**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и оценки соответствия в строительстве»**

Методическое пособие

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИИ ОТ ПРОЯВЛЕНИЯ КАРСТОВО-СУФФОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Москва 2017

gost.e-ecolog.ru

Содержание

	Введение	4
1	Общая часть	5
1.1	Область применения	5
1.2	Нормативные ссылки	7
1.3	Термины и определения	8
2	Основные положения	11
2.1	Типы и формы проявления карстово-суффозионных процессов	12
2.2	Классификация территорий по устойчивости к проявлению карстово-суффозионных процессов для строительства	18
2.3	Основные положения по оценке карстовой опасности	21
2.4	Основные расчетные предпосылки	21
2.5	Виды противокарстовых мероприятий	23
3	Инженерно-геологические изыскания	25
3.1	Особые требования к изысканиям	25
3.2	Полевые исследования	27
3.3	Оценка карстовой опасности по результатам изысканий	31
4	Проектирование геотехнических противокарстовых мероприятий	34
4.1	Виды геотехнических противокарстовых мероприятий	34
4.2	Состав проекта	41
4.3	Конструктивные требования	43
4.4	Материалы и растворы	46
4.5	Назначение требуемых расчетных показателей и контролируемых параметров проектируемых геотехнических противокарстовых мероприятий	54
4.6	Технологические особенности выполнения геотехнических работ	61
4.7	Организация и контроль качества выполнения работ	73
4.8	Охрана труда и техника безопасности при выполнении геотехнических противокарстовых мероприятий	83
5	Геотехнический мониторинг при проведении противокарстовых мероприятий, строительстве и эксплуатации объектов на закарстованных территориях	85
	Список литературы	90
	Приложение 1. Рекомендуемые виды и объемы работ при инженерно-геологических изысканиях в карстовых районах	93
	Приложение 2. Примеры расчетов требуемой мощности усиления/закрепления грунта	98
	Приложение 3. Примеры расчетов объемов инъецируемого раствора при усилении грунтов с применением технологии гидроразрывов	104
	Приложение 4. Схемы массивов из закрепленного грунта и	

примеры расчетов массивов закрепленного грунта 106
Приложение 5. Технология закрепления грунта методом манжетной инъекцией 115
Приложение 6. Химические добавки для ускорения схватывания 117
Приложение 7. Способы выбора микроцемента для закрепления песков 118
Приложение 8. Определение объема цементного раствора, необходимого для обеспечения расчетного радиуса закрепления песка 120
Приложение 9. Акт освидетельствования скрытых работ 122
Приложение 10. Журнал по бурению инъекционных скважин 123
Приложение 11. Журнал по инъекции раствора 124
Приложение 12. Регламент работ по проектированию и выполнению геотехнических противокарстовых мероприятий на территориях с возможным проявлением карстово-суффозионных процессов 125

Введение

В настоящих методических рекомендациях (далее по тексту Рекомендации) приведены сведения и указания по проектированию, технологии и производству работ по геотехническим мероприятиям, выполняемым в рамках инженерной защиты территории от проявления карстово-суффозионных процессов.

При разработке Рекомендаций учтен опыт инженерных изысканий, проектирования и производства работ по закреплению закарстованных грунтов Всесоюзного объединения «Гидроспецстрой», институтов «Гидроспецпроект», ГПИ «Фундаментпроект», «БашНИИстрой», ГУП «Мосгоргеотрест», ЗАО «СтройНИТ» и других организаций.

Рекомендации предназначены для инженерно-технических работников строительных и проектных организаций.

Рекомендации разработаны авторским коллективом НИИ оснований и подземных сооружений имени Н.М. Герсеванова в составе: д. т. н. Готман А.Л., д. т. н. Готман Н.З., д. т. н. Шейнин В.И., к. т. н. Ибрагимов М.Н. к. т. н. Семкин В.В., к. т. н. Шапошников А.В., к. т. н. Ковалев В.А., к. т. н. Ростовцев А.В., к. т. н. Труфанов А.Н., к. т. н. Зехниеев Ф.Ф., к. т. н. Внуков Д.А., инж. Патрикеев А.Б., под общей редакцией к. т. н. Колыбина И.В. и к. т. н. Шулятьева О.А.

1 Общая часть

Настоящие Рекомендации разработаны в развитие: главы 6.12 СП 22.13330.2016. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений»; главы 8 СП 116.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения».главы 16 СП 45.13330.2014, Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 «Земляные сооружения. Основания и фундаменты»; СП 47.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»; «Рекомендации по закреплению растворами закарстованных грунтов в основании гражданских и промышленных сооружений», НИИОСП 1985 г; «Рекомендации по укрепительной цементации закарстованных грунтов оснований зданий и сооружений. 1 редакция», БашНИИстрой, Уфа – 2006.

Рекомендации разработаны на основании требования раздела 6.12 СП 22.13330.2016 с учетом положений главы 8 СП 116.13330.2012.

1.1 Область применения

Рекомендации распространяются на проектирование, производство и контроль работ по геотехническим мероприятиям инженерной защиты территории от проявления карстово-суффозионных процессов.

Рекомендации подготовлены для следующих видов геотехнических противокарстовых мероприятий:

- заполнение (тампонаж) карстовых полостей в карстующихся породах;

- закрепление трещиноватых зон в карстующихся породах;

- закрепление зон разрыхления и заполнение (тампонаж) полостей в толще над карстующимися породами;

- усиление грунтов над карстующимися породами путем армирования, создания массива из закрепленного грунта или повышение его жесткости за счет изменения напряженно-деформированного состояния.

Рекомендации распространяются на геотехнические мероприятия инженерной защиты территории для:

- вновь строящихся и реконструируемых зданий и сооружений, расположенных на территориях опасных и потенциально-опасных в карстово-суффозионном отношении;

- существующих зданий и сооружений нормального и повышенного уровня ответственности, расположенных на территориях опасных и потенциально-опасных в карстово-суффозионном отношении, вблизи которых выявлены проявления карстовых деформаций;

- существующих зданий и сооружений нормального и повышенного уровня ответственности, расположенных на территориях опасных и потенциально-опасных в карстово-суффозионном отношении, в основаниях которых в рамках капитального ремонта здания/сооружения или строительства объекта на соседнем участке (определяется прогнозом изменения геологических условий) может произойти изменение гидрогеологических условий, приводящих к возможности активизации карстово-суффозионных процессов.

Геотехнические мероприятия инженерной защиты зданий и сооружений, расположенных на территориях опасных и потенциально-опасных в карстово-суффозионном отношении рекомендуется выполнять в следующих случаях:

- наличие на поверхности земли провалов или следов в виде воронок и оседаний. независимо от их геометрической формы и размеров;

- расположение участков в зонах тектонических нарушений;

- расположение участков в пределах древних погребенных речных долин, и особенно доледниковых;

- наличие интенсивной вертикальной фильтрации подземных вод, связанных с нарушением их режима и разностью напоров водоносных горизонтов;

- отсутствие водоупора над кровлей карстующихся пород или незначительная мощность водоупора;

- наличие в карстующейся породе полостей лишенных заполнителя (фиксируемых как провалы бурового инструмента) или с заполнителем, трещиноватость и выветрелость породы, вплоть до глыб, щебня и муки;

- наличие специфических грунтов, нерегулярное залегание (косослой, выклинивание и др.), состояние и свойства грунтов над карстующимися породами (разуплотненные зоны, нарушенные слои, смещение слоев по отношению к соседним участкам и т. д.).

Геотехнические мероприятия инженерной защиты зданий и сооружений следует предусматривать в иных инженерно-геологических условиях при соответствующем проектном и технико-экономическом обосновании.

1.2 Нормативные ссылки

В настоящих Рекомендациях приведены ссылки на следующие нормативные документы и справочные материалы.

СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства

СП 11-104-97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства (ч. I)

СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. (ч. I–VI)

СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения

СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов

СП 22.13330.2016 СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений

СП 45.13330.2012. Земляные сооружения, основания и фундаменты

Инструкция по проектированию зданий и сооружений в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов. МОСГОРГЕОТРЕСТ, М. 1984

Пособие по производству работ при устройстве оснований и фундаментов (к СНиП 3.02.01-83). НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, М. 1986

Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01-83). НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, М. 1986

Проектирование зданий и сооружений на закарстованных территориях республики Башкортостан. БашНИИСтрой, Уфа, 2012

Рекомендации по закреплению растворами закарстованных грунтов в основании гражданских и промышленных объектов. НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, М. 1985

Рекомендации по проектированию фундаментов на закарстованных территориях. НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, М. 1985

Рекомендации по лабораторному физическому моделированию карстовых процессов. ПНИИИС. М. 1984

Рекомендации по проведению инженерно-геологических изысканий карстовых областей Черноморского побережья СССР. ПНИИИС М. 1986

Рекомендации по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты. ПНИИИС М. 1987

Цементация скальных оснований гидротехнических сооружений. ВСН 34-83. 1984

1.3 Термины и определения

В настоящих рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями.

Активная зона: зона в основании сооружения, расположенная в пределах сжимаемой толщи, определяемой в соответствии с требованиями СП 22.13330.2016.

Водоупор, или водоупорный слой грунта: маловодопроницаемый слой грунта, фильтрацией подземных вод через который можно пренебречь.

Геотехнический мониторинг: комплекс работ, основанный на натурных наблюдениях за поведением конструкций вновь возводимого или реконструируемого сооружения, его основания, в т.ч. грунтового массива, окружающего (вмещающего) сооружение, и конструкций сооружений окружающей застройки.

Гидроразрыв грунта: образование трещин в массиве грунта при инъекции растворов.

Длина скважины: расстояние от устья до забоя по оси скважины.

Забой скважины: низ (дно) скважины.

Закрепление грунта: улучшение механических и физических свойств грунта путем введения в грунт твердеющих растворов в режиме пропитки или перемешивания.

Зона инъекции: ограниченный интервал в скважине, через который производится нагнетание раствора (воды) в грунт.

Инженерно-геотехнические изыскания: комплекс геотехнических работ и исследований с целью получения исходных расчетных значений для проектирования фундаментов, опор и др. на участках размещения объектов капитального строительства и индивидуального проектирования, необходимых и достаточных для построения расчетной геомеханической модели взаимодействия зданий и сооружений с основанием.

Инженерно-геологический процесс: изменение компонентов геологической среды во времени и в пространстве под воздействием природных и техногенных факторов.

Карст: комплексный геологический процесс, обусловленный растворением подземными и (или) поверхностными водами горных пород, проявляющийся в их разрушении, образовании пустот и каверн, изменении напряженно-деформированного состояния пород, динамики, химического состава и режима подземных и поверхностных вод, в развитии суффозии (механической и химической), эрозий, оседаний, обрушений и провалов грунтов и земной поверхности.

Карстово-суффозионные процессы: взаимосвязанное развитие карстового процесса и суффозия грунта в растворимой породе.

Манжетная инъекция: способ инъекции крепящего раствора в грунт через скважины, оборудованные манжетными колоннами или инъекторами, позволяющий неоднократно и в любой последовательности обрабатывать зоны (интервалы) в массиве грунта.

Манжетная колонна: труба с отверстиями, расположенными через 0,33 или 0,5м, защищенными обратными клапанами для выполнения инъекции твердеющего раствора в грунт.

Материалы инженерных изысканий: фактические данные, полученные в процессе выполнения инженерных изысканий, являющиеся основой результатов инженерных изысканий, представленных в виде отчетной технической документации.

Отказ при нагнетании: снижение расхода раствора до минимально допустимой величины при заданном давлении.

Провал: обрушение грунта в карстовую полость или в горную выработку в результате нарушения устойчивости свода или суффозионного выноса вышезалегающего грунта, сопровождаемое нарушением сплошности грунтов и деформаций земной поверхности.

Стационарные наблюдения: регулярные наблюдения за изменениями факторов (компонентов) природной среды или техногенными объектами в заданных пунктах.

Суспензия (водная): смесь воды и компонентов из твердых частиц (цемент, глина, зола-уноса, молотый песок) и химических добавок.

Суффозия: разрушение и вынос потоком подземных вод отдельных компонентов и крупных масс дисперсных и сцементированных обломочных пород, в том числе слагающих структурные элементы грунтового массива.

Тампон (пакер): конструкция для изоляции зоны скважины и инъекции раствора.

Тампонаж: заполнение пустот и трещин твердеющим инъекционным раствором с целью омоноличивания и снижения водопроницаемости породы.

Тампонажный раствор: твердеющий водный раствор на основе вяжущего, применяемый для закрепления несвязных грунтов, уплотнения пустот и трещиноватых пород.

Усиление грунта: улучшение механических свойств грунта путем закрепления, уплотнения, армирования или изменения НДС массива грунта.

Цементация грунтов: изменение физико-механических свойств грунтов с помощью цементных растворов, нагнетаемых в грунт по технологиям: инъекционная, струйная или буросмесительная.

2 Основные положения

Категорию карстово-суффозионной опасности участка следует оценивать в соответствии с требованиями раздела 6.12 СП 22.13330.2016.

Основными критериями отнесения района к территории возможного проявления карстово-суффозионных процессов следует считать наличие четырех основных условий развития карста:

- наличие растворимых карстующихся пород;
- водопроницаемость карстующихся пород;
- отсутствие водоупора, перекрывающего водорастворимые породы;
- наличие градиента вертикальной фильтрации.

Внешними (видимыми) признаками карстовой опасности (наличия карстово-суффозионных процессов) являются характерные поверхностные формы проявления карста: воронки, депрессии, провалы, колодцы, шахты, пещеры, очаги концентрированной разгрузки карстовых вод и поглощения поверхностного стока и др.

Рекомендации по выбору мероприятий противокарстовой защиты, включая геотехнические, в зависимости от степени карстовой опасности приведены в разделе 4.

2.1 Типы и формы проявления карстово-суффозионных процессов

2.1.1 Карст вызывает совокупность природных геологических и инженерно-геологических процессов, связанных с деятельностью подземных вод, вызывающих выщелачивание растворимых горных пород (известняков, доломитов, гипса, каменной соли) и образование трещин, каверн, полостей разных размеров и других карстовых форм, нередко заполненных более поздними осадками. Образование карстовых форм и заполнение их в

последующем осадками поверхностных пород сопровождается часто провалами, оседаниями и образованиями на земной поверхности воронок, озер и других впадин.

2.1.2 Развитие карста с образованием карстовых полостей, достигающих значительных размеров в зависимости от вида и степени растворимости породы, продолжительности и интенсивности процесса динамики растворения, связано, прежде всего, с растворением соединений, входящих в состав карстующихся пород и выносом их в растворенном состоянии по трещинам.

2.1.3 В зависимости от расположения карстующихся пород относительно земной поверхности карст подразделяется на:

- открытый тип карста, когда карстующиеся породы выходят практически на дневную поверхность (возможно лишь покрыты почвенным слоем);

- покрытый тип карста, когда карстующиеся породы покрыты толщей четвертичных отложений, представленных песчаными и глинистыми грунтами.

2.1.4 Покрытый тип карста в зависимости от глубины залегании карстующихся пород относительно фундамента сооружения делится на:

- неглубокий карст, при залегании карстующихся пород в пределах активной зоны;

- глубокий карст, при залегании карстующихся пород за пределами активной зоны.

2.1.5 Карстовая опасность для открытого типа карста обусловлена возможными провалами, которые могут происходить в результате размыва и разрушения структуры карстовых форм или воздействия нагрузок от строящихся сооружений, а так же различных геотехнических воздействий.

2.1.6 Карстовая опасность для покрытого типа карста обусловлена возможными провалами, которые могут происходить в зависимости от вида карстующейся породы по двум вариантам:

- в труднорастворимых карбонатных породах (известняк, доломит и мел) карстовые провалы образуются преимущественно в результате карстово-суффозионных процессов с перемещением покровного грунта в имеющиеся карстовые формы.

- в среднерастворимых сульфатных (гипсы, ангидриты) и легкорастворимых хлоридных (каменная, калийная соль) породах провалы формируются как за счет гравитационного обрушения массива покровного грунта в полости, увеличивающиеся в объеме до критических размеров в результате растворения породы за относительно короткий период эксплуатации сооружения, так и карстово-суффозионных процессов с перемещением покровных отложений в карстовые формы и трещины.

2.1.7 Главные причины, способствующие активизации карстово-суффозионных процессов в городских условиях, могут быть следующие:

- усиленные откачки подземных вод, в том числе из закарстованных грунтов в промышленных целях, в результате которых на территории создается большая депрессионная воронка, изменяющая весь гидрогеологический режим;

- катастрофические замачивания покровных грунтов ливневыми и техногенными водами;

- отсутствие или недостаточная мощность водоупорного слоя глин над карстующимися породами, отделяющего водонасыщенныеи достаточно водопроницаемые четвертичные отложения от закарстованных пород, вследствие чего возникает вертикальная фильтрация подземных вод в закарстованные породы;

- значительные скорости фильтрации подземных вод эксплуатируемых водоносных горизонтов и др.

2.1.8 По виду карст подразделяется по литологическим признакам на карбонатный с подтипами известняковый, доломитовый и меловой (послед-

ний рассматривается отдельно ввиду специфических особенностей),сульфатный (гипсы и ангидриты) и соляной (каменная, калийная соли).

2.1.9 Карбонатный карст в породах известняка, доломита, мела, мергеля распространен наиболее широко. По степени растворимости карбонатные породы согласно ГОСТ 25100-2010, относятся к труднорастворимым (0,01-1 г/л). В естественных условиях растворение пород происходит медленно, поэтому возможность образования и роста карстовых полостей за период эксплуатации зданий и сооружений практически может не учитываться, если не предполагается техногенное воздействие от существующих или строящихся вблизи промышленных, главным образом, химических предприятий.

2.1.10 Меловой карст является разновидностью карбонатного. Растворимость мела, как и других карбонатных пород, мала, в связи с этим развитие мелового карста происходит довольно медленно. Для мела характерно понижение несущей способности при увлажнении. Коэффициент фильтрации трещиноватого мела может быть очень высоким, достигая десятков и более метров в сутки. Возможна активизация мелового карста, связанная с хозяйственной деятельностью, в частности, с нарушением гидродинамической и гидрохимической обстановки.

2.1.11 Сульфатный карст в гипсах и ангидритах часто встречается в сочетании с карбонатным и распространен достаточно широко. Растворимость пород значительна и может достигать при благоприятных природных условиях до 10 г/л. Согласно ГОСТ 25100—82 гипсы и ангидриты относятся к среднерастворимым. В связи с этим возможна активизация карста за период эксплуатации зданий и сооружений в результате изменения гидрогеологических условий с ростом существующих и образованием новых карстовых форм.

2.1.12 Соляной карст, формирующийся в легкорастворимых хлоридных породах (каменная, калийная соль), очень опасен, поскольку растворение пород идет очень быстро (растворение каменной соли достигает 318 г/л и со-

гласно ГОСТ 25100-2010 относится к легко растворимым) и за короткий период образуются провалы и медленные оседания значительных площадей поверхности, которые вызывают недопустимые деформации, что приводит к разрушению зданий и сооружений.

2.1.13 Выделяют следующие формы проявления карстово-суффозионных процессов:

- поверхностные – оседания поверхности, проседания, просадки поверхности, провалы (таблица 2.1.);

- подземные – полости, зоны перемещения, ослабленные зоны, понижения в кровле карстующихся пород (таблица 2.2).

Таблица 2.1

Поверхностные формы проявления карстово-суффозионных процессов					
Без нарушения сплошности пород		С нарушением сплошности пород			
Оседания (уклон поверхности менее 20 мм/м)	Проседания (уклон поверхности более 20 мм/м)	Просадки (глубина менее 0,5 м)	Провалы (глубина более 0,25 м)		
			Конические	Цилиндрические	Сводообразные

Таблица 2.2

Подземные формы проявления карстово-суффозионных процессов							
Ограниченные в пространстве					Не имеющие четких границ		
Полости			Зоны перемещения		Ослабленные зоны		Понижения в кровле карстующихся пород
В карстующихся породах	В покрывающих породах		Заполнитель полостей в карстующихся породах	Покрывающих пород	Зоны дезинтеграции в карстующихся породах	Зоны разуплотнения в покрывающих породах	
	Водонасыщенных	Неводонасыщенных		Зоны фильтрационного разрушения	Зоны гравитационного сдвижения		

2.1.14 Карстовые провалы – деформации поверхности с нарушением сплошности поверхности, формирующиеся вследствие обрушения (мгновенного или за короткий срок) толщи грунтов над полостями в карстующихся породах или над карстующимися породами, приводящие к провальным мгновенным деформациям зданий и сооружений. Размер провалов может варьировать: диаметр – от нескольких метров до сотен метров, глубина – до нескольких десятков метров.

2.1.15 Карстовые оседания – деформации поверхности без нарушения сплошности поверхности – плавные мульды оседания без нарушения или с незначительным нарушением сплошности, не приводящие к провальным мгновенным деформациям зданий и сооружений. Размер мульды оседания может варьировать: диаметр – от нескольких метров до десятков метров, глубина – до нескольких метров.

2.1.16 Карстовые просадки – деформации основании зданий и сооружений, протекающие мгновенно или за короткий период времени, частный случай провалов меньших размеров с диаметром до 1–2 м, глубиной до 0,5 м.

2.1.17 Все формы проявлений карстово-суффозионных процессов приводят к карстовым деформациям. Карстовые деформации характеризуются различными параметрами: диаметрами карстовых провалов и оседаний, их средней глубиной, а для карстовых оседаний, кроме того, кривизной земной поверхности и наклоном краевых участков зоны оседания.

2.1.18 Параметры карстовых деформаций определяют расчетом с использованием численных и аналитических методов на основе анализа инженерно-геологических и гидрогеологических условий с учетом их возможных изменений за нормативный срок эксплуатации сооружений.

2.1.19 Подземные проявления карстовых процессов характеризуются зонами разуплотнения и пустотами в толще над карстующимися породами, которые являются или предшественниками поверхностных карстопроявле-

ний или их последствием. Их наличие следует учитывать как при строительстве, так и эксплуатации зданий и сооружений.

2.2 Классификация территорий по устойчивости к проявлению карстово-суффозионных процессов для строительства

2.2.1 Карстовая опасность площадок строительства должна оцениваться в соответствии с требованиями раздела 6.12 СП 22.13330.2016. Установлены 3 категории опасности площадок строительства в карстово-суффозионном отношении: опасная, потенциально опасная и неопасная.

2.2.2 Опасные районы характеризуются следующими определяющими признаками:

- наличием на поверхности земли проявлений карстово-суффозионных процессов в виде воронок и оседаний, а также наличие зон сильно раздробленных и интенсивно выщелоченных для карбонатных пород;

- сильной закарстованностью пород, проявляющейся в виде карстовых полостей размером более 1 метра, расположенных неглубоко по отношению к кровле карстующихся пород, незаполненных или заполненных слабым переотложенным материалом (особенно четвертичного возраста), а также в наличии зон сильно раздробленных и интенсивно выщелоченных пород;

- отсутствием или прерывистым распространением, а так же незначительной мощностью, как правило, до 2–3 м, водоупоров в покровной толщи в пределах участка или территории;

- наличием вертикальной фильтрации высокой интенсивности в покровных отложениях и интенсивной горизонтальной фильтрацией вод, создающие условия для суффозионного выноса рыхлых отложений в закарстованные породы с градиентом вертикальной фильтрации $i \geq 3$;

- образованием в процессе бурения провальных воронок вокруг стволов скважин в результате прорезания водоупоров и суффозионного выноса

песков в карстующиеся породы, провалов бурового инструмента более 1 м в толще вскрываемой карстующейся породе (более 10%);

- наличием температурных и гидрохимических аномалий в подземных водах, свидетельствующих об интенсивном вертикальном перетоке и нарушении режима подземных вод.

