

Классификатор строительных норм и правил

Настоящий Классификатор устанавливает разделение строительных норм и правил на 5 частей, каждая из которых делится на группы. Классификатор предназначен для установления состава и обозначения (шифра) строительных норм и правил.

Шифр должен состоять из букв "СНиП", номера части (одна цифра), номера группы (две цифры) и номера документа (две цифры), отделенных друг от друга точками; две последние цифры, присоединяемые через тире, обозначают две последние цифры года утверждения документа. Например, "СНиП 2.03.05-82".

Номера документам присваиваются в порядке регистрации сквозными в пределах каждой группы или в соответствии с разработанным перечнем документов данной группы.

1. Организация, управление, экономика

- Группы
- 01 Система нормативных документов в строительстве
- 02 Организация, методология и экономика проектирования и инженерных изысканий
- 03 Организация строительства. Управление строительством
- 04 Нормы продолжительности проектирования и строительства
- 05 Экономика строительства
- 06 Положения об организациях и должностных лицах
- 2. Нормы проектирования
- 01 Общие нормы проектирования
- 02 Основания и фундаменты
- 03 Строительные конструкции
- 04 Инженерное оборудование зданий и сооружений. Внешние сети

- 05 Сооружения транспорта
- 06 Гидротехнические и энергетические сооружения, мелиоративные системы и сооружения
- 07 Планировка и застройка населенных пунктов
- 08 Жилые и общественные здания
- 09 Промышленные предприятия, производственные здания и сооружения, вспомогательные здания. Инженерные здания
- 10 Сельскохозяйственные предприятия, здания и сооружения

11 Склады  
12 Нормы отвода земель

3. Организация, производство и приемка работ

- 01 Общие правила строительного производства
- 02 Основания и фундаменты
- 03 Строительные конструкции
- 04 Защитные, изоляционные и отделочные покрытия
- 05 Инженерное и технологическое оборудование и сети
- 06 Сооружения транспорта
- 07 Гидротехнические и энергетические сооружения, мелиоративные системы и сооружения
- 08 Механизация строительного производства
- 09 Производство строительных конструкций, изделий и материалов

4. Сметные нормы

Состав и обозначение сметных норм и правил установлены постановлением Госстроя СССР от 18 июня 1982 г. № 162.

5. Нормы затрат материальных и трудовых ресурсов

- 01 Нормы расхода материалов
- 02 Нормы потребности в строительном инвентаре, инструменте и механизмах
- 03 Нормирование и оплата проектно-изыскательских работ
- 04 Нормирование и оплата в строительстве

# Рекомендации

по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты





СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
1. Основные положения	6
2. Основные сведения о природе карстового процесса	7
3. Противокарстовая защита и условия ее применения	35
4. Характерные ошибки при использовании инженерно-геологической информации в процессе выбора противокарстовой защиты	43
5. Использование инженерно-геологической информации при выборе противокарстовой защиты на стадии принятия архитектурно-планировочных решений	48
6. Определение расчетного размера карстового провала для проектирования фундаментов	59
7. Оценка эффективности противокарстовой защиты	64
Приложение 1. Использование инженерно-геологической информации при составлении проектов тампонажа карстовых местностей (опыт института Гидроспецпроект)	68
Приложение 2. Метод определения диаметра карстовых провалов с учетом нагрузки от сооружений	70
Приложение 3. Методы дифференцирования закарстованных территорий по интенсивности карстовых провалов	73
Приложение 4. Методы определения направления провально-го процесса и ориентации поля провалов	78

# Рекомендации

ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ  
ИНЖЕНЕРНО-  
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ  
ПРИ ВЫБОРЕ  
СПОСОБОВ  
ПРОТИВОКАРСТОВОЙ  
ЗАЩИТЫ

Нормативно-производственное издание

ПНИИС Гостроя СССР

## РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ ПРИ ВЫБОРЕ  
СПОСОБОВ ПРОТИВОКАРСТОВОЙ  
ЗАЩИТЫ

Редакция инструктивно-нормативной литературы  
Зав. редакцией Л. Г. Бальян  
Редактор М. В. Никольская  
Мл. редактор Л. И. Месяцева  
Технический редактор И. В. Попова  
Корректор В. И. Галюзова  
Н/К

Подписано в печать 17.12.86 Т — 08252 Формат 84 x 108 1/32  
Бумага офсетная № 2 Печать офсетная  
Усл.кр.-отт. 4,52 Уч.-издл. 5,01 Тираж 5000 экз. Изд. № XII — 742  
Зак. № 27 Цена 25 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Типография ЦНИИЭТИПИЩЕПРОМА  
113035, Москва, ул. Осипенко, 14

Москва Стройиздат 1987



Рекомендованы к изданию решением Научно-технического совета ПНИИИС Госстроя СССР.

**Рекомендации по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты / ПНИИИС. — М.: Стройиздат, 1987. — 80 с.**

Приведен перечень видов противокарстовой защиты и условий их применения в промышленном и гражданском строительстве. Показаны характерные ошибки, встречающиеся при выборе способов противокарстовой защиты из-за недостаточного использования инженерно-геологической информации. Представлены способы учета этой информации при выборе противокарстовой защиты.

Для инженерно-технических работников, занятых инженерными изысканиями и проектированием зданий и сооружений.

Табл. 9, ил. 27.

## ВВЕДЕНИЕ

Закарстованные территории занимают значительную часть территории СССР. Поэтому в связи с постоянно возрастающими объемами капитального строительства, дефицитом свободных для строительства территорий, а также существенным влиянием современной технологии на интенсивность карстовых процессов освоение закарстованных территорий в СССР является весьма актуальной народнохозяйственной задачей.

Проблема защиты зданий и сооружений от вредного влияния карста является достаточно сложной, требующей глубокого понимания природы карстового процесса, знания степени ответственности защищаемого объекта и основных его параметров. Объемы противокарстовой защиты в различных условиях могут существенно отличаться. В некоторых случаях выполнять ее целесообразно, в других же стоимость противокарстовых мероприятий может составлять более десяти процентов сметной стоимости проектируемого объекта.

Таким образом, проблема противокарстовой защиты является не только технической или инженерно-геологической, но и экономической.

В «Рекомендациях по проектированию зданий и сооружений в карстовых районах СССР» (М., ПНИИИС, 1967) были впервые определены сферы применения различных способов противокарстовой защиты планировочного, геотехнического и конструктивного характера, что позволило в значительной степени упорядочить выбор видов противокарстовой защиты. Однако в этих Рекомендациях не указано, каким образом следует непосредственно использовать ту или иную инженерно-геологическую информацию. Используя эти Рекомендации ввиду отсутствия нормативного документа по выбору противокарстовой защиты, многие изыскательские и проектные организации не учитывают в должной мере природу карстового процесса и необходимых его параметров при выборе противокарстовой защиты, что часто приводит к серьезным ошибкам.

Следствием этих ошибок является или недостаточная противокарстовая защита, приводящая к авариям или



повреждениям зданий и сооружений под действием карстовых деформаций, или же, наоборот, их излишняя защита, которая вызывает повышение стоимости строительства. И то и другое влечет за собой существенные экономические потери.

Таким образом, решение задачи повышения эффективности инженерной защиты строящихся и эксплуатируемых объектов от вредного влияния карстовых процессов является весьма актуальной.

Под эффективностью противокарстовой защиты понимается соотношение между фактически достигнутым и нормированным в зависимости от степени ответственности сооружения и расчетного срока его службы значением определенных параметров (фактической и допустимой надежностью, величиной вероятного ущерба и капиталовложениями в противокарстовую защиту, фактическим и нормированным коэффициентом опасности полости и т. д.).

Реализация эффективных решений противокарстовой защиты возможна лишь при условии рассмотрения вопросов изысканий, оценки карстоопасности и проектирования, а также технологии строительства и эксплуатации зданий и сооружений в рамках единой системы.

Сложность природы карстового процесса и многообразие видов противокарстовой защиты требуют взаимовязанности действий при проведении изысканий и проектировании и своевременного взаимного корректирования.

В связи с этим в настоящих Рекомендациях приведены основные сведения о природе карстового процесса с точки зрения назначения видов противокарстовой защиты и их инженерно-геологическая классификация. Эта классификация ни в коей мере не противоречит инженерно-строительной классификации, приведенной в «Рекомендациях по проектированию зданий и сооружений в карстовых районах СССР» (М., ПНИИИС, 1967). Принцип построения классификации позволяет использовать ее непосредственно как при изысканиях, так и на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации, особенно при организации комплексной инженерной защиты.

