

СПРАВОЧНИК ГЕОТЕХНИКА

**ОСНОВАНИЯ
ФУНДАМЕНТЫ
ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**



Российская академия архитектуры и строительных наук

Российское общество по механике грунтов, геотехнике
и фундаментостроению

СПРАВОЧНИК ГЕОТЕХНИКА

Основания, фундаменты и подземные сооружения

Под общей редакцией академика РААСН,
д-ра техн. наук профессора В.А. ИЛЬИЧЕВА
и члена-корреспондента РААСН,
д-ра техн. наук профессора Р.А. МАНГУШЕВА



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва
2014

УДК 624.15 (035.5)

Печатается по решению научного совета по механике грунтов, основаниям, фундаментам, геотехнике и инженерно-геологическим и инженерно-экологическим изысканиям для строительства Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) от 24 сентября 2013 г.

Рецензенты:

кафедра «Промышленное, гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение» Южно-Российского государственного технического университета (г. Новочеркасск) – зав. кафедрой д.т.н. профессор *Г.М. Скибин*; д.т.н. профессор *В.В. Верстов* (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет); д.т.н. профессор *М.Г. Зерцалов* (Московский государственный строительный университет).

Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения
/ Под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014.
– 728 с.

ISBN 978–5–93093–952–1

В сводном виде представлены основные вопросы инженерно-геологических изысканий, проектирования, устройства и реконструкции оснований и фундаментов, в том числе в сложных и особых инженерно-геологических условиях. Особое внимание уделено современным нормативно-техническим документам, а также новым видам конструкций и технологиям устройства оснований и фундаментов, методам их расчета и проектирования, в том числе и тем, которые прошли производственную апробацию, но еще не получили отражение в существующих нормативных материалах. Освещены актуальные вопросы по проведению геотехнического мониторинга и использованию численных методов при геотехнических расчетах в проектировании.

Предназначено для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.

ISBN 978–5–93093–952–1

© Коллектив авторов, 2014
© Издательство АСВ, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	9
Глава 1. Инженерно-геологические (инженерно-геотехнические) изыскания в строительстве (д.г.-м.н. проф. А.Д. Потапов)	11
1.1. Общие положения	11
1.2. Инженерно-геотехнические изыскания для подготовки проектной документации нового строительства	12
1.3. Геотехнические исследования и мониторинг при строительстве, эксплуатации и ликвидации объектов капитального строительства	23
1.4. Инженерно-геодезические работы в районах развития опасных природных процессов	26
1.5. Документация результатов инженерно-геотехнических работ	28
Список литературы по главе 1	29
Глава 2. Происхождение и состав грунтов. Физические и механические свойства грунтов (д.т.н. проф. Г.Г. Болдырев, к.т.н. В.А. Барваилов, к.г.-м.н. Н.В. Кошкина)	31
2.1. Происхождение и состав грунтов	31
2.2. Физико-механические характеристики грунтов и их классификация. Расчетная геомеханическая модель	37
2.3. Характеристики, необходимые для расчета оснований и фундаментов	47
2.4. Определение деформационных и прочностных характеристик дисперсных грунтов	50
2.5. Начальное напряженное состояние	62
2.6. Характеристики проницаемости	63
2.7. Определение прочностных и деформационных характеристик грунтов с использованием корреляционных связей	65
2.8. Влияние происхождения глинистых грунтов на характеристики прочности	67
Список литературы по главе 2	68
Глава 3. Основные положения проектирования оснований и фундаментов по предельным состояниям. Общие принципы выбора типа оснований и фундаментов (д.т.н. проф. Р.А. Мангушев, к.т.н. доц. Н.С. Никитина, п. 3.5. – инж. С.Б. Насонов)	69
3.1. Общие положения	69
3.2. Основные типы оснований, фундаментов и область их применения	70
3.3. Взаимодействие сооружений и оснований	72
3.4. Принципы проектирования по предельным состояниям	75
3.5. Нагрузки и воздействия, учитываемые при расчетах оснований и фундаментов	81
3.6. Выбор вариантных решений при проектировании оснований и фундаментов	91
Список литературы по главе 3	94
Глава 4. Конструирование и расчет фундаментов на естественном основании (д.т.н. проф. И.Т. Мирсаяпов, д.т.н. проф. З.Г. Тер-Мартirosян, к.т.н. И.В. Королева, п. 4.7 – д.т.н. проф. Р.А. Мангушев)	95
4.1. Общие положения	95
4.2. Определение геометрических размеров фундамента	95
4.3. Расчет оснований по деформациям	101
4.4. Расчет железобетонных фундаментов на прочность	106
4.5. Расчет ленточных фундаментов	117
4.6. Пример расчета	118
4.7. Методы защиты подземных частей зданий и сооружений от воздействия подземных вод	136
Список литературы по главе 4	148