2.2.3 Потенциально-опасные районы характеризуются следующими определяющими признаками:

- отсутствием на поверхности земли проявлений карстово-суффозионных процессов в виде воронок и оседаний, а также наличие зон сильно раздробленных и интенсивно выщелоченных для карбонатных пород;

- закарстованностью пород, проявляющейся в виде карстовых полостей размером не более 1 метра, расположенных неглубоко по отношению к кровле карстующейся породы;

- отсутствием или прерывистым распространением, а так же незначительной мощностью водоупоров, как правило, до 10 м, в покровной толщи в пределах участка или территории;

- наличием вертикальной фильтрации средней интенсивности в покровных отложениях и интенсивной горизонтальной фильтрацией вод, создающие условия для суффозионного выноса рыхлых отложений в закарстованные породы с градиентом вертикальной фильтрации $i = 1 - 3$;

- наличием в процессе бурения провалов бурового инструмента до 1 м в толще вскрываемой карстующейся породе (в объеме 10% от вскрываемой толщи).

2.2.4 Неопасные районы характеризуются следующими определяющими признаками:

- отсутствием поверхностных проявлений карстово-суффозионных процессов в виде воронок и оседаний;

- отсутствием подземных проявлений карстово-суффозионных процессов;

- наличием водоупора мощностью более 10 м, в покровной толщи в пределах участка или территории;

- наличием вертикальной фильтрации с градиентом вертикальной фильтрации $i \leq 1$;

- отсутствием в процессе бурения провалов бурового инструмента.

2.2.5 В соответствии с требованиями СП 47.13330.2012. районирование территории по устойчивости к проявлению карстово-суффозионных процессов проводится по среднегодовой интенсивности образования карстовых провалов. Для целей проектирования ниже приводится таблица, в которой выполнено сопоставление категорий карстоопасности по СП 22.13330.2016 и СП 47. 13330.2012. Сопоставление между категориями районирования, предлагаемыми в СП 22.13330.2016 и СП 47.13330.2012 приведено в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Категория степени опасности СП 22.13330.2016	Категории устойчивости территорий относительно интенсивности карстовых деформаций (провалов) СП 47.13330.2012
Опасная	–II
Потенциально опасная	III–V*
Неопасная	V*–VI

* По результатам изысканий территории с категорией устойчивости V, назначенной по результатам предварительной оценки могут быть отнесены как к категории неопасной, так и потенциально-опасной в карстово-суффозионном отношении, на основании требований п. 6.12.8 СП 22.13330.2016.

В связи с многообразием возможных особенностей карстопроявлений для целей проектирования допускается использовать региональные классификации районирования территории по устойчивости к проявлению карстово-суффозионных процессов [18,19,20 и др.] с обязательным учетом требований СП 22.13330.2016.

2.3 Основные положения по оценке карстовой опасности

2.3.1 Оценка территорий по степени опасности проявлений карстово-суффозионных процессов выполняется на основании анализа результатов инженерно-геологических изысканий по данным маршрутных наблюдений, глубокого бурения (50–120 м) и геофизических изысканий, а также с учетом требований раздела 6.12 СП 22.13330.2016.

2.3.2 Оценка территорий по степени опасности проявлений карстовых провалов и карстово-суффозионных процессов должна выполняться в 2 этапа:

- этап 1 – предварительная оценка – выполняется на основании анализа закарстованности участка по имеющимся данным материалов архивных изысканий, карт районирования, наличии поверхностных проявлений карстовых деформаций;

- этап 2 – оценка карстовой опасности по результатам изысканий, выполняемых по результатам предварительной оценки (этап 1).

2.3.3 Этап 2 оценки карстовой опасности выполняется на участках, для которых на этапе 1 была установлена опасная или потенциально-опасная категория.

2.3.4 Категория опасности участка строительства в карстово-суффозионном отношении определяется на основании требований раздела 2.2.

2.4 Основные расчетные предпосылки

2.4.1 Объектам строительства на закарстованных территориях следует уделять повышенное внимание на всех стадиях освоения площадки и эксплуатации сооружений, включая инженерно-геологические изыскания, проектирование, строительство и эксплуатацию.

На стадии проектирования необходимо:

- все работы выполнять строго в соответствии с заданием на проектирование и необходимыми исходными данными;

- учитывать уровень ответственности сооружения в соответствии с требованиями федерального закона от 30 декабря 2009 г. №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»;

- учитывать воздействие нового строительства или реконструкции на окружающую среду;

- при проектировании сооружений повышенного уровня ответственности (КС-3), или их реконструкции предусмотреть выполнение геотехнического мониторинга и научно-технического сопровождения строительства;

- при проектировании уникальных сооружений объем мероприятий противокарстовой защиты назначать в соответствии со специальными техническими условиями, разрабатываемыми научно-исследовательской, или другой организацией, обладающей научно-техническим потенциалом и опытом практической работы в данной области.

2.4.2. Проектирование противокарстовой защиты должно выполняться на основании исходных данных о карстовой опасности территории и прогнозируемых видах (провал, оседание и др.) и размерах карстопроявлений и карстовых деформаций. При этом следует учитывать особенности, выявленные в процессе инженерно-геологических изысканий.

- тип карста;

- формы и механизм формирования подземных и поверхностных карстопроявлений;

- устойчивости основания относительно прогнозируемых проявлений карстово-суффозионных процессов;

- особенности гидрогеологических условий;

- пониженную прочность закарстованных пород в покровной толще и отложений, заполняющих погребенные и поверхностные карстовые формы (воронки, полости и т.д.);

- активизацию карстовых процессов, в том числе в результате техногенного воздействия;

- наличие в надкарстовых отложениях зон разуплотнения, пустот и специфических грунтов.

2.5 Виды противокарстовых мероприятий

2.5.1. Для защиты сооружений на закарстованных территориях следует предусматривать мероприятия, обеспечивающие эксплуатационную устойчивость и сохранность их на период строительства и эксплуатации. К защитным мероприятиям, рекомендуемым СП22.13330.2016 относятся следующие:

1) Конструктивные мероприятия – осуществляются путем проектирования плоских или ребристых фундаментных плит, перекрестных ленточных фундаментов, в том числе с консольными удлинениями за пределы сооружений, применением жесткого каркаса здания, повышением жесткости конструктивной системы здания горизонтальными и вертикальными связями и поясами.

Конструктивная защита сооружений является пассивной, поскольку не влияет на текущий ход карстово-суффозионных процессов в породах в основании. Она, при возникновении под фундаментами заданных проектом расчетных размеров провалов, предназначена обеспечивать сохранность сооружения.

2) Водозащитные мероприятия, включая планировку территории – осуществляются путем отвода поверхностных и грунтовых вод от карстующихся пород.

Водозащитные мероприятия носят активный характер, поскольку могут влиять на текущий ход карстово-суффозионных процессов в карстующихся породах и основании сооружений.

3) Геотехнические мероприятия – могут выполняться несколькими способами:

- заполнение (тампонаж) карстовых полостей и закрепление трещиноватых закарстованных пород, закрепление грунтов вышележащих покровных отложений;

- тампонаж поверхностных карстовых проявлений, в том числе в основании сооружения;

- прорезка сваями карстующихся пород с передачей нагрузок от сооружений на нижележащие грунты.

Тампонаж карстовых полостей и закрепление грунтов покровных отложений пород является активным мероприятием и позволяет остановить развитие существующих карстовых форм и предотвратить развитие образование карстово-суффозионных процессов в покровных отложениях.

Прорезка сваями карстующихся пород позволяет исключать деформации сооружений при любых карстовых проявлениях и является конструктивной формой защитных мероприятий, так как исключает карстовую опасность для сооружения на весь период строительства и эксплуатации.

2.5.2 В настоящих рекомендациях рассматриваются следующие виды геотехнических мероприятий:

- тампонаж и закрепление карстующихся пород;

- усиление грунтов над карстующимися породами.

Проектирование свайных фундаментов зданий и сооружений на территориях опасных и потенциально-опасных в карстово-суффозионном отношении следует выполнять в соответствии с положениями СП 24.13330.2011 с учетом положений СП 22.13330.2016.

3 Инженерно-геологические изыскания

3.1 Особые требования к изысканиям

3.1.1 В соответствии с требованиями СП 47.13330.2012 изыскания в районах развития карста должны проводится с учетом типа карста по составу пород (карбонатный, сульфатный или хлоридный), вида карста по условиям залегания (открытый или покрытый не растворимыми породами), а также возраста (древний или современный) и гидрогеологических условий территории.

3.1.2 При проведении изысканий в районах развития карбонатного карста основные усилия должны быть направлены на выявление уже сформировавшихся карстовых форм (их положения и параметров), а также сети трещин, влияющих на водопроницаемость массива.

При производстве изысканий в районах развития сульфатного карста, характеризующегося высокой скоростью процесса растворения (несколько лет или десятилетий), дополнительно необходимо исследовать условия и скорость растворения пород.

При изучении хлоридного (соляного) карста для оценки интенсивности процесса необходимо специальное изучение режима подземных вод (активности водообмена, насыщенности соляных растворов), а также соляно-купольной тектоники.

3.1.3 Основными задачами инженерно-геологических изысканий в карстовых районах являются:

- районирование и микрорайонирование (зонирование) территории с выделением границ различной степени карстоопасности с определением категории устойчивости относительно карстовых деформаций;

- установление степени опасности воздействия карста на сооружения, экологическую и социально-экономическую обстановку;

- составление прогноза развития карста на период строительства и эксплуатации проектируемых объектов с учетом возможных техногенных воздействий;

- определение необходимых параметров для разработки мероприятий противокарстовой защиты.

3.1.4 Инженерно-геологические изыскания на закарстованных территориях выполняются в соответствии со СП 47.13330.2012 в три стадии:

- для подготовки документов по планировке территории и выбора площадки строительства или варианта трассы (технико-экономическое сравнение вариантов, разработка генплана, обоснование инвестиций);

- для разработки технической документации на стадии проектной документации «П»;

- для разработки технической документации на стадии рабочей документации «Р»;

- для разработки технической документации на стадии размещения здания, сооружения или варианта трассы (инженерно-геотехнические изыскания).

3.1.5 Целью инженерно-геологических изысканий для подготовки документов по планировке территории и выбора площадки строительства или варианта трассы является общая оценка степени закарстованности территории и схематическое районирование территории по категориям устойчивости относительно возможных проявлений карстово-суффозионных процессов как основы для оптимального размещения проектируемого объекта.

3.1.6 Целью инженерно-геологических изысканий на стадии разработки проекта является изучение условий и факторов развития карстовых процессов и получение количественных значений критериев и

признаков устойчивости для районирования территории по категориям устойчивости относительно карстовых провалов.

3.1.7 Целью инженерно-геологических изысканий на участке размещения здания, сооружения или варианта трассы (инженерно-геотехнические изыскания) является уточнение факторов, наиболее активно влияющих на скорость развития карста; выявление и определение основных параметров карстовых полостей, ослабленных или целиковых зон и прогноз развития карста и суффозии в толще карстующихся пород с целью зонирования (микрорайонирования) участка по степени карстовой опасности, а также для разработки проекта противокарстовой защиты.

3.1.8 Итоговый отчет об изысканиях на участках отдельных зданий и сооружений должен отражать помимо сведений, предусмотренных нормативными документами по инженерно-геологическим изысканиям для обычных условий, следующие данные:

- характеристику состояния и развития карстового процесса;
- сведения о расчетных параметрах карстовых провалов и оседаний;
- оценку максимальных размеров карстовой полости;
- сведения об опыте эксплуатации существующих зданий и сооружений, характере и причинах имеющихся деформаций;
- прогноз изменения карстовой обстановки и карстовой опасности в пределах конкретных зданий и сооружений.

3.2 Полевые исследования

3.2.1 Предпроектные инженерно-геологические изыскания в районах развития карста следует проводить с детальностью, соответствующей масштабам карт инженерно-геологического районирования в соответствии с п. 6.2.8 СП 47.13330.2012. По согласованию с заказчиком на отдельных участ-

ках изыскания могут выполняться с большей детальностью, соответствующей стадии проект.

3.2.2 Полевые и лабораторные работы на этой стадии изысканий следует выполнять в случае недостаточности информации о закарстованности территории, а также при проектировании сооружений повышенного уровня ответственности.

3.2.3 На основе выполненных изысканий должны быть установлены основные закономерности и тенденции развития карстового процесса, проведено предварительное инженерно-геологическое районирование и оценка подземной и поверхностной закарстованности и устойчивости территории относительно карстопроявлений с перспективой уточнения и детализации на следующем этапе изысканий.

К отчету прилагается карта-схема закарстованности площадки или (при выполненных полевых работах) схематическая карта районирования территории по категориям устойчивости относительно карстовых провалов или по интегральному показателю в масштабе 1:25 000 или 1:10 000.

3.2.4 В состав изысканий на стадии проект входят сбор, анализ и обобщение материалов ранее выполненных изысканий, инженерно-геологическая съемка, маршрутное карстологическое обследование, геофизические исследования и горно-буровые работы, полевые исследования физико-механических свойств грунтов, опытно-фильтрационные (гидрогеологические) работы, наблюдения за режимом подземных вод, лабораторные исследования.

3.2.5 Количество скважин, предназначенных для изучения карста на больших глубинах, при выполнении изысканий для разработки проекта, рекомендуется назначать в объеме 15–20% от требуемого по п. 6.3.6 СП 47.13330.2012.

Объем бурения определяется размером площадки изысканий: на минимальной площади в 4 га 2 скважины (одна параметрическая, другая – для

проверки геофизических данных), в 8 га – 3 (плюс одна для проверки или проведения специальных исследований, в т.ч. гидрогеологических), в 16 га – 6 и 100 га – 12 скважин.

3.2.6 Глубина скважин обосновывается в программе изысканий, исходя из глубины карстопроявлений, их размеров и мощности покрывающих пород. При этом скважины должны вскрывать всю закарстованную зону с заглублением в монолитные, неизмененные породы не менее 5 м. При значительной мощности карстующихся пород допускается вскрывать закарстованную зону на двойную глубину активной зоны, определяемую в соответствии с пп. 6.3.7, 6.3.8 СП 47.13330.2012.

3.2.7 Для выявления и оконтуривания в толще покрывающих пород ослабленных и разуплотненных зон, определения свойств грунтов, изучения рельефа кровли карстующихся пород используются полевые исследования грунтов методами статического, динамического и вибрационного зондирования.

Специфика полевых исследований грунтов в карстоопасных районах в том, что они проводятся как на участках, нарушенных проявлениями карста, таки за их пределами, в ненарушенной зоне.

3.2.8 В зависимости от литологического типа карста назначается состав исследований с целью оценки способности горных пород к образованию карста. Для сульфатного и хлоридного (соляного) типа карста рекомендуется проводить минералого-петрографический анализ и изучение химического состава горных пород. Для карбонатного типа карста могут быть использованы архивные данные по скорости растворения пород.

3.2.9 Для определения возраста карстовых воронок и полостей применяются спорово-пыльцевой анализ, археологический и радиоуглеродный методы определения возраста заполняющих их отложений.

3.2.10 Материалы инженерно-геологических изысканий площадки, на которой проектируются геотехнические мероприятия, должны содержать

помимо основных следующие дополнительные сведения:

- размеры и формы трещиноватости пустот, их сообщаемость;

- характеристику материала, заполняющего пустоту;

- коэффициент фильтрации и водопоглощение пород;

- скорость движения и напор подземных вод, их направление;

- химический анализ воды и оценку ее агрессивности;

- состояние покровной толщи, ее фильтрационную способность, физико-механические свойства и химико-минералогический состав.

3.2.11 При изысканиях на конкретных участках размещения зданий, сооружений или выбранного варианта трассы выполняется уточнение и детализация карстообразующих факторов. Также проводится оценка возможности техногенной активизации карстового процесса.

3.2.12 На участках неглубокого (до 20 м) залегания карстующихся пород рекомендуется проводить геофизические и буровые работы повышенной детальности, с расстояниями между выработками 20 м и менее, а также проходить скважины под отдельные фундаменты, что устанавливается программой изысканий, согласованной с заказчиком.

Глубина скважин назначается в соответствии с п. 3.1.3.3. При распространении толщи закарстованных грунтов на глубину более 30 м достаточным является выполнение скважин общей глубиной до 50 м.

3.2.13 Особенностью производства работ на данном этапе изысканий являются более широкое применение скважинных геофизических исследований.

3.2.14 Для выявления ослабленных и разуплотненных зон в песчано-глинистых покрывающих породах рекомендуется использовать пенетрационно-каротажные исследования и зондирование с шагом до 5–10 м.

3.2.15 Для качественной оценки процессов в грунтовом массиве при образовании карстовых полостей рекомендуется моделирование устойчивости их кровли методом эквивалентных материалов (возможно применение и

других методов физического, математического и аналогового моделирования).

3.2.16 Технический отчет по результатам изысканий должен содержать информацию, необходимую и достаточную для принятия проектных решений и разработки противокарстовых мероприятий.

При этом, детализация оценки устойчивости площадки проводится с учетом расчетного срока службы сооружения, возможности развития сопутствующих суффозионных и других геологических процессов и воздействия техногенных факторов на активизацию карста.

3.3 Оценка карстовой опасности по результатам изысканий

3.3.1 По результатам выполненных изысканий проводится районирование территории по условиям развития карста с учетом литологического состава и мощности карстующихся и покрывающих пород, их возраста, а также геоморфологических и гидрогеологических условий развития карста, наличию тектонических нарушений, ослабленных зон, древних долин и их возрасту.

3.3.2 Подробные сведения о районировании территории по устойчивости территории к проявлению карстово-суффозионных процессов для строительства приведены в разделе 2.2.

3.3.3 Инженерно-карстологическое районирование должно выполняться в масштабе, соответствующим стадии изысканий и техническому заданию заказчика. В зависимости от масштаба и конкретной геотехнической обстановки в пределах опасной и потенциально-опасной категорий карстово-суффозионной опасности территории могут использоваться следующие таксонометрические ранги зонирования: районы – участки – подучастки – поля – очаги – скопления – зоны и т.д. При выполнении районирования могут

быть использованы рекомендации раздела 5 «Руководства по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста».

3.3.4 Прогноз возможных размеров карстовых деформаций следует выполнять в соответствии с требованиям СП 22.13330.2016 на основе численных и аналитических методов расчета.

3.3.5 Прогноз интенсивности развития сульфатного и хлоридного карста выполняется путем изучения равновесия в системе подземные воды – карстующиеся породы с учетом карстовой денудации и исследованием скорости растворения пластов карстующихся пород, стенок полостей и трещин и может оцениваться в соответствии с положениями раздела 4 настоящих рекомендаций.

3.3.6 Для оценки карстоопасности под отдельные здания и сооружения рекомендуется оконтуривать обнаруженные карстовые полости путем бурения скважин расположенным от точки выявленной полости профилям с шагом 3–5 м или выполнять оконтуривание полости с использованием геофизических методов.

Кроме того выполняется проверка карстовых проявлений на окружающей территории, а при необходимости проводятся экспериментальные исследования (моделирование), в том числе с учетом техногенных факторов (существующих и прогнозируемых). Оценка степени опасности карстовых полостей в активной зоне проектируемого сооружения может быть выполнена в соответствии с рекомендациями. При этом особо тщательного изучения требует состав заполнителя полостей и трещин, оценка суффозионной устойчивости пород, а также зон разуплотнения в покрывающих породах.

3.3.7 При оценке развития карстового процесса необходимо учитывать техногенные факторы, связанные с изменением рельефа, условий поверхностного стока и инфильтрации, температуры грунтов и вод. При этом наиболее опасны изменения гидрогеологических условий, особенно их гидродинамических характеристик и коррозионной активности. В зависимости

от вида техногенного воздействия на качественном уровне можно прогнозировать повышение скорости растворения карстующихся пород, темпов подземной эрозии и суффозии, разрушение кровли полостей, интенсификации провального (обвального) и других сопутствующих процессов.

3.3.8 Для сооружений повышенного уровня ответственности рекомендуется проводить специальные исследования по оценке влияния техногенных факторов на развитие карста и его проявлений с использованием опытов по физическому и гидродинамическому моделированию с привлечением, при необходимости, научно-исследовательских организаций.

4 Проектирование и выполнение противокарстовых геотехнических мероприятий

4.1 Виды геотехнических противокарстовых мероприятий

4.1.1 Геотехнические мероприятия противокарстовой защиты направлены на изменение прочностных, деформационных и/или фильтрационных свойств карстующихся пород и (или) вышезалегающих грунтов, именуемых далее покровной толщей, для исключения активизации развития карстово-суффозионных процессов в пятне здания, сооружения и (или) обеспечения отсутствия карстовых деформаций в покровной толще. Геотехнические мероприятия заключаются в закреплении карстующихся пород и (или) покровной толщи путем нагнетания (тампонажа) специальных растворов или другими способами.

4.1.2 К специальным геотехническим мероприятиям согласно СП 22.13330.2016 отнесены:

- тампонирование поверхностных проявлений карстовых деформаций на земной поверхности и в котловане;

- закрепление закарстованных пород или вышележащих грунтов инъекций крепящих растворов;

- строительство фундаментов с опиранием на незакарстованные грунты, в том числе устройство свайных фундаментов с прорезкой карстующихся пород.

4.1.3 Согласно существующей в СП 22.13330.2016 классификации геотехнические противокарстовые мероприятия, рассматриваемые в настоящих рекомендациях (далее геотехнические мероприятия), могут быть подразделены на 2 типа:

1. Мероприятия, направленные на исключение образования карстовых деформаций, ликвидацию условий образования, развития и проявления карста - тип 1.

2. Мероприятия, направленные на обеспечение прочности и устойчивости сооружения при возможном проявлении карстовых деформаций - тип 2.

4.1.4 Выбор типа противокарстовых геотехнических мероприятий осуществляется на основании инженерно-геологических условий и требований обеспечения механической безопасности сооружения при его строительстве и эксплуатации.

4.1.5 Геотехнические мероприятия типа 1 предусматривают изменение физико-механических характеристик основания, исключающих возможность образования карстовых деформаций, влияющих на прочность и устойчивость сооружения в нормативный период эксплуатации объекта.

К геотехническим мероприятиям типа 1 относятся: тампонаж и закрепление карстующихся пород тампонаж и закрепление карстующихся пород.

4.1.6 Геотехнические мероприятия типа 2 предусматривают изменение физико-механических характеристик основания, обеспечивающих прочность и устойчивость сооружения при возможном проявление карстовых деформаций с расчетными параметрами,

К геотехническим мероприятиям типа 2 относится усиление грунтов в толще над карстующимися породами или в основании сооружения или их сочетание, а также тампонирование поверхностных карстовых деформаций.

4.1.7 Закрепление карстующихся пород и усиление грунта в покровной толще следует применять для обеспечения противокарстовой защиты как вновь строящихся зданий и сооружений, так и эксплуатируемых, относящих-

ся к повышенному и нормальному уровням ответственности. Объем и виды геотехнических мероприятий противокарстовой защиты уникальных зданий и сооружений должны назначаться в соответствии со специальными техническими условиями (СТУ).