При подготовке Рекомендаций было проанализировано большое число заключений по изысканиям в карстовых районах и проектов промышленных гражданских и транспортных объектов, расположенных на закарсто-

ванных территориях, а также зарубежные публикации по этим вопросам (ГДР, Франция, ФРГ, США и др.).

Рекомендации по использованию инженерно-геологических информаций при выборе видов противокарстовой защиты планировочного и конструктивного характера и оценке их эффективности подготовлены по материалам исследований, выполненных в основном в карстовой лаборатории ПНИИИС (г. Дзержинск).

В работе принимали участие сотрудники ПНИИИС: канд. техн. наук В.В. Толмачев (разд. 1-7), канд. геол.-минерал. наук В.П. Хоменко (разд. 2), инженеры В.Б. Сорокина (разд. 4), О.Б. Нешеткин (прил. 3, 4), а также инж. Г.М. Троицкий (НИИОСП) — разд. 3, б, прил. 2, канд. техн. наук Ю.Д. Чертыков (Гидроспецпроект) — прил. 1.

Рекомендации разработаны под общей редакцией канд. техн. наук В. В. Толмачева.

Замечания и предложения просим направлять по адресу: 606023, Дзержинск, Горьковская обл., ул. Маяковская, 33. Карстовая лаборатория ПНИИИС Госстроя СССР.



## 1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации могут быть использованы при инженерных изысканиях и проектировании объектов промышленного и гражданского строительства, расположенных на закарстованных территориях. Часть положений справедлива также при изысканиях и проектировании объектов транспортного строительства.

1.2. Рекомендации не распространяются на изыскания и проектирование гидротехнических сооружений, расположенных в карстовых районах.

1.3. В Рекомендациях отсутствует описание защиты сооружений от карстовых деформаций путем тампонажа карстовых полостей. Опыт использования инженерно-геологической информации при составлении проектов тампонажа, накопленный Гидроспецпроектом Минэнерго СССР, изложен в прил. 1.

1.4. В рекомендациях не излагаются вопросы, связанные с методикой получения в результате инженерных изысканий инженерно-геологической информации, используемой при выборе способов противокарстовой защиты.

1.5. Под противокарстовой защитой понимаются специальные инженерные решения планировочного, конструктивного, строительно-технологического, эксплуатационного, геотехнического (в том числе гидрогеологического) характера, направленные на предотвращение или уменьшение последствий вредного влияния карстового процесса, выражающегося в образовании в основании зданий и сооружений тех или иных карстовых проявлений. В дальнейшем вместо термина «здания и сооружения» будет употребляться термин «сооружения».

## 2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИРОДЕ КАРСТОВОГО ПРОЦЕССА

### Классификация карста

2.1. При определении способов противокарстовой защиты необходимо учитывать классификацию карста и некоторые характеристики его различных типов, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Тип карста	Характеристика
1. По растворимости карстующихся пород под действием подземных вод (по литологии карстующихся пород)	
Карбонатный карст в труднодоступных породах с подтипами: в известняках и доломитах	Размеры отдельных карстовых форм, развивающихся в естественных условиях из-за растворения, практически неизменны в течение срока службы сооружения Мощности разрушенных зон и прослоев карбонатной муки крайне не выдержаны в плане. Карбонатная мука подвержена суффозионному выносу; ее несущая способность снижается при увлажнении
в мелу	Легкая размываемость. Несущая способность значительно снижается при увлажнении. Увлажненный мел может переходить в разжиженное состояние при динамическом воздействии
в известняках породах с карбонатным цементом	Несущая способность значительно снижается при увлажнении
Сульфатный карст в средне- и слабо-растворимых породах с подтипами: в гипсах в ангидритах	Размеры карстовых форм в результате растворения пород в течение срока службы сооружений могут существенно измениться
Хлоридный (соляной) карст в легко-растворимых породах с подтипами:	



Тип карста	Характеристика
в каменной соли в калийной соли	Возможен катастрофический рост карстовых форм из-за растворения пород или при искусственном изменении режима подземных вод
<p>2. По расположению карстующихся пород относительно земной поверхности</p> <p>Открытый (голый) карст (непосредственно на поверхности или породы задернованы)</p> <p>Покрытый карст (перекрывается нерастворимыми породами) с подтипами перекрывающихся пород: водопроницаемые или полупроницаемые</p> <p>водопроницаемы</p> <p>Обрушения грунтов в полости и (или) суффозии в полости и (или) трещиноватые зоны</p> <p><i>относительно уровня подземных вод</i></p> <p>При технологическом изменении гидрогеологического режима в течение срока службы сооружений один тип карста может переходить в другой</p> <p><i>относительно активной зоны основания сооружения</i></p> <p>Снижение несущей способности карстующихся пород в основании в течение службы сооружения может иметь существенное значение. Карстовые формы опасны для сооружений</p> <p>Карстовые формы в карстующихся породах лишь потенциально опасны (характер и степень опасности определяются по результатам изысканий)</p>	
Глубокий карст	<p>3. По глубине расположения потенциально опасных карстовых форм в карстующихся породах</p> <p>Карстовые формы невозможно фиксировать современной надежностью физическими методами!</p>

1 Современные геофизические методы позволяют фиксировать карстовые полости, расположенные на глубине примерно до 20 м.

Тип карста

Характеристика

Неглубокий карст

Карстовые формы можно фиксировать с достаточной надежностью современными геофизическими методами

### Механизм карстовых деформаций

2.2. Под механизмом карстовых деформаций понимается совокупность рассматриваемых последовательных во времени и в пространных процессах сдвижения горных пород над подземными карстовыми формами, размеры которых и состояние изменяются вследствие растворения, кольматации и декольматации полостей и трещиноватых зон, изменения напряженного состояния и свойств горных пород.

2.3. Механизм карстовых деформаций в значительной мере определяет выбор как самих принципов прогноза карстовой защиты, так и отдельных ее видов.

2.4. Механизм карстовых деформаций зависит от многих естественных и техногенных факторов. Большое влияние на него оказывают особенности региона: гидрогеологические условия, состав, растворимость, трещиноватость, физико-механические характеристики пород, изменяющиеся даже на сравнительно небольших по площади территориях.

2.5. Механизм развития карстовых полостей из-за растворения (коррозии) и эрозии горных пород в настоящее время изучен крайне недостаточно. Однако он существенным образом не влияет на механизм развития деформаций грунтов над карстовыми полостями.

2.6. Под критическим размером полости понимается ее ширина ( $2b_k$ ), при которой происходит частичное или полное обрушение ее кровли.

Характер деформаций кровли полости при достижении ею критической ширины  $2b_k$  практически не зависит от глубины ее расположения ( $H$ ) при  $b_k < H$  (рис. 1) и определяется в основном состоянием и механическими характеристиками грунтов кровли. При этом обрушение грунтов над полостью происходит с образованием свода. При небольшой мощности кровли это проявляется в образовании наклонных трещин на приопорных участ-



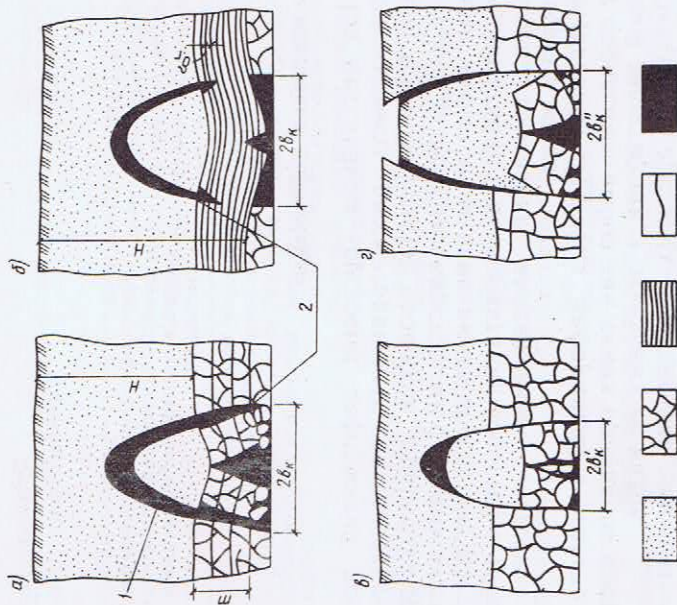


Рис. 1. Характер деформаций пород кровли полости

а - кровля полости сложена скальными грунтами; б - кровля полости сложена глинистыми грунтами; в - вывал отдельных блоков; г - обрушение консолей  
 1 - первичный свод в покровной толще; 2 - трещина на приопорных участках

ках, при достаточно большой мощности очертание сводов близко к параболе.

