всего сооружения или его части. Выполнять усиление фундаментов под частью сооружения следует при обосновании такого решения расчетом дополнительных осадок, вызванных новым строительством, и стабилизации осадок сооружения, не связанных с новым строительством.

17.13 Укрепление тела фундамента при необходимости следует предусматривать выполнять путем инъекции цементного раствора под давлением через пробуренные с определенным проектом шагом скважины.

П р и м е ч а н и е - Усиление тела фундамента, как правило, следует предусматривать для зданий исторической застройки, у которых фундаменты сложены из бутового и известкового камня.

17.14 Заглубление фундамента, увеличение ширины его подошвы, подведение нового фундамента следует предусматривать в проекте выполнять по отдельным захваткам, осуществляя надежную анкеровку новых частей и конструкций фундамента с существующими.

17.15 При проектировании усиления существующих фундаментов сваями рекомендуется предусматривать устройство буроинъекционных, вдавливаемых или грунтоцементных свай, выполняемых с помощью струйной цементации.

Выбор типа свай и технологии их устройства должен определяться:

- инженерно-геологическими условиями;
- конструктивными особенностями защищаемого объекта и категорией состояния его конструкций;
- высотным габаритом помещений, из которых следует выполнять свайные работы, габаритами приближения к существующим конструкциям;
- проектными нагрузками на сваи;
- величинами технологических осадок при выполнении свайных работ, определяемыми на основании сопоставимого опыта.

П р и м е ч а н и я - 1. При устройстве свай усиления, как правило, следует предварительно выполнять укрепление тела фундамента и контакта «фундамент-грунт».

2. При проектировании свай усиления следует стремиться минимизировать возможное технологическое воздействие на фундаменты защищаемых зданий путем применения апробированных методов устройства, имеющих положительный сопоставимый опыт. Необходима разработка регламента производства работ по усилению фундаментов для снижения технологических осадок, а также корректировка этого регламента по результатам мониторинга за деформациями защищаемых фундаментов.

17.16 В качестве мероприятий по усилению оснований защищаемых объектов могут рассматриваться способы закрепления грунта под существующими фундаментами.

Для закрепления грунта следует применять методы цементации (в том числе с использованием микроцементов), силикатизации, смолизации.

Выбор способа и проектирование закрепления грунта следует выполнять в зависимости от инженерно-геологических условий площадки в соответствии с указаниями СП 22.13330.2011 и СП 45.13330.2010.

Примечания - 1. Цементация применяется для закрепления гравелистых песков, гравийных и скальных грунтов. Материалы типа микроцементы позволяют осуществлять цементацию песков от крупных до пылеватых.

2. Химическое закрепление грунта (силикатизация и смолизация) применяется, преимущественно, для песчаных и макропористых глинистых грунтов.

17.17 Проектом защитных мероприятий должна быть определена зона закрепления грунта в основании фундаментов защищаемого объекта. Размеры зоны закрепления грунта должны определяться расчетом, а ее глубина должна в любом случае быть больше глубины зоны деформаций, вызванных устройством подземного сооружения.

Проект усиления основания с помощью закрепления грунта должен содержать требуемые механические характеристики закрепленного грунта, а также указания о первоочередных работах на опытном участке с целью отработки методики и технологии производства работ, уточнения рецептуры инъекционных растворов. Заданные в проекте характеристики закрепленного грунта должны быть экспериментально подтверждены на опытном участке.

17.18 В качестве мероприятий по усилению основания может рассматриваться также армирование грунта различными способами, например, путем устройства буроинъекционных свай, несопрягаемых с существующими фундаментами, с помощью струйной технологии или буросмесительного способа.

Эффективность и конструктивные параметры армирования грунта должны определяться расчетом.

17.19 Разделительные экраны или стенки, служащие для ограничения размеров зоны активных деформаций, вызванных подземным строительством, следует располагать между защищаемым объектом и строящимся сооружением.

Оптимальное расположение разделительных экранов, их требуемую глубину и другие характеристики следует определять расчетом в соответствии с требованиями раздела 9.

Разделительные экраны рекомендуется выполнять из свай (завинчиваемых, буроинъекционных, буронабивных и пр.), грунтоцементных элементов с помощью струйной технологии, вдавливаемых шпунтов.

Технология устройства разделительных экранов должна обеспечивать минимальное технологическое воздействие на фундаменты защищаемых зданий.

П р и м е ч а н и е - Устройство отсечных экранов может быть наиболее эффективным при расположении защищаемого объекта близко к границе мульды оседания при устройстве подземного сооружения закрытым способом или к границе призмы активного давления при устройстве котлована.

17.20 В качестве мероприятий по приспособлению конструкций защищаемого объекта к дополнительным деформациям следует рассматривать проектные решения по повышению жесткости его конструктивной схемы или отдельных элементов:

- усиление несущих конструкций;
- устройство временных металлических обойм, тяжей и пр.;
- устройство постоянных поясов жесткости;
- устройство дополнительных конструктивных элементов и связей.

17.21 Проектные решения по усилению конструкций защищаемых объектов окружающей застройки должны учитывать:

- историческую и архитектурную ценность здания или сооружения;
- возможность доступа к усиливаемым конструкциям и необходимость эксплуатации помещений;
- характер имеющихся повреждений конструкций, возникших в ходе эксплуатации объекта, и их возможные причины.

Проектные решения по усилению конструкций защищаемых сооружений должны подтверждаться расчетом на воздействия, определяемые в соответствии с разделом 9, вызванные подземным строительством.

17.22 Мероприятия по выравниванию дополнительных деформаций защищаемых объектов должны проектироваться в соответствии с указаниями СП 22.13330.2011.

Наиболее универсальным способом является компенсационное нагнетание, позволяющее сохранять или восстанавливать начальное напряженно-деформированное состояние основания существующих объектов при возведении рядом подземных сооружений. Компенсационное нагнетание осуществляется путем многофазовой дозированной инъекции в грунт твердеющих растворов через скважины, располагаемые между строящимся и защищаемым объектами.

П р и м е ч а н и я - 1. Для защиты зданий и сооружений при проходке под ними тоннелей применяется компенсационное нагнетание, выполняемое через инъекторы, установленные в горизонтальной плоскости, для чего устраиваются специальные вертикальные шахты.

2. Для защиты объектов при проходке тоннелей или устройстве котлованов рядом с ними применяется геотехнический барьер в вертикальной или наклонной плоскости, устраиваемый по методу компенсационного нагнетания в соответствии с [4].

17.23 При использовании в качестве защитных мероприятий компенсационного нагнетания в проекте следует предусмотреть выполнение экспериментальных работ на опытном участке.

17.24 В тех случаях, когда строительство подземного сооружения может вызвать за счет барражного эффекта подтопление подвалов зданий окружающей застройки, в проекте должны быть предусмотрены меры по защите подвалов от подземных вод.

В качестве таких мер может быть предусмотрено устройство гидроизоляции подвалов или исключение возможности их подтопления с помощью устройства дренажей (см. раздел 16).

17.25 Необходимость проектирования мероприятий, направленных на защиту инженерных коммуникаций и снижение их дополнительных деформаций, вызванных подземным строительством, следует определять на основании геотехнического прогноза (см. раздел 9).

Величины предельно допустимых деформаций подземных инженерных коммуникаций допускается определять в соответствии с [5] или на основании согласования с эксплуатирующими их организациями.

17.26 В случае, если проектируемое подземное сооружение или процесс его строительства может оказывать на окружающую застройку недопустимые вибрационные и динамические воздействия, в проекте должны быть предусмотрены мероприятия по снижению уровня таких воздействий.