4.1.8 Рекомендации предусматривают усиление грунтов над карстующимися породами (закрепление покровных отложений) и в основании зданий и сооружений следующими способами:

- закрепление грунтов инъекцией растворов в режиме пропитки (химических или цементных на основе микроцемента);

- усиление грунта инъекцией цементных растворов в режиме гидроразрыва);

- закрепление грунтов методами струйной цементации;

- усиление грунтов методом армирования основания из элементов закрепленного грунта.

4.1.9 Закрепление грунта инъекцией растворов может выполняться в виде сплошного массива закрепленного грунта или отдельных элементов закрепленного грунта, образованным одним из описанных в п.4.1.9 способов. Выбор схемы закрепления (сплошной или из отдельных элементов) следует осуществлять на основании требований положений разделов 6.9 и 6.10 СП 22.13330.2016 и настоящих рекомендаций и приложению 3.

4.1.10 Для зданий повышенного и нормального уровней ответственности геотехнические мероприятия противокарстовой защиты могут выполняться путем тампонажа и закрепления карстующихся пород и (или) закрепления покровной толщи по следующим вариантам:

Вариант 1. Тампонаж и закрепление толщи верхней карстующейся, раздробленной и трещиноватой зоны породы до кровли монолитной (незакарстованной) и закрепление покровных грунтов всей или части толщи над карстующимися породами в пятне застройки объекта (рис. 1).

В результате исключения роста объемов существующих и образова-

ния новых карстовых полостей в породах и суффозионных процессов с провалами под фундаментами территория может быть отнесена к неопасной в отношении возможности проявления карстово-суффозионных процессов (категория VI – таблица 4.3 и СП 47.13330.2012).

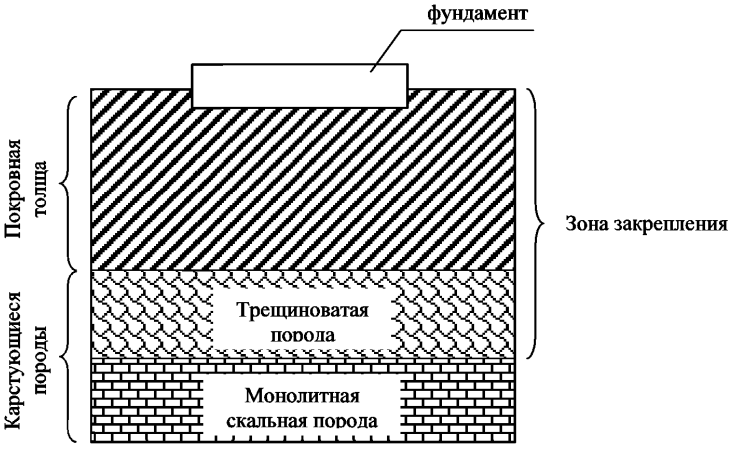


Рисунок 1 – Закрепление всей покровной толщи и толщи карстующихся трещиноватых грунтов

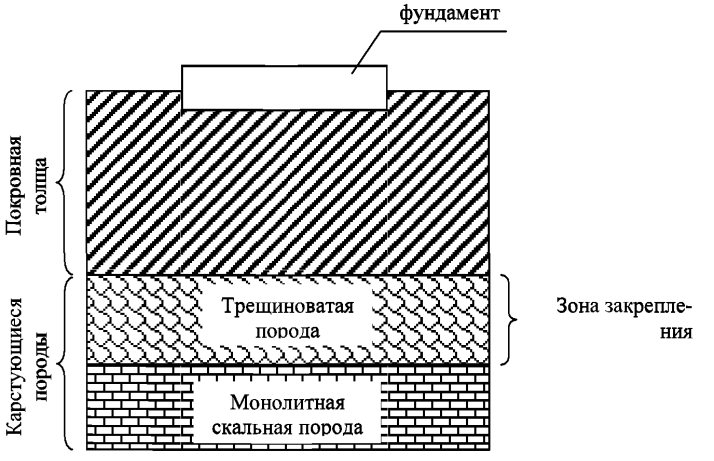


Рисунок 2 – Закрепление трещиноватой толщи карстующихся грунтов до кровли монолитной породы

Вариант 2. Тампонаж и закрепление толщи верхней карстующейся, раздробленной и трещиноватой зоны до кровли монолитных (незакарстованных) скальных пород (рис. 2).

В результате исключения возможности образования новых полостей и суффозии в них грунтов покровных отложений территория по интенсивности образования карстовых провалов может быть отнесена без расчетного обоснования к неопасной в отношении возможности проявления карстово-суффозионных процессов (категория VI таблица 4.3 и СП 47.13330.2012).

Вариант 3. Закрепление толщи грунтов покровных отложений непосредственно над карстующимися породами (рис.3) мощностью, обоснованной расчетом. (примеры см. приложение 2). В результате исключения суффозионных процессов грунтов покровных отложений в существующие карстовые формы территория может быть отнесена без расчетного обоснования к потенциально-опасной категории (категория IV – таблица 4.3 и СП 47.13330.2012). При соответствующем расчетном обосновании территория может быть отнесена к неопасной в отношении возможности проявления карстово-суффозионных процессов за срок службы проектируемого сооружения (категория VI – таблица 4.3 и СП 47.13330.2012).

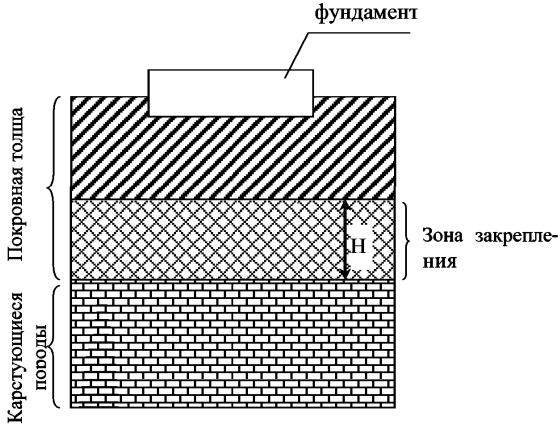


Рисунок 3 – Закрепление покровного слоя грунтов над карстующимися грунтами, мощностью H, определяемой расчетом (приложение 2)

Вариант 4. Закрепление толщи грунтов под фундаментами (рис. 4) на глубину, обоснованную расчетом (приложение 2), проводится с целью защиты сооружения от деформаций при возникновении под закрепленной плитой провалов диаметром, не превышающим прогнозируемого размера.

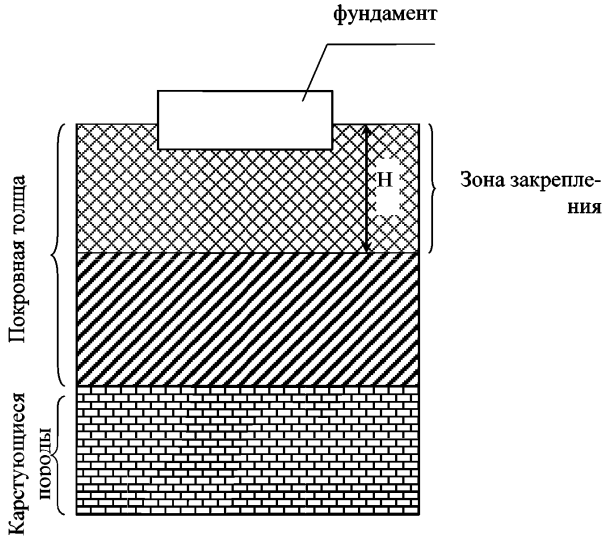


Рисунок 4 – Закрепление грунтов покровной толщи под фундаментом на глубину H, определяемую расчетом

Такая защита равноценна конструктивной защите, поскольку закрепление грунтов под фундаментами не влияет ни на текущий ход карстовых процессов в карстующихся породах, ни на карстово-суффозионные явления в покровных грунтах основания.

4.1.13 Тампонаж карстовых полостей и трещиноватой породы заключается в нагнетании под давлением через буровые скважины цементационного раствора, который после твердения придает массиву повышенную водонепроницаемость, что способствует прекращению или резкому замедлению

процесса растворения и развития существующих или образования новых карстовых форм.

4.1.14 Для сульфатного и соляного карста проектирование геотехнических мероприятий противокарстовой защиты должно выполняться при расположении закрепленных массивов в соответствии с вариантами 1,2 (закрепление покровной толщи и трещиноватой карстующейся породы, или только карстующейся породы) или с вариантом 3 (закрепление над кровлей карстующихся пород), что необходимо обосновать расчетом.

4.1.15 Для карбонатного карста наиболее эффективным геотехническим мероприятием противокарстовой защиты является устройство закрепленного массива над кровлей карстующихся пород (вариант 3), выполняющего роль противофильтрационной завесы в покровных отложениях и исключающего образование провалов на поверхности и деформаций фундаментов.

4.1.16 Для труднорастворимых карбонатных пород достаточно обнаружить и затампонировать крупные и малые карстовые полости (вариант 2), представляющие опасность для устойчивости сооружений. Трещины же мелкие можно не тампонировать, если не требуется уменьшить водопроницаемость пород основания сооружения. Для карбонатного неглубокого карста тампонаж следует проводить по всей толще, где обнаружены карстовые полости с недостаточно устойчивыми кровлями для расчетных нагрузок от сооружения.

4.1.17 Выбор одного или комплекса геотехнических мероприятий должен производиться с учетом видов возможных карстовых деформаций и их параметров, уровня ответственности и срока эксплуатации сооружения, его конструктивных и технологических особенностей. Принятые мероприятия по заполнению (тампонажу) имеющихся карстовых полостей и закреплению закарстованной трещиноватой породы не должны приводить к активизации карстовых процессов на примыкающих территориях.

4.1.18 Противокарстовые мероприятия следует выбирать в зависимости от уровня ответственности объектов от характера выявленных и прогнозируемых карстовых проявлений, вида карстующихся пород, условий их залегания и требований, определяемых особенностями проектируемой защиты и защищаемых территорий и сооружений.

4.1.19 Для уникальных зданий и сооружений объектов 1 уровня ответственности и 2 уровня 3-й геотехнической категории должны разрабатываться специальные технические условия (СТУ) по геотехническим мероприятиям противокарстовой защиты.

4.2 Состав проекта

4.2.1 Основными материалами для составления проекта являются данные инженерно-геологических изысканий, результаты опытно-производственных работ, технические характеристики конструкций, уровень ответственности сооружений и уровень геотехнической категории.

4.2.2 Проектная документация на тампонажные работы и закрепление грунтов разрабатывается на базе следующих основных исходных материалов:

- отчетов по инженерно-геологическим изысканиям и дополнительным исследованиям, включающих информацию, указанную в п. 4.7, 5.13;

- результатов расчетов параметров карстовых деформаций;

- результатов пробных тампонажных работ (при необходимости);

- технической характеристики проектируемого здания (назначение, конструктивные особенности, чувствительность к деформациям и др.);

- особенностей технологического процесса для промышленных зданий и сооружений (водопотребление, водооборот, характеристика флюидов и возможные утечки, смывы и аварийные сбросы и т. п.);

- данных о прошлом опыте тампонажных работ в аналогичных инженерно-геологических условиях (отчеты, заключения, публикации и т. п.);

- конструктивных особенностей и технического состояния существующего, реконструируемого здания/сооружения или зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния работ по противокарстовым мероприятиям.

4.2.3 Проектная документация по противокарстовым геотехническим мероприятиям должна содержать следующие материалы:

- раздел опытно-производственных работ;

- особые требования по контрольным работам;

- для геотехнических мероприятий типа 2 – расчетное обоснование;

- технико-экономическое обоснование выбора способа тампонажа и закрепления закарстованных грунтов или закрепления покровных отложений в качестве оптимального решения для обеспечения эксплуатационной устойчивости здания или сооружения;

- масштабные инженерно-геологические разрезы и планы с нанесением контуров и размеров закрепленного массива;

- данные об общем количестве необходимых для выполнения работ материалов и составах растворов;

- технические условия и регламент на производство работ;

- данные о пространственном расположении скважин в массиве в плане и по глубине (вертикальные, наклонные) с указанием их диаметров, размера зон, обрабатываемых раствором;

- технологический регламент работ;

- данные о номенклатуре, характеристиках и количестве необходимых для выполнения работ механизмов и оборудования (раздел ПОС);

- смету, калькуляцию и единичные расценки (раздел ПОС);

- календарный план подготовительных, инъекционных и контрольных работ (раздел ПОС).

4.2.4 Проект производства работ (ППР) должен включать разделы, отражающие требования к технологии производства работ, контролю качества и приемке работ, охране окружающей среды и технике безопасности. В ППР

должны быть отражены расчетные значения параметров, уточняемые на этапе опытных работ. Значения рабочих параметров, являющиеся обязательным элементом при работах по улучшению свойств грунтов, назначаются авторами проекта при научно-техническом сопровождении работ.

4.2.5 ППР должен включать этапы:

- опытно-производственных работ;

- работ по тампонажу карстовых пустот или закреплению грунтов покровных;

- контрольные работы по оценке качества закрепления.

4.2.6 ППР на противокарстовые геотехнические мероприятия, согласованный с авторами проекта, должен содержать кроме общестроительных требований, данные о конструкции скважин, длине одновременно инъецируемых зон в скважинах, последовательности обработки скважин, номенклатуре и характеристиках применяемых материалов и сведения о потребностях в них.

4.3 Конструктивные требования

4.3.1 Проектирование геотехнических противокарстовых защитных мероприятий, должно выполняться с учетом обеспечения механической безопасности зданий и сооружений в период строительства, реконструкции или эксплуатации.

4.3.2 Обеспечение прочности и устойчивости здания и сооружения при расчете по первой группе предельных состояний должно выполняться на особое сочетание нагрузок.

4.3.3 При проектировании должны приниматься расчетные значения карстовых деформаций (расположение в плане и по глубине, диаметр и глубину провала, для оседания –дополнительно кривизна). Определение расчет-

ных параметров карстовых деформаций регламентировано СП 22.13330.2016 и должно выполняться специализированной организацией.

4.3.4 Геотехнические мероприятия противокарстовой защиты рекомендуется применять в тех случаях, когда нецелесообразен или невозможен перенос объекта на новую более благоприятную площадку, а также в случаях, когда конструктивные противокарстовые мероприятия оказываются по технико-экономическим показателям неэффективными, трудновыполнимыми или невыполнимыми.

4.3.5 Геотехнические мероприятия типа 1, предусматривающие исключение карста в период строительства и эксплуатации, проектируются без обоснования расчетами, так как не предусматривают проявление каких либо карстовых деформаций.

4.3.6 Геотехнические мероприятия типа 2, предусматривающие обеспечение прочности и устойчивости сооружения при возможности карстовых проявлений в закарстованных породах должны проектироваться с обязательным расчетным обоснованием параметров карстовых деформаций и размеров области усиления грунтов над карстующимися породами.

4.3.7 Расчет высоты слоя усиленного грунта над карстующимися породами производят из условия предельного равновесия сдвигаемого объема грунта над карстовой полостью. Примеры расчетов представлены в приложении 3.

4.3.8 Расчетное обоснование проектируемых геотехнических мероприятий производится по результатам расчетов устойчивости закрепленного массива грунта с учетом следующих основных положений.

- в качестве исходных данных в расчетах используются данные о напластовании грунтов, уровне подземных вод, расчетные физико-механические характеристики, конструктивные решения фундаментов и нормативные нагрузки на основание, размеры карстовой полости в карстую-

щихся грунтах (B_{2t}), образование которой возможно за удвоенный нормативный срок эксплуатации здания или сооружения;

- расчет выполняется аналитически или путем моделирования напряженно-деформированного состояния грунтового массива над карстовой полостью в карстующейся породе, или в покровной толще, с использованием упругопластической модели грунта.

4.3.10 В качестве расчетного критерия при определении мощности укрепленных грунтов (H) рекомендуется принять высоту свода обрушения над карстовой полостью ($H_{св}$), определяемую как геометрическое место точек, в которых соблюдается условие предельного напряженного состояния (например, условие прочности по Мору–Кулону).

Мощность укрепленных грунтов считается достаточной, если высота свода обрушения $H_{св}$ не превышает мощности укрепленного массива с коэффициентом запаса, принимаемым равным 1,4:

$$H \geq 1{,}4H_{св}. \quad (1)$$

Для предварительного назначения мощности укрепленных грунтов (H) ее допускается определять аналитическим методом, представленным в Приложении 2.

Размер карстовой полости в карстующихся породах принимается равным ширине карстовой полости (B_{2t}), образование которой возможно за удвоенный нормативный срок эксплуатации здания.

4.3.11 Ширина карстовой полости в карстующихся породах (B_{2t}), образование которой возможно за удвоенный нормативный срок эксплуатации здания, определяется в зависимости от скорости растворения, или выщелачивания, карстующихся пород, в запас надежности она может быть определена по формуле

$$B_{2t} = B_0 + Vt, \quad (2)$$

где

B_0 – начальный размер (ширина) полости;

V – максимальная среднегодовая скорость растворения карстущихся пород определяется по данным инженерно-геологических изысканий и рекомендациям табл. 6.15 СП 22.13330.2016;

t – нормативный срок эксплуатации здания.

Начальный размер карстовой полости B_0 в карстующихся породах определяется по результатам бурения и геофизических исследований в соответствии с указаниями СП 22.13330.2016. В случае, если карстовые полости или пустоты при проведении инженерно-геологических изысканий не обнаружены, в расчете начальный размер карстовой полости допускается принимать в запас надежности равным 1–5 м.

Пример оценки размера закрепляемой толщи грунтов приведен в приложении 2.

4.4 Материалы и растворы

4.4.1 Виды, составы инъекционных растворов, марки вяжущих реагентов и цементов, характеристики других материалов и химических добавок, применяемых для приготовления инъекционных растворов, устанавливаются РД.

4.4.2 В качестве вяжущих реагентов для закрепления песка инъекцией растворов, применяют: высокодисперсные микроцементы, не содержащие цементных частиц крупнее 10–15 мк; растворы силиката натрия, растворы карбамидных смол марок УКС, М-60, МФ-17, М-19-62 и др по ГОСТ 14231–88.

4.4.3 Для тампонажа карстовых полостей и закрепления трещиноватой породы в качестве вяжущего применяются портландцементы марок 400, 500 по ГОСТ 10178-85. Допускается применение разновидности портландцемента: быстротвердеющий портландцемент, сульфатостойкий портландцемент, шлакопортландцемент, быстротвердеющий

шлакопортландцемент, сульфатостойкий шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент.

При наличии агрессивных подземных вод следует применять химически стойкие по отношению к ним цементы, выбранные в соответствии с СП 28.13330.2012 («Защита строительных конструкций от коррозии»), как для безнапорных сооружений.

4.4.4 Для приготовления стабильных глиноцементных растворов применяются каолинитовые суглинки и глины и бентониты.

4.4.5 Для приготовления нестабильных растворов применяют песок, золу уноса, каменную мука, допускается применение лессов.

Крупность частиц указанных материалов не должна превышать 1–2 мм.

4.4.6 Для регулирования сроков схватывания цементных и тампонажных растворов следует вводить водный раствор силиката натрия (ГОСТ 13078-81. Стекло жидкое натриевое, содовое), хлористый кальций, поташ и другие вещества.

Допустимые количества добавок приведены в приложении 5.

4.4.7 Выбор вида раствора для тампонажа и закрепления закарстованных пород в зависимости от характера трещиноватости, степени закарстованности и гидрогеологических условий рекомендуется принимать согласно таблице 4.1. Оптимальные составы растворов для конкретных инженерно-геологических условий подбираются лабораторными исследованиями и уточняются по результатам опытно-производственных работ.

Таблица 4.1

Характер породы	Наличие подземных вод	Рекомендуемые виды растворов
1	2	3
Трещиноватая водопроницаемая порода с раскрытием трещин 0,1–1 мм, (удельное водопоглощение 0,1–1 л/мин. м^2; $К_ф$ = 0,3–3м/сут)	Независимо от степени обводнения	Цементные и глиноцементные растворы
Трещиноватая сильно водопроницаемая порода с раскрытием трещин до 10 мм (удельное водопоглощение до 10 л/мин.м^2; $К_ф$ до 30 м/сут.)	При скорости подземных вод менее 1000 м/сут.	Нестабильные растворы (цементные с инертными добавками: песок, зола уноса, каменная мука и т.д.) Стабильные растворы (глиноцементные)
Открытые карстовые формы: полости, каналы, каверны и т.д. (удельное водопоглощение более 1–2 л/мин м^2; $К_ф$ более 3–6 м/сут.)	При скорости подземных вод свыше 1000 м/сут.	Растворы быстросхватывающиеся (в барьерные ряды) Растворы, способные образовывать в пустотах пробки и преграды (песчаная пульпа, песчаная пульпа с добавкой опилок, волокнистых материалов, шлака, резиновой крошки) Растворы с ускоренным временем схватывания
Карстовые полости, каналы, каверны и т.д. шириной более 5–10 см, содержащие несцементированный заполнитель пустот	Независимо от степени обводнения	Стабильные растворы (цементные, стабилизированные химическими добавками) Стабильные растворы (глиноцементные) Нестабильные растворы (цементные с инертными добавками: песок, зола уноса, каменная мука и т.д.)

4.4.8. Цементный раствор на основе цементов общестроительного назначения, применяемый для тампонажа трещиноватых пород, представляет собой нестабильную водную суспензию, поэтому необходимо до полной реализации подвергать перемешиванию миксером.

Наиболее употребляемые составы и свойства цементного раствора на основе портландцемента приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Состав и свойства цементного раствора

В/ц раствора	Состав в 1 м^3 раствора, т		Плотность раствора, т/м^3	Расплыв по АзНИИ, см	Водоотделение, %
	цемент	вода			
0,5	1,2	0,6	1,81	15	8
0,6	1,08	0,64	1,72	18	15
0,7	0,97	0,68	1,65	20	21
0,8	0,88	0,71	1,59	24	27
1,0	0,75	0,75	1,5	28	34

4.4.9 Глиноцементные растворы характеризуются как стабильные растворы, приготавливают путем смешивания двух растворов – цементного и глинистого. Содержание компонентов (глины и цемента) в растворе в зависимости от предела текучести глинистого материала рекомендуется ориентировочно принимать по таблице 4.3. Количество воды для обеспечения прохождения раствора по трубопроводам и текучести, оцениваемой по конусу АзНИИ в пределах от 12 до 20 см, подбирается в лаборатории.

Таблица 4.3 – Состав глиноцементного раствора

Влажность на границе текучести глинистого грунта	Расход компонентов в 1 м^3 раствора, кг		
	цемент	глинистый материал	вода
0,30	200–280	780–880	Уточняется в лаборатории в зависимости от требуемой подвижности раствора
0,40	210–300	550–650	
0,55	250–350	300–400	
0,75	270–370	120–210	

4.4.10. Цементно-песчаные растворы приготавливают путем смешивания цементного раствора с песком. Составы и свойства цементно-песчаных растворов, применяемые для тампонажа полостей и пустот, приведенные в таблице 4.4, должны иметь подвижность (по АзНИИ) от 12 до 18 см. Цементно-песчаные растворы являются наиболее экономичными растворами, но в связи со склонностью к интенсивному расслаиванию не рекомендуется применять для тампонажа обводненных полостей.