В скальных грунтах развиваются крупные деформации, в глинистых — пластические деформации.

При  $\phi_k > H$  очертание сводов обрушения устанавливается при необходимости экспериментальным путем. Выявлена следующая закономерность появления деформаций грунтов кровли полости: критический размер полости тем больше, чем больше мощность кровли  $m$  и расстояние между горизонтальными трещинами  $d$ .

При этом в глинистых грунтах эта закономерность проявляется значительно слабее, чем в скальных.

2.7. Вертикальная трещиноватость пород кровли полости существенно влияет на величину критического пролета. Поэтому для прогнозирования устойчивости кровли необходимо знание точного месторасположения вертикальных трещин в кровле полости.

Следует иметь в виду, что деформации пород кровли могут проявляться в виде вывалов отдельных блоков или обрушения консолей. В большинстве случаев примерно в середине поперечного сечения полости имеется вертикальная трещина, величина раскрытия и закольматированность которой характеризуются силу трения между блоками породы и механизм обрушения кровли полости.

2.8. При выходе карстовой полости (вследствие растворения, эрозии или обрушения ее кровли) на контакт с недонасыщенными нескальными грунтами в последних образуются своды обрушения. При определенных условиях они могут выйти на поверхность земли.

В процессе дальнейшего расширения полости в толще грунтов дискретно образуются последовательные своды (первичный, вторичный, третичный и т. д.). При этом каждый последующий свод оказывается более крутым, чем предыдущий, а очертание сводов меняется от параболического к эллиптическому.

2.9. На очертания сводов в покровных нескальных грунтах оказывает влияние также время, в течение которого происходит расширение полости в их основании. При мгновенном расширении полости (обрушение кровли, выпадение отдельных блоков) своды в грунтах оказываются более крутыми, чем при медленном росте ширины полости.

2.10. На развитие деформаций водонасыщенных песчаных грунтов, перекрывающих подземные карстовые формы или сквозные нарушения сплошности региональных или локальных водоупоров, помимо поля гравитационных сил оказывает влияние поле гидродинамических сил, которое проявляется в местах нарушения стабильного фильтрационно-гидродинамического режима. В условиях фильтрации карста такое нарушение может быть вызвано внезапным проявлением гидравлических связей между ранее разобщенными горизонтами трещинно-карстовых и надкарстовых вод вследствие развития и роста подземных карстовых форм и разрушения водоупоров, представляющих собой кровлю карстовых полостей.



2.11. При определенных обстоятельствах водонасыщенный грунт может приобретать свойства вязкопластичной массы и способностью к истечению через отверстия и щели. В условиях развития карстовых деформаций это явление может наблюдаться при потере грунтом несущей способности вследствие его разжижения или гидравлического разрушения подземным потоком. Процесс истечения (при отрыве частиц грунта друг от друга) аналогичен процессу истечения сухого песка; разжиженный песок принимает над сквозным нарушением в водополупоре естественного откоса. Воронка с угловым откосом наблюдается также и на поверхности водонасыщенного песка.

При постоянной ширине полости и различной мощности зоны насыщения своды обрушения в песках как бы вытягиваются вслед за поверхностью грунтовых вод и начинают терять параболические очертания, приближаясь к эллипсовидной форме. Решающим фактором, влияющим на конфигурацию сводов обрушения, является отношение мощности зоны насыщения к ширине полости (критерий, отражающий интенсивность гидродинамического воздействия). При некоторой весьма малой величине этого отношения свод обрушения имеет очертания и параметры параболы, не отличающейся от контура свода обрушения в неводонасыщенных грунтах.

Если ширина карстовой полости, перекрытой водонасыщенными песками, становится меньше некоторой критической величины, гравитационное обрушение грунта исключается.

В этом случае в покрывающих отложениях при появлении сквозного нарушения сплошности водоупорного слоя, отделяющего трещинно-карстовые воды от надкарстовых, начинают развиваться карсто-суффозионные процессы, состоящие из: ползучего разжижения водонасыщенного песка и истечения разжиженной массы, фильтрационного разрушения, вязкопластичного истечения грунта в пределах зон фильтрационного разрушения и гравитационного обрушения грунтов зоны аэрации и насыщения.

2.12. Особенности деформаций (сдвижений) водонасыщенных грунтов в карстовые полости и в трещины показаны в табл. 2.

2.13. При внезапном образовании достаточно крупного сквозного нарушения в водополупоре (обрушение кровли полости, вывалы отдельных блоков) размеры полости разжижения увеличиваются до тех пор, пока над ней

не произойдет внутренний вывал грунта (рис. 2). В результате в зоне насыщения образуется первая полость обрушения, которая быстро заполняется поступающей сверху водой. Обвальная полость постепенно разрушается, а на ее месте формируется новая, более широкая полость разжижения, которая разрушается так же, как и первая, вследствие вывала грунта внутри свода обрушения больших размеров. Таким образом, происходит последовательное скачкообразное продвижение вверх сменяющихся друг друга полостей разжижения и обрушения все более крупных размеров в плане, пока очередная полость разжижения не достигнет в своей верхней части пролета, достаточного для выхода обрушения на поверхность грунтового массива. При этом уровень грунтовых вод над полостью повышается из-за восходящей фильтрации, возникающей при отжатии воды из полости вследствие заполнения ее материалом обрушения.

2.14. В процессе обрушения грунтов в нижележащие полости на всех стадиях развития карстовых деформаций в грунтовой толще происходит процесс самоликвидации полостей из-за разрыхления обрушивающихся грунтов. Степень разрыхления зависит от типа грунтов, степени их раздробленности и вертикального размера полости. Грунты с меньшей связностью и большей раздробленностью обладают меньшей степенью разрыхле-

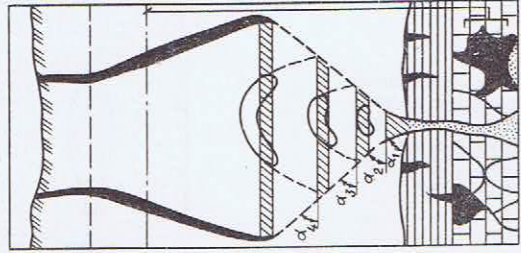
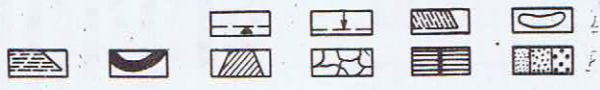


Рис. 2. Характер деформаций водонасыщенной толщи грунтов при внезапном образовании крупного сквозного нарушения в водополупоре

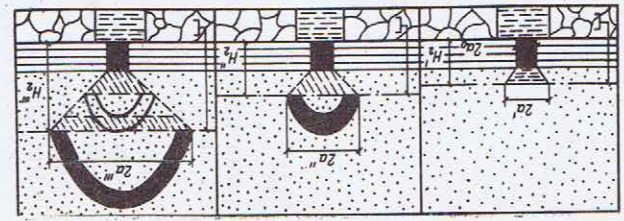




1 - песчаные грунты различного гранулометрического состава; 2 - водоанпорный сток со сквозными нарушениями сплошное; 3 - карстующиеся породы; 4 - зона фильтрующего связного песчаного грунта; 5 - подземная полость, не заполненная водой; 6 - подземная полость, заполненная выщелачиваемым грунтом; 7 - полость обрушения, заполненная выщелачиваемым грунтом; 8 - полость разжижения, заполненная выщелачиваемым грунтом; 9 - преемственный напор подземных вод; 10 - уровень безнапорных подземных вод.