17.27 Эффективность защитных мероприятий, предусмотренных проектом, должна быть подтверждена результатами геотехнического мониторинга. Геотехнический мониторинг следует планировать и выполнять в соответствии с указаниями раздела 10.

П р и м е ч а н и я - 1. Во многих случаях детальный прогноз поведения эксплуатируемых зданий и сооружений, подвергшихся усилению, затруднен. В таких проектных ситуациях следует использовать наблюдательный метод (см. 7.7).

2. При проектировании компенсационного нагнетания наблюдательный метод следует применять во всех случаях.

## Приложение А

(обязательное)

### Термины и определения

В настоящем СП использованы следующие термины с соответствующими определениями:

**аварийное воздействие:** Воздействие, имеющее малую вероятность появления и возникающее в силу форс-мажорных обстоятельств.

**авторский надзор:** Вид работ по надзору, выполняемый авторами проекта (или иных уполномоченных лиц) за строительством, осуществляемый в целях обеспечения соответствия решений, содержащихся в рабочей документации, выполняемым строительными работами на объекте.

**барражный эффект:** Изменения уровней подземных вод, вызванные влиянием подземного строительства на гидрогеологические условия при полном или частичном перекрытии фильтрационных потоков.

**верификация:** Проверка, способ подтверждения каких-либо положений, расчетных алгоритмов, программ и процедур путем их сопоставления с опытными (эталонными или эмпирическими) данными, алгоритмами и результатами.

**временный анкер:** Грунтовый анкер с гарантированным сроком службы менее двух лет.

**геотехническая категория:** Категория сложности объекта строительства, определяемая в зависимости от его уровня ответственности и сложности инженерно-геологических условий площадки.

**геотехническое воздействие:** Воздействие, передаваемое на сооружение, основанием, засыпкой, наземными и подземными водами.

**геотехнический мониторинг:** Комплекс работ по обеспечению безопасности строительных объектов, основанный на натуральных наблюдениях за поведением фундаментов и подземных конструкций сооружений, их оснований, подземных вод, окружающей застройки в процессе строительства и в начальный период эксплуатации.

**геотехнический прогноз:** Комплекс работ аналитического и расчетного характера, целью которых является качественная и количественная оценка поведения оснований, фундаментов и конструкций проектируемого сооружения и окружающей застройки в процессе строительства и в начальный период эксплуатации.

**геотехническое проектирование:** Проектирование оснований и конструкций, непосредственно с ними взаимодействующих.



**гидрогеологический прогноз:** Комплекс работ расчетного характера, целью которых является качественная и количественная оценка изменений гидрогеологических условий, вызванных строительством.

**грунтовый анкер:** Конструктивный элемент, воспринимающий выдергивающие усилия, передаваемые на основание конструкциями, взаимодействующими с грунтом. Анкер состоит, как правило, из трех частей: оголовка, свободной части и корня.

**долговременная проектная ситуация:** Проектная ситуация, соответствующая стабилизированному состоянию грунта в основании.

**жесткость:** Сопротивление материала деформациям.

**защитные мероприятия:** Технические решения по защите окружающей застройки от сверхнормативных деформаций и прочих недопустимых воздействий, оказываемых строительством подземного сооружения.

**зона влияния строительства:** Расстояние, за пределами которого негативное воздействие на окружающую застройку пренебрежимо мало.

**избыточное поровое давление:** Поровое давление в массиве грунта, возникающее в нестабилизированном состоянии и подверженное диссипации во времени.

**извлекаемый анкер:** Грунтовый анкер, свободная часть которого подлежит извлечению после вывода анкера из работы.

**инженерная цифровая модель местности (ИЦММ):** Совокупность информации о пространственном положении, характеристиках объектов местности, связях между ними и топографической поверхности, представленная в векторно-топологической форме, доступной для обработки на ЭВМ. Включает два основных компонента – цифровую модель рельефа и цифровую модель ситуации.

**инженерно-геотехнические изыскания:** Комплекс геотехнических работ и исследований, для определения свойств грунтов основания, необходимых и достаточных для построения расчетной геотехнической модели взаимодействия сооружения с геологической средой.

**компенсационное нагнетание:** Способ сохранения или восстановления начального напряженно-деформированного состояния грунтов основания существующих объектов при возведении рядом подземных сооружений путем нагнетания в грунт твердеющих растворов через инъекторы, располагаемые между строящимся и защищаемым объектами.

**контактная модель:** Модель, учитывающая совместность деформаций конструкций сооружения с упругим или упруго-пластическим основанием, в которой напряженно-деформированное состояние основания не рассматривается, а

рассматривается лишь связь между напряжениями и перемещениями на контакте «сооружение-основание».

**контактный элемент:** Конечный элемент, позволяющий моделировать возможность проскальзывания между конструкцией и грунтовым основанием.

**корень анкера:** Часть грунтового анкера, обеспечивающая передачу выдергивающего усилия от сооружения на грунтовое основание вне зоны активных деформаций.

**кратковременная проектная ситуация:** Проектная ситуация, соответствующая нестабилизированному состоянию грунта в основании.

**метод конечных элементов (МКЭ):** Численный метод решения задач прикладной механики, позволяющий заменять решение дифференциальных уравнений решением систем алгебраических уравнений.

**механические характеристики грунта:** Параметры свойств грунта, характеризующие его прочность и деформируемость.

**модель метода конечных элементов:** Математическая модель, отражающая основные свойства натурального прототипа, идеализирующая его поведение под нагрузками и воздействиями и позволяющая с известными упрощениями выполнить прогноз этого поведения.

**наблюдательный метод:** Метод проектирования, предполагающий возможность корректировать проект на основании результатов геотехнического мониторинга.

**надзор за строительством:** Комплекс работ, проводимых Заказчиком, проектировщиком и организацией, осуществляющей научно-техническое сопровождение и мониторинг, а также другими контролирующими государственными организациями по обеспечению безопасности строительства и последующей эксплуатации строящегося сооружения и окружающей застройки.

**научно-техническое сопровождение:** Комплекс работ научно-аналитического, методического, информационного, экспертно-контрольного и организационного характера, осуществляемых в процессе изысканий, проектирования и строительства в целях обеспечения надежности сооружений с учетом применения нестандартных расчетных методов, конструктивных и технологических решений.

**нестабилизированное состояние:** Состояние основания, характеризующееся наличием избыточного порового давления.

**окружающая застройка:** Существующие здания, сооружения и инженерные коммуникации, расположенные вблизи объектов нового строительства или реконструкции в зоне влияния строительства.

**основание подземного сооружения:** Массив грунта, взаимодействующий с подземным сооружением.

**подземное сооружение** или **подземная часть сооружения:** Сооружение или эксплуатируемая часть сооружения, расположенные ниже уровня поверхности земли (планировки).

**поровое давление:** Гидростатические напряжения в основании, передающиеся через поровую жидкость.

**постоянный анкер:** Грунтовый анкер с гарантированным сроком службы более двух лет.

**поэтапные (постадийные) расчеты:** Последовательные численные расчеты, выполняемые по деформированной схеме сооружения, учитывающие реальную стадийность и очередность возведения сооружения, влияющие на напряженно-деформированное состояние подземного сооружения и основания.

**предписывающие мероприятия:** Предписания, используемые при проектировании для избежания предельных состояний, включающие традиционные правила и используемые в тех случаях, когда расчетные модели не нужны или отсутствуют. Применяются преимущественно при проектировании сооружений геотехнической категории 1.