Глава 5. Конструкции свай. Основные технологии устройства свай и их полевые испытания (д.т.н. проф. А.Б. Пономарев, д.т.н. проф. Р.А. Мангушев, д.т.н. проф. А.Л. Готман).....	149
5.1. Классификация свай.....	149
5.2. Выполнение свайных работ.....	169
5.3. Контроль качества и приемка свайных фундаментов.....	198
5.4. Полевые испытания свай.....	203
Список литературы по главе 5.....	211
Глава 6. Конструирование и проектирование свайных фундаментов (д.т.н. проф. А.Л. Готман, д.т.н. проф. А.Б. Пономарев, д.т.н. Н.З. Готман).....	213
6.1. Основные конструктивные решения свайных фундаментов.....	213
6.2. Общие положения по проектированию.....	215
6.3. Расчет одиночной сваи по I предельному состоянию.....	219
6.4. Расчет одиночной сваи на горизонтальную нагрузку и изгибающий момент.....	239
6.5. Проектирование односвайных фундаментов под колонны каркасных зданий и сооружений.....	242
6.6. Проектирование ленточных свайных фундаментов, в том числе многорядных.....	245
6.7. Проектирование кустовых свайных фундаментов.....	247
6.8. Проектирование свайно-плитных фундаментов.....	248
6.9. Проектирование опор трубопроводов из свай-колонн.....	250
Список литературы по главе 6.....	254
Глава 7. Проектирование и устройство искусственных оснований (д.т.н. Р.А. Усманов, п. 7.5.4. – к.т.н. О.А. Маковецкий, И.И. Хусаинов, п. 7.5.5. – к.т.н. С.В. Ланько).....	255
7.1. Общие положения.....	255
7.2. Поверхностные методы уплотнения грунтов.....	263
7.3. Глубинные методы уплотнения грунтов.....	272
7.4. Конструктивные методы улучшения оснований.....	301
7.5. Методы упрочнения и закрепления грунтов.....	309
Список литературы по главе 7.....	336
Глава 8. Проектирование и устройство оснований, армированных геосинтетическими материалами (д.т.н. проф. А.Б. Пономарев, к.т.н. доц. В.И. Клевко, к.т.н. доц. В.Г. Оффрихтер).....	338
8.1. Общие положения.....	338
8.2. Армирующие геосинтетические материалы.....	339
8.3. Требования, предъявляемые к материалу засыпки оснований, армированных геосинтетическими материалами.....	348
8.4. Общие положения по расчету и проектированию.....	350
8.5. Основные рекомендации по конструированию оснований, армированных геосинтетическими материалами.....	352
8.6. Расчеты армированных оснований.....	354
8.7. Особенности проектирования армированных оснований с засыпкой из глинистых грунтов.....	362
8.8. Технология производства работ при устройстве армированных оснований.....	365
Список литературы по главе 8.....	371
Глава 9. Фундаменты на структурно-неустойчивых грунтах и в особых условиях (п. 9.1 – д.т.н. Р.А. Усманов, п. 9.2 – д.т.н. проф. А.Л. Невзоров, п. 9.3 – инж. С.Б. Насонов, п. 9.4 – д.т.н. Н.З. Готман).....	372
9.1. Основания и фундаменты на просадочных грунтах.....	372
9.2. Торф и заторфованные грунты.....	402
9.3. Набухающие грунты.....	418
9.4. Строительство зданий и сооружений на закарстованных территориях.....	425
Список литературы по главе 9.....	433

Глава 10. Сезоннопромерзающие и многолетнемерзлые грунты (<i>д.т.н. проф. А.Л. Невзоров</i>)	435
10.1. Свойства мерзлых грунтов	435
10.2. Температурный режим грунтов	444
10.3. Деформации при промерзании и оттаивании	451
10.4. Устройство фундаментов	459
Список литературы по главе 10	467
Глава 11. Расчет устойчивости откосов и склонов (<i>д.т.н. проф. А.М. Караулов,</i> <i>д.т.н. проф. А.Н. Богомолов, к.т.н. доц. К.В. Королев</i>)	468
11.1. Общие положения	468
11.2. Построение контура равноустойчивого склона	469
11.3. Устойчивость однородных откосов прямолинейного очертания	474
11.4. Расчет устойчивости неоднородных откосов и склонов произвольного очертания	479
Список литературы по главе 11	485
Глава 12. Проектирование подпорных стенок (<i>д.т.н. проф. А.М. Караулов,</i> <i>к.т.н. доц. К.В. Королев, к.т.н. доц. А.А. Ананьев</i>)	486
12.1. Конструкции подпорных стенок	486
12.2. Определение предельного давления грунта на подпорные стенки	488
12.3. Расчет гравитационной подпорной стенки	493
12.4. Расчет подпорной стенки шпунтового типа	499
Список литературы по главе 12	508
Глава 13. Устройство и проектирование котлованов (<i>д.т.н. проф. Р.А. Мангушев,</i> <i>д.т.н. проф. В.А. Ильичев, д.т.н. Н.С. Никифорова, инж. Д.А. Сапин</i>)	509
13.1. Основные технологические и конструктивные методы устройства котлованов	509
13.2. Методы расчета ограждений котлованов	536
13.3. Оценка влияния устройства котлованов и подземных коммуникаций на осадки соседних зданий и сооружений	559
13.4. Защита котлованов, подземных частей зданий и сооружений от действия грунтовых вод	572
Список литературы по главе 13	587
Глава 14. Фундаменты глубокого заложения (<i>к.т.н. доц. Н.А. Перминов,</i> <i>д.т.н. проф. И.И. Сахаров</i>)	588
14.1. Общие сведения	588
14.2. Область применения	588
14.3. Конструктивные решения	588
14.4. Проектирование опускных колодцев	593
14.5. Строительство опускных колодцев и кессонов. Мероприятия по облегчению погружения	598
14.6. Кессонный способ проходки тоннелей	609
14.7. Система геомониторингового обеспечения строительства инженерных подземных сооружений	610
Список литературы по главе 14	612
Глава 15. Влияние нового строительства и реконструкции на существующие здания и сооружения (<i>д.т.н. проф. Р.А. Мангушев,</i> <i>д.г.-м.н. А.Г. Шашкин</i>)	613
15.1. Общие положения	613
15.2. Проектирование фундаментов вблизи существующих зданий	613
15.3. Факторы риска и компоненты деформаций застройки	618
15.4. Меры по уменьшению влияния строящегося здания на соседние	619
Список литературы по главе 15	626