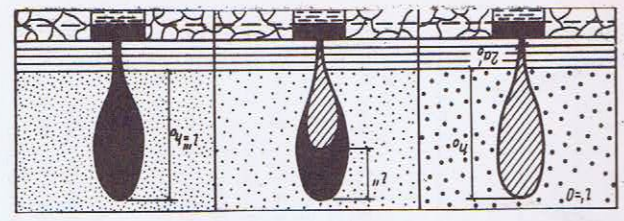


Свойства песка  
 $2a_0$  const  
 $H_2 - \text{вдт}$   
 $H_2 < H_1 < H_2$   
 $2a' < 2a'' < 2a'''$   
 $H_2 > 0$



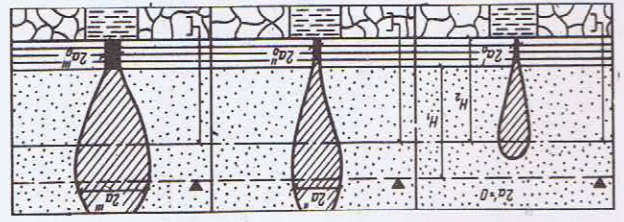
Получает разжижение водонасыщенные песчаные породы, истечение плывуна и разрушение полости разжижения

Свойства песка - \text{вдт}  
 $H_0$  const  
 $d_{50} > d_{50} > d_{50}$   
 $l_1 < l_2 < l_3$   
 $H_2 = 0$



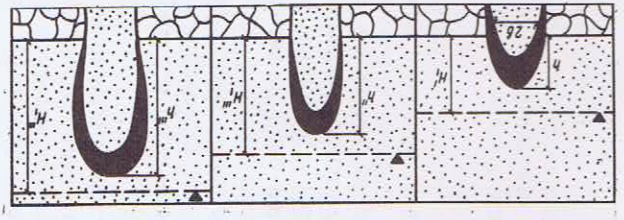
Вязкопластичное истечение водонасыщенного песка внутри зоны фильтрующего связного

Свойства песка M const  
 $H_1$   
 $H_2$   
 $2a_0 - \text{вдт}$   
 $2a_0' < 2a_0'' < 2a_0'''$



Фильтрующее истечение водонасыщенных песков

Свойства песка const  
 $2b$   
 $H_1 < H_1 < H_1$   
 $H_2 = 0$   
 $H_2 < H_1 < H_1$



Развитое истечение водонасыщенных песков

Таблица 2  
 Характер изменения параметров Явления, наблюдающиеся при экспериментальном изучении процессов



ния. Чем меньше высота полости, в которую происходит обрушение грунтов, тем ниже коэффициент разрыхления.

2.15. Карстовые деформации по характеру их проявления на земной поверхности делятся на деформации с нарушением сплошности поверхности грунта (провалы, карстовые просадки) и без нарушения.

2.16. Провалы могут формироваться путем непосредственного выхода свода на поверхность (рис. 3, а) или путем вертикального сдвига, принимаая при этом круглоцилиндрическую форму (рис. 3, б, в). В дальнейшем происходят оползание и уположение стенок провала с формированием воронки почти одновременно с провалом или более длительное время. Время формирования воронки зависит от состояния и свойств грунтов, характера растительности и задержанности земной поверхности, диаметра ( $d_{пр}$ ) и видимой глубины провала (рис. 3, г), геоморфологических и климатических условий, степени влияния нагрузки и других антропогенных воздействий.

Условие предельного равновесия грунта имеет вид

$$(Q_0 + Q) - (C_n + F_n) = 0, \quad (1)$$

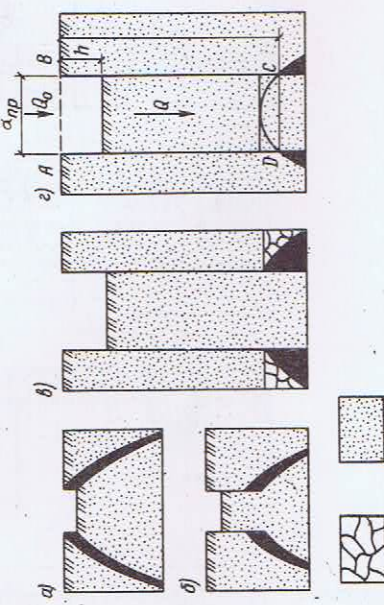


Рис. 3. Механизм образования карстового провала на земной поверхности  
 а — непосредственный выход свода на поверхность; б — образование круглоцилиндрического провала над сводом в покровных отложениях; в — образование круглоцилиндрического провала непосредственно над полостью в карстующихся породах; г — расчетная схема образования круглоцилиндрического провала

где  $Q_0$  — нагрузка с поверхности на цилиндр грунта  $ABCD$  весом  $Q$ ;  $C_n$ ,  $F_n$  — силы сцепления и трения, возникающие по боковой поверхности цилиндра грунта.

2.17. Процесс образования проседаний (локальных оседаний) в настоящее время изучен недостаточно. Продолжительность же этого процесса составляет от нескольких дней до нескольких месяцев. Размеры проседаний в плане достигают нескольких десятков метров при относительно небольшой (до 1—2 м) глубине.

Проседания могут иметь два способа образования. При сравнительно неглубоком местоположении полостей в карстующихся или покровных некарстующихся грунтах, имеющих относительно небольшой размер ( $h_n$ ) по вертикали свободного от заполнения пространства (рис. 4, а), или полостей разжижения (рис. 4, б) может происходить плавный прогиб толщин глинистых грунтов над полостями с образованием на земной поверхности проседаний с достаточно большими уклонами ( $i = \frac{2h_n}{a}$ ).

При образовании разуплотненной зоны на сравнительно небольшой глубине, например, из-за заполнения свода равновесия грунтом при его обрушении происходит уплотнение грунта под действием собственного веса, веса вышележащих пород и внешней нагрузки (рис. 4, в). При

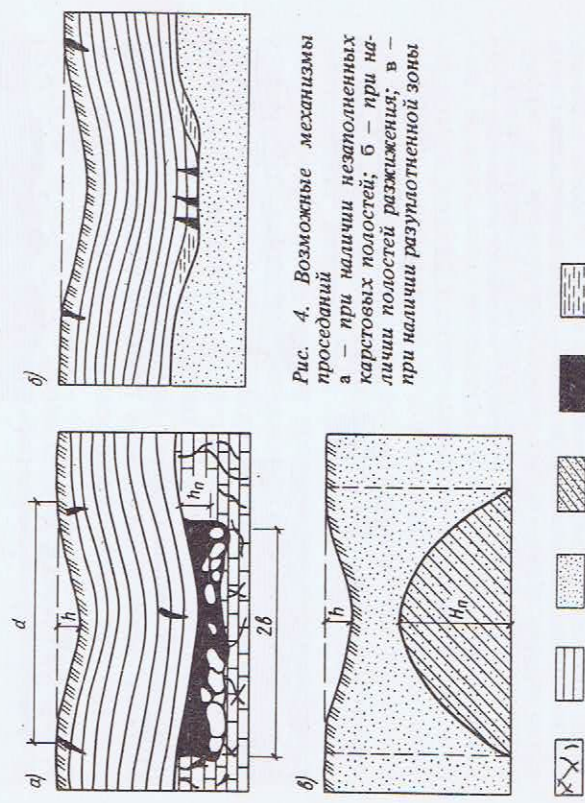


Рис. 4. Возможные механизмы проседаний  
 а — при наличии незаполненных карстовых полостей; б — при наличии полостей разжижения; в — при наличии разуплотненной зоны



этом, чем больше высота разуплотненной зоны ( $H_n$ ), тем больше глубина оседания ( $h$ ).

2.18. Карстовые оседания, занимающие относительно большие по площади территории, могут иметь разный механизм образования.

При перекрытии карстовых полостей пластичными грунтами последние могут плавню прогибаться. Если полости расположены рядом, то деформации прогиба сливаются между собой, образуя на земной поверхности оседания в виде мульд (рис. 5). Продолжительность процесса зависит от скорости расширения карстовых полостей.

При определенных градиентах нисходящей фильтрации может происходить суффозионный вынос из песчаного грунта частиц заполнителя, свободно лежащих в порах скелета, не сопровождающийся деформацией скелетной структуры грунта (суффозия I типа), вследствие которого образуются разуплотненные зоны (рис 5, б).

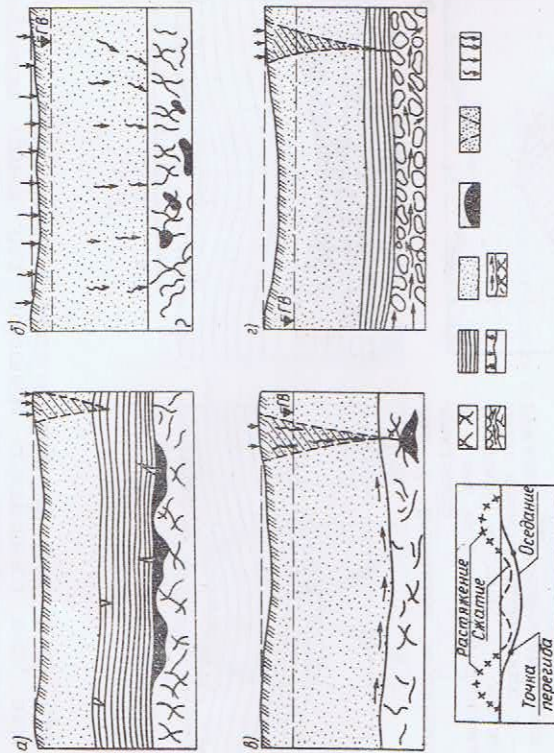


Рис. 5. Возможные механизмы оседаний  
 а — при расширении карстовых полостей на небольшом расстоянии друг от друга; б — при наличии суффозии I типа; в — при растворении пористости карстующихся пород; г — при объемном растворении толщи карстующихся пород; д — зона напряжений при прогибе грунтовой толщи

При динамическом воздействии или действии больших статических нагрузок происходит постепенное уплотнение грунтов в этих зонах с образованием на поверхности плавных оседаний. Деформации такого рода имеют тенденцию к затуханию при неизменяющихся гидрогеологических условиях и внешних воздействиях.