**прогрессирующее разрушение (обрушение):** Распространение начального локального повреждения конструктивного элемента в виде цепной реакции от элемента к элементу, приводящее в конечном итоге к обрушению всего сооружения или значительной его части. В расчетах на аварийные воздействия верхнего строения обычно применяется термин «обрушение», в то время как по отношению к расчетам подземных сооружений применяется термин «разрушение».

**проектные ситуации:** Учитываемый при проектировании и расчете сооружения комплекс наиболее неблагоприятных условий, которые могут возникнуть при его возведении и эксплуатации.

**проектные сценарии:** Учитываемый при проектировании и расчете сооружения комплекс наиболее неблагоприятных последовательностей изменения взаимосвязанных проектных ситуаций, которые могут возникнуть при его возведении и эксплуатации.

**расчетная область:** Область конечных размеров, включающая подземное сооружение или его фрагмент и фрагмент основания, рассматриваемая в расчетной модели и подлежащая дискретизации конечными элементами.

**сопоставимый опыт:** Документированная либо иная четко установленная информация, относящаяся к свойствам дисперсных и скальных грунтов аналогичных

рассматриваемым в проекте, для которых следует ожидать сходного поведения конструкций аналогичных используемым в проекте.

**сопротивление воздействию:** Способность элемента или поперечного сечения элемента сооружения выдерживать воздействия без механических повреждений, например: сопротивление по грунту, сопротивление сдвигу, сопротивление изгибу, сопротивление потере устойчивости при продольном изгибе, сопротивление растяжению.

**стабилизированное состояние:** Состояние грунта, характеризующееся отсутствием избыточного порового давления.

**технический контроль заказчика:** Контроль объемов и качества выполняемых подрядчиком строительных, ремонтных, монтажных и пусконаладочных работ на конкретном объекте и соответствия их проектным решениям.

**характерные значения:** расчетные значения механических характеристик грунта, являющихся зависимыми от вида напряженно-деформированного состояния и уровня напряжений, полученные методом наиболее соответствующим используемым при проектировании моделям и методам расчета.

**чувствительность грунта:** Способность грунта изменять свои свойства при изменении напряженного состояния, климатических условий или прочих воздействиях.

**чувствительность модели:** Способность расчетной модели приводить к существенно различным результатам расчетов при незначительных изменениях одного параметра или группы однотипных параметров модели.

**эффективные напряжения:** Напряжения в основании, передающиеся через скелет грунта.

## Приложение Б

(обязательное)

### Основные буквенные обозначения

#### Частные коэффициенты надежности

$\gamma_a$  – по сопротивлению для анкеров;

$\gamma_{a,t}$  – по сопротивлению материала тяги анкера;

$\gamma_n$  – по ответственности сооружений;

$\gamma_f$  – по нагрузке;

$\gamma_m$  – по материалу конструкций;

$\gamma_g$  – по грунту;

$\gamma_{g,c'}$  – по грунту для эффективного сцепления;

$\gamma_{g,cu}$  – по грунту для недренированной прочности;

$\gamma_{g,\varphi'}$  – по грунту для угла внутреннего трения ( $\text{tg } \varphi'$ );

$\gamma_{g,\rho}$  – по грунту для плотности;

$\gamma_{g,Rc}$  – по грунту для сопротивления одноосному сжатию;

$\gamma_d$  – коэффициент условий работы;

$\gamma_E$  – для воздействия

$\gamma_R$  – по сопротивлению;

$\gamma_{Rd}$  – модели для сопротивления;

$\gamma_{Sd}$  – модели для результатов воздействий;

$\gamma_{st}$  – устойчивости;

#### Характеристики грунтов

$X_n$  – нормативные значения характеристик грунтов;

$X_d$  – расчетные значения характеристик грунтов;

$c'$  – удельное сцепление грунта при эффективных напряжениях;

$c'_I$  – удельное сцепление грунта при эффективных напряжениях для группы (ULT);

$c_u$  – прочность грунта при недренированном сдвиге;

$c_{ul}$  – прочность грунта при недренированном сдвиге для группы (ULT);

$R_c$  – сопротивление одноосному сжатию;

$\gamma_I$  – расчетное значение удельного веса грунта для группы (ULT);

$\varphi'$  – угол внутреннего трения грунта при эффективных напряжениях;

$\varphi'_I$  – расчетное значение угла внутреннего трения грунта для группы (ULT);

$\rho$  – плотность грунта;

## **Геометрические характеристики, воздействия и сопротивления**

- $a_d$  – проектные значения геометрических параметров;
- $C_d$  – предельная величина для результата воздействия;
- $E_d$  – расчетное значение результата воздействия;
- $F_d$  – расчетное значение нагрузки или воздействия;
- $F_n$  – нормативное значение нагрузки или воздействия;
- $G_{stb,d}$  – расчетное значение удерживающей нагрузки;
- $G'_{stb,d}$  – расчетное значение веса элемента грунта во взвешенном состоянии;
- $G_{stb,c}$  – нормативное значение постоянной удерживающей нагрузки,
- $G_{stb,t}$  – нормативное значение длительной удерживающей нагрузки,
- $M_d$  – расчетное значение характеристики материала;
- $M_n$  – нормативное значение характеристики материала;
- $P_d$  – расчетная нагрузка на анкер;
- $R_{a;d}$  – расчетное значение сопротивления выдергиванию анкера;
- $R_{a;k}$  – нормативное значение сопротивления выдергиванию анкера;
- $R_d$  – расчетное значение сопротивления воздействию;
- $R_{t;d}$  – расчетная нагрузка, которая может быть воспринята анкерной тягой;
- $R_{stb}$  – нормативное значение силы сопротивления всплыванию,
- $S_{dst,d}$  – расчетное значение фильтрационной силы в элементе грунта;
- $T_d$  – расчетное значение предельного сопротивления;
- $V_{dst,d}$  – расчетное значение дестабилизирующего направленного вверх воздействия;
- $u_{dst,d}$  – расчетное значение дестабилизирующего полного порового давления;
- $\psi$  – коэффициент сочетания нагрузок;

## **Предельные состояния**

- EQU – потеря устойчивости или равновесия;
- EXD – аварийные предельные состояния;
- GEO – разрушение основания или его чрезмерные деформации, приводящие к разрушению конструкций;
- HYD – гидравлическое разрушение основания;
- SLS – вторая группа предельных состояний;
- STR – внутреннее разрушение сооружения или его элементов;
- ULS – первая группа предельных состояний;
- UPL – потеря равновесия сооружением или основанием в результате направленных вверх воздействий.

## **Приложение В**

(справочное)

### **Особенности инженерно-геологических условий на территории г. Москвы**

В.1 При проектировании подземных сооружений в городе Москве следует знать и учитывать особенности инженерно-геологических и гидрогеологических условий на территории города, уметь анализировать возможность развития опасных геологических и техногенных процессов в грунтовом массиве, которые могут оказывать влияние на безопасность строительства и надежность принимаемых конструктивных решений.

В.2 Москва расположена в центральной части Восточно-Европейской равнины в бассейне р. Москвы и ее притоков. Геологический разрез под Москвой характеризуется наличием двух резко выраженных этажей геологических образований: древнего, докембрийского кристаллического фундамента, погребенного на глубине более 1 км, и залегающего на нем покрова осадочных пород. Все подземные сооружения на территории города, на которые распространяются требования настоящего СП, располагаются в пределах глубин чехла осадочных пород.