Глава 16. Усиление оснований и фундаментов зданий и сооружений (<i>д.т.н. проф. А.И. Полищук, п. 16.5.2 совместно с А.А. Лобановым,</i> <i>п. 16.5.3 совместно с А.А. Тарасовым</i>).....	627
16.1. Классификация способов усиления оснований и фундаментов.....	627
16.2. Особенности инженерно-геологических изысканий при реконструкции и восстановлении зданий.....	627
16.3. Учет изменения свойств грунтов, уплотненных давлением фундаментов длительно эксплуатируемых зданий.....	629
16.4. Обследование оснований, фундаментов и оценка их состояния.....	634
16.5. Расчеты, выполняемые при усилении оснований и фундаментов.....	639
16.6. Методы усиления оснований и фундаментов.....	653
Список литературы по главе 16.....	665
Глава 17. Проведение геотехнического мониторинга при новом строительстве и реконструкции (<i>д.т.н. проф. Р.А. Мангушев,</i> <i>д.т.н. проф. В.А. Ильичев, к.т.н. доц. В.В. Конюшков, п. 17.3.5. и</i> <i>п. 17.4.5 – д.т.н. проф. Г.Г. Болдырев</i>).....	667
17.1. Цели и задачи геотехнического мониторинга.....	667
17.2. Основные инструментальные методы проведения геомониторинга.....	669
17.3. Критерии оценки результатов мониторинга осадок сооружений.....	670
17.4. Примеры проведения геотехнического мониторинга.....	679
17.5. Научно-техническое сопровождение строительства.....	690
Список литературы по главе 17.....	690
Глава 18. Численные методы при геотехнических расчетах и проектировании (<i>д.т.н. проф. В.Н. Парамонов, д.т.н. проф. И.И. Сахаров</i>).....	692
18.1. Общие положения.....	692
18.2. Модели грунта.....	692
18.3. Основные понятия и соотношения в МКЭ.....	699
18.4. Общие рекомендации по подходу к решениям геотехнических задач МКЭ.....	711
18.5. Примеры решения геотехнических задач МКЭ.....	712
Список литературы по главе 18.....	727

ПРЕДИСЛОВИЕ

В XXI в. в современной Российской Федерации строительство является одной из наиболее динамично развивающихся областей промышленности. Появление современных видов строительных материалов и технологий привело к возникновению новых конструкций и развитию методов их расчетов, которые раньше не применялись. Появились новые строительные правила (СП), переработаны ранее выпущенные нормативные документы, в частности актуализирован ряд СНиПов по проектированию и строительству. Кроме того, за последние 20 лет появилось большое количество отраслевых и региональных технических документов, регламентирующих проектирование и строительство в области геотехники.

В значительной мере это коснулось вопросов инженерно-геологических изысканий, проектирования и строительства подземных сооружений, оснований и фундаментов промышленных и гражданских зданий. По этой тематике опубликованы десятки монографий, брошюр и статей, подробно освещающих узкие научно-технические проблемы в области геотехники.

Наличие большого количества появившейся новой технической литературы, иногда не вполне доступной, зачастую затрудняет проектировщикам и строителям выбор оптимальной подземной конструкции, ее проектирование и устройство. Это становится тем более актуальным сейчас, когда проектируются и строятся высотные здания, передающие большие нагрузки на основания, устраиваются сооружения с развитой подземной частью в сложных грунтовых условиях. Особенно эти проблемы усугубляются и усложняются при строительстве в условиях стесненной застройки городов.

Последний раз в сводном виде вопросы проектирования оснований и фундаментов были представлены в «Справочнике проектировщика» с одноименным названием в 1985 г., т.е. почти 30 лет назад. Предыдущие издания аналогичных справочников («Основания и фундаменты» (1964) и «Сложные основания и фундаменты» (1969)) издавались еще в 60-х гг. прошлого века.

Авторы представленного «Справочника геотехника» ставили перед собой задачу помочь сориентироваться практикующим инженерам-строителям в непростых вопросах современной геотехники по основным ее аспектам как в плане проектирования, так и в методах устройств и реконструкции различных типов оснований и фундаментов.

Актуальность издания настоящего справочника во многом обусловлена и тем, что в настоящее время многие строительные компании комплексно осуществляют все виды строительного процесса (изыскания, проектирование и строительство) и не всегда имеют в своем составе специализированных инженеров-геотехников.

Особенностью нынешнего издания является то, что в нем впервые в сводном виде представлены основные вопросы инженерно-геологических изысканий, проектирования, устройства и реконструкции оснований и фундаментов, в том числе в сложных и особых инженерно-геологических условиях.

Авторы постарались учесть современные нормативно-технические документы, а также представить новые виды конструкций и технологий устройства оснований и фундаментов, методы их расчета и проектирования, в том числе те, которые прошли производственную апробацию, но еще не получили отражение в нормативных материалах.

В отличие от предыдущих изданий в отдельных главах настоящего справочника освещены актуальные для реальной строительной практики вопросы мониторинга и численных методов при геотехнических расчетах и проектировании.

Решение о создании профессионального «Справочника геотехника» было принято научным советом Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) по механике грунтов, основаниям, фундаментам, геотехнике и инженерно-геологическим и инженерно-экологическим изысканиям для строительства.

В работе над справочником приняли участие члены указанного совета РААСН и члены Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (РОМГГИФ) – ведущие специалисты страны в области геотехники, имеющие богатый опыт проектирования и устройства оснований и фундаментов.