Таблица 4.4 – Состав и свойства цементно-песчаного раствора

№ пп	Дозировка компонентов раствора, кг.			П/Ц	В/Ц	Плотность раствора, кг/см^3	Прочность на сжатие, МПа
	цемент	песок	вода				
1	200	1430	370	7,15	1,85	2,052	2,0
2	250	1370	378	5,48	1,51	2,043	3,6
3	300	1315	387	4,38	1,29	2,037	5,2
4	350	1253	395	3,58	1,13	2,029	7,5
5	400	1200	403	3,0	1,0	2,026	9,6
6	450	1140	411	2,53	0,91	2,02	12,3
7	500	1080	420	2,16	0,84	2,012	14,6
8	550	1020	428	1,85	0,78	2,006	17,2
9	600	960	436	1,6	0,73	2,0	19,8
10	650	905	445	1,39	0,68	1,994	22,3
11	700	845	453	1,2	0,65	1,988	24,6
12	750	785	461	1,0	0,61	1,983	27,5
13	800	725	470	0,9	0,59	1,976	29,1

4.4.11 Для пластификации и стабилизации цементно-песчаных растворов и улучшения прокачиваемости по трубопроводам рекомендуется вводить добавки глины до 10% массы цемента в виде раствора.

4.4.12 Закрепление песчаных грунтов от крупных до мелких можно производить инъекцией растворов, приготовленных из полимеров неорганических (силиката натрия) и органических (синтетических смол) по манжетной технологии. Характеристики химических способов закрепления песков приводятся в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Способы химического закрепления песчаных грунтов

Способ закрепления	Грунт	Коэффициент фильтрации, м/сут	Радиус закрепления грунта, м	Прочность закрепленного грунта R_c, МПа
Силикатизация двухрастворная на основе силиката натрия и хлористого кальция	Пески разнозернистые	10–20 20–50 50–80	0,2–0,3 0,3–0,6 0,6–1,0	1–1,5 1,5–2,5 2,5–8,0
Силикатизация однорастворная с H_2SiF_6	Пески разнозернистые	1,0–10 10–50	0,3–0,5 0,5–0,8	1–2 2–5
Силикатизация однорастворная двухкомпонентная с отвердителем: алюминат натрия или ортофосфорная кислота	Пески мелкие	0,5–1,0 1,0–5,0	0,3–0,5 0,5–0,8	0,1–0,5
Силикатизация газовая на основе силиката натрия и газа CO_2	Пески разнозернистые	0,5–5,0 5–20	0,3–0,5 0,5–0,8	1–2 2,0–3,5
Смолизация однорастворная двухкомпонентная на основе карбамидной смолы и кислого отвердителя	Пески разнозернистые	0,5–5 5–20 20–50	0,3–0,5 0,5–0,65 0,65–0,85	0,5–1,5 1,5–3,0 3,0–4,5

4.4.13 Дозировка материалов для приготовления тампонажных и закрепляющих растворов должна производиться с точностью до 5%

4.4.14 Правильность дозировки цементных и тампонажных растворов необходимо периодически проверять ареометрическим или весовым способом, а химических растворов проверять продолжительностью времени гелеобразования.

4.4.15 Продолжительность перемешивания нестабильных цементных растворов до готовности зависит от консистенции раствора и типа растворомешалки и составляет в среднем 3-5 мин. В дальнейшем готовый раствор до полной реализации рекомендуется непрерывно перемешивать во избежание его расслоения.

4.4.16 Оборудование для выполнения работ должно обеспечивать заданные технологические параметры с требуемым уровнем контроля качества (автоматическое поддержание технологических параметров и по возможности запись в режиме реального времени на электронные носители).

4.4.17 В качестве основных параметров при производстве работ, поддержание которых рекомендуется обеспечивать автоматически – состав раствора, объемы инъецируемого раствора, давление инъекции, скорость подачи раствора к месту инъекции (производительность).

4.4.18 Для бурения инъекционных скважин могут быть использованы отечественные буровые установки, приведенные в таблице 4.6. Предпочтение следует отдавать способам, обеспечивающим наименьшее отклонение скважины от проектной оси, наименьшее количество бурового шлама, наилучшие экономические показатели бурения.

Таблица 4.6 – Характеристики буровых станков

Способ бурения	Марка станка	Глубина бурения, м	Диаметр бурения, мм		Маса, кг	Мощность электродвигателя, кВт
			наименьший	начальный		
Колонковый	БСК-2м2-100	100	46	93	630	7,5
Колонковый	УГБ-50М	100	92	198	5100	
Погружными пневмоударниками	БМК-4М	35	105	105	340	2,8
Погружными пневмоударниками	НКР-100М	50	105	105	690	4,0

4.4.19 Для приготовления тампонажных растворов в зависимости от их состава и вида сырьевого материала применяются растворосмесители различных конструкций, технические характеристики которых приводятся в таблице 4.7.

Растворосмесители типа РМ применяются для приготовления цементных, глинисто-цементных (на основе порошкового бентонита), цементно-глино-песчаных растворов. Лопастные растворомешалки с горизонтальным валом применяются, главным образом, для приготовления глинистых растворов из комовой глины.

Таблица 4.7 – Характеристики отечественных растворосмесителей

Техническая характеристика	Типы растворосмесителей					
	Вертикальные турбинные		Вертикальные лопастные		Горизонтальные лопастные	
	РМ-500	РМ-750	ЛРМ-350	0ГХЭ-7А	МГ2-4Х	ГКЛ-2М4
Вместимость, л	500	750	350	750	4000	2000
Производительность, $м^3$/час	-	-	-	-	4	2
Частота вращения смесителя, об/мин	500	570	56	95	95	100
Мощность электродвигателя, кВт	4,5	7	I	8	17	14
Масса, кг	350	512	200	385	3565	1985

4.4.20 Для нагнетания растворов должны использоваться поршневые и плунжерные растворонасосы, обеспечивающие заданные по регламенту РД и ППР расходы и давления.

4.4.21 Комплект технологического оборудования, необходимый для струйной цементации грунтов по технологии с использованием технологий *Jet-1*, *Jet-2*, *Jet-3*, в зависимости от решаемых технических задач, включает:

а) буровой станок со струйным монитором, предназначенный для бурения направляющей скважины и перемещения в ней струйного монитора с вращением или без него;

б) растворный узел, скомпонованный растворомешалками для приготовления и хранения до реализации твердеющего раствора и высоконапорными насосами для подачи через монитор размывающего и твердеющего растворов;

в) компрессор для подачи сжатого воздуха с целью создания воздушного потока (для *Jet-2*, *Jet-3*);

г) склад (силос) для хранения и механизированной подачи цемента для приготовления твердеющего раствора.

Растворы для струйной цементации следует назначать в зависимости от требуемых показателей и вида закрепляемого грунта.

4.4.22 Рекомендуется применять оборудование, обеспечивающее технологические параметры, предусмотренные в таблице 4.8 при закреплении грунтов различными методами струйной цементации.

Таблица 4.8

Технологические параметры струйной цементации	Значение параметров для методов					
	Jet-1		*Jet*-2		*Jet*-3	
	Не менее	Не более	Не менее	Не более	Не менее	Не более
Давление инъекционного раствора, МПа	20	60	40	60	30	70
Расход инъекционного раствора, л/мин	60	450	60	450	70	200
Давление воздушной струи, МПа	–	–	0,6	1,2	0,6	1,2
Расход воздушной струи, $м^3$/мин	–	–	3	12	3	12
Давление водяной струи, МПа	–	–	–	–	20	60
Расход водяной струи, л/мин	–	–	–	–	70	150
Диаметр сопла, мм	1,5	3,0	1,5	3,0	4,0	8,0
Диаметр воздушного сопла, мм	–	–	1	2	1	2
Диаметр водяного сопла, мм	–	–	–	–	1,5	3,0
Скорость вращения, об/мин	10	30	7	15	5	15
Скорость подъема бурового става, см/мин	10	50	7	30	5	30

4.5 Назначение требуемых расчетных показателей и контролируемых параметров проектируемых геотехнических противокарстовых мероприятий

4.5.1 В зависимости от принятого проектом типа геотехнических мероприятий (тип 1 или 2) и конструктивных особенностей (для геотехнических мероприятий типа 2) – создание сплошного массива закрепленных грунтов или массива из армирующих элементов из закрепленных грунтов назна-

чаются расчетные показатели и контролируемые параметры.

4.5.2 Для геотехнических мероприятий типа 1 (закрепление закарствованных пород – тампонаж пустот, полостей и трещиноватых зон) должны назначаться следующие расчетные показатели:

- прочность на одноосное сжатие инъецируемого раствора – не менее прочности окружающей полость породы, но не менее 5 МПа;

- физические свойства инъекционных растворов: стабильность (показатель водоотделения) до начала схватывания – не более 2%, вязкость время начала и окончания схватывания (определяются проектом);

- дополнительные показатели растворов (коррозионная устойчивость к определенным агрессивным условиям внешней среды и другие) при необходимости (определяется проектом).

4.5.3 Для геотехнических мероприятий типа 1 должны назначаться следующие контролируемые параметры:

- прочность на одноосное сжатие инъецируемого раствора – контролируется по образцам, отобранным при производстве работ;

- физические свойства растворов по п. 4.5.2 – контролируются при оперативном контроле;

- технологические параметры инъекции: объемы инъецируемого раствора (отклонения предусматриваются проектом, но не более 10%), давление инъекции (определяется проектом), скорость подачи раствора к месту инъекции (определяется проектом), отказ (расчетный объем раствора инъецируемый за назначенное проектом время (назначается проектом, но не более 5л/мин при давлении не менее 0,5МПа), выходы раствора на поверхность (фиксируются при производстве работ линейным персоналом исполнителя) и в подземные сооружения и на других участках закарствованных пород.

4.5.4 В зависимости от инженерно-геологических условий залегания закарстованных пород, их типа и технических решений по выполнению за-

щитных геотехнических мероприятий проектом могут предусматриваться дополнительные расчетные показатели и контролируемые параметры.

4.5.5 Расчетные показатели на этапе проектирования назначаются в соответствии с положениями СП 22.13330.2016 и СП 45.13330.2012 с учетом требований настоящих рекомендаций. Назначение расчетных показателей, отличающихся от требований норм и настоящих рекомендаций должно выполняться при научно-техническом сопровождении специализированной организации, обосновано результатами лабораторных и опытно-производственных работ на участке проектирования и должно обеспечивать требования СП 22.13330.2016 к геотехническим мероприятиям.

4.5.6 Значения расчетных показателей и контролируемых параметров могут быть откорректированы на этапе выполнения опытно-производственных работ, по результатам которых назначаются рабочие значения контролируемых параметров.

4.5.7 Для геотехнических мероприятий типа 2 усиление грунтов над закарстованными породами и в основании сооружений) дополнительно к требованиям п.4.5.2 должны назначаться следующие расчетные показатели:

- модуль деформации инъектируемого раствора – не менее значения модуля деформации окружающего грунта, но не менее 50 МПа;

- прочностные и деформационные характеристики закрепленного грунта или элементов закрепленного грунта ($E_{ар}$, $c_{ар}$, $\varphi_{ар}$, $R_{ар}$)

- прочностные и деформационные характеристики массива закрепленного грунта для массивов из закрепленных элементов ($E_{мас}$, $c_{мас}$, $\varphi_{мас}$, $R_{мас}$);

- физические характеристики закрепленного (плотность) грунта;

- геометрические размеры (в плане и по глубине) закрепленного массива.

4.5.8 Для геотехнических мероприятий типа 2 дополнительно к п.4.5.3 должны назначаться следующие контролируемые параметры:

- прочность на одноосное сжатие и модуль деформации закрепленного

грунта – контролируется по образцам, отобранным при контрольных работах;

- прочностные и деформационные характеристики закрепляемого массива (определяется методами полевых исследований грунтов – контрольное бурение с отбором проб массива, статическое зондирование, испытания штампами);

- геометрические параметры закрепленного массива (определяется на этапе контрольных работ контрольным бурением и геофизическими методами исследования).

4.5.9 В качестве расчетных показателей для материалов, используемых при закреплении/усилении грунта/создания армированных массивов принимаются расчетные значения $E_р$, $R_р$ (модуль деформации и прочность на одноосное сжатие раствора инъецируемого в грунт, независимо от способа инъекции).

Расчетное значение прочности на одноосное сжатие ($R_р$) и модуля деформации ($E_р$) на этапе проектирования назначаются в соответствии с положениями СП 22.13330.2016, СП 45.13330.2012 и раздела 4.2 настоящих рекомендаций.

4.5.10 Расчетное значение модуля деформации ($E_р$) инъекционных цементных растворов определяются по значению начального модуля упругости с учетом ползучести как для мелкозернистых бетонов по формуле (3):

$$E_р = E_{о\,р} / (1 + \varphi), \qquad (3)$$

где

$E_{о\,р}$ – начальный модуль упругости раствора, определяемый по формуле (4);

φ – коэффициент ползучести, принимаемый как для мелкозернистых бетонов по таблице 6.12 СП 63.13330.2012 для класса по прочности В10:

Относительная влажность воздуха окружающей среды, %	Значения коэффициента ползучести бетона $\varphi_{b,\,cr}$ при классе тяжелого бетона на сжатие
	B10
Выше 75	2,8
40–75	3,9
Ниже 40	5,6

4.5.11 Значение модуля деформации закрепленного цементными растворами грунта определяется по графику, приведенному на рисунке 5.

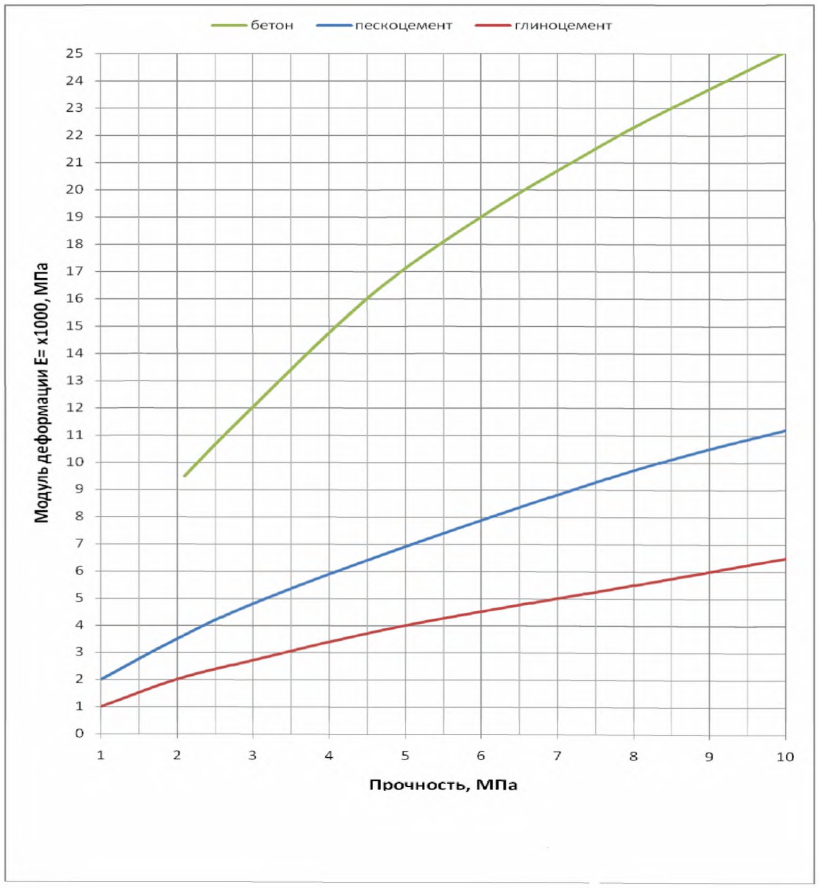


Рисунок 5 – Определение модуля деформации закрепленного цементными растворами грунта от значение кубиковой прочности на сжатие

4.5.12 Расчетное значение начального модуля упругости для цементных и цементно-песчаных растворов на этапе проектирования могут определяться в зависимости от значения принятой прочности как для мелкозернистых бетонов и растворов по следующей формуле:

$$E_p = (0{,}05R_{bn}^2 + 57{,}2\,R_{bn} + 217)/(32{,}8 + R_{bn})\times 100)\,, \qquad (4)$$

где

R_{bn} – нормативное значение прочности инъецируемого раствора;

4.5.13 В качестве расчетных показателей для закрепленного грунта или его элементов принимаются расчетные значения закрепленного грунта (E_{ap}, $c_{ар}$, $\varphi_{ар}$, $R_{ар}$).

Расчетное значение прочности на одноосное сжатие ($R_{гр}$) и модуля деформации ($E_{гр}$) на этапе проектирования назначаются раздела 4.6 настоящих рекомендаций. Расчетные значения ($c_{ар}$, $\varphi_{ар}$,) принимаются в соответствии с положениями СП 22.13330.2016, СП 45.13330.2012 как для грунтов с показателями модуля деформации $E_{гр}$.

4.5.14 В качестве расчетных показателей для массивов из закрепленного грунта принимаются расчетные значения ($E_{мас}$, $c_{мас}$, $\varphi_{мас}$, $R_{мас}$).

В зависимости от проектируемой схемы массива из закрепленного грунта (п. 4.1.10, приложение 3) значения расчетных показателей принимаются следующими:

- для сплошных массивов из закрепленного грунта (рис. П 3.1) – как для закрепленных грунтов по п.4.5.11 – $E_{мас} = E_{ар}$, $R_{мас} = R_{ар}$ и далее по п. 4.5.11;

- для массивов из элементов закрепленного грунта (рис. П 3.2 и П 3.3) и для любых ячеистых структур из элементов закрепленного грунта расчетные значения массивов ($E_{мас}$, $c_{мас}$, $\varphi_{мас}$) следует определять как интегральные характеристики в зависимости от способа закрепления и характеристик грунта между элементами закрепления (E, c, φ) .

4.5.15 Для массивов из элементов закрепленного грунта, выполненных

методами пропитки или струйной цементацией грунтов (рис. П3.2 и П 3.3) интегральный модуль деформации массива определяется в соответствии с положениями раздела 6.10 СП 22.13330.2016 по следующей формуле:

$$E_{мас} = \alpha \cdot E_{ар} + (1 - \alpha)\, E, \quad (5)$$

где

$E_{мас}$ – модуль деформации массива из элементов закрепленного грунта;

α – коэффициент замещения равный отношению объема закрепленного грунта к общему объему массива;

$E_{ар}$ – модуль деформации закрепленного грунта (п.4.5.11);

E – модуль деформации грунта естественного сложения, оставляемого между элементами закрепления.

4.5.16 Для массивов из элементов закрепленного грунта, выполненных инъекцией цементных растворов методом гидроразрыва по технологии манжетной инъекции (рис. П 3.4) интегральный модуль деформации массива определяется как наименьшее значение из значений, вычисленных по следующим методикам:

Методика 1. Определение расчетного показателя плотности усиливаемого грунта с учетом введенного в существующий объем грунта естественного сложения проектного объема твердеющего раствора. Назначение значения расчетного модуля деформации в зависимости от плотности грунта по таблицам СП 22.13330.2016.

Назначение значений ($c_{ар}$, $\varphi_{ар}$,) в соответствии с положениями СП 22.13330.2016, СП 45.13330.2012 как для грунтов с показателями модуля деформации $E_{гр}$.

Методика 2. Определение интегрального модуля деформации массива выполняется в соответствии с положениями п. 4.5.15 и положениям настоящего пункта. В качестве элементов закрепления принимаются элементы усиленного грунта с условным радиусом равным 0,5 значения расстояния между скважинами. В качестве расчетного значения $E_{ар}$ – модуля деформации за-

крепленного грунта принимается значение приведенного модуля, определяемое по формуле (6):

$$E_{ар} = \alpha_а \cdot E_р + (1 - \alpha_а) \cdot E_у, \quad (6)$$

где

$E_{ар}$ – приведенный модуль деформации элемента усиления с условным радиусом;

$\alpha_а$ – условный коэффициент замещения принимаемый равным отношению объема инъецируемого раствора к объему элемента усиления с уловным радиусом;

$E_р$ – модуль деформации раствора, определенный с учетом ползучести как для бетонов по формуле (3);

$E_у$ – модуль деформации уплотненного грунта, определяемый по значению плотности после инъекции в элемент усиления с условным радиусом проектного объема раствора (методика 1).

Методика 3. Определение интегрального модуля деформации массива выполняется в соответствии с положениями п. 4.5.12 и положениям настоящего пункта по модифицированной модели Хирча для многокомпонентных сред. В качестве расчетного значения модуля деформации закрепленного $E_{мас}$– принимается значение, определяемое по формуле (7):

$$E_{мас} = \frac{2}{\frac{1}{\alpha \times E_{ар} + (1-\alpha) \times E5{,}6} + \frac{\alpha}{E_{ар}} + \frac{1-\alpha}{E5{,}6}} \quad (7)$$

где

$E_{ар}$ – модуль деформации раствора, определенный с учетом ползучести как для бетонов по формуле (3);

E – модуль деформации грунта естественного сложения.

4.6 Технологические особенности выполнения геотехнических работ

Технологический регламент работ по геотехническим мероприятиям противокарстовой защиты территорий должен предусматривать выполнение требований проекта в части обеспечения проектных требований по свойствам закрепляемых грунтов, применяемым материалам и технологическим параметрам производства работ. В зависимости от проектируемого вида геотехнических мероприятий требования технологического регламента должны соответствовать положениям СП 45.13330.2012 и требованиям настоящего раздела.

4.6.1 Тампонаж карстовых пустот и укрепление трещиноватых пород

4.6.1.1 Работы по тампонажу карстовых пустот и укреплению трещиноватых пород следует выполнять согласно РД и ППР.

4.6.1.2 Способ бурения инъекционных скважин для тампонажа карстовых полостей и закрепления покровных отложений грунтов выбирается исходя из инженерно-геологических условий объекта и глубины залегания закарстованных пород. Диаметр бурения в покровных отложениях назначается в зависимости от глубины скважины и выбранного способа бурения, в среднем составляет от 110 до 150 мм.

4.6.1.3 Для тампонажа карстовых полостей бурение инъекционных скважин в покровных отложениях до карстующихся пород с углублением на 0,5 м следует производить с обсадкой металлическими или пластмассовыми трубами.

4.6.1.4 В карстовых породах следует бурить скважины диаметром порядка 75–100 мм с промывкой водой или продувкой воздухом. Бурение и нагнетание раствора производить зонам и по глубине. По окончании бурения перед нагнетанием раствора зону в скважине следует промывать до полного осветления изливающейся воды.

4.6.1.5 Бурение и нагнетание растворов в трещиноватых грунтах при глубине цементируемой породы от 6 до 8 м следует производить, как правило, в один прием независимо от характера трещиноватости и величины удельного водопоглощения.

При большей глубине следует производить разделение скважины на зоны и поочередное нагнетание раствора в каждую из них в следующих случаях:

а) в породах, обладающих сравнительно небольшой и одинаковой по всей глубине трещиноватостью (удельное водопоглощение от 0,1 до 0,2 л/мин·м^2) и исключением обрушений стенок скважин, интервал зоны допускается не более 10 м;

б) в породах с переменной трещиноватостью или при больших значениях удельного водопоглощения (от 0,2 до 1,0 л/ л/мин·м^2 и более) интервал зоны принимается от 3 до 5 м;

в) в породах с карстовыми кавернами и крупными трещинами интервал зоны принимается от 1 до 3 м.

4.6.1.6 Для нагнетания раствора применяют разжимной тампон типа (приложение 5), устанавливаемый в скважине над зоной инъекции или согласно проекта на любой глубине обсадной трубы.

4.6.1.7 Нагнетание цементного раствора в скважину (зону) в трещиноватые породы следует производить до отказа или до перерыва нагнетания в случаях, предусмотренных РД. За отказ в поглощении следует принимать снижение расхода раствора до 2–5 л/мин в зависимости от внутреннего диаметра растворопровода при проектном давлении отказа.