При интенсивном поверхностном растворении карстующихся пород может происходить неравномерное по площади снижение уровня этой поверхности, ведущее к прогибу всей толщи горных пород над эти снижением (рис. 5, в). Аналогичен процесс оседания и при объемном растворении толщ карстующихся пород (рис. 5, г).

Оседания, вызванные поверхностным и объемным растворением пород, имеют практически непрекращающийся характер.

На краях мульд оседаний, вызванных прогибом толщ грунтов, возникают растягивающие напряжения (рис. 5, д), ведущие к образованию разуплотненных зон. В таких зонах облегчаются условия инфильтрации воды в грунт и увеличивается скорость нисходящей фильтрации, которая может привести к полному разрушению скелетной структуры грунта и соответствующим деформациям (суффозия II типа).

#### Классификация карстовых деформаций для решения архитектурно-планировочных задач

2.19. Для микрорайонирования закарстованных территорий, используемого при решении архитектурно-планировочных задач, следует использовать классификацию карстовых деформаций, приведенные в табл. 3 и 4.

2.20. Механизм карстовых деформаций, происходящих в толще грунтов, в значительной степени определяется их характер при изменении природной обстановки в результате хозяйственной деятельности, которое неизбежно в той или иной мере при освоении закарстованных территорий. При составлении генпланов и проектов детальной планировки и застройки, прокладке трасс различных коммуникаций и т. п. представляется важным наличие данных по чувствительности разных частей осваиваемой территории к различным техногенным воздействиям. Тенденцию изменения параметров карстовых деформаций можно установить для конкретных инженерно-геологических и техногенных условий, лишь отчетливо представляя механизм карстовых деформаций.







Таблица 4

Виды деформаций по характеру проявления их на земной поверхности	Интервалы прогнозируемых (средне-вероятных) параметров		
	диаметра	глубины наклона бортов	скорости деформаций
Дискретные	провалы	+	—
Снаружем сплосности	карстовые	+	+
	просадки	—	—
Без нарушени	проседания	+	+
	сплошности	—	—
Непрерывные	оседания	—	+
	сплошности	—	—

1 Классы деформаций в зависимости от прогнозируемых параметров пп. 2.23—2.26.

2.21. При выборе статических и конструктивных схем зданий и сооружений, способов противокрстовой защиты необходимо учитывать виды деформаций в зависимости от характера их проявления на земной поверхности.

2.22. Карстовые деформации с нарушением сплошности земной поверхности целесообразно делить по их видимой глубине на провалы ( $h > 25$  см) и карстовые просадки ( $h \leq 25$  см). При  $h \leq 25$  см здания и сооружения можно проектировать аналогично зданиям с учетом воздействия деформаций типа «уступ» в соответствии с методиками по расчету и проектированию зданий и сооружений на подрабатываемых территориях.

2.23. Карстовые деформации без нарушения сплошности земной поверхности делятся в зависимости от значения наклона бортов ( $i$ ), представляющего собой отношение разности вертикальных деформаций двух соседних точек мульды к расстоянию между ними, на проседания ( $i > 20$  мм/м) и оседания ( $i \leq 20$  мм/м).

При проектировании зданий и сооружений на территориях, где возможны оседания, целесообразно пользоваться методикой расчета зданий и сооружений на подрабатываемых территориях с учетом характера и продолжительности карстовых оседаний. В этом случае карстовые оседания аналогично оседаниям, вызванным подработкой территорий, целесообразно разделять на четыре разновидности в зависимости от значений  $i$ , мм/м: 20—10, 10—7, 7—5, менее 5.

2.24. В большинстве случаев характер воздействия провалов и проседаний на сооружении во многом совпадает. Одним из основных расчетных параметров при оценке объемов конструктивной прогновокарстовой защиты является прогнозируемый (средневероятный) размер в плане. Поэтому целесообразно установить следующие интервалы размеров провалов и проседаний в плане ( $d$ ) в зависимости от степени сложности конструктивной защиты зданий:

Размер провалов и проседаний в плане $d$ , м:	Степень сложности конструктивной защиты растений
больше 20	защита крайне затруднена или невозможна
10—10	затруднена
10—3	достаточно сложна
меньше 3	не применяется или применяется в ограниченном объеме

2.25. Карстовые просадки (неглубокие провалы) целесообразно подразделять в зависимости от глубины проседания на две разновидности: глубиной менее 5 и равной 5—25 см по аналогии деления просадочных грунтов на два типа просадочности.

2.26. Воздействие проседаний на здания и сооружения во многом одинаково с воздействием провалов при сравнительно большой глубине проседаний (условно  $h \geq 25$  см) или с воздействием карстовых просадок ( $h < 25$  см).

Выделение территорий по видам и разновидностям карстовых деформаций производится, если имеется достаточное для их статистической обработки число.

Классификация карстопроявления для проектирования конструктивной противокрстовой защиты

2.27. При проектировании конструктивной противокрстовой защиты следует пользоваться классификацией карстопроявлений, представленной в табл. 5.

2.28. Карстопроявления необходимо подразделять на *поверхностные* и *подземные*, выделяя в них группы в зависимости от границ этих проявлений: для поверхности — с нарушением сплошности грунта на земной поверхности и без него; для подземных — не имеющие достаточной четких границ и ограниченные в пространстве. Эти данные прежде всего необходимы при планировании инженерных изысканий с целью прогнозирования



Типы и виды карстопроявлений		Характеристика карстопроявлений		Взаимосвязь карстопроявлений во времени	
форма	в разрезе	в плане	устойчивость к разрушению в естественном состоянии	характер воздействия на фундамент	препятствующие
с нарушени-ем сплюснот-ности	сводобразные	округлая	устойчивая	неустойчивые	зона разуплотнения в породах
ти грунта	пильнические	квадратная	устойчивые	малоустойчивые	зона разуплотнения в породах
без нарушени-я сплюснотности	карстовые провалы	овальная	устойчивые	устойчивые	зона разуплотнения в породах
ти грунта	конические	любая	любая	любая	зона разуплотнения в породах
оседания	оседания	любая	любая	любая	зона разуплотнения в породах
не имеют четких границ	понижения в кровле карстовых пород	любая	любая	любая	зона разуплотнения в породах
ни	разуплотнения в породах	любая	любая	любая	зона разуплотнения в породах
Ослабленные зоны	зона разуплотнения в породах	любая	любая	любая	зона разуплотнения в породах
Ограничен-ные в прост-ранстве	зона разуплотнения в породах	любая	любая	любая	зона разуплотнения в породах
Полости	зона разуплотнения в породах	любая	любая	любая	зона разуплотнения в породах

Таблица 5







2.34. Степень объективности оценки карстоопасности может быть различной в зависимости от полноты исходной инженерно-геологической информации.

При использовании в качестве исходной информации лишь самого факта обнаружения карстопоявлений (без определения геометрических и других параметров, характеризующих механизм их дальнейшего развития) можно оценить степень карстоопасности (табл. 6), разделив карстопоявления на опасные (вероятность появления тех или иных деформаций за срок службы сооружений равна 1) и потенциально опасные (0—1).

2.35. Более высокие уровни оценки карстоопасности предусматривают уточнение значения вероятности появления деформаций ( $P$ ) для потенциально опасных карстопоявлений и установления их размеров. Для выполнения такой оценки необходимо, используя методы моделирования, установить параметры, определяющие механизм карстовых деформаций.

#### Вероятностный способ прогнозирования локальных деформаций (провалов)

2.36. Изменение карстовых провалов, являющихся одним из основных параметров карстовых деформаций, подчинено определенным вероятностно-статистическим закономерностям, которые необходимо использовать при прогнозе.

2.37. Вероятностно-статистический метод прогноза значений диаметров карстовых провалов заключается в построении кривой их распределения и оценке статистических параметров, необходимых в дальнейшем для определения расчетного размера карстовых провалов: среднего диаметра  $\bar{d}$ , дисперсии  $\sigma^2$ , эмпирического среднеквадратического отклонения  $\sigma$ , максимального значения  $d_{max}$ .