«Справочник геотехника» издан под общей редакцией академика РААСН, д-ра техн. наук, профессора **В.А. Ильичева** и члена-корреспондента РААСН, д-ра техн. наук, профессора **Р.А. Мангушева**.

В разработку разделов справочника приняли участие следующие специалисты:

глава 1 – д.г.-м.н. проф. **А.Д. Потапов**;

глава 2 – д.т.н. проф. **Г.Г. Болдырев***, к.т.н. В.А. Барвашов, к.г.-м.н. Н.В. Кошкина;

глава 3 – д.т.н. проф. **Р.А. Мангушев**, к.т.н. доц. Н.С. Никитина, инж. С.Б. Насонов (п. 3.5);

глава 4 – д.т.н. проф. **И.Т. Мирсяяпов**, д.т.н. проф. З.Г. Тер-Мартirosян, к.т.н. И.В. Королева, д.т.н. проф. Р.А. Мангушев (п. 4.7);

глава 5 – д.т.н. проф. **А.Б. Пономарев**, д.т.н. проф. Р.А. Мангушев, д.т.н. проф. А.Л. Готман;

глава 6 – д.т.н. проф. **А.Л. Готман**, д.т.н. проф. А.Б. Пономарев, д.т.н. с.н.с. Н.З. Готман;

глава 7 – д.т.н. **Р.А. Усманов**, к.т.н. О.А. Маковецкий, И.И. Хусаинов (п. 7.5.4), к.т.н. С.В. Ланько (п. 7.5.5);

глава 8 – д.т.н. проф. **А.Б. Пономарев**, к.т.н. доц. В.И. Клевеко, к.т.н. доц. В.Г. Оффрихтер;

глава 9 – д.т.н. **Р.А. Усманов** (п. 9.1), д.т.н. проф. **А.Л. Невзоров** (п. 9.2), инж. **С.Б. Насонов** (п. 9.3), д.т.н. с.н.с. **Н.З. Готман** (п. 9.4);

глава 10 – д.т.н. проф. **А.Л. Невзоров**;

глава 11 – д.т.н. проф. **А.М. Караулов**, д.т.н. проф. А.Н. Богомолов, к.т.н. доц. К.В. Королев;

глава 12 – д.т.н. проф. **А.М. Караулов**, к.т.н. доц. К.В. Королев, к.т.н. доц. А.А. Ананьев;

глава 13 – д.т.н. проф. **Р.А. Мангушев**, д.т.н. проф. В.А. Ильичев, д.т.н. с.н.с. Н.С. Никифорова, инж. Д.А. Сапин (п. 13.2);

глава 14 – к.т.н. доц. **Н.А. Перминов**, д.т.н. проф. И.И. Сахаров;

глава 15 – д.т.н. проф. **Р.А. Мангушев**, д.г.-м.н. А.Г. Шашкин;

глава 16 – д.т.н. проф. **А.И. Полищук** (п. 16.5.2 совместно с А.А. Лобановым, п. 16.5.3 совместно с А.А. Тарасовым);

глава 17 – д.т.н. проф. **Р.А. Мангушев**, д.т.н. проф. В.А. Ильичев, д.т.н. проф. Г.Г. Болдырев, к.т.н. доц. В.В. Конюшков;

глава 18 – д.т.н. проф. **В.Н. Парамонов**, д.т.н. проф. И.И. Сахаров.

Авторы выражают искреннюю благодарность рецензентам настоящего издания – кафедре «Промышленное, гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение» Южно-Российского государственного технического университета (г. Новочеркасск) под руководством д-ра техн. наук проф. Г.М. Скибина и д-рам техн. наук профессорам В.В. Верстову (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет) и М.Г. Зерцалову (Московский государственный строительный университет) за ценные советы и замечания.

Кроме того, авторы отмечают и благодарят директора издательства Ассоциации строительных вузов канд. техн. наук доц. Н.С. Никитину за постоянное содействие и помощь в подготовке настоящего издания.

* Выделенным шрифтом указаны ответственные исполнители по главам.

Глава 1

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ (ИНЖЕНЕРНО-ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ) ИЗЫСКАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

1.1. Общие положения

Строительство в современном виде представляет собой сложный инвестиционно-производственный процесс, состоящий из ряда этапов, которые в самом упрощенном виде можно представить в следующем виде: 1) замысел проекта; 2) поиск инвестиций; 3) архитектурное (градостроительное) решение; 4) изыскательские работы; 5) проектирование и конструирование; 6) строительномонтажные работы; 7) эксплуатация (включая текущий и капитальный ремонт); 8) реновация (перепрофилирование и т.п.) или ликвидация строительного объекта.

На каждом этапе этого процесса немаловажным фактором в принимаемых решениях являются актуальные сведения о состоянии и свойствах природной и природно-техногенной среды, которые могут быть получены только при ее непосредственном изучении в данный период времени. Наибольшее значение для реализации инвестиционно-строительного проекта имеют сведения, предваряющие проектирование строительного объекта. Такие сведения получают при выполнении инженерных изысканий для строительства.

Инженерные изыскания выполняются согласно положениям, установленным межгосударственными и национальными стандартами и сводами правил (частями стандартов и сводов правил), обеспечивающими соблюдение Технического регламента «О безопасности зданий и сооружений», и другими нормативными документами, принятыми на добровольной основе исполнителем [1].