В.3 В геологическом строении территории Москвы до глубин, затрагиваемых подземным строительством, принимают участие породы среднего и верхнего отделов каменноугольной, юрской, меловой и четвертичной систем.

В приложении Г представлены стратиграфические схемы для комплексов четвертичных и дочетвертичных отложений на территории города Москвы.

В.4 Гидрогеологические условия Москвы характеризуются наличием значительного количества водоносных горизонтов и образуемых ими водоносных комплексов. В верхней части грунтовой толщи подземные воды насыщают рыхлые и связные породы четвертичного и мезозойского (мелового и юрского) возрастов. Наиболее полный разрез этих отложений представлен на юге Москвы в пределах Теплостановской возвышенности. Здесь развито до шести водоносных горизонтов, приуроченных к четвертичным аллювиальным, водно-ледниковым и озерно-ледниковым, а также морским меловым и юрским песчаным породам. Эти водоносные горизонты разделены слабопроницаемыми пластами морен, а также глинами и глинистыми алевритами мелового и юрского возрастов.

В четвертичных отложениях выделяются следующие водоносные горизонты:

- современный аллювиальный водоносный горизонт;

- водоносный горизонт первой, второй и третьей надпойменных террас рр. Москвы и Яузы;

- московский флювиогляциальный водоносный горизонт;
- московско-донской флювиогляциальный и озерно-ледниковый горизонт;
- донско-сетуньский флювиогляциальный и озерно-ледниковый горизонт.

В мезозойских (меловых и юрских) отложениях выделяются следующие водоносные горизонты:

- сеноман-альбский водоносный горизонт;
- апт-неокомский водоносный горизонт;
- волжский водоносный горизонт;
- келловей-батский водоносный горизонт.

В нижней части грунтовой толщи подземные воды приурочены к пластам верхне- и среднекаменноугольных карбонатных отложений, разделенных мергелисто-глинистыми породами. В северной части Москвы, где представлен наиболее полный разрез верхнекаменноугольных отложений, в этой части толщи выделяется до 5 водоносных пластов.

В каменноугольных отложениях выделяются следующие водоносные горизонты:

- гжельский водоносный горизонт;
- касимовский водоносный горизонт;
- мячковско-подольский водоносный горизонт.

Помимо описанных выше водоносных горизонтов на территории Москвы в верхней части гидрогеологического разреза достаточно часто встречается особая форма скопления подземных вод – верховодка. Обычно залегающая на небольшой глубине (2-3 м), она обязана своим существованием главным образом повышенному инфильтрационному питанию (в основном за счет утечек из водонесущих коммуникаций), а также ухудшению условий поверхностного и подземного стока за счет засыпки естественных дрен (небольших рек и оврагов).

В.5. При проектировании необходимо учитывать особенность гидрогеологических условий, сформировавшихся к настоящему времени на территории Москвы. Интенсивный водоотбор из каменноугольных горизонтов привел к установлению практически на всей площади города нисходящего перетекания подземных вод, о чем свидетельствует соотношение абсолютных отметок уровней подземных вод в водоносных горизонтах.

П р и м е ч а н и е - Наибольшие отметки характерны для первого от поверхности горизонта. Далее, в каждом последующем нижезалегающем горизонте происходит уменьшение абсолютных отметок уровней подземных вод. Наиболее низкое положение уровней характерно для мячковско-подольского горизонта.



В.6 При проектировании подземных сооружений в г. Москве следует учитывать наличие погребенных в результате жизнедеятельности человека форм рельефа.

П р и м е ч а н и е - Естественный рельеф на территории г. Москвы претерпел существенные изменения. Водная сеть притоков реки Москвы на территории современного города, существовавшая до начала освоения этой территории человеком, была существенно преобразована. Большинство из притоков и ручьев были заключены в коллекторы, остальные засыпаны. Засыпано было также значительное количество прудов, оврагов, балок и прочих неровностей естественного рельефа, создававших неудобства для развития города.

В.7 При проектировании подземных сооружений неглубокого заложения, устраиваемых преимущественно в котлованах и траншеях, следует учитывать возможность значительной мощности залегания техногенных грунтов и отложений на территории г. Москвы. Особенно следует выделять наличие несслежавшихся техногенных грунтов, газогенерирующих и иных химически загрязненных грунтов.

Пригодность грунтов с точки зрения санитарных и экологических требований должна определяться в соответствии с СанПиН 2.1.7.1287-03, непригодные грунты должны подлежать удалению из котлованов или замещению.

В.8 Важной особенностью инженерно-геологических условий Москвы, неблагоприятной для подземных сооружений, является наличие на ряде участков территории города химической и электрохимической агрессии грунтов и подземных вод по отношению к конструкционным материалам сооружения. Защита конструкций подземных сооружений от коррозии должна выполняться в соответствии с требованиями СП 28.13330.2010 и СП «Здания и сооружения. Защита от подземных вод».

В.9 В условиях территории г. Москвы существует ряд инженерно-геологических условий неблагоприятных для подземного строительства, которые следует особо тщательно исследовать в процессе изысканий и учитывать при проектировании. К таким условиям относится наличие в геологическом разрезе:

- *Грунтов содержащих валуны и крупные включения.* Такие грунты представлены в основном валунными супесями и суглинками морены московского горизонта, широко распространенными на территории Москвы. Наличие таких грунтов должно учитываться при выборе оборудования и технологии устройства подземных сооружений.

- *Рыхлых водонасыщенных песков.* Рыхлые водонасыщенные пески четвертичного возраста залегают, например, на северо-западе Москвы. Такие грунты способны доуплотняться при вибрационных или фильтрационных воздействиях. Водонасыщенные мелкие и пылеватые пески склонны к проявлению плавунных свойств и опасны своей способностью заполнять подземные полости и пространства при наличии в них доступа.

Следует учитывать, что пылеватые пески, обладая низкой прочностью, легко разжижаются и оплывают при очень малых разрушающих напряжениях.

- *Слабых водонасыщенных глинистых грунтов, заторфованных грунтов, торфов и илов*, склонных к длительной консолидации и значительным деформациям. Такие грунты не развиты на территории Москвы повсеместно и встречаются преимущественно в понижениях рельефа, к ним относятся озерные и болотные отложения.

- *Глинистых грунтов повышенной чувствительности*. Например, слаболитифицированные глинистые грунты с высокой влажностью и показателем текучести более 0,5 обладают тиксотропными свойствами, т.е. характеризуются частичной или полной потерей прочности при динамическом воздействии и восстановлением прочности после прекращения воздействия.

- *Пучинистых грунтов*. Такие грунты при их вскрытии в процессе подземного строительства, подвергаясь воздействию отрицательных температур, способны к значительным объемным деформациям и могут передавать существенные дополнительные давления на конструкций подземных сооружений. К пучинистым относятся глинистые грунты.

В.10 Следует учитывать, что опасность при подземном строительстве могут представлять собой значительные градиенты напора в водоносных горизонтах. Так, например, значительные градиенты могут возникать при вскрытии относительно маломощного волжского водоносного горизонта, приуроченного к глинистым пылеватым и мелким пескам, насыщенным фосфоритовыми конкрециями, который обладает значительным избыточным напором.

Обязательным требованием в программе инженерно-геологических изысканий должна являться необходимость детальной стратификации водонесущих и водоупорных слоев грунта, определение их коэффициентов фильтрации и водоотдачи. Изучение локальных гидрогеологических особенностей участка подземного строительства следует выполнять в контексте общего понимания режимов фильтрации на значительной окружающей территории.