2.38. Подбор теоретических кривых распределения необходимо проводить по эмпирическим графикам распределения диаметров провалов. Знание теоретического закона распределения диаметров карстовых провалов позволяет более обоснованно определять исходные данные для расчета защитных конструкций и оценки их эффективности.

На рис. 6 приведен пример оценки эффективности противокарстовых конструкций, рассчитанных на диаметр провала 12 м. Значения надежности  $P_d$  этих конструкций при использовании эмпирической и теоретической кривых распределения составляют соответственно 0,74 и 0,5. В данном случае эффективность запро-

возможных размеров карстопоявлений и выбора типа фундаментов.

2.29. Деление поверхностных карстопоявлений на провалы, карстовые провалы, проседания и оседания производится по тем же признакам, что и в классификации для решения архитектурно-планировочных задач. Однако в отличие от этой классификации выделение поверхностных карстопоявлений по размерам отдельных видов не имеет смысла, так как для расчета конструкций важны конкретные размеры деформаций, а не интервалы их значений.

2.30. Провалы целесообразно условно делить по их форме в разрезе на *сводообразные*, *цилиндрические* и *конические*. Такое деление необходимо для правильной интерпретации результатов инженерно-геологических прогнозов о возможных размерах провалов. Кроме того, эти сведения необходимы для расчета конструкций с учетом кратковременного и долговременного воздействия дискретных карстовых деформаций на сооружение.

2.31. В грунтовой толще на закарстованных территориях возникают различные ослабленные зоны, как не имеющие четких границ в пространстве, вызванные процессами объемного растворения карстующихся пород, суффозией (большей частью в песчаных грунтах), разуплотнением нескальных грунтов вследствие изменения напряженного состояния массива над карстовыми полостями, так и более или менее четко ограниченные в пространстве.

2.32. Выделенные виды карстопоявлений характеризуются различным воздействием на фундамент во времени и возможной их сменой в течение срока службы сооружений, что необходимо учитывать при проектировании оснований и фундаментов.

Оценка опасности карстопоявлений, выявленных при изысканиях

2.33. Выявленные или прогнозируемые в результате проведения инженерных изысканий карстопоявления должны быть оценены с точки зрения их опасности для проектируемых или эксплуатируемых сооружений.

Оценка опасности карстопоявлений должна учитывать величину активной зоны основания, расчетный срок службы сооружения и другие параметры.



Примечание. Знаками (+) и (-) обозначено соответственно наличие и отсутствие данного признака.

Картопроявления	Наличие в активной зоне		Причины картопроявления	Прогноз опасности	Лопатительные условия
	основания	супфозия			
Незаполненные и заполненные картовые полости	+	При любых условиях	Провалы	1	Вероятность увеличения при утечках воды, вибрационных воздействиях
Незаполненные картовые полости	-	+	Провалы	то же	Вероятность увеличения при утечках воды, вибрационных воздействиях
Заполненные картовые полости	-	+	Провалы	то же	При потенциальной возможности выноса заполнителя из полости в течение срока службы сооружения
Полости в покрывающей толще	+	При любых условиях	Провалы	1	Вероятность образования провалов пологостей вблизи участка
Трециноватые и разрывные зоны	+	+	Оседания	0-1	Вероятность образования провалов пологостей вблизи участка
Посели доминированной	+	При любых условиях	Проседания	то же	Вероятность увеличения при локальном замачивании и сосредоточенных нагрузках
Зоны фильтрационного разрывания в покрывающих породах	+	При любых условиях	Провалы	1	-
Зоны гравитационного сплижения в покрывающих породах	+	-	Провалы	то же	-
То же	-	-	Провалы	0-1	Вероятность увеличения при утечках хозяйственных вод
Погрбенные (засыпанные) (вые) провалы и воронки	+	-	карстовые провалы (неглубокие провалы, $h \leq 25$ см), проседания	1	-
Формы, образовавшиеся в результате поверхностного расворения	-	При любых условиях	Оседания	0-1	При продолжающемся интенсифицированном расворении в ерхностном расворении
Картопроявления, образовавшиеся в результате расворения	+	При любых условиях	Оседания	0-1	Вероятность увеличения при динамическом воздействии и утечках хозяйственных вод
Провалы	-	При любых условиях	Провалы	0-1	Участки вблизи свежих провалов также считаются опасными для строительства
Мульды оседания	-	При любых условиях	Оседания	0-1	-

Таблица 6







### 3. ПРОТИВОКАРСТОВАЯ ЗАЩИТА И УСЛОВИЯ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

(6)

$$P_0 = e^{-L}$$

где

(7)

$$L = \lambda F T (1 - P_d)$$

$P_d$  — вероятность того, что при образовании провала его диаметр не будет превышать  $d$ . Значение  $P_d$  определяется по интегральной кривой распределения диаметров провалов.

2.44. Вероятностно-статистические методы при оценке карстоопасности отдельной строительной площадки применимы при условиях:

однородности площадки с участком, для которого были определены эти параметры (относительно интенсивности провалов и их размеров);

отсутствия влияния на интенсивность провалов и величину их диаметров.

3.1. Противокарстовая защита должна обеспечить: предотвращение или сведение до минимума возможности катастрофических разрушений и безопасность людей (необходимое условие); рентабельность строительства с учетом возможного экономического ущерба от карстовых явлений и расходов на специальные изыскания и противокарстовую защиту (достаточное условие).

3.2. Объем противокарстовой защиты для выполнения необходимого условия определяется в каждом конкретном случае в зависимости от прогнозируемых видов и размеров карстовых деформаций, степени взрыво- и пожароопасности производства, характера и масштаба воздействия на окружающую среду, в том числе на рядом стоящие сооружения при повреждении защищаемых объектов вследствие карстовых деформаций, количества одновременно находящихся в защищаемом здании людей, особенно технологических процессов и т. п.

Во многих случаях выполнение противокарстовой защиты для удовлетворения достаточного условия ведет к выполнению и необходимого условия.

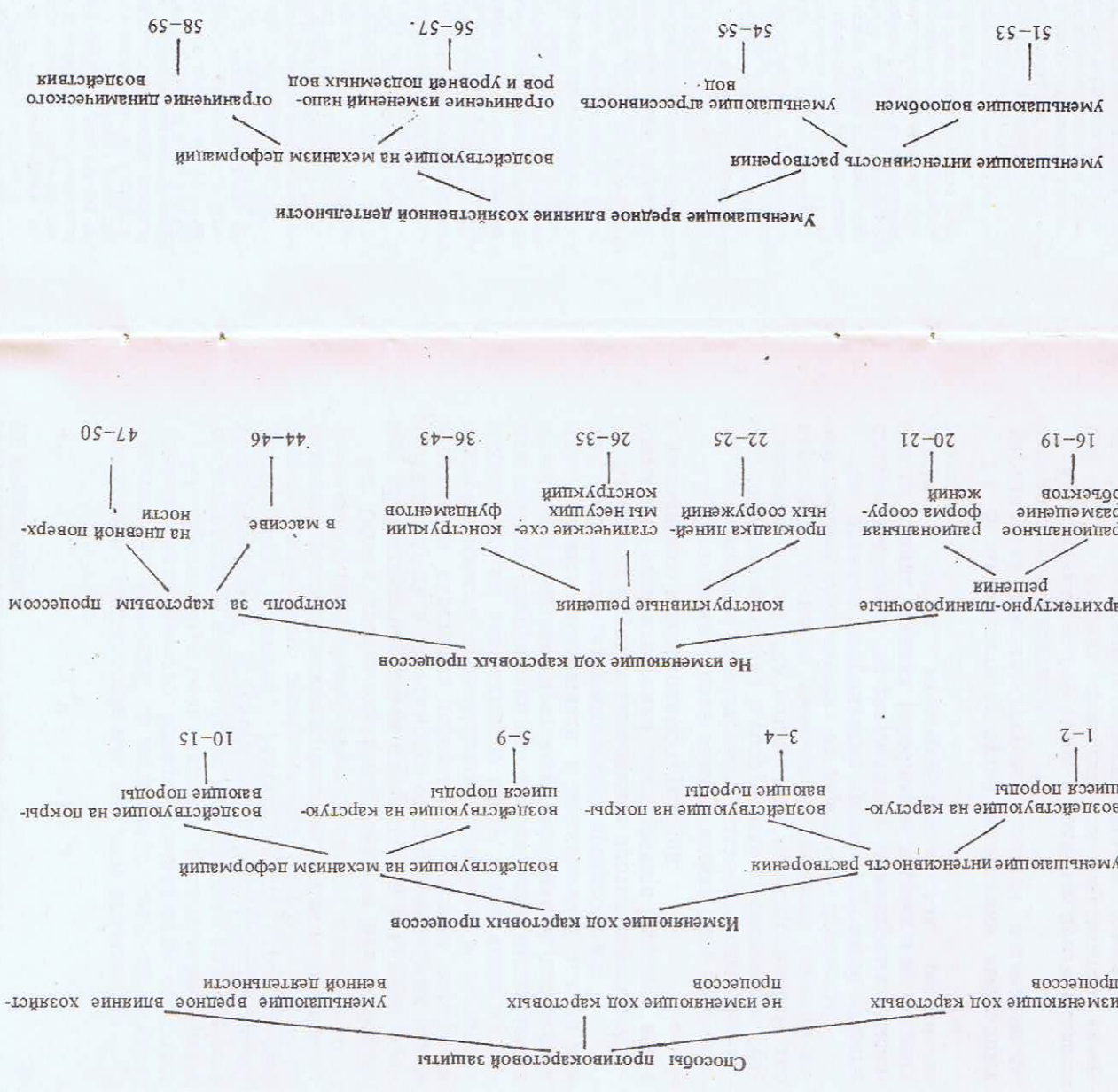
3.3. Противокарстовая защита может быть направлена на: изменение естественного хода карстовых процессов; сохранение зданий и сооружений и обеспечение безопасности людей без воздействия на естественный ход карстового процесса; уменьшение вредного влияния хозяйственной деятельности на карстовые процессы.