Основные требования к выполнению инженерных изысканий изложены в Своде правил СП 47.13330.2012–СНиП 11.02-96 (актуализированная редакция), введенном в действие с 01.07.2013 г. Эти требования отвечают принятой и действующей системе этапов реализации инвестиционно-строительных проектов [2].

В настоящей главе изложены основные требования к выполнению инженерно-геотехнических изысканий, которые, согласно СП 47.13330.2012, могут выполняться как в составе инженерно-геологических изысканий, так и в виде отдельных изысканий.

В соответствии с п. 3.4. СП 47.13330.2012–СНиП 11.02-96 (актуализированная редакция) под инженерно-геотехническими изысканиями понимают «комплекс геотехнических работ и исследований с целью получения исходных расчетных значений для проектирования фундаментов, опор и т.д. на участках размещения объектов капитального строительства и индивидуального проектирования, необходимых и достаточных для построения расчетной геотехнической модели взаимодействия зданий и сооружений с основанием» [2].

Данное определение показывает, что вид работ по оценке взаимодействия проектируемого сооружения с геологической средой носит характер исследований, так как собственно инженерно-геологические изыскания по сути

своего содержания должны обеспечивать полную и достаточную информацию о геологической среде в пределах изучаемой территории (площадки или трассы).

При оценке взаимодействия сооружения с геологической средой важное значение имеет установление особенностей грунтового основания по составу, состоянию, строению, слагающих его грунтов, а также степени развития и возможности активизации неблагоприятных геологических процессов в процессе строительства и эксплуатации проектируемого сооружения.

Инженерно-геологические и инженерно-геотехнические изыскания должны обеспечивать комплексное изучение инженерно-геологических условий района (площадки, участка, трассы) проектируемого строительства, включая рельеф, геологическое строение, геоморфологические и гидрогеологические условия, состав, состояние и свойства грунтов, геологические и инженерно-геологические процессы, изменение условий освоенных (застроенных) территорий, составление прогноза возможных изменений инженерно-геологических условий в сфере взаимодействия проектируемых объектов с геологической средой с целью получения необходимых и достаточных материалов для проектирования, строительства и эксплуатации объектов и инженерной защиты зданий и сооружений.

Инженерно-геологические изыскания выполняют для оценки инженерно-геологических условий района изысканий, построения инженерно-геологической модели (ИГМ), с целью принятия конструктивных и объемно-планировочных решений, выбора типов фундаментов, определения целесообразности инженерной защиты территории, а при необходимости – проектирования мероприятий и сооружений инженерной защиты зданий и сооружений.

Инженерно-геотехнические изыскания выполняются под отдельные здания и сооружения на площадках с изученными инженерно-геологическими условиями, по результатам ранее выполненных инженерно-геологических изысканий, с целью построения расчетной геотехнической модели взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой.

В силу того, что «инженерно-геотехнические изыскания» не имеют своей собственной методологической базы, своего оборудования, то далее этот термин будет только подразумеваться при изложении материалов инженерно-геологических изысканий.

1.2. Инженерно-геотехнические изыскания для подготовки проектной документации нового строительства

1.2.1. Цели и задачи инженерно-геотехнических изысканий

Инженерно-геотехнические изыскания выполняют с целью получения исходных расчетных данных для проектирования фундаментов, опор и т.д. на конкретных участках размещения зданий и сооружений, в том числе на участках индивидуального проектирования и переходов через естественные и искусственные препятствия трасс линейных сооружений.

Инженерно-геотехнические изыскания должны обеспечивать получение материалов и данных, необходимых для расчетов оснований, фундаментов и конструкций проектируемых зданий и сооружений и обоснования методов производства земляных работ.

При необходимости на этом этапе выполняют инженерно-геологические изыскания или отдельные виды работ для детализации проектных решений по инженерной защите, охране окружающей среды, рациональному природопользованию и обоснованию методов производства земляных работ, а также для подготовки решений по вопросам, возникшим при подготовке проектной документации, ее согласовании или утверждении.

Техническое задание на выполнение инженерно-геотехнических изысканий (дополнительно к п. 4.12 СП 47.13330.2012) включает: геотехническую категорию объектов или их частей; данные о чувствительности проектируемых зданий и сооружений к неравномерным осадкам; типы, конструкции и расположение проектируемых фундаментов или опорных элементов; нагрузки фундаментов или опорных элементов и глубину их взаимодействия с основанием; глубины местоположения и глубины заложения фундаментов зданий и сооружений подземных сооружений (подвалов, приямков, тоннелей и др.); сведения о схеме расчета фундаментов (по несущей способности и (или) по деформациям; перечень характеристик грунтов, необходимый для проектирования и строительства; сведения о проектных решениях, обуславливающих изменение геологической среды (планировка территорий срезкой и подсыпкой) и другие сведения, необходимые для составления программы работ [2].

К заданию необходимо прилагать генплан объекта с местоположением проектируемых зданий (сооружений) и опорных элементов фундамента.

Если инженерно-геотехнические изыскания выполняются в составе инженерно-геологических изысканий, то перечисленное выше должно присутствовать в техническом задании на инженерно-геологические изыскания.

Программа выполнения инженерно-геотехнических изысканий (дополнительно к п. 4.15 СП 47.13330.2012), должна содержать: обоснование геотехнической категории объектов или их частей, основные выводы результатов инженерно-геологических изысканий, обоснование состава, объемов и методов инженерно-геотехнических работ, исходя из выбранных типов фундаментов и предполагаемых расчетных схем, обоснование расположения горных выработок и точек полевых испытаний; обоснование глубины исследований на основании расчетов глубин взаимодействия проектируемых зданий (сооружений) с основанием [2].