В.11 На территории Москвы проявляется ряд неблагоприятных инженерно-геологических процессов, естественного и техногенного характера, которые должны быть изучены в процессе изысканий и быть учтены при проектировании подземных сооружений. К этим процессам можно отнести:

- техногенное подтопление;
- карстово-суффозионные проявления;
- оползневые процессы.

В.12 При проектировании следует учитывать, что подземное строительство способно за счет барражного эффекта вызывать техногенное подтопление окружающей территории, что может приводить к затоплению подвалов соседних домов и ухудшать эксплуатационные свойства существующих подземных объектов.

В.13 Следует учитывать, что опасность для подземных сооружений могут представлять карстово-суффозионные процессы на территории Москвы. При строительстве на закарстованных территориях необходимо изучать состав карстующихся пород, условия их залегания, выявлять поверхностные карстовые проявления и подземные карстовые формы. В условиях Москвы основными карстующимися породами являются отложения известняков карбонового возраста. Наибольшую карстовую угрозу представляют территории в пределах долин р. Москвы и ее крупных притоков, где отложения карбона не перекрыты чехлом слабопроницаемых юрских глин.

При проектировании подземных сооружений следует уделять внимание исследованию скальных грунтов, склонных к карстово-суффозионным проявлениям, обладающих сильной трещиноватостью и кавернозностью. Должна быть изучена их способность поглощения глинистых растворов, используемых при буровых работах и устройстве траншейных стен в грунте.

Схематическая карта инженерно-геологического районирования Москвы по степени опасности проявления карстово-суффозионных процессов приведена в справочном приложении Д.

В.14 При проектировании подземных сооружений на территориях с резким изменением отметок рельефа, вблизи склонов рек и оврагов следует изучать наличие древних и активных оползневых процессов, а также исследовать возможность активизации оползневых процессов в связи со строительством. При проектировании должны быть предусмотрены мероприятия по стабилизации оползней, влияющих на подземное сооружение и находящихся в активной фазе еще до начала строительства.

Схематическая карта инженерно-геологического районирования Москвы по степени проявления оползневых процессов приведена в справочном приложении Е.

## Приложение Г

(справочное)

### Стратиграфические схемы г. Москвы

Таблица Г.1

Геолого-генетические комплексы четвертичных отложений г. Москвы

Геологический индекс	Геолого-генетический комплекс
<b>Современные отложения Q<sub>IV</sub></b>	
tQ <sub>IV</sub>	Техногенный (насыпной) слой
pQ <sub>IV</sub>	Почвенно-растительный слой
aQ <sub>IV</sub>	Аллювиальные отложения
l,hQ <sub>IV</sub>	Озерные и болотные отложения
cQ <sub>III-IV</sub>	Коллювиальные (оползневые) отложения
dQ <sub>III-IV</sub>	Делювиальные отложения склонов, балок, оврагов
<b>Верхнечетвертичные отложения Q<sub>III</sub></b>	
aQ <sub>III</sub>	Аллювиальные отложения
l,hQ <sub>III</sub>	Озерные и болотные отложения
prQ <sub>III</sub> prQ <sub>II-III</sub>	Покровные отложения
dQ <sub>III</sub> dQ <sub>II-III</sub>	Делювиальные отложения склонов, балок, оврагов
<b>Среднечетвертичные отложения Q<sub>II</sub></b>	
fQ <sub>II</sub> <sup>ms</sup>	Флювиогляциальные отложения московского оледенения
gQ <sub>II</sub> <sup>ms</sup>	Ледниковые отложения (морена) московского оледенения
fQ <sub>II</sub> <sup>d-ms</sup>	Флювиогляциальные отложения Московский - днепровский горизонты
lgQ <sub>II</sub> <sup>d-ms</sup>	Озерно-ледниковые отложения Московский - днепровский горизонты
gQ <sub>II</sub> <sup>d</sup>	Ледниковые отложения (морена) днепровского оледенения
fQ <sub>II</sub> <sup>o-d</sup>	Флювиогляциальные отложения Окский - днепровский горизонты
lgQ <sub>II</sub> <sup>o-d</sup>	Озерно-ледниковые отложения Окский - днепровский горизонты
<b>Нижнечетвертичные отложения Q<sub>I</sub></b>	
gQ <sub>I</sub> <sup>o</sup>	Ледниковые отложения (морена) окского оледенения
a,fQ <sub>I</sub>	Нерасчлененный комплекс аллювиальных и флювиогляциальных отложений

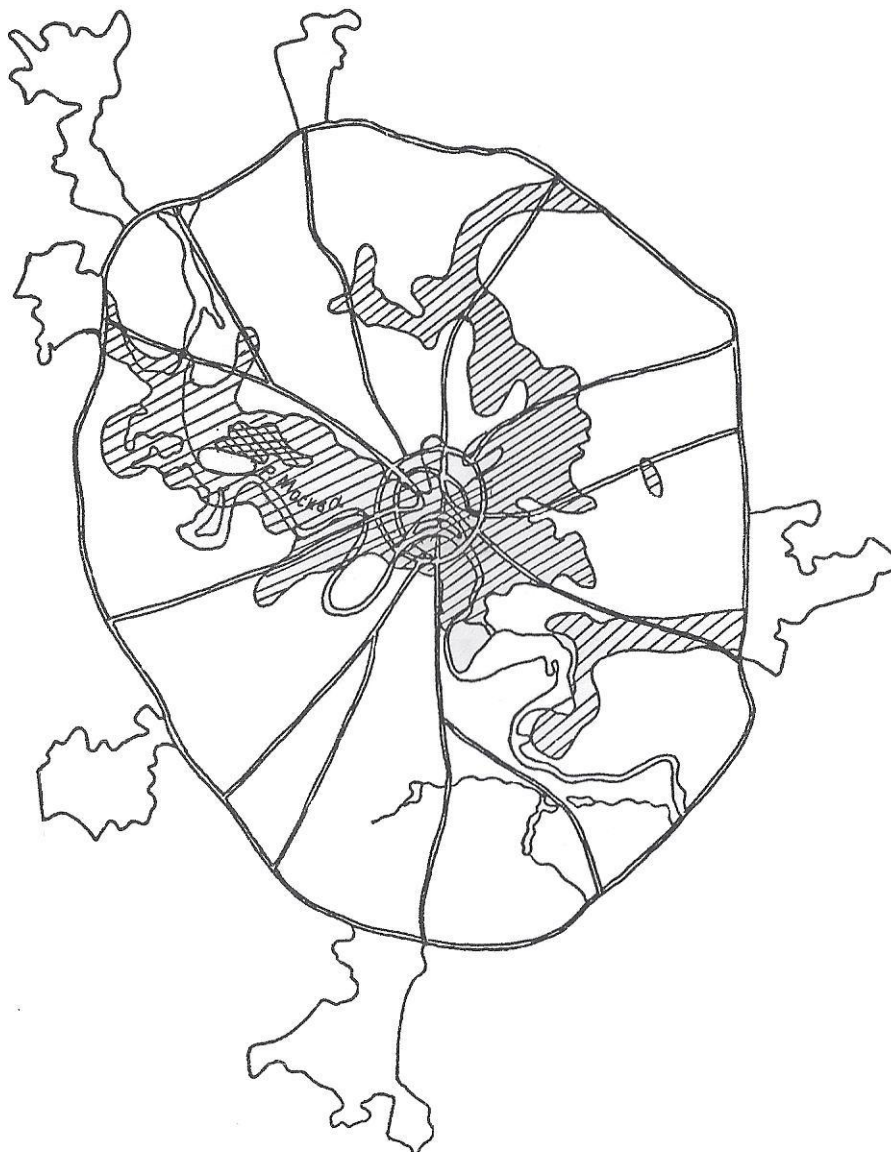
## Стратиграфические комплексы дочетвертичных отложений г. Москвы