4.6.1.8 Давление при нагнетании растворов в трещиноватые породы устанавливается РД и корректируется по результатам контрольного закрепления. Величина предельно допустимого давления при нагнетании реагентов должна исключать возможность образования разрывов и распространения растворов за пределы закрепляемой зоны.

4.6.1.9 Инъекционные работы следует производить способом последовательного сближения скважин, начиная с максимальных расстояний, при которых гидравлическая связь между ними при заданных РД значениях давления будет отсутствовать.

4.6.2 Закрепление грунтов покровных отложений инъекцией растворов

4.6.2.1 Закрепление песчаных грунтов от крупных до мелкозернистых с коэффициентом фильтрации от 1 до 80 м/сут. для устройства водоупора над закарстованными породами производится путем инъекции цементных или химических растворов типа полимеров неорганических (силиката натрия) и органических (синтетических смол) по манжетной технологии. Закрепление грунтов цементными растворами называется цементацией, на основе силиката натрия – силикатизацией, на основе смол – смолизацией.

4.6.2.2 Нагнетание растворов в грунт производятся по манжетной технологии через скважины, оборудованные манжетными колоннами (приложение 5). Водопроницаемость закрепленного песка снижается до $K_ф = A(10^{-3}–10^{-4})$ м /сут., сравнимой с глинистыми грунтами, а прочность достигает до 5 МПа и более.

4.6.2.3 Производство работ по закреплению грунтов последовательно включает следующие этапы:

- подготовительные и вспомогательные работы, включая приготовление промывочных растворов;
- бурение и оборудование инъекционных скважин;
- нагнетание растворов в грунты;
- ликвидация инъекционных скважин;
- работы по контролю качества закрепления.

4.6.2.4 Технология закрепления по манжетной технологии состоит из следующих операций:

- бурение скважины диаметром 100–150 мм (в зависимости от глубины) под глинистым раствором;

- устройство в скважине манжетной колонны;

- выдержка скважины 2–3 суток для набора прочности цементно-глинистой обоймы;

- нагнетание раствора через каждый манжет согласно ППР;

- ликвидация скважины путем заполнения безусадочным раствором.

4.6.2.5 Закрепление песчаных грунтов от крупных до мелких можно производить инъекцией цементных растворов, приготовленными из высокодисперсных микроцементов.

Выбор микроцемента по дисперсности (по показателям гранулометрического состав или удельной поверхности), пригодной для инъекционного закрепления исследуемого песка с его фильтрационными характеристиками, можно ориентировочно производить, руководствуясь приложением 6, с последующим обязательным уточнением в лабораторных исследованиях и на опытно-производственных работах.

4.6.2.6 Для закрепления песчаных грунтов в режиме пропитки применяют водные растворы из микроцементов следующих составов (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Состав микроцементных растворов

Водоцементное отношение раствора	2	3	4	5
Плотность раствора, т/м^3	1,28	1,2	1,15	1,12
Расход цемента в 1 м^3 раствора, т	0,43	0,3	0,23	0,19
Расход воды в 1 м^3 раствора, м^3	0,85	0,9	0,92	0,93

4.6.2.7 Производство работ по закреплению песчаных грунтов инъекцией микроцементов последовательно включает следующие этапы:

- бурение и оборудование инъекционных скважин манжетными колоннами;

- приготовление раствора из микроцемента в растворосмесителе и его непрерывное перемешивание в емкости, в целях исключения расслоения и седиментации цементных частиц до полного внедрения всего объема в грунт;

- нагнетание цементного раствора в грунт;

- ликвидация инъекционных скважин;

- контроль качества закрепленного грунта.

4.6.2.8 Приготовление цементных растворов из микроцементов производят в высокоскоростных смесителях с числом оборотов смесителей не менее 1000 об/мин, обеспечивающих интенсивное разрушение агрегированных статикой структур и слипшихся мельчайших частиц цемента. Продолжительность перемешивания смеси до достижения постоянной плотности и вязкости раствора составляет не менее 3 мин.

4.6.2.9 Контроль качества состава инъекционного раствора после приготовления является обязательной операцией и должен производиться путем замера плотности раствора с помощью ареометра или весового плотномера.

4.6.2.10 Нагнетание растворов из микроцементов в песчаные грунты можно производить поршневыми, плунжерными насосами с соблюдением следующих правил:

- нагнетание раствора в грунт следует выполнять под давлением, предусмотренным РД и ППР, не вызывающим в грунте разрывов, по которым раствор может прорываться за пределы зоны закрепления;

- нагнетание закрепляющего раствора в зону (захватку) грунта следует выполнять до полного поглощения проектной нормы или до «отказа», когда величина расхода раствора в течение 5 мин не превышает 0,2 л/мин при максимально допустимом давлении, предусмотренном РД и ППР. В зависимости от инженерно-геологических условий и расчетных требований проекта значение отказа может быть назначено иным;

-в первую очередь в неоднородных по проницаемости грунтах следует закреплять слои с большей водопроницаемостью;

- нагнетание раствора в скважины следует производить небольшими зонами (захватками), не превышающими 0,5 м.

4.6.2.11 Проверка правильности проектных (расчетных) параметров закрепления грунтов и технических условий на производство работ уточняется путем контрольного закрепления на опытном участке на начальной стадии производства работ

4.6.2.12 Порядок производства инъекционных работ назначается РД и ППР в зависимости от конструкции закрепляемого массива, грунтовых и гидрогеологических условий площадки с соблюдением следующих правил:

- нагнетание закрепляющих растворов следует выполнять в режиме с соблюдений величин расхода и давления, не вызывающих в грунте разрывов и выхода за пределы зоны закрепления;

- последовательность инъекционных работ при закреплении обводненных песчаных грунтов должна обеспечивать гарантированное вытеснение подземных вод из закрепляемого объема грунтового массива нагнетаемыми реагентами; защемление подземных вод в закрепляемом массиве не допускается;

-в неоднородных по проницаемости грунтах слой с большей проницаемостью следует закреплять в первую очередь;

- промывочные воды и технические отходы должны перекачиваться в специальные емкости, которые следует вывозить с объекта участка и разгружать в установленных для этого местах.

4.6.2.13 Инъекционные работы следует производить способом последовательного сближения скважин, начиная с максимальных расстояний, при которых гидравлическая связь между ними при заданных РД значениях давления будет отсутствовать.

4.6.2.14 Нагнетание химических растворов и из микроцементов в песчаные грунты можно производить поршневыми, плунжерными насосами с соблюдением следующих правил:

- нагнетание раствора в грунт следует выполнять под давлением, предусмотренным РД и ППР, не вызывающем в грунте разрывов, по которым раствор может прорываться за пределы зоны закрепления;

- нагнетание закрепляющего раствора в зону (захватку) грунта следует выполнять до полного поглощения проектной нормы или до «отказа», когда величина расхода раствора в течение 5 мин не превышает 0,2 л/мин при максимально допустимом давлении, предусмотренном РД и ППР;

- в первую очередь в неоднородных по проницаемости грунтах следует закреплять слои с большей водопроницаемостью;

-нагнетание раствора в скважины (инъекторы) с целью обеспечения равномерного закрепления грунта по глубине следует производить небольшими зонами (захватками), не превышающими 0,5 м.

4.6.2.15 Инъекционные работы в режиме гидроразрыва следует проводить в случае если в режиме пропитки невозможно выполнить закрепление грунта в связи с низкими фильтрационными свойствами грунт, а также для изменения напряженного состояния массива грунта для повышения его жесткости.

4.6.2.16 В результате инъекции в режиме гидроразрыва происходит следующее:

- закрепление грунта в зонах окружающих трещины гидроразрывов;
- армирование грунта трещинами гидроразрыва;
- уплотнение грунта между трещинами;
- изменение напряжений в массиве грунта.

4.6.2.17. Требуемое значение НДС массива грунта может быть определено как численным методом, так и аналитически.

4.6.2.18 При численном методе решается задача нахождения требуемого НДС (горизонтальных напряжений) при котором усиленный массив грунта не потеряет устойчивости. Это может быть выполнено путем изменения коэффициента бокового давления.

4.6.2.19 Аналитически требуемые значения НДС могут быть определены по формулам 1 и 3 приложения 3, решая их относительно горизонтальных напряжений.

4.6.2.20 Необходимые величины объемных деформаций для получения требуемых значений напряжений могут быть получены используя функцию объемного расширения, которая имеется в ряде геотехнических программ, в частности PLAXIS.

4.6.2.21 Объем инъекционного раствора, необходимый для создания объемных деформаций, указанных в п. 4.6.2.20, зависит от фильтрационных характеристик, а также объема пор и пустот в грунте и может быть определен согласно приложению 3.

4.6.3 Закрепление грунтов покровных отложений методом струйной цементации

4.6.3.1 Закрепление над закарстованными породами для устройства площадной противофильтрационной завесы (водоупора) можно производить по гидроструйной цементации. Технология основана на использовании энергии высоконапорной струи цементного раствора или воды в воздушном потоке для разрушения и одновременного перемешивания грунта в скважине с цементным раствором. После твердения смеси образуется столб цилиндрической формы из закрепленного грунтоцемента, обладающего повышенной прочностью и водонепроницаемостью.

4.6.3.2 Методом струйной цементации можно закреплять любые грунты разной степени влажности, включая песчаные, супесчаные, суглинистые

и глинистые, предавая им требуемыми физико-механические характеристики:

а) прочность на одноосное сжатие, модуль деформации;

б) водонепроницаемость;

в) однородность закрепления в плане и по глубине.

4.6.3.3 Методом струйной цементации можно создавать в массивах грунта из взаимно пересекающихся закрепленных грунтоцементных элементов противофильтрационные завесы вертикального и горизонтального простирания.

4.6.3.4 Струйная технология включает в себя следующие основные операции:

а) бурение направляющей лидерной скважины без обсадки на глубину, превышающую на 1 м подошву завесы;

б) размыв в грунте по мере подъема с вращением инструмента (монитора) цилиндрической полости с одновременным смешением грунтового шлама с цементным или цементо-глинистым раствором.

4.6.3.5 Закрепление грунтов методом струйной цементации, в зависимости от грунтовых условий, а так же требуемой прочности и фильтрационных свойств создаваемой грунтоцементной конструкции и ее назначения, можно производить по следующим трем технологиям:

а) однокомпонентная технология (*Jet-1*). Разрушение грунта производится струей цементного (возможно цементно-глинистого) раствора. Технология – наиболее простая в исполнении, посредством которой достигается наибольшая плотность и прочность грунтоцемента. Прочность на сжатие грунтоцемента при оптимальном расходе цемента (от 350 до 400 кг/м^3) в песчаных грунтах, выполненных по технологии (*Jet-1*), составляет в среднем от 5 до 10 МПа, в глинистых грунтах – не более 4 МПа. Диаметр грунтоцементных свай в глинистых грунтах не превышает 500 мм, в песчаных грунтах – 700 мм. Возможны более высокие показатели диаметра и прочности при по-

вышенных расходах цемента вплоть до полного замещения грунта цементным раствором;

б) двухкомпонентная технология (*Jet-2*). Для увеличения объема закрепляемого грунта дополнительно используется энергия сжатого воздуха, создающего искусственный воздушный поток вокруг струи раствора. Плотность и прочность грунтоцемента ниже на 10–15%, чем по технологии *Jet-1*, диаметр грунтоцементных элементов больше и достигает в глинистых грунтах 700 мм, в песках – 1000 мм;

в) трехкомпонентная технология (*Jet-3*). Разрушение грунта производится водной струей в искусственном воздушном потоке, а цементный (цементно-глинистый) раствор подается в виде отдельной струи. Плотность и прочность грунтоцемента значительно ниже, чем при *Jet-1 и Jet-2*, диаметр грунтоцементных элементов больше и может достигать при оптимальном расходе цемента в глинах 900 мм, в песках – 1500 мм.

4.6.3.6 Для закрепления грунтов по струйной технологии применяют цементный раствор преимущественно с в/ц отношением от 1:1 до 0,6:1. Растворы с в/ц < 0,6 затруднительно применять из-за более высокой вязкости, а также быстрого износа сопел монитора абразивными частицами цемента. Растворы с в/ц > 1, отличающиеся меньшим содержанием цемента, закрепляют грунт с весьма невысокой прочностью.

4.6.3.7 Выбор состава твердеющего раствора и расход цемента зависит от требуемой прочности грунтоцемента. Содержание цемента предварительно определяют по результатам лабораторных исследований. Для этого образцы грунта, отобранные с объекта или подобные им виды, закрепляются путем смешивания с цементным раствором различного состава по В/Ц. По результатам испытания на прочность определяют оптимальный расход цемента, обеспечивающий установленную РД прочность грунтоцемента, который затем уточняется при выполнении опытно-производственных работ.

4.6.3.8 Диаметры грунтоцементных элементов, полученных в различных грунтовых условий по струйной цементации, приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10

Грунт	Метод обработки	Диаметр сваи, м	
		Не менее	Не более
Песчаный, насыпной грунт (разнозернистые пески, супеси)	*Jet*-1	0,4	1,0
	Jet-2	0,8	1,8
	Jet-3	1,2	2,5
Связные грунты (суглинки, глины)	*Jet*-1	0,4	0,6
	Jet-2	0,6	1,2
	Jet-3	0,8	1,5

4.6.3.9 Выбор технологии зависит от вида закрепляемого грунта и установленного РД диаметра и контролируемого показателя качества – прочности и водонепроницаемости грунтоцемента. Для уточнения технологических параметров (скорости подъема и числа оборотов монитора и подбор кинетической энергии гидроструи), а также состава закрепляющего раствора, увязки их с конкретными грунтовыми условиями объекта рекомендуется предварительное проведение опытно-производственных работ. В процессе проведения опытных работ производят контроль геометрических параметров закрепленного грунта, качества (прочность и однородность) грунтоцемента в свае, а также их соответствия проектным требованиям.

4.6.3.10 По результатам опытно-производственных работ, при необходимости, выполняют корректировку РД, а участок грунтоцементных элементов, выполненный в процессе опытно-производственных работ при его соответствии проектным требованиям, может быть принят в качестве элемента проектируемой конструкции.

4.6.3.11 Работы по закреплению грунтов способом струйной цементации выполняют по РД, в которой должны быть кроме общих требований,

включающих расположение скважин в плане и по глубине, диаметры закрепления и прочностные их характеристики, указаны следующие технологические параметры:

- скорость подъема монитора;

- давление цементного раствора перед монитором;

- В/Ц состав размывающего и закрепляющего раствора;

- расход цементного раствора (цемента) на единицу длины скважины (сваи).

4.6.3.12 При выполнении работ рекомендуется придерживаться следующих общих положений производства работ:

- расход цемента, оптимальный для устройства грунтоцементных элементов диаметром от 0,6 до 1,2 м, 350–500 кг/п.м;

- скорость подъема монитора варьируется в зависимости от вида и свойств грунта в пределах 0,25–0,5 м/мин с частотой вращения от 10 до 30 об./мин;

- давление подачи цементного раствора регулируется в зависимости от вида и свойств грунта от 10 до 70 МПа при расходе от 60 до 250 л/мин. Давление сжатого воздуха для *Jet*-2 и *Jet*-3 должно быть не менее 0,8 МПа;

- размыв глинистых грунтов рекомендуется производить при пониженной скорости подъема до 0,25 м/мин и повышенных оборотах монитора до 30 об/мин при максимальном давлении гидроструи;

- размыв песчаных грунтов рекомендуется производить при пониженном до 10 МПа давлении и повышенном до 250 л/мин расходе, и повышенной скорости подъема монитора до 0,5 м/мин, а также при небольших оборотах монитора до 10 об/мин.

4.7 Организация и контроль качества выполнения работ

4.7.1 Организация и контроль качества геотехнических мероприятий

противокарстовой защиты должны выполняться в соответствии с положениями СП 22.13330.2016 и СП 45.13330.2012. Дополнительные требования к контрольным работам при тампонаже закарстованных пород и расположенных над ними грунтов приведены в настоящем разделе.

4.7.2 Геотехническое укрепление закарстованных грунтов инъекцией цементных и химических растворов представляет скрытый характер, поэтому работы должны контролироваться на всех этапах ее производства.

Различают следующие этапы контроля:

- входной контроль площадки, документации, материалов, оборудования;

- оперативный контроль производственных и технических циклов работ;

- контроль качества выполненной инъекции на отдельных участках и в массиве в целом;

- оценка выполненной инъекции в целом по сооружению.

4.7.3 Входной контроль является первой ступенью, на которой определяется последовательность и достаточность разработанного в ППР цикла выполнения работ и соответствие оборудования и материалов требуемым параметрам технологического регламента.

4.7.4 Оперативный контроль в процессе работ осуществляется персоналом производителя работ и выборочно авторским надзором проектной организации и технической инспекцией строительства.

Контролю подлежит:

- правильность разбивки осей рядов и отдельных скважин;

- очередность бурения скважин, зон захваток и инъекции в них растворов;

- соответствие технологических режимов инъекции (давление, расход, вид и состав раствора) проектным рекомендациям;

- правильность дозировки компонентов приготавливаемого раствора,

соответствие фактических характеристик материалов и растворов заданным в проекте;

- полнота и достоверность записей результатов работ в первичных журналах.

4.7.5 Контроль качества производства работ обеспечивается обязательным ведением журналов на специальные виды работ по всем видам работ (буровым, инъекционным, контрольным) журналов, представляющих первичную техническую документацию.

4.7.6 В буровом журнале при бурении скважин для тампонажа и закрепления закарстованных грунтов инъекции растворов следует по каждой скважине фиксировать:

- номер скважины, место расположения и диаметр;

- диаметр обсадной трубы, если карст покрытый;

- глубину и относительную отметку устья и забоя обсадной трубы;

- вид и характер пройденных грунтов;

- размеры встреченных пустот (по высоте провала инструмента) и характера заполнителя в них;

- диаметр и глубина скважины в карстующей породе.

4.7.7 В буровом журнале (приложение 9) при бурении скважин для закрепления инъекцией растворов покровных грунтов следует по каждой скважине дополнительно фиксировать вид и характер пройденных грунтов для уточнения состава раствора и режима инъекции.

4.7.8 В журнале инъекционных работ по тампонажу и закреплению закарстованных грунтов по каждой скважине или зоне следует фиксировать:

- номер скважины, ее глубина и диаметр, глубина низа обсадных труб или кондуктора (открытого карста), глубина установки тампона;

- текущие данные, записываемые по мере инъекции;

- время измерения, состав нагнетаемого раствора, количество введенного раствора, давление, отклонения от нормального хода инъекции;

- общее количество израсходованных материалов.

4.7.9 В журнале инъекционных работ (приложение 10) по закреплению покровных грунтов следует в каждой скважине по каждой зоне фиксировать режим инъекции и расход раствора.

4.7.10 По данным первичной документации должны составляться отчетные документы о проделанной работе, включающие:

технический отчет по результатам бурения и инъекции растворов в каждую скважину;

исполнительные профили (разрезы) по участку инъекционных работ с указанием результатов инъекции в графическом исполнении.

4.7.11 Операционный контроль, выполняемый в процессе производства инъекционных работ, должен включать:

- входной контроль качества исходных материалов, поступающих для цементации;

- контроль свойств приготовленного инъекционного раствора, проводимый не реже двух раз в рабочую смену, если приготовление раствора не автоматизировано;

- контроль за соблюдением методов производства буровых и инъекционных работ, предусмотренных проектом и настоящими Рекомендациями.

4.7.12. Состав и объем контрольных работ по определению результатов и качества инъекционного уплотнения устанавливается проектом в зависимости от природных особенностей цементируемых грунтов и их пустот и назначения цементации, определяемого характером и конструкцией сооружения, в основании которого проводится цементация.

4.7.13 Как правило, контроль результатов работ следует проводить бурением контрольных скважин и оценкой размеров остаточных незаполненных пустот по провалам бурового инструмента и показателем удельного водопоглощения. Число контрольных скважин следует назначать

в пределах 5–10% числа основных цементационных скважин.

4.7.14 Контрольные работы должны включать:

- анализ качества и результатов инъекции по исполнительной документации;

- контрольное бурение скважин с отбором и испытанием кернов и контрольным нагнетанием раствора или воды в скважины;

- контрольные измерения физических характеристик закарстованных грунтов геофизическими методами до и после инъекции.

4.7.15 В результате анализа исполнительной документации выявляются закономерности изменения проницаемости грунтов по очередности работ, участки с большими и малыми поглощениями. На основании анализа назначаются места заложения контрольных скважин для оценки достаточности выполнения инъекционных работ. Контрольные скважины назначаются в объеме 5–10% от объема рабочих скважин. Бурение контрольных скважин в закарстованных грунтах производится со сплошным отбором керна и гидравлическим опробованием.

4.7.16 Эффективность осуществления геотехнических мероприятий проверяют контрольными инженерно-геологическими изысканиями. Отчеты по контрольным инженерно-геологическим изысканиям после проведения цементации должны определить соответствие фактически выполненного закрепления проекту, а также содержать информацию прогнозного характера о возможной активизации карстового процесса на соседней территории (при возникновении барражных эффектов закрепленных массивов.

4.7.17 Если удельное водопоглощение в контрольных скважинах по своей средней величине и допускаемым отклонениям от средней величины соответствует требованиям проекта и выбуренные керны указывают на полное заполнение карстовых пустот тампонажным раствором, инъекционные работы следует признать достаточными. В противном случае в тех местах,

где контрольные скважины показали неудовлетворительные результаты, проектная организация назначает дополнительные скважины для инъекции растворов.

4.7.18 Контроль качества искусственного закрепления грунтов, цементации карстовых полостей, создания противофильтрационных цементационных завес выполняется методами межскважинной сейсмотомографии, а также методами электроразведки (симметричное и дипольное профилирование и ЗСБЗ) путем наблюдений до и после укрепления грунта на одной и той же базе исследований.

4.7.19 Контроль качества работ по тампонажу закарстованных пород

4.7.19.1 Качество цементации трещиноватых и закарстованных пород оценивается контрольным бурением по наличию или отсутствию провалов бурового инструмента и извлеченным кернам, по величине удельного водопоглощения при гидравлическом опробовании и показателей цементации контрольных скважин.

4.7.19.2 Мероприятия по контролю заданных проектом форм, размеров и однородности закрепления должны быть предусмотрены в РД и ППР. Количество контрольных скважин должно составлять не менее 3–5% общего количества рабочих скважин.

4.7.19.3 Качество закрепленного грунтового массива (сплошность и однородность закрепления, формы и размеры массива, прочностные и деформационные характеристики закрепленных грунтов) должно соответствовать установленным требованиям РД. Предельные отклонения в сторону уменьшения измеряемых величин – не более 10%.

4.7.19.4 Качество цементации должно соответствовать установленным в РД критериям качества – расчетным показателям и контролируемым параметрам в соответствии с разделами 4.3 – 4.6.

4.7.20 Контроль качества работ по закреплению грунтов покровных отложений

4.7.20.1 Контроль качества закрепленных грунтов в отношении сплошности, однородности закрепления, формы и размеров закрепленного массива, прочностных, деформационных, водопроницаемости и других физико-механических свойств закрепленных грунтов обеспечивается следующими мероприятиями:

- вскрытием контрольных шурфов;
- бурением контрольных скважин с отбором, обследованием и испытанием проб;
- испытаниями массива статическим или динамическим зондированием;
- исследованиями водопроницаемости массива гидравлическим опробиванием в пробуренных скважинах;
- исследованиями закрепленных массивов геофизическими методами.