При необходимости в программу работ могут быть включены инженерно-геологические работы, связанные с изысканиями для инженерной защиты, перетрассировками (для линейных объектов) и другие работы, необходимые для достаточности проектной документации.

Программа инженерно-геологических изысканий для проектирования фундаментов высотных зданий и подземных частей сооружений I уровня ответственности должна пройти геотехническую экспертизу в соответствии с СП 22.13330.2012 [2].

1.2.2. Основные виды и содержание работ при инженерно-геотехнических изысканиях

Основными видами работ при инженерно-геотехнических изысканиях являются проходка горных выработок, полевые и лабораторные исследования механических свойств грунтов с определением характеристик для конкретных

схем расчета оснований фундаментов, а также статическое зондирование и другие полевые испытания с определением стандартных прочностных и деформационных характеристик грунтов. Определение механических характеристик грунтов выполняется, как правило, прямыми лабораторными и (или) полевыми испытаниями.

Горные выработки должны быть размещены, как правило, по контурам и (или) осям проектируемых зданий и сооружений. Рекомендованное число точек наблюдений, включая горные выработки, и среднее расстояние между ними приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Рекомендованное число точек наблюдений, включая горные выработки, и среднее расстояние между ними в зависимости от категории сложности инженерно-геологических условий

Категория сложности инженерно-геологических условий	Масштаб съемки				
	1:25000 и мельче	1:10000	1:5000	1:2000	1:1000
I (простая)	3/600	9/350	25/200	100/100	300/60
II (средняя)	4/550	11/300	35/170	175/75	575/45
III (сложная)	5/500	16/250	50/150	250/65	750/35

Примечания:

1. В числителе – число точек наблюдений на 1 км, в знаменателе – среднее расстояние между ними, м.
2. До 1/3 горных выработок допускается заменять точками статического (динамического) зондирования.
3. Вне контуров проектируемых объектов в случае выдержанности разреза и при подтверждении его однородности геофизическими наблюдениями допускается разрежение сети опробования.

Оценка категорий сложности инженерно-геологических условий в зависимости от различных факторов, определяющих состав и объем изысканий, представлена в табл. 1.2.

В местах резкого изменения нагрузок на фундамент, глубины их заложения, высоты сооружений, на границах различных геоморфологических элементов следует размещать дополнительные выработки.

Для изучения опасных геологических и инженерно-геологических процессов в сфере взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой, а также в зоне влияния их на окружающую застройку при необходимости следует располагать дополнительные выработки за пределами контура проектируемых зданий и сооружений, в том числе и на прилегающей территории.

Глубина горных выработок назначается в соответствии с п. 6.3.8 СП 47.13330.2012 [2].

При проектировании зданий и сооружений глубины выработок на площадках строительства должны быть на 2 м ниже активной зоны взаимодействия зданий и сооружений с грунтовым массивом. Толщину активной зоны рассчитывают в соответствии с СП 22.13330.2012 [2].

Категории сложности инженерно-геологических условий

Факторы, определяющие состав и объем изысканий	Категория сложности		
	I (простая)	II (средняя)	III (сложная)
Геоморфологические	Один геоморфологический элемент. Поверхность слабонаклонная, нерасчлененная	Несколько геоморфологических элементов одного генезиса. Поверхность слабонаклонная, слабо расчлененная	Несколько геоморфологических элементов разного генезиса. Поверхность сильно расчлененная. Склоны
Геологические	Не более двух литологических слоев с уклоном $\leq 0,1$, мощность выдержанная. Свойства грунтов меняются незначительно. Не-сущее основание – скальные монолитные грунты	Не более четырех литологических слоев. Мощность и характеристики грунтов изменяются закономерно. Скальные грунты с неровной кровлей, перекрытой нескальными грунтами	Более четырех слоев. В разрезе линзы, выклинивание слоев, тектонические нарушения. Состав и показатели свойств грунтов закономерно изменчивы. Скальные грунты: трещиноватые, кровля расчлененная, выветрелая
Гидрогеологические	Один выдержанный горизонт неагрессивных подземных вод	Два и более выдержанных горизонта, линзы слабоагрессивных (загрязненных) вод, наличие напорных вод	Горизонты подземных вод не выдержаны, сложное чередование водоносных и водоупорных пород, химический состав неоднородный или загрязненный
Опасные инженерно-геологические процессы	Отсутствуют	Имеют ограниченное распространение или не оказывают влияния на проектные решения, строительство и эксплуатацию объектов	Имеют широкое распространение или оказывают решающее влияние на проектные решения, строительство и эксплуатацию объектов
Специфические грунты (в основании фундамента)	Отсутствуют	Ограниченно распространены или не оказывают существенного влияния на проектные решения, строительство и эксплуатацию объектов	Широко распространены или оказывают решающее влияние на проектные решения, строительство и эксплуатацию объектов

Примечания.

1. Категорию сложности устанавливают по факторам, оказывающим максимальное влияние на объемы и стоимость инженерных изысканий согласно приложению.
2. Категории сложности в районах распространения многолетнемерзлых грунтов устанавливают по приложению А СП 22.13330.2012 [2].
3. Техногенные факторы (динамические воздействия, стесненность городской застройки, загрязнения и др.) учитываются по влиянию их на состав и методы получения исходной информации для проектирования, в зависимости от вида инженерных изысканий.