Отдел	Ярус	Геологический индекс	Толща	Горизонт	
<b>Меловая система</b>					
Верхний	Коньякский Сантонский	K <sub>2</sub> st-k			
	Сеноманский	K <sub>2</sub> s			
Нижний	Альбский	K <sub>1</sub> al			
	Аптский	K <sub>1</sub> a			
	Барремский Готеривский Валанжинский Бериасский	K <sub>1</sub> b-br			
<b>Юрская система</b>					
Верхний	Волжский	J <sub>3</sub> v			
	Киммериджский	J <sub>3</sub> km			
	Оксфордский	J <sub>3</sub> ox			
	Келловейский	J <sub>3</sub> k			
Средний и верхний	Батский	J <sub>2</sub> bt			
	Бат- келловейский	J <sub>2-3</sub> bt-k			
<b>Каменноугольная система</b>					
Верхний	Гжельский	C <sub>3</sub> rs	Русавинская	Добрятинский	
	Касимовский		C <sub>3</sub> tr	Трошковская	Яузский
			C <sub>3</sub> izm	Измайловская	Яузский
			C <sub>3</sub> msc	Мещеринская	Дорогомилловский
			C <sub>3</sub> pr	Перхуровская	Дорогомилловский
			C <sub>3</sub> nv	Неверовская	Хамовнический
			C <sub>3</sub> rt	Ратмировская	Хамовнический
			C <sub>3</sub> vs	Воскресенская	Кревякинский
Средний	Касимовский	C <sub>2</sub> ms	Мячковская	Мячковский	
	Московский	C <sub>2</sub> pd	Подольская	Мячковский	



## Приложение Д

(справочное)

### Схематическая карта инженерно-геологического районирования г. Москвы по степени опасности проявления карстово-суффозионных процессов



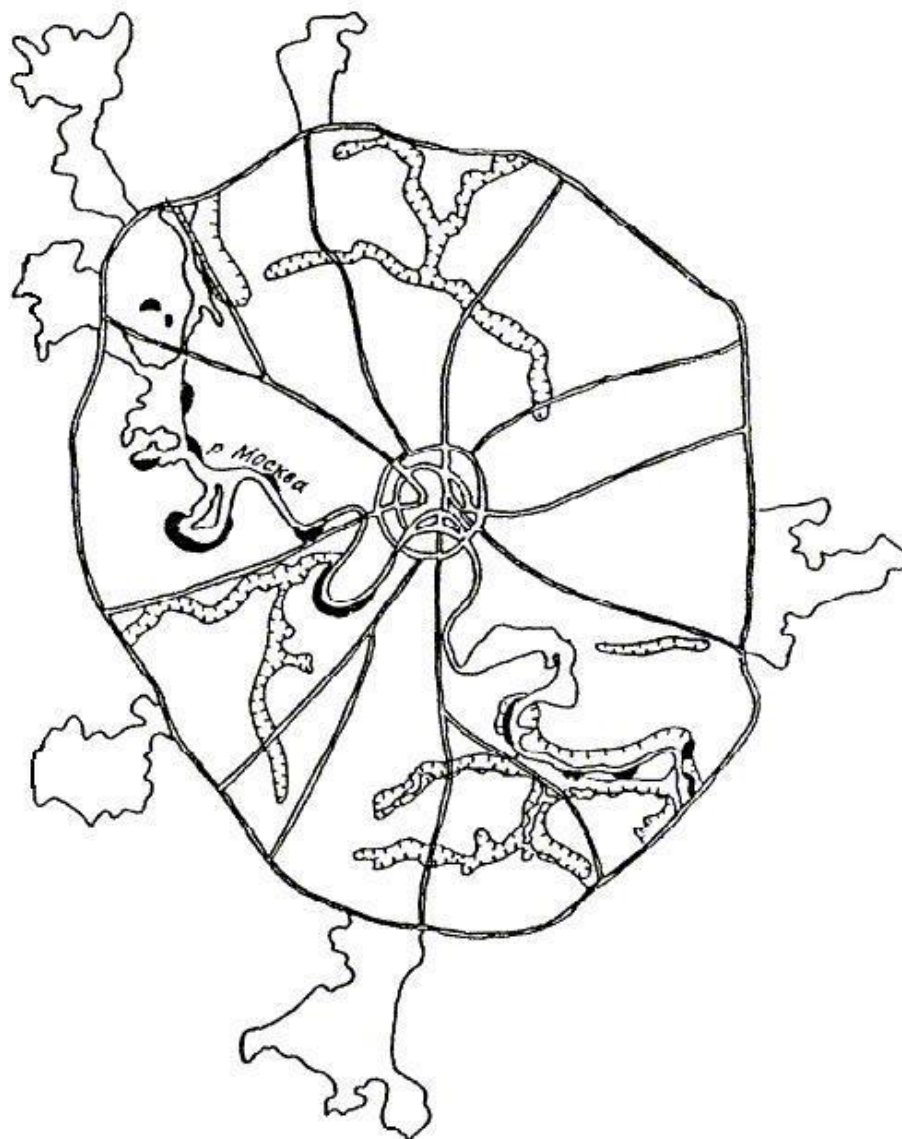
Условные обозначения:

-  Территория потенциально-опасная в отношении проявления карстово-суффозионных процессов
-  Территория опасная в отношении проявления карстово-суффозионных процессов



## Приложение Е

(справочное)

### Схематическая карта инженерно-геологического районирования г. Москвы по степени проявления оползневых процессов



Условные обозначения:

-  Участки развития глубоких оползней
-  Участки развития мелких оползней и оплывин

## Приложение Ж

(рекомендуемое)

### Частные коэффициенты надежности по нагрузке для расчетов по первой группе предельных состояний

Таблица Ж.1

Вид нагрузки или воздействия	Коэффициент надежности $\gamma_f$		Ссылочный документ	Проектный подход (см. табл. 9.1)
	Неблагоприятное воздействие	Благоприятное воздействие		
1	2	3	4	5
<b>Постоянные нагрузки</b>				
<b>Вес конструкций:</b> - металлических - бетонных и железобетонных из тяжелых бетонов в надземных конструкциях, сборных в подземных конструкциях - сборных бетонных из легких бетонов, монолитных бетонных и железобетонных в подземных конструкциях - монолитных бетонных и железобетонных из легких бетонов, изоляционных и выравнивающих слоев	1,05	0,90	СП 20.13330 СП 120.13330 СП 122.13330	1 и 2
	1,10	0,90		
	1,20	0,90 0,80	СП 20.13330 СП 102.13330 СП 120.13330 СП 122.13330	
	1,30	0,90	СП 20.13330 СП 120.13330 СП 122.13330	
<b>Вертикальные на крепь ствола горной выработки</b> от собственного веса, веса оборудования и сооружений, опирающихся на крепь	1,17	-	СП 91.13330	1
<b>Вертикальные от веса грунта:</b> - обратной засыпки	1,15	0,85	СП 20.13330 СП 22.13330	2
		0,90	СП 120.13330 СП 122.13330	1
- в природном залегании при невозможности сводообразования	1,10	0,90	СП 20.13330 СП 102.13330 СП 120.13330 СП 122.13330	1 и 2
- в природном залегании при сводообразовании - для скальных грунтов - для глинистых грунтов - для песков и крупнообломочных грунтов	1,50	-	СП 102.13330	1
	1,60	-	СП 120.13330	
	1,50	-	СП 122.13330	
	1,40	-		
- давление грунта при вывалах	1,80	-	СП 120.13330 СП 122.13330	1
<b>Давление горных пород</b> на горизонтальные и наклонные выработки	1,25 – 1,00	-	СП 91.13330	1
<b>Горизонтальное давление грунта</b>	1,00	1,00	СП 22.13330	2 и 3
	1,20	0,80	СП 102.13330 СП 120.13330 СП 122.13330	1
	1,17	-	СП 91.13330	
<b>Гидростатическое давление</b>	1,10	0,90	СП 91.13330 СП 102.13330 СП 120.13330 СП 122.13330	1 и 2