4.7.20.2 Контроль качества закрепленных песчаных грунтов в отношении прочностных и деформационных свойств производят путем отбора образцов проб при вскрытии закрепленных элементов контрольными шурфами или отбора керна при бурении контрольных скважин. Объемы контрольных работ должны назначаться проектом но не менее, чем предусмотрено разделом 16. СП 45.13330.2012 – контрольных скважин и точек зондирования не менее 3–5 %, и не менее одного шурфа на 1 тыс. $м^3$ закрепленного грунта, но при этом не менее двух шурфов на объект. Для объектов пониженного и нормального уровней ответственности.

4.7.20.3 Образцы закрепленного грунта из элементов следует отбирать через каждые 0,5 м по глубине и не менее чем в двух точках в горизонтальном сечении на расстоянии от 1/6 и 5/6 радиуса закрепления.

4.7.20.4 Значение нормативного сопротивления сжатию закрепленных инъекцией микроцементов песков по образцам, отобранным из элементов, рассчитывают по формуле

$$R_{stb} = 0{,}25(R_0 + R_t), \qquad (8)$$

где R_0 и R_t – среднее значение сопротивления сжатию образцов, отобранных соответственно на расстоянии от оси скважины 1/6 r и 5/6 r.

4.7.20.5 Контроль качества водонепроницаемости закрепленных песчаных грунтов в завесе проверяется путем гидравлического опробования пробуренных скважин в количестве не менее 3–5% общего количества рабочих скважин.

4.7.20.6 Мероприятия по контролю заданных проектом форм, размеров и однородности закрепления должны быть предусмотрены в РД и ППР. Количество контрольных скважин, точек зондирования должны составлять не менее 3–5% общего количества рабочих скважин и не менее одного шурфа на 1 тыс. $м^3$ закрепленного грунта, но не менее двух шурфов на объект.

4.7.20.7 Качество закрепленного грунтового массива (сплошность и однородность закрепления, формы и размеры массива, прочностные и деформационные характеристики закрепленных грунтов) должно соответствовать установленным требованиям РД. Предельные отклонения в сторону уменьшения измеряемых величин – не более 10%.

4.7.20.8 Количественные показатели закрепления должны соответствовать установленным в РД критериям качества – расчетным показателям и контролируемым параметрам в соответствии с разделом 4.5 настоящих рекомендаций.

4.7.21 Контроль качества работ по закреплению грунтов покровных отложений методом струйной цементации

4.7.21.1 Контроль качества и оценка завершенности работ по закреплению грунтов методом струйной цементации, относящихся к скрытым работам, следует проводить систематически на всех этапах производства работ, включая:

- входной контроль поступающих материалов, заключающийся в проверке соответствия их стандартам, техническим условиям, паспортам и другим документам, подтверждающим качество материалов, в проверке соблюдения требований их разгрузки и хранения;

- контроль за скважинами, их расположением в плане, габаритами (диаметром и глубиной), направлением и отклонением от вертикали в массиве;

- оперативный контроль за соблюдением технологического режима производства работ (скорость подъема и вращения монитора, консистенция и расход цементного раствора, давление нагнетания размывающего и твердеющего растворов), соответствующего проектным рекомендациям;

- контрольные работы по определению результатов укрепления основания струйной цементацией и соответствие их проектным требованиям.

4.7.21.2 Контроль качества закрепленных грунтов осуществляют путем отбора образцов проб при вскрытии закрепленных элементов контрольными шурфами или отбора керна при бурении контрольных скважин.

4.7.21.3 Количество и расположение грунтоцементных элементов для испытаний назначается проектной организацией, но должно быть не менее двух на каждые сто свай, расположенных в одинаковых грунтовых условиях.

4.7.21.4 Образцы из грунтоцементных элементов следует отбирать через каждые 1 м по глубине и не менее чем в двух точках в горизонтальном сечении на расстоянии от 1/3 и 5/6 радиуса закрепления.

4.7.21.5 Оценку прочности грунтоцемента в грунтоцементных элементах производят путем испытания на одноосное сжатие образцов и кернов, отобранных из тела грунтоцементных элементов (в центре и на периферии), не ранее чем через 14 сут. и через 21 сут. – кернов, отобранных в глинистых грунтах.

4.7.21.6 Значение нормативного сопротивления образцов сжатию, закрепленных по струйной технологии, рассчитывают по формуле (9)

$$R_{stb} = 0{,}11\ R_0 + 0{,}89\ R_t, \qquad (9)$$

где R_0 и R_t – среднее значение сопротивления сжатию образцов, отобранных соответственно на расстоянии от оси скважины по радиусу 1/3 и 5/6.

4.7.21.7 Качество закрепленных методом струйной цементации грунтов следует оценивать по следующим контролируемым показателям:

- однородность закрепления по показателю качества – по интегральному значению прочности на одноосное сжатие, определяемому по формуле (9) для каждого метра закрепления по глубине (отклонения от проектных требований в сторону меньших значений не более 10%);

- однородность закрепления по отсутствию незакрепленных участков в плане и по глубине (определены РД, но не более 20%);

- формы и размеры грунтоцементного элемента/массива из грунтоцементных элементов с требуемым показателем качества прочностные и противофильтрационные характеристики закрепленных грунтов должно соответствовать требованиям РД. Предельные отклонения с уменьшением измеряемых величин — не более 10%.

4.7.21.8 Количественные показатели закрепленных методом струйной цементации грунтов должны соответствовать установленным в РД критериям качества – расчетным показателям и контролируемым параметрам в соответствии с разделом.4.5 настоящих рекомендаций.

4.8 Охрана труда и техника безопасности при выполнении геотехнических противокарстовых мероприятий

4.8.1 При производстве буровых, инъекционных и работ с использованием гидроструйной технологии, кроме требований настоящих Рекомендаций, необходимо выполнять требования СНиП 12-03-2001 и СНиП 12-04-2002.

4.8.2 Производство разрешается только при наличии проекта производства работ, в котором должны быть указаны основные технологические параметры, последовательность и продолжительность выполнения отдельных операций.

4.8.3 Производство работ в зоне расположения подземных коммуникаций (электрокабелей, трубопроводов и др.) допускается только с письменного разрешения организации, ответственной за эксплуатацию этих коммуникаций.

К разрешению должна быть приложена схема с указанием расположения и глубины заложения коммуникаций, составленная на основании исполнительных чертежей.

До начала работ на поверхности грунта должны быть установлены знаки, указывающие места расположения подземных коммуникаций.

4.8.4 К производству работ с использованием инъекционной и гидроструйной технологий могут быть допущены только специально обученные рабочие, ознакомленные с особенностями технологии и прошедшие специальный инструктаж.

4.8.5 В связи с тем, что гидроструйная технология предусматривает использование высоких давлений, все виды работ должны производиться при строгом соблюдении специальных правил техники безопасности и выдерживании контрольных сроков ревизии и ремонта оборудования.

4.8.6 Инъекционные насосы для растворов и воды, используемые в

работе, должны быть снабжены манометрами, которые подлежат периодической проверке, и предохранительными клапанами, отрегулированными на соответствующие давления.

4.8.7 На участок, где ведутся работы с использованием гидроструйной технологии, не допускаются лица, непосредственно не связанные с выполнением этих работ.

4.8.8 Устранение неисправностей, разъединение и подсоединение рукавов и другие монтажно-ремонтные работы допускается производить только при остановленных насосах и сброшенном давлении.

4.8.9 Во время работы запрещается переставлять, перегибать и натягивать высоконапорные рукава. Высоконапорные рукава должны быть размещены с возможностью свободного перемещения.

4.8.10 Не допускается свободный выпуск пульпы на строительную площадку.

Изливающаяся из скважины пульпа должна перехватываться и отводиться по канавам в специальные шламосборники.

4.8.11 Категорически запрещается прочищать засорившиеся сопла монитора при работающем насосе. В случае засорения сопла перед его прочисткой насос должен быть остановлен, а давление в магистралях сброшено.

4.8.12 Используемые в работе напорные рукава должны иметь не менее чем двукратный запас прочности и подвергаться после монтажа и в дальнейшем при работе не реже, чем через каждые три месяца контрольному испытанию под рабочим давлением в течение 30 мин.

5 Геотехнический мониторинг при проведении противокарстовых мероприятий, строительстве и эксплуатации объектов на закарстованных территориях

5.1 Геотехническому мониторингу при проведении противокарстовых мероприятий, строительстве и эксплуатации объектов на закарстованных территориях подлежат сооружения уровня ответственности КС-3 (повышенный) и КС-2 (нормальный), при их расположении на территориях опасных и потенциально-опасных в карстово-суффозионном отношении по СП 22.13330.2016.

5.2 Целью геотехнического мониторинга при проведении противокарстовых мероприятий, строительстве и эксплуатации объектов на закарстованных территориях является своевременное выявление изменения контролируемых параметров конструкций и грунтов оснований, которые могут привести к переходу объектов в ограниченно работоспособное или аварийное состояние и принятие дополнительных мер противокарстовой защиты.

5.3 Необходимость проведения геотехнического мониторинга объектов капитального строительства на закарстованных территориях обосновывается проектом с учетом результатов инженерно-геологических изысканий и требований действующих норм проектирования строительства (СП 22.13330.2016, СП «Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве»).

5.4 Геотехнический мониторинг объектов на закарстованных территориях осуществляют в соответствии с программой, а для сооружений уровня ответственности КС-3 (повышенный) – проектом геотехнического мониторинга (наблюдательной системы), которые разрабатываются и утверждаются в составе проектной документации. Разработка программы и проекта геотехнического мониторинга, а также его проведение выполняется специализированными организациями.

5.5 Программа или наблюдательная система геотехнического мониторинга объекта должна учитывать прогнозируемый характер и вероятностное проявление карстовых деформаций в пространстве и времени объекта.

5.6 Наблюдательная система геотехнического мониторинга в период строительства должна обеспечивать возможность ее последующего включения в структурированную систему мониторинга и управления инженерными системами сооружений (СМИС) в случае, если предусмотрена система мониторинга объекта в период эксплуатации. Используемые приборы и оборудование рекомендуется подбирать исходя из условий обеспечения проектного срока действия системы мониторинга в период эксплуатации, требуемой точности и устойчивости к внешним воздействиям, возможности дистанционного снятия показаний.

5.7 В составе программы или проекта геотехнического мониторинга приводятся:

- используемые методы геотехнического мониторинга (визуально-инструментальные, геодезические, геофизические, параметрические, гидрогеологические и температурные);

- контролируемые параметры;

- допустимый диапазон изменения контролируемых параметров;

- комплекс контролирующих средств (марок, реперов, датчиков деформаций и измерительных приборов и др.);

- наблюдательная сеть точек установки измерительных устройств, учитывающая прогнозируемый характер, динамику развития карстовых процессов, а также особенности деформаций оснований, фундаментов и наземных конструкций, обусловленные такими процессами;

- необходимая частота циклов наблюдений за контролируемыми параметрами;

- план мероприятий в случае достижения контролируемых параметров допустимых пределов.

5.8 Геотехнический мониторинг при проведении противокарстовых мероприятий, строительстве и эксплуатации объектов на закарстованных территориях, как правило, включает комплексную систему периодических наблюдений за изменением уровней, температуры и химического состава подземных вод, физико-механических свойств грунтов, а также за осадками и деформациями оснований и фундаментов сооружений (по ГОСТ 24846), маршрутные наблюдения за прилегающей территорией на предмет фиксации вновь образовавшихся карстовых провалов и оседаний поверхности.

5.9 При выполнении геотехнического мониторинга применяются визуально-инструментальные, геодезические, параметрические, геофизические и гидрогеологические методы наблюдений.

5.10 Визуально-инструментальный метод позволяет вести наблюдения за возводимым (реконструируемым) сооружением, сооружениями окружающей застройки, конструкциями проходных и полупроходных коллекторов, поверхностью грунта в составе маршрутных наблюдений за прилегающей территорией на предмет фиксации вновь образовавшихся карстовых провалов и оседаний поверхности. Инструментальные наблюдения за раскрытием существующих трещин в конструкциях зданий и сооружений осуществляется путем установки на трещины маяков различного типа, используемых в качестве индикаторов процесса развития трещинообразования; периодических измерений ширины раскрытия трещин с применением ручных портативных деформометров, микроскопов, щупов, щелемеров; применения автоматизированных средств измерений (АСИ) при измерении раскрытия трещин в труднодоступных местах, быстропротекающих процессов или в случае применения автоматизированной системы мониторинга (АСМ).

5.11 Геодезические методы в составе геотехнического мониторинга используются для измерения вертикальных и горизонтальных перемещений сооружений, земной поверхности и грунтового массива по глубине с применением нивелиров, теодолитов, тахеометров, сканеров (в том числе оптиче-

ских, электронных, лазерных и др.) и навигационных спутниковых систем. Методы геодезических наблюдений на объекте следует устанавливать программой геотехнического мониторинга в зависимости от требуемой точности измерений, степени автоматизации измерительного процесса, конструктивных особенностей контролируемых объектов, инженерно-геологических и гидрогеологических характеристик грунтов.

5.12 Параметрические методы при геотехническом мониторинге позволяют выполнять измерения вертикальных и горизонтальных деформаций (послойные осадки грунтов оснований, горизонтальные и вертикальные перемещения массива грунта по глубине и т.д.), угловые измерения (крен фундамента и конструкций сооружения), измерения напряжений (в основании под пятой и в стволе свай, в конструкциях подземной части сооружений, под подошвой фундаментов, в арматуре и бетоне конструкций перекрытий и т.д.), измерения порового давления подземных вод. Измерения параметрическими методами в зависимости от контролируемых параметров производятся с применением комплекса датчиков напряжений и деформаций (в том числе струнных, тензометрических, оптоволоконных, инклинометрических и т.д.). Для снижения влияния внешних факторов на результаты измерений необходимо предусматривать применение датчиков с автоматической компенсацией температурных воздействий и перепадов атмосферного давления, с защитой от перепадов напряжения, применение материалов с низким коэффициентом теплового расширения, высокой коррозионной стойкостью.

5.13 Геофизические методы измерений в составе геотехнического мониторинга позволяют фиксировать и оценивать изменения состояния геологической среды и строительных конструкций, обусловленных как техногенными, так и природными факторами, в условиях ограниченности возможностей использования прямых методов измерений контролируемых параметров таких изменений. По результатам геофизических наблюдений оцениваются пространственно-временные изменения напряженно-деформированного со-

стояния (НДС) грунтов оснований, а также изменения особенностей их залегания в массиве (зоны разуплотнения, обводнения, участки повышенной трещиноватости и т. д.). При наблюдениях за строительными конструкциями по результатам геофизических измерений выявляются и оцениваются изменения НДС, их сплошности и целостности. При геофизических наблюдениях за изменениями состояния грунтов оснований и строительных конструкций, как правило, применяют акустические, электромагнитные и ядерно-физические методы. Использование конкретных методов геофизических наблюдений определяется в зависимости от контролируемых параметров, определяющих состояние грунтов оснований зданий и конструкций сооружений.

5.14 Гидрогеологический метод наблюдений включает в себя комплекс работ по определению изменений уровней подземных вод (УПВ) или величин пьезометрических напоров в водоносных горизонтах на строительной площадке и на прилегающей территории в период строительства и реконструкции объекта, а также на этапе его эксплуатации. Гидрогеологический мониторинг следует осуществлять путем измерений УПВ в наблюдательных скважинах или кустах скважин. Замеры УПВ в наблюдательных скважинах выполняются гидрогеологической рулеткой, электроуровнемером, автоматическим регистратором с электронной памятью. Частота периодических замеров уровней подземных вод, температуры и отбора проб воды на химический анализ должна обеспечивать возможность выявления сезонных изменений в режиме и оценку влияния естественных и техногенных факторов и особенно агрессивности техногенных вод по отношению к карстующимся породам.

Список литературы

1. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. – М. : ПНИИИС, 1995. – 167с.
2. ТСН 11-301-2004По Инженерно-геологические изыскания для строительства на закарстованных территориях Пермской области, Пермь, 2004.
3. ТСН 22-308-98 НН. Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. – Нижний Новгород Администрация Нижегород. обл., 1999. – 72с.
4. ТСН 302-50-95 РБ. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях. – Уфа: Госстрой Республики Башкортостан, 1996. – 44с.
5. СП 22.13330.2016 Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений».
6. СП 116.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения».
7. СП 45.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты».
8. СП 47.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».
9. СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства».
10. СП 11-104-97 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства».
11. СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства».

12. ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация».

13. Федеральный закон от 30 декабря 2009 года №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

14. СП 24.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты».

15. ГОСТ 7.32-2001 «СИБИД. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».

16. ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия».

17. ГОСТ 14231-88 «Смолы карбомидоформальдегидные. Технические условия».

18. СП 28.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии».

19. ГОСТ 13078-81 «Стекло натриевое жидкое. Технические условия».

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

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

22. ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

23. ГОСТ 22690-2015 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля».

24. ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия».

25. ГОСТ 25192-2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования».

26. ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные. Технические условия».

27. ГОСТ 30744-2001 «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка».

28. ГОСТ 28013-98 «Растворы строительные. Общие технические условия».

29. СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений».

30. ГОСТ 450-77 «Кальций хлористый технический. Технические условия».

31. ГОСТ 10690-73 «Калий углекислый технический (поташ). Технические условия».

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Рекомендуемые виды и объемы работ при инженерно-геологических изысканиях в карстовых районах

№ п/п	Виды работ	Объемы на 1 км^2	Примечания
I. Изыскания для подготовки документов по планировке территории и выбора площадки строительства или варианта трассы			
1	Маршрутные наблюдения с карстологическим обследованием, т.н.	8...24*	Здесь и далее для масштабов 1:10000; 1:5000/1:2000
2	Горные выработки, в т.ч. скважины, не менее 1 на каждый геоморфологический элемент, выработка	4...16	
3	Опытно-фильтрационные работы		
	3.1. Экспресс-налив, опыт	1	В зоне аэрации
	3.2. Кратковременная откачка, опыт	Из каждого водоносного горизонта	
4	Наземные геофизические исследования		
	4.1. Вертикальное электрозондирование (ВЭЗ), ф.н.	20...40	Профильный шаг 200–100 м
	4.2. Сейсморазведка (МПВ), ф.н.	20...40	Профильные, длина годографа до 300 м, шаг 200 м
	4.3. Гравиразведка, ф.н.	40...100	Сеть 500×50, 200×50
	4.4. Магниторазведка, ф.н.	40...100	Только для карбонатного карста
5	Сбор информации для районирования по интегральному показателю		Данные о показателях: а) закарстованности (расположение, плотность и размеры карстовых провалов и воронок); б) инженерно-геологических условий и

			факторов, влияющих на развитие карста (расположение по разрезу и состояние карстующихся пород, наличие движущихся подземных вод и способность их растворять породы и т.д.)
II. Изыскания для подготовки проектной документации			
1	Маршрутные наблюдения с карстологическим обследованием, т.н.	50...250	Здесь и далее для масштабов 1:5000/1:2000
2	Наземные геофизические исследования		
	2.1. Вертикальное электрозондирование (ВЭЗ), ф.н.	100...200	Сеть 100×100...50, при глубоком (>30 м) залегании карстующихся пород)
		400...800	Сеть 50×50...25, при неглубоком (<30 м) залегании карстующихся пород)
	2.2. Круговое ВЭЗ, ф.н.	15...30	
	2.3. Электропрофилирование (СЭП, КЭП, ДЭП), ф.н.	400...800	50×50...25 м при глубоком (>30 м залегании карстующихся пород)
		1600...4000	25×25...10 м при неглубоком (<30 м залегании карстующихся пород)
	2.4. Метод естественного поля, ф.н.	2000	50×10 м, определяются восходящие и нисходящие потоки карстовых вод
	2.5. Сейсморазведка (МПВ), ф.н.	100...150	Отдельные профили. Длина годографа 100...300 м, шаг 50...100 м
	2.6. Гравиразведка, ф.н.	200...800	Сеть 100×50, 50×25. Выполняется в условиях сильных помех
	2.7. Эманационная съемка	-	Сеть 50×10. Выполняется для детализации геофизических аномалий
	2.8. Магниторазведка, ф.н.	200...800	Сеть 100×50, 50×25. Только для карбонатного

			карста
	2.9. Метод заряда	-	Выполняется в скважинах, вскрывших полости на 2 или 3 уровнях
3	Бурение скважин, скв.	10...15	Объем бурения указан в п. 3.29
4	Комплексный каротаж, в % от объема бурения	80	
5	Опытно-фильтрационные работы		
	5.1. Откачка из одиночной скважины, опыт	5...7	
	5.2. Кустовая откачка, опыт	2...4	
	5.3. Экспресс откачка, опыт	10...15	
	5.4. Поинтервальный налив, опыт	10...15	
6	Опробование		
	6.1. Подземные воды; проба	10...15	
	6.2. Грунты	3...16	Послойно для определения физико-механических свойств
7	Наблюдения за режимом в скважинах; частота наблюдений; день	3...6	В течение года
III. Изыскания на участке размещения здания, сооружения или варианта трассы			
1	Площадные геофизические наблюдения		
	1.1. Вертикальное электрозондирование, возможно в модификации двух составляющих	2-3 профиля с шагом 25, 10 м параллельно оси здания	
	1.2. Круговые ВЭЗ	15% от объема ВЭЗ	
	1.3. Вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП)	В каждой скважине	
	1.4. Сейсмотомография	Между двумя скважинами. В случае, если необходимо изучить пространство под сооружением	
	1.5. Метод заряда	2-3 опыта в каждой скважине	
	1.6. Микрогравиразведка, масштаб 1:200, 1:100	В районе выявленных геоэлектрических зон и карстовых полостей по сети 20×10, 10×5 м	

	1.7. Эманационная съемка, масштаб 1:200, 1:100	То же
	1.8. Биолокационная разведка	То же
2	Бурение скважин	На каждом здании (сооружении) через 20–40 м плюс 20% резерва для проверки аномалий и уточнения размеров полости
3	Опытно-фильтрационные работы	
	3.1. Откачка из одиночной скважины	1 откачка из карстового водоносного горизонта
	3.2. Кустовая откачка	1 откачка на каждые 3–4 откачки из одиночных скважин
	3.3. Поинтервальный налив	1–2 налива
4	Комплексный каротаж	В каждой скважине
5	Статическое зондирование	2 крестовых профиля (шаг зондирования 1–2 м)
6	Пенетрационно-каротажные исследования	2 профиля через 2–5 м. Методы ГГК, ННК
7	Опробование	
	7.1. Карстовые и надкарстовые воды; проба	Не менее 3 проб из каждого водоносного горизонта
	7.2. Грунты	В среднем 1 монолит через 5 м проходки
8	Лабораторные исследования	
	8.1. Стандартный химанализ воды	В объеме проб с определением гипсовой и карбонатной емкости
	8.2. Определение физико-механических свойств грунтов	В объеме проб
9	Опытные работы по физическому моделированию с целью оценки критических размеров полости	1–2 опыта
10	Гидрохимические расчеты для прогнозирования скорости карстовых полостей	1–2 расчета
11	Стационарные режимные наблюдения	По 1–2 скважинам (при необходимости)
12	Карстомониторинг (на одну секцию здания)	
	12.1. Наблюдения за осадками	

	естественного основания:	
	по глубинным грунтовым маркам	Не менее 3 деформационных марок
	по грунтовым маркам мелкого заложения	Не менее 5 деформационных марок
	12.2. Наблюдения за осадками и деформациями фундаментов и самого сооружения:	
	по стенным маркам	Не менее 6 деформационных марок
	12.3. Комплексные наблюдения за режимом подземных вод (грунтовых и карстовых);	
	за уровнем	6 точек
	за температурой	3 точки
	за химсоставом	3 точки
	12.4. Накопление информации в банке данных, обработка и выдача заключений	Ежеквартально

Примечание: *Для всех видов работ верхний предел объемов следует принимать при исследованиях опасной категории по СП 22.13330.2016 (I–II по СП 11-105-97), нижний для не опасной категории(V–VI категории по СП 11-105-97), пропорционально взятые объемы между нижним и верхним пределами – для III и IV категорий по СП 11-105-97 (потенциально опасной по СП 22.13330.2016).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Примеры расчетов требуемой мощности усиления/закрепления грунта

Оценка мощности укрепленного массива грунта может производиться из условий предельного равновесия сдвигаемого объема грунта над карстовой полостью.