При отсутствии данных об активной зоне глубину горных выработок следует устанавливать в зависимости от типов фундаментов и нагрузок на них (этажности):

1) для ленточных и столбчатых фундаментов – по табл. 1.3 (табл. 6.3 СП 47.13330.2012) [2];

2) для свайных фундаментов – по табл. 5.11 СП 24.13330.2012 [2];

3) для плитных фундаментов – 1/2 ширины фундамента, но не менее 20 м от его подошвы;

4) для свайно-плитных фундаментов – по максимальной глубине с учетом требований, перечисленных в п. 2 и 3;

5) на участках распространения специфических грунтов не менее 30% горных выработок необходимо проходить на полную их мощность или до глубины, где наличие таких грунтов не будет оказывать влияния на устойчивость проектируемых зданий и сооружений;

6) при изысканиях на участках развития геологических и инженерно-геологических процессов выработки следует проходить на 3...5 м ниже зоны их активного развития и учитывать дополнительные требования соответствующих пунктов настоящего свода правил;

7) для массивов скальных грунтов глубина горных выработок устанавливается программой инженерных изысканий исходя из особенностей инженерно-геологических условий и характера проектируемых объектов.

Для типового проектирования линейных сооружений, глубину горных выработок и расстояние между ними принимают в соответствии с табл. 6.4 СП 47.13330.2012 (табл. 1.4) [2].

На участках индивидуального проектирования (возведения искусственных сооружений, выемок, насыпей и др.) для обоснования проектной документации расстояние между горными выработками и глубину следует принимать в соответствии с табл. 6.5 СП 47.13330.2012 (табл. 1.5) [2].

Мокрые выемки любой глубины и сухие выемки глубиной более 12 м сооружаются по индивидуальным проектам. Состав и объем инженерно-геологических изысканий при этом определяются программой работ в соответствии с техническим заданием.

Таблица 1.3

Рекомендуемые глубины горных выработок

Здание на ленточных фундаментах		Здание на столбчатых опорах	
Нагрузка на фундамент, кН/м (этажность)	Глубина горной выработки от подошвы фундамента, м	Нагрузка на опору, кН	Глубина горной выработки от подошвы фундамента, м
До 100 (1)	4...6	До 500	4...6
200 (2...3)	6...8	1000	5...7
500 (4...6)	9...12	2500	7...9
700 (7...10)	12...15	5000	9...13
1000 (11...16)	15...20	10 000	11...15
2000 (более 16)	20...23	15 000	12...19
		50 000	18...26

**Расстояние между скважинами и глубины горных выработок
для линейных сооружений**

Вид линейных объектов	Ширина полосы трассы, м	Расстояние между скважинами по трассе, м	Глубина скважин, м	
			До 5	На 2 м ниже нормативной глубины промерзания грунта
Железная дорога	200...500	350...500	До 5	На 2 м ниже нормативной глубины промерзания грунта
Автомобильная дорога	200...500	350...500	До 3	
Магистральный трубопровод	100...500	300...500	На 1...2 м ниже глубины заложения трубопровода	
Эстакада для наземных коммуникаций	100	100...200	3...7	
Воздушная линия связи и электропередачи напряжением, кВ: до 35; свыше 35	100...300 100...300	500...1000 500...1000	3...5 7...10	
Кабельная линия связи	50...100	500...1000	На 1...2 м ниже глубины заложения трубопровода (шпунта, острия свай)	На 1...2 м ниже нормативной глубины промерзания грунта
Водопровод, канализация, теплотрасса и газопровод	100...200	100...300		
Подземные коллекторы – водосточный и коммуникационный	100...200	100...200	На 2 м ниже предполагаемой глубины заложения коллектора (шпунта, острия свай)	

Примечания:

1. Минимальные расстояния следует принимать в сложных, а максимальные – в простых инженерно-геологических условиях.
2. На участках распространения специфических грунтов, развития опасных геологических процессов следует уменьшать расстояние между выработками и закладывать поперечники из 3...5 выработок.
3. Если в коридоре трассы предполагается проектирование нескольких линейных объектов, то число и глубину выработок устанавливают исходя из минимальных расстояний и максимальных глубин для соответствующих линейных объектов

При инженерно-геотехнических изысканиях должен быть выполнен необходимый и достаточный объем полевых и лабораторных испытаний, чтобы получить статистически обеспеченные физико-механические показатели ИГЭ (по ГОСТ 20522-96), необходимые для выделения расчетных геологических элементов и построения пообъектных геотехнических моделей исследуемого грунтового массива и расчета несущих элементов фундамента [12].

**Расстояние между скважинами и глубины горных выработок
на участках индивидуального проектирования**

Сооружения	Размещение горных выработок			Глубина горных выработок
	Расстояние по оси трассы, м	Расстояние		
		на поперечниках, м	между поперечниками, м	
Насыпи и выемки высотой (глубиной):				
До 12 м	100...300 и в местах перехода выемок в насыпи	25...50	100...300 (для выемок)	Насыпи: на 3...5 м ниже подошвы насыпи. Если основание сложено грунтами с 5 МПа, глубина 10...15 м. Выемки: на 1...3 м ниже глубины сезонного промерзания от проектной отметки дна
Более 12 м	50...100 и в местах перехода выемок в насыпи	10...25	50...100 (для выемок)	

В табл. 1.6 приведены виды лабораторных определений физико-механических свойств грунтов при инженерно-геологических и геотехнических изысканиях, требуемых к выполнению по национальным стандартам.