Таблица Ж.1 (продолжение)

1	2	3	4	5
<b>Усилия от предварительного обжатия обделки</b>	1,30	-	СП 120.13330 СП 122.13330	1 и 2
<b>Длительные нагрузки и воздействия</b>				
<b>Вес временных перегородок, отделочных слоев и материалов</b>	1,30	0,90	СП 20.13330 СП 120.13330 СП 122.13330	1 и 2
<b>Вес стационарного оборудования</b>	1,05	-	СП 20.13330 СП 122.13330	1 и 2
<b>Внутреннее гидростатическое давление</b>	1,00	-	СП 20.13330 СП 102.13330	1, 2 и 3
<b>Температурные воздействия</b>	1,10	-	СП 20.13330 СП 122.13330	1 и 2
<b>Воздействие усадки и ползучести бетона</b>	1,10	0,90	СП 122.13330	1 и 2
<b>Сил морозного пучения:</b>	1,50	-	СП 122.13330	1
- для скальных грунтов	1,60	-	СП 120.13330	
- для глинистых грунтов	1,50	-		
- для песков и крупнообломочных грунтов	1,40	-		
<b>Деформации основания, вызванные подработкой:</b>				СП 21.13330
- оседание и горизонтальное сдвигание	1,20-1,10	0,90		
- крен и относительная горизонтальная деформация	1,40-1,20	0,80		
- кривизна	1,80-1,40	0,60		
<b>Кратковременные нагрузки и воздействия</b>				
<b>Вес складированных материалов и изделий</b>	1,20	-	СП 20.13330	1 и 2
<b>Нагрузка от мостовых и подвесных кранов</b>	1,10	-	СП 122.13330	
<b>Транспортные нагрузки и нагрузки от механизмов</b>	1,20	-	СП 20.13330 СП 102.13330	
<b>Нагрузки от веса людей</b>	1,40	-	СП 120.13330	
<b>Давление щитовых домкратов</b>	1,30	-	СП 120.13330 СП 122.13330	
<b>Давление раствора при цементации</b>	1,20	1,00	СП 102.13330	
<b>Пульсация потока жидкости</b>	1,20	-	СП 102.13330	

## Приложение 3

(справочное)

### Пояснения к выбору частных коэффициентов надежности для проектных подходов 1, 2 и 3

3.1 В 8.6.3 допускается использовать три проектных подхода для предельных состояний (STR) и (GEO). Они отличаются способом распределения частных коэффициентов надежности между воздействиями, свойствами грунта и материала, сопротивлениями, что следует из различия подходов к способу учета неопределенностей при моделировании результатов воздействий и сопротивлений.

#### 3.2 Проектный подход 1.

В проектном подходе 1 частные коэффициенты надежности по грунту  $\gamma_g$  принимаются равными 1,0, все прочие частные коэффициенты надежности отличны от единицы.

В данном подходе в зависимости от характера нагрузок и воздействий их возможные отклонения от нормативных значений учитываются либо частными коэффициентами надежности по нагрузке  $\gamma_f$  (см. (8.7)), либо частными коэффициентами модели для результатов воздействий  $\gamma_{sd}$  (см. (8.7б)).

В том случае, если величины нагрузок и воздействий определяются аналитически, используется проектный подход 1А и выражение (8.7) для результатов воздействий. Если величины нагрузок и воздействий являются результатом численного расчета, допустимо использование проектного подхода 1Б и выражения (8.7б), определяющего результаты воздействий.

Проектный подход 1 применяется преимущественно при расчете по первой группе предельных состояний тоннельных обделок и элементов тоннелей.

**П р и м е ч а н и е** – Например, для проверки предельных состояний (STR) в элементах обделки тоннеля, устраиваемого закрытым способом, необходимо определить расчетные значения внутренних усилий. В качестве постоянных воздействий следует учесть давление грунта и гидростатическое давление подземных вод на обделку. Также необходимо учесть нагрузку на поверхности земли над тоннелем, включающую как постоянную, так и временную составляющую.

*Проектный подход 1А* применяется в том случае, когда расчет внутренних усилий в элементах обделки тоннеля выполняется с использованием контактных моделей, а нагрузки на обделку определяются аналитически в соответствии с требованиями СП 102.13330.2012, СП 122.13330.2012, СП 120.13330.2012. При этом для всех результатов воздействий следует учесть коэффициент надежности по ответственности сооружений  $\gamma_n$ , а также то, что в данном случае результаты воздействий не зависят от прочностных характеристик материала конструкций, т.е.  $\gamma_m = 1,0$ . Таким образом, в устойчивых грунтах в условиях сводообразования при определении расчетных значений результатов воздействий (внутренних усилий в

обделке) должны быть учтены следующие частные коэффициенты надежности, которые могут быть отличны от 1,0:

- Результат воздействий от нагрузок на поверхности грунта не зависит от прочностных характеристик грунта. Он зависит от величин и характера поверхностных нагрузок с учетом коэффициентов их сочетаний, а также геометрических параметров:  $E_d = E_d \{ \gamma_f \psi F_n; a_d \}$ .

- Результат воздействий от гидростатического давления зависит от удельного веса воды и геометрических параметров. С учетом возможности изменения геометрических параметров (например, сезонного изменения УПВ) результат воздействий может быть записан как:  $E_d = E_d \{ \gamma_f F_n; a_d + \Delta a \}$ .

- Результат воздействий от вертикальной и горизонтальной составляющих давления грунта определяется в зависимости от нормативных значений прочностных характеристик грунта (кажущегося угла внутреннего трения), а также геометрических параметров:  $E_d = E_d \{ \gamma_f F_n; X_n; a_d \}$ . При этом, следует отметить, что для вертикальной и горизонтальной составляющих давления грунта используются различные значения  $\gamma_f$  (см. Приложение Ж).

*Проектный подход 1Б* применяется в том случае, когда расчет внутренних усилий в элементах обделки тоннеля выполняется методом конечных элементов с использованием моделей сплошных сред. Внутренние усилия в обделке тоннеля тем опаснее, чем более неравномерно распределяется внешняя нагрузка на обделку. С этой точки зрения требуемая степень надежности при использовании проектного подхода 1А обеспечивается тем, что коэффициенты надежности по нагрузке для вертикального давления грунта выше, чем для горизонтального давления. При использовании численных моделей сплошных сред обеспечить различные значения коэффициента надежности по нагрузке для напряжений на различных площадках оказывается проблематичным, если правильно моделируются другие условия задачи. В этом случае правильнее использовать частный коэффициент надежности модели  $\gamma_{sd}$ , на который следует умножать результаты воздействий:  $E_d = \gamma_{sd} E_d \{ \psi F_n; X_n; a_d \}$ .