Как правило, направление противокарстовой защиты следует выбирать по результатам инженерных изысканий на ранних стадиях (обобщение данных о природных условиях района, инженерно-геологическая рекогносцировка).

3.4. В зависимости от путей реализации выбранных направлений противокарстовой защиты последние делятся на типы и подтипы.

Как правило, выбор типов и подтипов противокарстовой защиты следует проводить по результатам инженерно-геологической рекогносцировки и съемки.







Конкретные виды защиты, показанные цифрами на четвертом уровне, обозначают: 1 — фильтрационные завесы; 2 — осушение массива путем устройства линейных или кольцевых дренажей; 3 — регулирование поверхностного стока; 4 — увеличение площади водонепроницаемых покрытий; 5 — обрушение карстовых полостей путем трамбовки с последующей засышкой и уплотнением образовавшегося понижения; 6 — заполнение полостей несвязными инертными материалами; 7 — заполнение полостей тампонажными растворами; 8 — закрепление трещиноватых и разрушенного карстующимися породами, с устройством водонепроницаемой зоны со стороны движения подземных вод; 10 — инжектирование воды для искусственного образования карстово-суффозионных провалов; 11 — закрепление оснований корневидными буронабивными сваями; 12 — армирование армированного грунта в основании; 13 — закрепление грунта, заполняющего погребенные карстовые формы; 14 — вертикальная планировка, обеспечивающая отвод поверхностных вод от сооружений; 15 — устройство деформационных траншей вдоль стен зданий в зонах сжимающих напряжений; 16 — расположение сооружений на менее опасных участках; 17 — расположение зданий и сооружений за пределами участков обнаружения полости и поверхностных карстовых форм; 18 — ориентация сооружений в зависимости от параметров карстовых форм; 19 — регулирование плотности застройки; 20 — назначение рациональной формы сооружений; 21 — изменение высоты сооружений; 22 — прокладка трассы по наиболее безопасным участкам или пересечение опасных участков по кратчайшему направлению; 23 — дублирование и колцевание трубопроводов на карстоопасных участках; 24 — устройство раздельного земляного полотна железных и автомобильных дорог разных направлений движения; 25 — устройство полетных строений мостов на раздельно стоящих опорах (по направлениям движения); 26 — выбор рациональной конструктивной схемы; 27 — изменение статической схемы конструкций сооружений; 28 — назначение минимального количества температурных и деформационных швов; 29 — разрезка на укороченные отсеки; 30 — устройство дополнительных связей в каркасных конструкциях; 31 — устройство податливых соединений в стыках между блоками и панелями зданий; 32 — назначение податливой конструкции трубопроводов; 33 — усиление несущих элементов конструкций армированными обоями, рубашками; 34 — использование горизонтальных армированных поясов, рубашек; 35 — назначение жесткой конструкции трубопроводов; 36 — монолитное или сборно-монолитное решение железобетонных фундаментов с устройством консольных вылусков; 37 — увеличение площади опорания фундаментов для уменьшения контактного давления на основание; 38 — применение фундаментов с опиранием на породы ниже зоны карстования; 39 — назначение свайных фундаментов с резервным числом свай и ростверком, обеспечивающим их выскальзывание; 40 — применение фундаментов с горизонтальными связями; 41 — устройство фундаментов с подпирками; 42 — применение конструкций фундаментов и полов подвалов со сквозными отверстиями для ликвидации карстовых форм; 43 — применение устройств по выравниванию сооружений; 44 — устройство глубинных грунтовых марок в покровной толще пород; 45 — установка площадной и линейной сигнализации; 46 — назначение сети наблюдательных гидрогеологических скважин (уровень, скорость и направление движения подземных вод, химический состав подземных вод); 47 — контроль за оседаниями земной поверхности; 48 — наблюдение за оседанием и деформациями конструктивных элементов сооружений; 49 — визуальное наблюдение за состоянием конструкций; 50 — устройство маяков на трещинах в конструкциях; 51 — ограничение отчек трещинно-карстовых вод; 52 — устройство ливневой и промышленной канализации; 53 — предотвращение утечек промышленных стоков; 54 — запрещение сброса химически агрессивных промышленных и бытовых вод; 55 — ограничение и регулирование добычи подземных ископаемых подземным растворением пород; 56 — регулирование откачек под-

земных вод; 57 — ограничение утечек промышленных и хозяйственных вод в грунт; 58 — ограничение источников вибрации; 59 — ограничение взрывных работ.

**3.5. В зависимости от способов реализации того или иного направления противокарстовой защиты последние делится на виды.**

Как правило, вид противокарстовой защиты определяется в результате инженерно-геологической съемки и разведки.

**3.6. Условием выбора видов противокарстовой защиты является проведение тщательного анализа: основных особенностей защищаемых объектов (степень ответственности, расчетный срок службы, конструктивные решения, размеры активной зоны основания, нагрузки, технологический режим, условия строительства и эксплуатации и т. д.); инженерно-геологической обстановки, выявленной в результате инженерных изысканий (наличие или отсутствие подземных карстовых форм в активной зоне основания или за ее пределами, тип и размеры возможных карстовых деформаций в основании сооружения), механизм карстовых деформаций с учетом влияния на него возможных техногенных воздействий и т. д.).**

**3.7. Вид противокарстовой защиты следует выбирать путем сравнения различных вариантов и исходя из целесообразности применения в конкретных природных и строительно-эксплуатационных условиях. При составлении вариантов противокарстовой защиты рекомендуется использовать инженерно-геологическую классификацию противокарстовой защиты, представленную в виде иерархического «дерева».**

Выбор вида противокарстовой защиты зависит от природных и строительно-эксплуатационных условий.

Таблица 7

Природные условия	Буквенное обозначение	Строительно-эксплуатационные условия	Буквенное обозначение
	Участки интенсивного растворения пород	А	Наличие технико-экономического обоснования с учетом сроков службы сооружения и фильтрационной завесы
Наличие прогноза об изменении гидрогеологической обстановки	Б	В основании ответственных сооружений	б



Природные условия	Буквенное обозначение	Строительно-эксплуатационные условия	Буквенное обозначение
-------------------	-----------------------	--------------------------------------	-----------------------

и интенсивности карстовых процессов на прилегающих территориях

В Неглубокое залегание карстующих пород

Г Водопроницаемая покрывающая толща

Д Неглубокое залегание полостей

Е В карбонатных породах

Ж В сульфатных и соляных породах при загущающем процессе растворения

З При скоростях движения подземных вод, не размывающих заполнитель

И При расположении полостей на глубине до 12-15 м

К При критических размерах полости

Л При любых размерах полости и возможности карсто-суффозионных деформаций

М При возможности карсто-суффозионных деформаций

Н При перекрытии карстующихся пород песчаными не-обводненными отложениями мощностью до 20 м