Таблица 1.6

Виды лабораторных определений физико-механических свойств грунтов

Лабораторное определение	Грунты				Обозначение национального стандарта на метод определения
	скальные	крупнообломочные	песчаные	глинистые	
1	2	3	4	5	6
Гранулометрический состав	–	+	+	С	12536-79
Петрографический состав	С	С	–	–	–
Минеральный состав	–	С	С	С	–
Валовой химический состав	С	–	С	С	–
Суммарное содержание легко- и среднерастворимых солей	С	С	С	С	–
Емкость поглощения и состав обменных катионов	–	–	–	С	–

1	2	3	4	5	6
Относительное содержание органических веществ	–	С	С	С	23740-79
Природная влажность	С	+	+	+	5180-84
Плотность	+	+	+	+	5180-84
Максимальная плотность (стандартное уплотнение)	–	С	С	С	22733-2002
Плотность в предельно плотном и рыхлом состояниях	–	С	С	–	–
Плотность частиц грунта	–	+	+	+	5180-84
Границы текучести и раскатывания	–	С	–	+	5180-84
Угол естественного откоса	–	–	С	–	–
Максимальная молекулярная влагоемкость	–	–	С	С	–
Коэффициент фильтрации	–	–	С	С	25584-90*
Размокаемость	С	–	–	С	–
Растворимость	С	–	–	–	–
Коэффициент выветрелости	С	С	–	–	–
Коррозионная активность	–	–	С	С	–
Компрессионное сжатие	–	С	С	+	12248-96
Трехосное сжатие	–	С	С	+	12248-96
Сопротивление срезу (прочность)	–	С	С	+	12248-96
Сопротивление одноосному сжатию	+	С	–	С	12248-96
Лабораторные испытания. Общие положения	+	+	+	+	30416-96

Примечание.

Обозначения: «+» – определения выполняются; «–» – определения не выполняются; «С» – определения выполняются по дополнительному заданию.

Если при выполнении инженерно-геотехнических изысканий получены данные, не соответствующие результатам инженерно-геологических изысканий, или обнаружены новые факторы, способные повлиять на принятие проектных решений, выполняются дополнительные инженерно-геологические работы и исследования.

Полевые испытания грунтов выполняют в соответствии с ГОСТ 30672-99 [31]. Выбор метода полевых испытаний зависит от состава, строения и состояния изучаемых грунтов, целей исследований, категории сложности инженерно-геологических условий, проектных нагрузок, глубины заложения, условий эксплуатации оснований зданий и сооружений, типов проектируемых фундаментов и методов их расчета.

Основные виды полевых исследований и условия их применимости приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Виды полевых исследований грунтов

Вид исследования	Задача исследования						Грунт		
	расчленение геологического разреза	установление закономерностей изменчивости характеристик	определение				крупнообломочный	песчаный	глинистый
			физических характеристик	деформационных характеристик	прочностных характеристик	показателей сопротивления грунтов основной свай			
Статическое зондирование	+	+	+	+	+	+	-	+	+
Динамическое зондирование	+	+	+	+	+	-	-	+	+
Испытания штампами	-	-	-	+	-	-	+	+	+
Испытания прессиометрами	-	+	-	+	-	-	-	+	+
Испытания на срез цилиндров грунта	-	-	-	-	+	-	+	+	+
Вращательный срез или кольцевой срез	-	+	-	-	+	-	-	-	+
Поступательный срез	-	+	-	-	+	-	-	+	+
Испытания эталонной сваей	-	-	-	-		+	+	+	+
Испытания сваями	-	-	-	-		+	+	+	+

Примечание.

Обозначения: «+» – исследования выполняются; «-» – исследования не выполняются.

Полевые испытания необходимо сочетать с другими способами определения состава, состояния и свойств грунтов (лабораторными, геофизическими) для интерпретации данных, выявления взаимосвязей между характеристиками грунта, определяемыми различными методами, и оценки их достоверности.

Прочностные характеристики дисперсных грунтов определяют, как правило, методом статического и динамического зондирования в соответствии с ГОСТ 19912-2001 [10]. Для ориентировочной оценки разжижения песков применяют динамическое зондирование.

Справочное издание

Ильичев Вячеслав Александрович
Мангушев Рашид Александрович
Богомолов Александр Николаевич
Болдырев Геннадий Григорьевич
Готман Альфред Леонидович
Готман Наталья Залмановна
Караулов Александр Михайлович
Мирсаяпов Илизар Талгатович
Невзоров Александр Леонидович
Никифорова Надежда Сергеевна
Парамонов Владимир Николаевич
Полищук Анатолий Иванович
Пономарев Андрей Будимирович
Потапов Александр Дмитриевич
Сахаров Игорь Игоревич
Тер-Мартirosян Завен Григорьевич

Усманов Рустам Алимджанович
Шашкин Алексей Георгиевич
Ананьев Андрей Александрович
Барвашов Валерий Александрович
Клевекко Владимир Иванович
Конюшков Владимир Викторович
Королев Константин Валерьевич
Королева Ирина Владимировна
Кошкина Наталия Викторовна
Ланько Сергей Владимирович
Маковецкий Олег Александрович
Никитина Надежда Сергеевна
Офрихтер Вадим Григорьевич
Перминов Николай Алексеевич
Насонов Сергей Борисович
Сапин Дмитрий Александрович

СПРАВОЧНИК ГЕОТЕХНИКА

Основания, фундаменты и подземные сооружения

Редактор: *В. Ш. Мерзлякова*
Компьютерная верстка: *В. Ю. Алексеев*
Компьют. дизайн обложки: *Н. С. Кузнецова*

Диапозитивы предоставлены издательством

Подписано в печать 1.12.2013. Формат 70×108 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.
Усл. 45,5 п. л. Заказ №

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации: оф. 511
тел., факс: (499) 183-56-83
<http://www.iasv.ru>, e-mail: iasv@mgsu.ru