Расчет мощности укрепленного массива выполняется из условия

$$D > D_0, \tag{2.1}$$

где

D_0 – расчетный диаметр карстовой полости(м), определяется в соответствии с рекомендациями п. 4.3.9, 4.3.10;

D – максимально допустимый диаметр карстовой полости (м), при котором укрепленный массив грунта над полостью не разрушается, определяется расчетом укрепленного массива мощностью Н с заданными характеристиками ,определенными в зависимости от вида грунта и технологических параметров инъецирования цементного раствора в соответствии с рекомендациями раздела 4.5, по формулам (4) или (7) в зависимости от варианта расположения закрепленного массива (рис. П2.1, П2.2).

Мощность укрепленного массива грунта (H) определяется перебором значений D и нахождением наиболее близкого значения, удовлетворяющего условию (1).

1. При расположении укрепленного массива над карстовой полостью в карстующихся породах

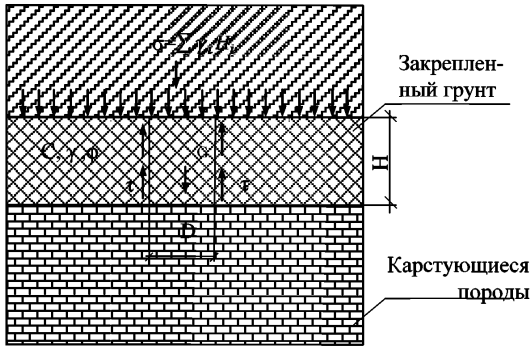


Рисунок П2.1 – Схема разрушения укрепленного массива грунта над карстовой полостью в карстующихся породах

Расчет мощности укрепленного массива с заданными характеристиками (рисунок П2.1), выполняется из условия

$$\frac{\sum \gamma_i H_i \pi D^2}{4} + \frac{G \pi D^2}{4} = \tau \pi D H \ , \qquad (2.2)$$

где $\tau = \sigma tg\varphi + c = (\sum \gamma_i H_i)\xi tg\varphi + c; \ \ \xi = tg^2(45 - \varphi/2); \ \ G = \gamma H$.

После преобразования условие (2) примет следующий вид:

$$\sum \gamma_i H_i D + \gamma H D = 4 \cdot (\sum \gamma_i H_i \xi tg\varphi + C) \cdot H \qquad (2.3)$$

В результате решения уравнения (3) относительно D получим

$$D = \frac{4H(\sum \gamma_i H_i \xi tg\varphi + C)}{\sum \gamma_i H_i + \gamma H}, \qquad (2.4)$$

где

γ_i – объемный вес грунтов основания *i*-го слоя покровной толщи, тс/м^3;

H_i – толщина *i*-го слоя покровной толщи,

γ – объемный вес укрепленного грунта, т/м^3;

H – мощность укрепляемого массива грунта, м;

φ – угол внутреннего трения укрепленного грунта;

c – удельное сцепление укрепленного грунта, тс/м^2;

D – максимально допустимый диаметр карстовой полости (м), при котором укрепленный массив грунта не разрушается;

ξ – коэффициент бокового давления.

2. При расположении укрепленного массива под фундаментом

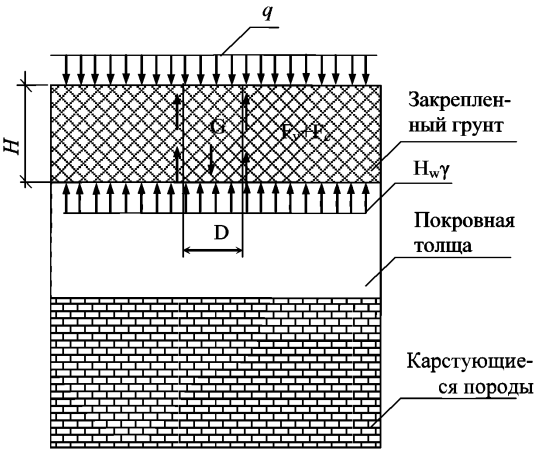


Рисунок П2.2 – Схема разрушения укрепленного массива грунта над карстовой полостью в покровной толще

Расчет мощности укрепленного массива с заданными характеристиками (рис. П2.2), выполняется из условия

$$G + G_q - F_w = F_c + F_v, \qquad (2.5)$$

где $G = \frac{\gamma H \pi D^2}{4}$; $G_q = \frac{q \pi D^2}{4}$; $F_w = H_w \gamma_w \pi \frac{D^2}{4}$.

Удерживающие силы определяются параметрами закрепленного массива по следующим формулам:

$$F_v = \frac{\gamma H^2 \pi D}{2} \xi tg\,\varphi \;;$$

$$F_c = c\pi DH \quad ; \xi = tg^2(45 - \varphi/2) .$$

После преобразования условие (2.5) примет следующий вид:

$$\frac{\gamma H \pi D^2}{4} + \frac{q \pi D^2}{4} - H_w \gamma_w \pi \frac{D^2}{4} = c\pi DH + \frac{\gamma H^2 \pi D}{2} \xi tg\,\varphi . \qquad (2.6)$$

В результате решения уравнения (6) относительно D получим

$$D = \frac{2\gamma H^2 \xi tg\,\varphi + 4cH}{2\gamma H + q - H_w \gamma_w}, \qquad (2.7)$$

где

γ – объемный вес укрепленного грунта, т/м^3;

H – мощность укрепляемого массива грунта, м;

φ – угол внутреннего трения укрепленного грунта;

c – удельное сцепление укрепленного грунта, тс/м^2;

ξ – коэффициент бокового давления;

Q – внешняя нагрузка (от здания), тс/м^2;

$H_w\,\gamma_w$ – пьезометрический напор карстовых вод, м.

Пример расчета мощности массивов закрепленного грунта над карстовой полостью в карстующихся породах

Данные о грунтах основания представлены на рис. П2.3. Грунты покровной толщи имеют следующие характеристики: суглинок – γ_1 = 1,97 т/м^3, H_1 = 11,57 м; гравий – γ_2 = 2 т/м^3, H_2 = 8 м; мергель – γ_3 = 1,94 т/м^3, H_3 = 4,03 м.

Карстующиеся породы – гипсы, в природном состоянии характеризуются как среднерастворимые с максимальной скоростью растворения 10 см/год (табл. 6.21 СП 22.13330.2016 (актуализированная редакция).

Слой укрепленного грунта: гипс сильновыветрелый. Мощность укрепленного слоя H = 8 м (задается). Характеристики грунта, укрепленного инъекцией цементного раствора (опытные данные): расчетное сопротивление сжатию $R_{сж} \geq 2$ МПа, $\gamma = 2{,}15$ т/м^3; $\varphi = 35°$; $c = 50$ т/м^2.

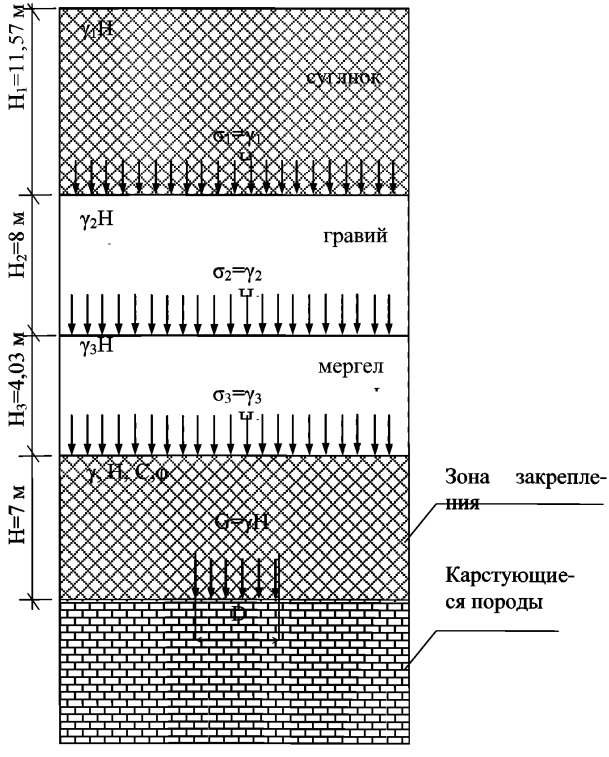


Рисунок П2.3 – Расчетная схема

Расчет максимального диаметра полости (D), при котором укрепленный массив грунта над полостью не разрушается, производим в соответствии с расчетной схемой на рис. П2.3 (формула 2.7):

$$D = \frac{4(\gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2 + \gamma_3 H_3)\xi tg\,\varphi H + 4cH}{\gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2 + \gamma_3 H_3 + \gamma H},$$

где

γ_1 – объемный вес грунта покровной толщи (суглинок), тс/м^3;

γ_2 – объемный вес грунта покровной толщи (гравий), тс/м^3;

γ_3 – объемный вес грунта покровной толщи (глина), тс/м^3;

γ – объемный вес закрепленного грунта (укрепленный трещиноватый гипс), т/м^3;

H_1 – мощность грунта покровной толщи (суглинок), м;

H_2 – мощность грунта покровной толщи (гравий), м;

H_3 – мощность грунта покровной толщи (глина), м;

H – мощность закрепленного грунта (укрепленный трещиноватый гипс), м;

φ – угол внутреннего трения закрепленного грунта;

С – удельное сцепление закрепленного грунта, тс/м^2;

ξ – коэффициент бокового давления.

Подставив исходные данные, получаем искомое значение диаметра полости D, при котором возможно обрушения свода:

$$D = \frac{4 \cdot ((1{,}97 \cdot 11{,}57 + 2 \cdot 8 + 1{,}94 \cdot 4{,}03) \cdot 0{,}27 \cdot 0{,}7 + 50) \cdot 7}{1{,}97 \cdot 11{,}57 + 2 \cdot 8 + 1{,}94 \cdot 4{,}03 + 2{,}15 \cdot 7} = 23{,}7 \text{м}.$$

В соответствии с рекомендацией пп. 4.3.9, 4.3.10 расчетный диаметр карстовой полости D_0 принимается равным ширине карстовой полости в карстующихся породах (B_{2t}), образование которой возможно за удвоенный нормативный срок эксплуатации здания. Учитывая нормативный срок эксплуатации здания 100 лет и отсутствие полостей, ширина карстовой полости B_{2t}, определенная по формуле (2) п. 4.3.11, равна 21,5 м.

Таким образом, получено, что условие (2.1) выполняется, а следовательно, мощность закрепленного массива (H = 7 м) при заданных характеристиках укрепленного массива исключает возможность «всплытия» полости и образование провала в основании под фундаментом.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Определение требуемого объема инъекционного раствора

Требуемый объем инъекционного раствора Qн при нагнетании в режиме гидроразрыва может быть определен следующим образом:

$$Q_{\text{Н}} = Q_{\text{Д}} + Q_{\text{Ф1}}, \tag{3.1}$$

где

$Q_{\text{д}}$ – объем раствора, необходимый для создания требуемых объемных деформаций грунта;

$Q_{\text{ф1}}$ – объем раствора, заполнившего поры и отдельные пустоты в грунте.

Объем раствора $Q_{\text{д}}$, необходимый для создания требуемых объемных деформаций грунта ΔV, определяется по следующей формуле:

$$Q_{\text{Д}} = 100\Delta V / K_0, \tag{3.2}$$

здесь K_0 – объем цементного камня, образовавшегося после твердения, в процентах от объема раствора, который определяется в зависимости от водоцементного отношения согласно рис. П3.1.

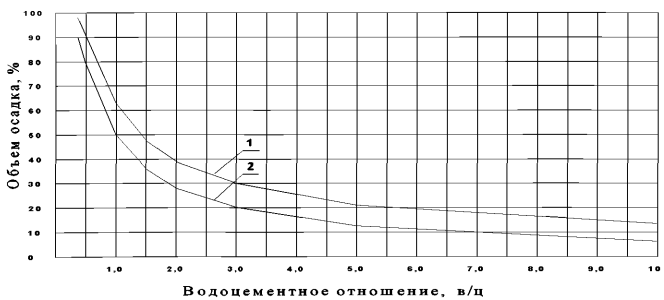


Рисунок П3.1 – Зависимость объем выхода цементного камня относительно объема закаченного раствора различного в/ц при выстойке без давления (1) и под давлением (2)

$$Q_{ф1} = (0{,}1 - 0{,}5)\, V_{гр}\, n, \qquad (3.3)$$

где

$V_{гр}$ – объем рассматриваемого грунта;

n – пористость.

Минимальное значение в формуле (3.3) соответствует супеси, максимальное значение – гравелистым пескам.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Схемы массивов из закрепленного грунта

–

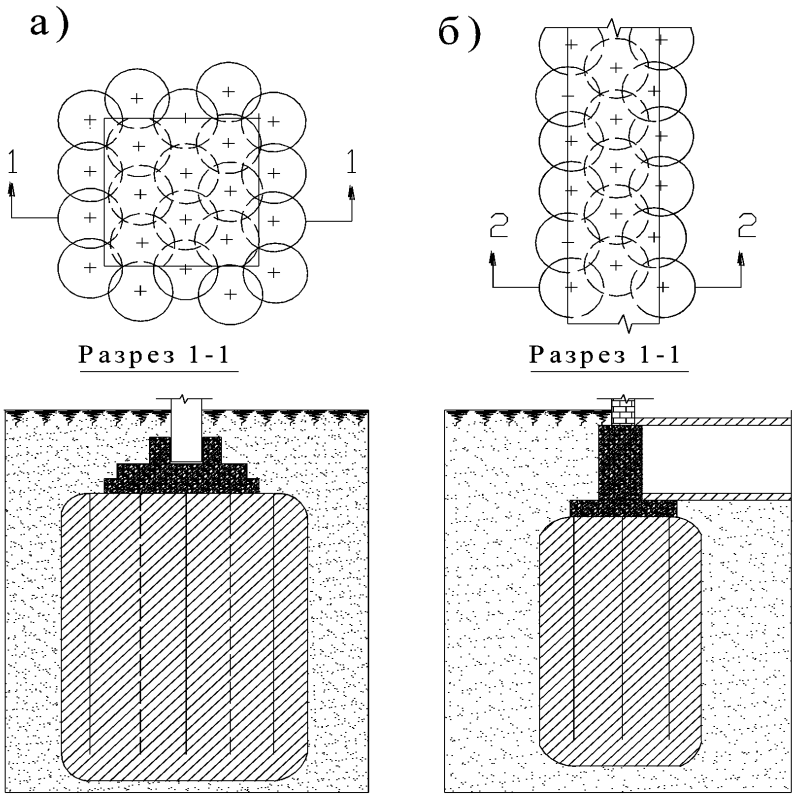


Рисунок П4.1 – Сплошное закрепление грунта под фундаментами колонны (а) и несущей стены (б)

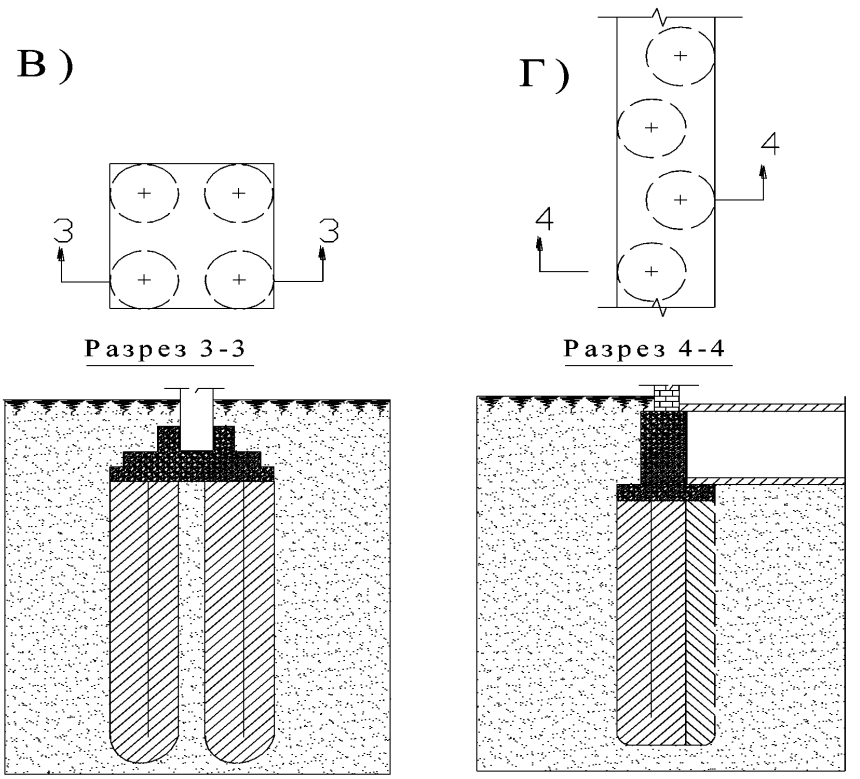


Рисунок П4.2 – Армирование грунта отдельными элементами из закрепленного грунта под фундаментами колонны (в) и несущей стены (г)

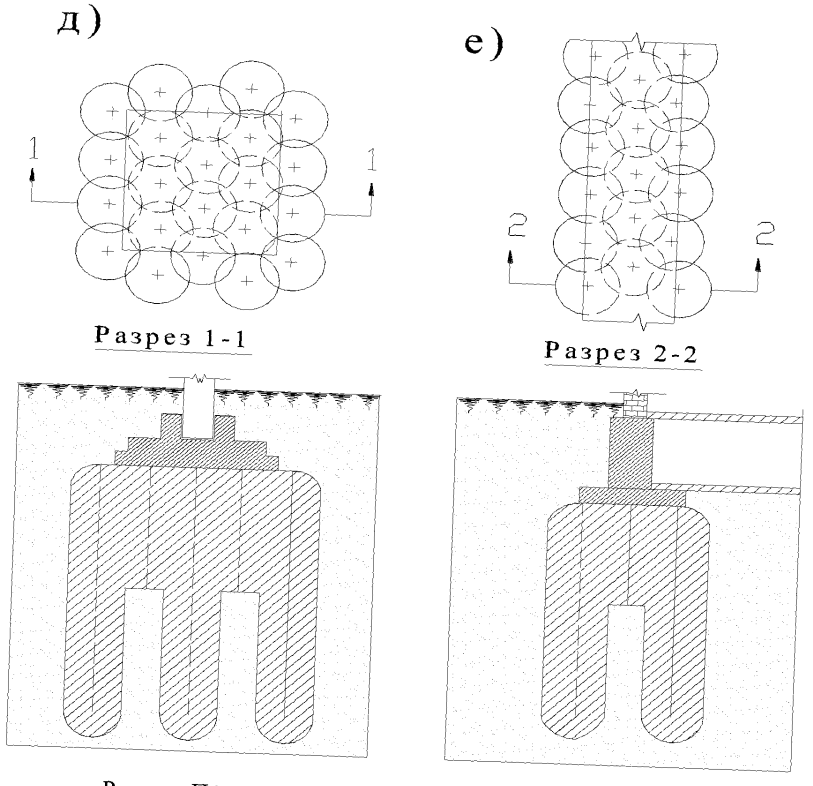


Рисунок П4.3 – Комбинированное закрепление грунта
под фундаментами колонны (а) и несущей стены (б)

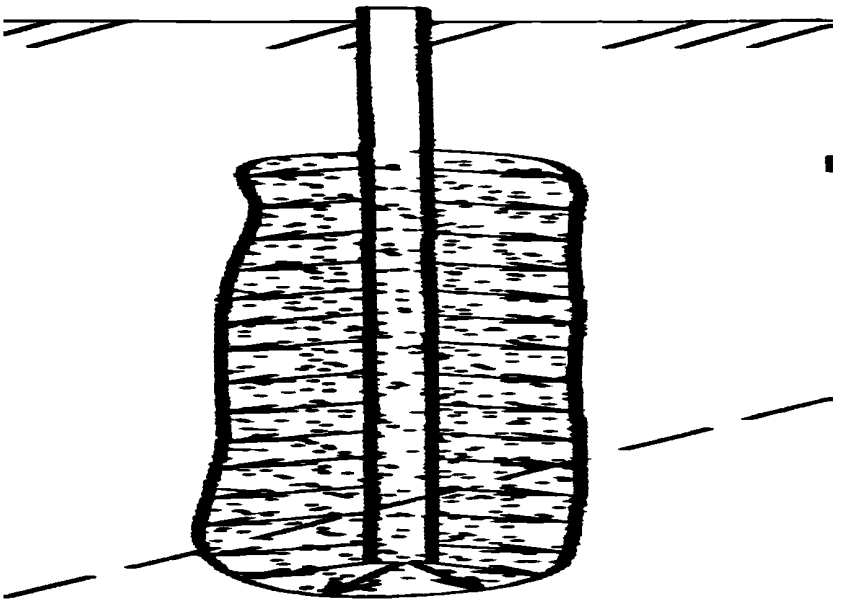


Рисунок П4.4 – Компенсационное нагнетание при усилении грунтов по гидроразрывной технологии

Примеры расчетов массива из элементов закрепленного инъекцией цементных растворов грунта методом манжетной инъекции

Исходные данные:

Массив из закрепленного грунта выполняется по сетке скважин, представленной на рис. П.3.5. Работы по созданию массива грунта из элементов закрепленного грунта выполняются в 2 этапа:

- этап 1 – выполнение скважин с шагом 2 м;

- этап 2 – выполнение скважин с шагом 1 м.