### **3.3 Проектный подход 2.**

Проектный подход 2 используется в тех случаях, когда величины нагрузок и воздействий или сопротивлений воздействиям существенно зависят от прочностных характеристик грунтов.

В проектном подходе 2 частные коэффициенты надежности по грунту  $\gamma_g$  принимаются отличными от 1,0, все прочие частные коэффициенты надежности также в общем случае отличны от единицы.

*Проектный подход 2А* применяется, например, для расчета несущей способности фундаментов на естественном основании, расчета подпорных стен, расчета устойчивости склонов и откосов. Отличительной чертой проектного подхода 2А является отсутствие частных коэффициентов надежности по сопротивлению  $\gamma_R$ , т.к. расчетные значения сопротивления воздействиям определяются напрямую в зависимости от расчетных значений характеристик грунта.

*Проектный подход 2Б* применяется, в тех случаях, когда ряд величин сопротивлений воздействиям может зависеть непосредственно от прочностных характеристик грунта, а ряд не зависит. Например, такой подход используется при расчете

устойчивости склонов, закрепленных анкерами. Другим примером может являться расчет несущей способности буровой сваи по грунту, если ее нижний конец заглублен в песчаный грунт (сопротивление сваи по боковой поверхности не зависит от прочностных характеристик грунта, а сопротивление под нижним концом зависит).

*Проектный подход 2В* применяется в тех же случаях, что 3Б, однако величины сопротивлений воздействиям определяются непосредственно испытаниями. Например, это относится к несущей способности свай или анкеров.

**Примечание** – Выражения для проверки недопущения наступления предельных состояний (STR) и (GEO), соответствующие проектному подходу 2, используются в СП 22.13330.2011, СП 23.13330.2011, СП 24.13330.2011, СП 116.13330.2011.

Например, выражение (8.4а) может приобретать следующий вид в частных случаях:

- При расчете несущей способности по грунту фундамента на естественном основании

$$\gamma_n \Sigma E_d \{ \gamma_f \psi F_n; a_d \} \leq \gamma_d R_d \{ X_n / \gamma_g; a_d \};$$

- При расчете несущей способности по грунту забивной сваи

$$\gamma_n \Sigma E_d \{ \gamma_f \psi F_n \} \leq \Sigma \gamma_{Rd} R_d \{ a_d \};$$

- При расчете несущей способности по грунту буровой сваи

$$\gamma_n \Sigma E_d \{ \gamma_f \psi F_n \} \leq \Sigma \gamma_{Rd} R_d \{ X_n / \gamma_g; a_d \};$$

- При проверке несущей способности сваи или анкера по результатам испытаний

$$\gamma_n \Sigma E_d \{ \gamma_f \psi F_n \} \leq \gamma_{Rd} R_d \{ a_d \}$$

- При расчете угловой подпорной стенки на сдвиг или опрокидывание

$$\gamma_n \Sigma E_d \{ \gamma_f \psi F_n; X_n / \gamma_g; a_d \} \leq \Sigma \gamma_d R_d \{ \gamma_f \psi F_n; X_n / \gamma_g; a_d \};$$

- При проверке прочности элементов гибкой подпорной стенки

$$\gamma_n \Sigma E_d \{ \gamma_f \psi F_n; M_n / \gamma_m; X_n / \gamma_g; a_d \pm \Delta a \} \leq \gamma_d R_d \{ M_n / \gamma_m \};$$

- при проверке устойчивости склонов и откосов

$$\gamma_n \Sigma E_d \{ \gamma_f \psi F_n; X_n / \gamma_g; a_d \} \leq \gamma_d R_d \{ \gamma_f \psi F_n; M_n / \gamma_m; X_n / \gamma_g; a_d \}.$$

### **3.4 Проектный подход 3.**

В ряде случаев результаты воздействий и величины предельного сопротивления основания этим воздействиям могут быть получены только путем математического моделирования совместной работы подземного сооружения с грунтовым массивом. В особенности это характерно, когда следует учесть проектные сценарии, отражающие последовательность строительства. Использование моделей сплошной среды (см. 8.8.10) является в этих случаях предпочтительным.

Результат расчета в таких случаях является комплексным и зависящим от многих факторов. Использование коэффициентов надежности по нагрузкам и воздействиям или по грунту отличных от 1,0 для каких-то результатов расчета может повышать надежность, а для каких-то, наоборот, понижать.

В таких случаях допускается использовать проектный подход 3. В проектном подходе 3 коэффициенты надежности по нагрузкам и по грунту принимаются равными

1,0. Результаты воздействий умножаются на частный коэффициент модели  $\gamma_{sd}$ . При этом проверка недопущения наступления предельных состояний выполняется исходя из условия:

$$\gamma_n \gamma_{sd} \Sigma E_d \{ \psi F_n; M_n; X_n; a_d \} \leq \Sigma \gamma_d R_d \{ \psi F_n; M_n/\gamma_m; X_n; a_d \} .$$

По своей сути проектный подход 3 аналогичен проектному подходу 1Б, однако используется для более широкого класса задач. В проектном подходе 3 значения сопротивлений воздействиям не задаются, а моделируются, поэтому коэффициенты надежности по сопротивлению не используются.

**П р и м е ч а н и е** – Например, в рамках одной численной модели требуется выполнить не только проверку предельных состояний в элементах обделки строящегося тоннеля, устраиваемого закрытым способом, но также проверку допустимости дополнительных внутренних усилий, возникающих в результате строительства тоннеля в конструкциях близрасположенного подземного сооружения, и проверку тоннеля на всплытие с учетом работы дренажа этого подземного сооружения.

Очевидно, что использование отличных от 1,0 значений коэффициентов надежности по нагрузкам и грунту будет для каких-то из искомых в результате расчета величин неблагоприятным, а для каких-то наоборот - благоприятным. В этом случае при применении проектного подхода 3 результаты воздействий должны умножаться на частный коэффициент надежности модели  $\gamma_{sd}$ , значения которого могут быть различны для различных результатов воздействий.

## Библиография

- [1] EN 1997-1:2008 Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules.
- [2] ТКП EN 1997-1-2009 (02250) Еврокод 7: Готехническое проектирование - Часть 1: Общие положения (EN 1997-1:2008, IDT) // Республика Беларусь, Минск, 2010.
- [3] EN 1997-2:2007 Eurocode 7: Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing.
- [4] СТО 36554501-007-2006. Проектирование и устройство вертикального или наклонного геотехнического барьера методом компенсационного нагнетания. - ФГУП «НИЦ «Строительство», М., 2006.
- [5] СТО 36554501-008-2007. Обеспечение сохранности подземных водонесущих коммуникаций при строительстве (реконструкции) подземных и заглубленных объектов. - ФГУП «НИЦ «Строительство», М., 2007.
- [6] СТО 36554501-017-2009. Проектирование и устройство монолитной конструкции, возводимой способом «стена в грунте». - ФГУП «НИЦ «Строительство», М., 2009.
- [7] СТО 36554501-020-2010. Деформационные и прочностные характеристики юрских глинистых грунтов Москвы. - ФГУП «НИЦ «Строительство», М., 2010.
- [8] ВСН 189-78. Инструкция по проектированию и производству работ по искусственному замораживанию грунтов при строительстве метрополитенов и тоннелей.

**СП XXX.13330.XXXX**

---

УДК 624.134.4 : 624.1

Ключевые слова: подземные сооружения, проектирование, расчет, котлованы, тоннели, грунты, геологические условия, влияние на застройку

---