Назначение требуемых расчетных показателей для создания массива укрепленного грунта методом манжетной инъекции растворов на основе портландцемента выполняется в следующей последовательности:

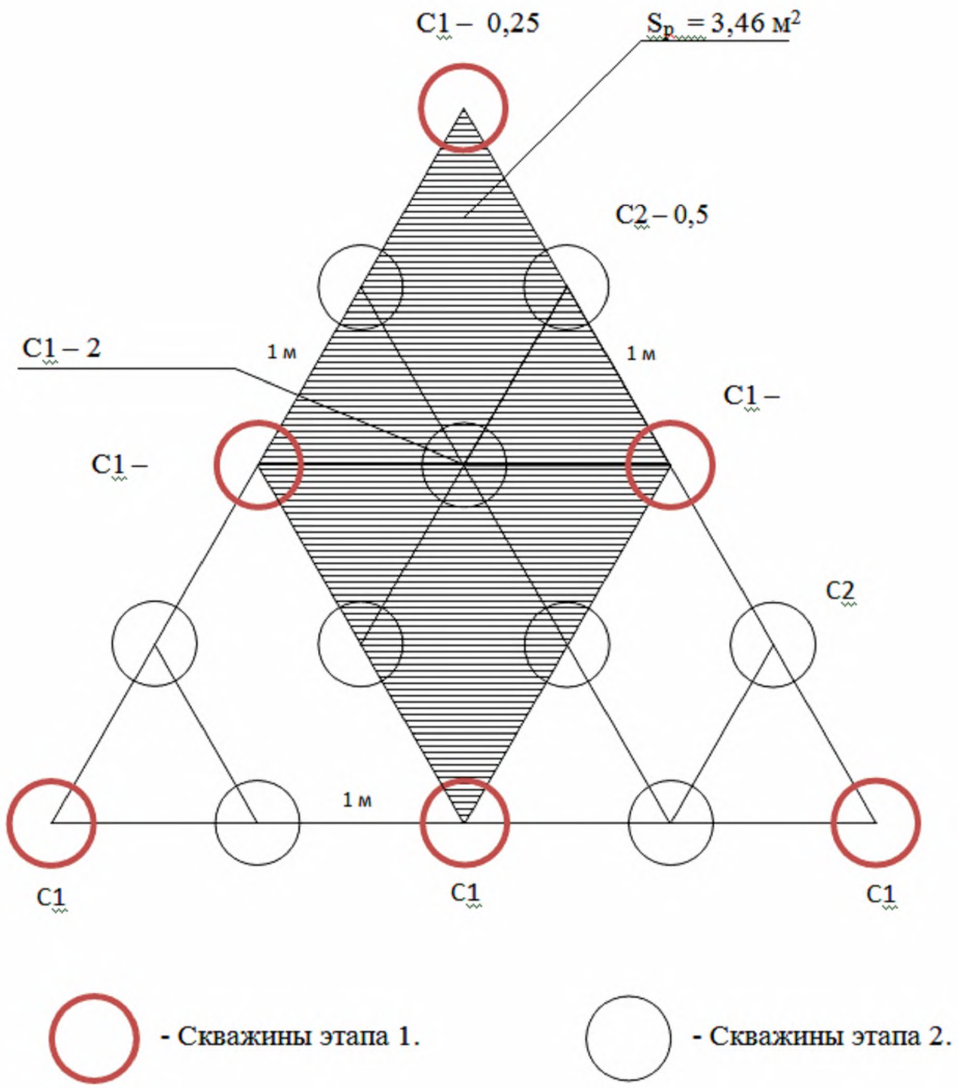


Рисунок П4.5 – Схема определения расчетной области закрепления

П1.1 При проектной сетке скважин расчетная область укрепления определяется частью 4 скважин этапа 1 (вершины) и частью 5 скважин этапа 2 (рис. П4.5).

Расчетная площадь (рис. П4.5)

$$S_р = ℓ \times ℓ \times tg60° = 1 \times 1 \times 0,87 \times 4 = 3,46 \text{ м}^2$$

Расчетный объем укрепляемого массива на 1 м глубины составит

$$V_р = S \times 1 \text{ м} = 3,46 \text{ м}^3,$$

- на высоту защитной плиты-диафрагмы $h_р$= 5 м проектируемой плиты-диафрагмы

$$V_р = 3,46 \times 5 = 17,3 \text{ м}^3.$$

П1.2 Расчетный объем инъецируемого раствора $V_и$ определяется расчетными объемами в соответствии с объемами $V_{№скв.}$ раствора от каждой скважины №№ 1÷9 (рис. П4.5), которые приняты для закрепления расчетного объема $V_р$:

- для этапа 1 – 60 литров раствора/на 1 горизонт;

- для этапа 2 – 80 литров раствора/на 1 горизонт;

$V_{1,3,5,7} = 0,25\ V_{и1} \times 4$ (количество скважин),

$V_{2,4,6,8} = 0,5\ V_{и2} \times 4$ (количество скважин),

$V_ц = 1\ V_{и2}$,

$$V_и = V_{1,3,5,7} + V_{2,4,6,8} + V_ц = V_{и1} + 2\ V_{и2} + V_{и2} = V_{и1} + 3\ V_{и2} = 0,18 + 3 \times 0,24 = 0,90 \text{ м}^3$$

Этап 2 – 0,5С2×4 + 1С2 = 3С2.

Расчетная глубина укрепления для создания защитной «плиты-диафрагмы» – $h_р$ = 5 м.

Расчетный объем $V_р = S_р \times h_р = 17,3 \text{ м}^3$,

где $V_{и1}$ – расчетный/проектный объем инъецируемого раствора скважин этапа 1 – 60 л/горизонт ⟶ 180 л/м;

$V_{и2}$ – расчетный/проектный объем инъецируемого раствора скважин этапа 2 – 80 л/горизонт ⟶ 240 л/м .

Расчетный объем инъецируемого раствора $V_и$ для укрепления расчетного объема массива $V_р$ составит:

$$V_{ип1,2} = 0,25\times180\times4 + 0,5\times240\times4 + 240 = 900 \text{ л } (0,9 \text{ м}^3)$$

$$V_и = V_{ип}(1 - K_1 - K_2 - K_3),$$

где

$V_{ип}$ – расчетный объем раствора по проекту, подаваемого в манжетную колонну для инъекции;

$V_и$ – расчетный объем раствора, участвующий при укреплении расчетного объема массива;

K_1 – коэффициент общих потерь при цементационных работах (остаток в трубопроводе, выходы на поверхность). Остаток в трубопроводе при ø 50 мм и длине 50 м до растворного узла (осредненная величина для отдельного здания/объекта) составит ~ 100 л на 1 очередь инъекции. Для инъекции по опытным участкам в зависимости от количества очередей коэффициент потерь составит:

– 2 очередь инъекции $K_1 = 2\times100/(900\times5) = 0,044$;

K_2 – коэффициент заполнения пустот в техногенных грунтах. Расчетный объем инъецируемого раствора для заполнения пустот для 1 скважины:

$$V_{ИГЭ\text{-}1}/0,4 = 0,4\times3,46 = 1,38 \text{ м}^3,$$

$$K_2 = \frac{1,38}{17,3} = 0,08,$$

где

5 м – глубина массива закрепления по проекту (толща грунта обрабатываемого инъекцией);

K_3 = 0,15 – коэффициент выхода раствора за расчетную границу укрепляемого объема грунта, в подземные коммуникации и на поверхность, заполнения пустот.

Расчетный объем инъецируемого раствора на 1 м глубины укрепляемого массива по опытным участкам составляет:

$$V_{и} = 0{,}90\times(1 - 0{,}044 - 0{,}08 - 0{,}15) = 0{,}65 \text{ м}^3.$$

Расчетный объем цементного камня при инъекции расчетного объема раствора для укрепления расчетной области (коэффициент замещения, α) составит:

$$\alpha_2 = 0{,}65 / 3{,}46 = 0{,}19,$$

где $V_{гр} = V_{и}$, а $V_{гр} = 3{,}46 \text{м}^3$.

Расчетный модуль деформации инъецируемых растворов $E_{ар}$ определяется по формуле с учетом ползучести:

$$E_{ар} = E_p/(1+\varphi_b),$$

где E_p – расчетный начальный модуль упругости для растворов, определяемый в зависимости от нормативного сопротивления сжатию, R_{bn}.

Кубиковая прочность R на одноосное сжатие для раствора РИ-2 определяется как для бетона и цементного камня (Ц/В = 1 100/650 = 1,69 (содержание по массе цемента и воды)) по формуле проф. Н.А. Попова:

$$R = 0{,}25R_c\,(Ц/В - 0{,}4) = 0{,}25\times49(1{,}69 - 0{,}4) = 15{,}8 \text{ МПа}$$

(R_c = 49 МПа –активность цемента ПЦ 500).

Нормативная прочность, R_{bn}, определяется по формуле:

$$R_{bn} = R\,(0{,}77 - 0{,}0015R) = 15{,}8\,(0{,}77 - 0{,}0015\times15{,}8) = 11{,}8 \text{ МПа}.$$

Состав раствора РИ-2 (портландцемент общестроительного назначения) определялся, исходя из сравнимости механических характеристик по прочности и деформируемости. Начальный модуль упругости определяется для значения R_{bn}= 12 МПа как для бетона и цементного камня по формуле:

$$E_p = (0{,}05R_{bn}^2 + 57{,}2R_{bn} + 217)/(32{,}8 + R_{bn})\times100 = 2\,015 \text{ МПа}$$

(коэффициенты зависимости от модуля упругости заполнителя и его концентрации, вида цемента, применения пластификаторов и уровня нагружения при определении модуля в данном случае принимаются равными 1). Расчетный модуль деформации инъецируемых растворов $E_{ар}$ определяется с учетом ползучести по формуле:

$$E_{ар} = E_р/(1 + \varphi_b) = 2\,015/(1 + 4{,}8) = 347 \text{ МПа},$$

где φ_b= 4,8 (табл. 6.12 /СП 63.13330), как для мелкозернистых бетонов класса В15 (нормативное значение сопротивления сжатию R_{bn}= 12 МПа соответствует классу бетона мелкозернистого В15 – табл. 6.7 СП 63.13330).

Расчетный модуль деформации армированного (укрепленного методом манжетной инъекции) массива определяется по модифицированной модели Хирча как для многокомпонентной среды, в которой наиболее прочным (менее деформируемым) компонентом является цементный камень с модулем деформации $E_{ар}$ = 347 МПа, а укрепляемый грунт имеет модуль деформации (значение модуля деформации принято для массива в целом как для свойств грунтов естественного сложения без учета локального уплотнения при манжетной инъекции) равный: для ИГЭ-6 – E_6 =25МПа, для ИГЭ-7 – E_7 = 32 МПа, при коэффициентах замещения равных для опытных участков 1-3 α=0,19 (значение коэффициента замещения принято равным для всех участков из-за малой разности в значениях – не более 5%):

$$E_{мас} = \frac{2}{\frac{1}{\alpha \times E_{ар} + (1-\alpha) \times E5{,}6} + \frac{\alpha}{E_{ар}} + \frac{1-\alpha}{E5{,}6}}$$

- для ИГЭ-6 $E_{мас} = \frac{2}{\frac{1}{0.19 \times 347 + (1-0{,}19) \times 25} + \frac{0{,}19}{347} + \frac{1-0{,}19}{25}}$ =44,5МПа,

- для ИГЭ-7 – $E_{мас} = \frac{2}{\frac{1}{0{,}19 \times 347 + (1-0{,}19) \times 32} + \frac{0{,}19}{347} + \frac{1-0{,}19}{32}}$ =54,3МПа.

Таким образом, расчетные значения модуля деформации при принятых проектных параметрах усиления удовлетворяют требованиям проекта по значению критерия модуля деформации укрепленного массива $E_{мас}$=35 МПа.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Технология закрепления грунта методом манжетной инъекции

Разжимной тампон для нагнетания раствора устанавливается в скважине над зоной инъекции или согласно проекта на любой глубине обсадной трубы.

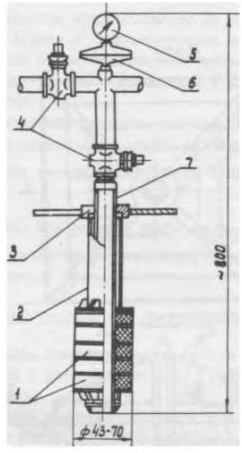


Рисунок П5.1 – Нагнетатель-тампон глубинный
конструкции Гидроспецстроя:
1 – резиновые кольца; 2 – труба распорная; 3 – гайка прижимная;
4 – кран запорный; 5 – манометр; 6 – предохранитель диафрагмовый;
7 – труба-нагнетатель

Закрепление по манжетной технологии состоит из следующих операций:

- бурение под глинистым раствором скважины диаметром 100–150 мм, в зависимости от глубины;

- установка в скважину сборной манжетной колонны из металлических или пластмассовых труб диаметром от 36 до 60 мм с просверленными отверстиями через 33 см (возможно 50 см), закрытыми резиновыми манжетами;

- прокачка через нижний манжет в пространство между колонной и стенкой скважины глиноцементного раствора с целью вытеснения глинистого раствора и создания обоймы, предотвращающей прорывы инъектируемого раствора вдоль колонны на поверхность;

- выдержка скважины 2–3 суток для набора прочности цементоглинистой обоймы;

- нагнетание через каждый манжет с помощью обтюратора (нагнетателя с двойным тампоном), перемещаемого внутри колонны, по порции раствора заданного объема;

- ликвидация инъекционной скважины путем заполнения колонны твердеющим безусадочным раствором.

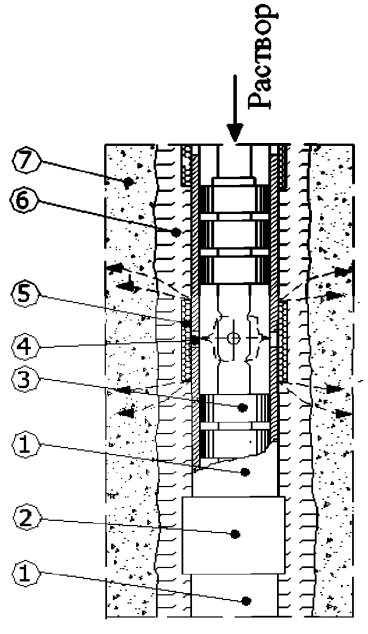


Рисунок П5.2 — Конструктивная схема инъекционной скважины, оборудованной манжетной колонной и пакером: 1 – манжетная труба, 2 – соединительная муфта, 3 – обтюратор с самоуплотняющимися манжетами; 4 – отверстие в трубе; 5 - резиновый манжет, 6 – обойма из глиноцемента, 7 – песчаный грунт

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Химические добавки для ускорения схватывания

Для регулирования реологических свойств растворов с цементом, ускорения схватывания применяются химические добавки в виде водных растворов

Таблица П6 – Химические добавки для ускорения схватывания

Наименование добавки	Рекомендуемая дозировка, % от массы цемента	Назначение добавки к растворам с цементом
Силикат натрия (жидкое стекло) ГОСТ 13078-81	до 10	Для интенсивного нарастания вязкости и ускорения схватывания
	10-15	При приготовлении быстро схватывающихся смесей.
Хлористый кальций ГОСТ 450-77	до 5	Для ускорения схватывания
Поташ ГОСТ 10690-73	до 5	Для загустевания и ускорения схватывания

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Способы выбора микроцемента для закрепления песков

Выбор микроцемента для закрепления исследуемого песка можно ориентировочно производить по двум предлагаемым способам с последующим уточнением лабораторными и опытно-производственными работами.

По 1-му способу выбор микроцемента производят по соотношению определенных размеров частиц закрепляемого песка и определенных размеров частиц микроцемента (таблица П7).

Таблица П7.

Автор	Соотношение диаметра частиц песка и цемента
Кинг-Буш	$D_{10}/d_{95} > 8$
А.Н. Адамович	$D_{15}/d_{85} > 10$
С.В. Алексеев	$D_{15}/d_{85} > 11$
D_{10} и D_{15} – диаметр частиц песка массовым содержанием 10 % и 15 % соответственно; d_{95} и d_{85} – диаметр частиц цемента массовым содержанием 95 % и 85 % соответственно.	

По второму способу выбор микроцемента производят по показателю зависимости степени дисперсности цемента, определяемой по удельной поверхности частиц цемента, и коэффициента фильтрации закрепляемого песка $K_ф$ (рисунок П7.1). В каждом конкретном случае для цемента с его определенной удельной поверхностью устанавливается нижняя граница $K_ф$, ниже которой он не пригоден для закрепления.

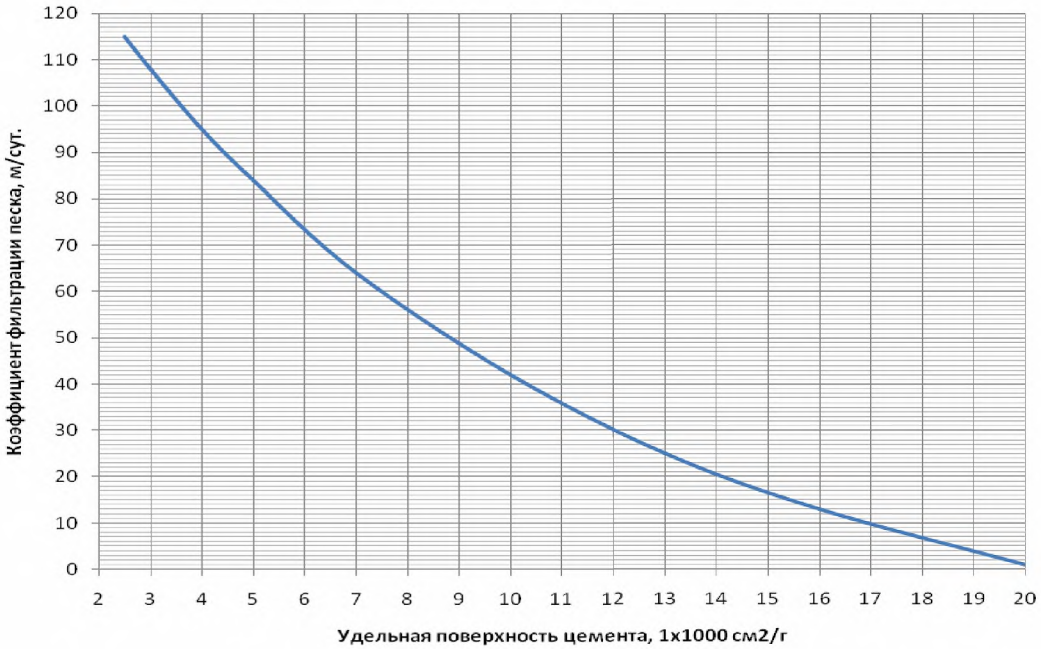


Рисунок П7.1 – График зависимости проникающей способности цементного раствора от удельной поверхности цемента и $K_ф$ песка

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Определение объема цементного раствора, необходимого для обеспечения расчетного радиуса закрепления песка

1 Понижение концентрации цементного раствора, нагнетаемого в песок, связано с процессами отфильтровывания и осаждения цементных частиц из раствора. Вблизи скважины отфильтровываются из раствора под давлением потока наиболее крупные фракции. С удалением от скважины, когда скорость потока в порах замедляется и переходит из турбулентного в ламинарное (линейное) движение, начинается осаждение (седиментация) цементных частиц. По мере продолжительности инъекции концентрация понижается и может настолько понизиться, что раствор будет неспособен не только цементировать песок, но и сам твердеть.

2 Расход цементного раствора $Q_{ц.р}$ для обеспечения заданного радиуса закрепления с учетом результатов опытных работ рассчитывают по формуле

$$Q_{ц.р} = \pi \cdot R_р^2 \cdot h \cdot n_г a \, K_а, \qquad (П8.1)$$

где

$R_р$ — расчетный радиус закрепленного грунта, м;

h — интервал закрепления по высоте, м;

$n_г$ — пористость песка, д.е.;

а = 0,8 — коэффициент заполнения пор цементным раствором;

$K_а$ – коэффициент дополнительной компенсации объема раствора, рассчитывают по формуле

$$K_а = V_р / V_з = R_р^2 \cdot / \cdot (R_з - m)^2, \qquad (П8.2)$$

где

$V_р$ – расчетный объем закрепленного грунта ($м^3$);

$V_з$ – объем закрепленного грунта, определенный замером на опытном участке или расчетом через замеренный радиус закрепления;

$R_з$ – радиус закрепленного грунта;

m – разница расчетного и замеренного на опытном участке радиуса закрепления ($m = R_р - R_з$), м.

3 Коэффициент $K_а$ зависит не только от разницы расчетного и полученного объема (или радиуса закрепления), но и от величины расчетного радиуса закрепления. Влияние разницы радиусов расчетного и закрепленного песка на отношение объемов расчетного и закрепленного представлено на рисунке П8.1. При фиксации на опытных работах разницы между расчетным и фактическим радиусом закрепления можно установить, руководствуясь рисунком П8.1, во сколько раз следует увеличить объем нагнетаемого раствора для получения расчетного объема закрепления.

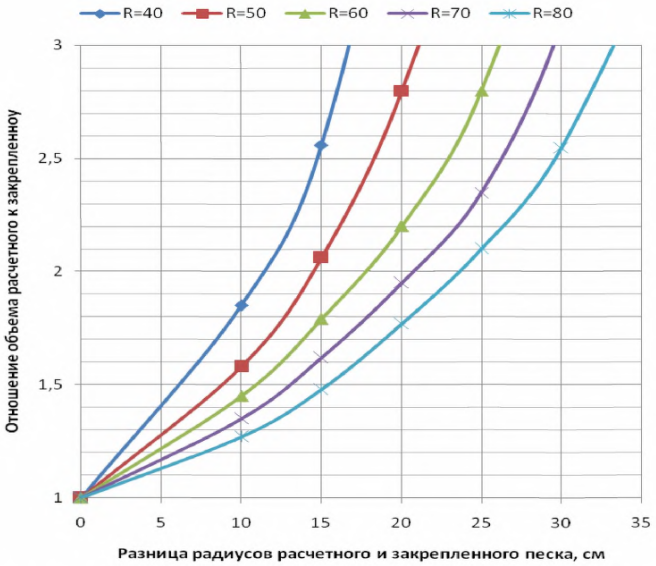


Рисунок П8.1 – Отношение расчетного объема песка к закрепленному цементным раствором в зависимости от разницы радиуса расчетного (R = 40; 50; 60; 70; 80 см) и получаемого закрепленного песка

ПРИЛОЖЕНИЕ 9 (рекомендуемое)

Акт освидетельствования скрытых работ

(наименование работ)

выполненных _____

(наименование сооружения, его части, участка)

(город или район) « » 20 __г.

Комиссия в составе: представителей строительно-монтажных организаций_____

(фамилии, и. о., должность) представителя технического надзора заказчика _____

(фамилии, и. о., должность) представителей проектных организаций _____

(фамилии, и. о., должность)

ознакомились с исполнительной документацией цементации грунтов, выполненных_____ _____

(наименование строительно-монтажной организации)

и составила настоящий акт о нижеследующем:

1. К освидетельствованию и приемке представлены следующие цементационные работы

(наименование цементационных работ)

2. Работы выполнены по проекту

(наименование проектной организации, номер чертежей)

Данные по участку цементационных работ: длина м; площадь $м^2$; зацементировано штук скважин
общей длиной _____ _м; поглощено всего т цемента и _____ т

инертных добавок.

3. Результаты опробования контрольных скважин

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Журнал по бурению инъекционных скважин на объекте / участке _____
Производитель работ_____
Диаметр скважины_____
Диаметр манжетной колонны_____
Вид и марка цемента _____
Вид и марка глины_____

№ скважины.	Дата бурения	Глубина, м	Отметка скважины, м		Длина колонны, м	Заполнение скважины обойменным раствором							Примечание
			устья	забоя		Дата	Состав раствора, соотношение по массе			Плотность, м/^{3}	Израсходован раствор, м^3 (л)		
							цемент	глина	вода		проект	факт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Журнал по инъекции раствора на объекте / участке _____
Производитель работ_____
Название раствора_____
Состав по массе (цемент : добавка : вода)_____
Плотность раствора (т/м^3)_____
Вид и марка цемента_____

№ скважины.	Дата бурения	№ зоны инъекции	Глубина зоны, м			Дата цементации	Прочность обоймы*, МПа	Время инъекции, час/мин.		Давление, МПа (кгс/см^2)		Израсходовано раствора на зону, м^3 (л)		Примечание
			от	до	мощность			начало	окончание	разрыва обоймы	инъекции	проект	факт	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

* – прочность обоймы на день инъекции цементного раствора

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Регламент работ по проектированию и выполнению противокарстовых мероприятий на территориях с возможным проявлением карстово-суффозионных процессов



gost.e-ecolog.ru