О При оседаниях и небольших (диаметром до 5 м) провалах

П При заполнителе с низким показателем несущей способности

Р При любых видах карстовых деформаций

С При крупных мульдях оседаний

Т При опасной карстовой полости свежих провалах и локальных оседаниях

У При старых поверхностных карстовых формах

Ф При провалах и проседаниях

В Для зданий и сооружений любых типов

Г В котлованах под фундаментами

Д При расположении полостей вне активной зоны оснований

Е Для ответственных зданий и сооружений

Ж При расположении трещиноватых и разрушенных пород в активной зоне оснований

З При строительстве на незастроенных территориях

И При специальном технико-экономическом обосновании

К При наличии в активной зоне оснований потребностей карстовых форм

Л Для зданий и сооружений с жесткой конструктивной схемой

М Для выгнутых в плане зданий и сооружений

Н В сейсмических зонах при специальном технико-экономическом обосновании

О Для ответственных технологических, городских и магистральных трубопроводов

П Для ответственных участков дорог

Р Для каркасных конструкций зданий и сооружений

С Для зданий большой прочности и при изменении этажности

Т Для блочных и панельных зданий

У Для кирпичных зданий

Ф Для сооружений с небольшой площадью опирания и точечных опор

Природные условия	Буквенное обозначение	Строительно-эксплуатационные условия	Буквенное обозначение
-------------------	-----------------------	--------------------------------------	-----------------------

В зависимости от вида и параметров карстовых деформаций

При провалах и проседаниях значительных размеров

Для трубопроводов при провалах средним диаметром более 20 м

Для железных и автомобильных дорог при провалах любых диаметров

При провалах диаметром более 10 м

При глубоком залегании карстующихся пород

При оседаниях

При провалах

При провалах и проседаниях небольших размеров

При провалах проседаниях диаметром не более размера шага колонн

При большой мощности покрывающей толщи

При соляном и сульфатном карсте

При любых типах карста

При соляном карсте

Зависимость вида противокарстовой защиты от условий применения примет следующий вид (табл. 8).

Таблица 8

Вид защиты	Условия применения		Вид защиты	Условия применения	
	природные	строительно-эксплуатационные		природные	строительно-эксплуатационные
1	А, Б, В	а	7	Б, К, Л	в
2	А, Б	б	8	Б, М	с
3	А, Г	в	9	В	ж
4	А, Г	в	10	Н	з
5	Д	в, г	11	В, М	и
6	Е, Ж, З, И	в, д	12	О	и



Вид за-щиты	Условия применения		Вид за-щиты	Условия применения	
	природные	строи-тельно-эксплуа-тацион-ные		природные	строи-тельно-эксплуа-тацион-ные
13					
14	П	К	37	Я	Ф
15	Р	В	38	Ш	Х
16	С	Л	39	Ю	Е
17	Р	В	40	Я	Ф
18	Т, У	В	41	Е	Р
19	С	М	42	Ф	В, Ц
20	Ф	Н	43	В, Я	И
21	Х	В	44	И	Е
22	Ц	И	45	Ф	Е
23	Ш	И	46	М, Р	В
24	Щ	О	47	Р	Е
25	Ф	Ц	48	Р	Р
26	Ф, Ы	И	49	Р	Р
27	Х	Р	50	Р	В
28	Ф	И	51	Ж'	Ч
29	С	И	52	Ж'	В
30	С	С	53	Ж'	Ш
31	Э	Т	54	Р'	Щ
32	Э	С	55	Ж''	Ц
33	Р	Т	56	Ж'	В
34	Ф	У	57	Ж'	В
35	Ю	С	58	М, Р'	В
36	Ф	В	59	М, Р'	Ы

3.8. Противокарстовую защиту можно выполнять в следующие периоды: инженерной подготовки закарстованной территории (участка) в целом (например, осушение карстующегося массива в пределах участка путем устройства кольцевых дренажей); строительства сооружений (например, заполнение карстовых полостей в основании сооружений, устройство фундаментов и т. п.); эксплуатации объекта (например, предотвращение утечек промышленных и хозяйственных вод в грунт).

В проектах противокарстовой защиты обязательно должен быть указан период выполнения защиты, а связанная с этим разновременность затрат должна быть учтена при сравнении вариантов противокарстовой защиты в соответствии с методикой оценки эффективности хозяйственных мероприятий.

#### 4. ХАРАКТЕРНЫЕ ОШИБКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССЕ ВЫБОРА ПРОТИВОКАРСТОВОЙ ЗАЩИТЫ

4.1. Наиболее характерные ошибки при использовании инженерно-геологической информации в процессе выбора противокарстовой защиты, выявленные при анализе отечественных и зарубежных материалов, приводят к необоснованному в инженерно-геологическом и техническом отношении проектным решениям.

4.2. Ошибки встречаются на стадиях изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации сооружений.

Основными причинами ошибок являются:

недостаточное знание специалистами основных закономерностей карстового процесса и влияния их на надежность сооружений;

неучет изыскателями наиболее характерных параметров сооружений при планировании работ в конкретной инженерно-геологической ситуации;

отсутствие в технических заданиях на изыскания сведений о возможных реальных вариантах противокарстовой защиты;

недостаточная согласованность действий проектных и изыскательских организаций;

неучет при изысканиях и проектировании многоаспектности опасности карста;

недостаточная разработанность методики определения некоторых параметров карстового процесса, необходимых для выбора противокарстовой защиты.

Ниже приведены характерные ошибки, встречающиеся при проектировании противокарстовой защиты.

Архитектурно-планировочные решения

1. Не учитывается вероятностный характер карстового процесса.
2. Не учитываются предварительные проработки архитектурно-планировочных решений при планировании изысканий.
3. Не применяется вариантное проектирование планировочных решений.



*Расположение сооружений на наиболее безопасных территориях*

4. Не проводится микрорайонирование территории, учитывающее различные аспекты карстоопасности.
5. Не выделяются участки возрастающей карстоопасности в результате техногенного воздействия при районировании закарстованных территорий.
6. Не выделяются зоны и не исследуются условия образования карстовых деформаций в результате суффозии.
7. Не учитывается направленность карстового процесса в пространстве и во времени.

*Расположение зданий и сооружений за пределами опасных и потенциально опасных участков (зон расположения карстовых форм)*

8. Не дается прогноз опасности обнаруженной полости, в том числе с учетом нагрузки от сооружения.
9. Не определяется безопасное расстояние от обнаруженной полости до места расположения сооружения.
10. Не оценивается несущая способность грунтов в зоне вокруг карстовых воронок.
11. Не даются указания по характеру опасности зоны вблизи полостей и поверхностных карстовых форм на период строительства и эксплуатации сооружения.
12. По результатам бурения одиночных скважин определяются отсутствие подземных карстовых форм в основании сооружений или вблизи него.

*Ориентация зданий и сооружений в зависимости от размеров оседаний земной поверхности*

13. Не даются размеры мульд оседания в плане.
- Ограничение плотности и этажности застройки*
14. Не определяются интенсивность и вероятные диаметры карстовых провалов.

*Конструктивные решения*

15. Субъективно выбирается расчетный размер карстовой деформации.

*Выбор рациональной статистической и конструктивной (податливой, жесткой или комбинированной) схемы зданий и сооружений*

16. При районировании не принимается в расчет классификация территорий по виду деформаций.

*Дублирование и кольцевание трубопроводов на карстовых участках*

17. Не принимается в расчет интенсивность карстовых провалов.
18. Не определяются статистические характеристики диаметров карстовых провалов (локальных оседаний).

*Прокладка трасс линейных сооружений по наиболее безопасным участкам или пересечение опасных участков по минимальному направлению*

17, 18

*Устройство раздельного земляного полотна железных и автомобильных дорог для разных направлений движения*

17, 18

*Устройство монолитных железобетонных фундаментов (ленточных, плитных, решетчатых)*

16, 17, 18

19. Не прогнозируется изменение размеров провалов и вероятности их образования под воздействием сооружения.

*Устройство фундаментов уширенного опирания*

20. Не учитывается, что данный вид защиты целесообразен при небольших диаметрах провалов.
- Устройство фундаментов с опиранием на породы ниже зоны карстования*

21. Не прогнозируется снижение несущей способности грунтов основания во времени (за период срока службы сооружения).

22. При определении глубины заложения фундаментов не учитывается расположение активной зоны основания относительно уровня залегания карстующихся пород.

23. Не предусматривается инженерно-геологический контроль за состоянием грунтов основания в период эксплуатации.



*Устройство фундаментов с подиругами*

24. Не учитывается, что данный вид защиты эффективен лишь при расчетном размере провала меньше шага колонн.

*Применение свайных висячих фундаментов с резервным числом свай и усиленным ростверком*

25. Не прогнозируются деформации грунтов по глубине.

26. Не учитываются параметры подземных карстовых проявлений.

*Геотехнические решения*

*Устройство противифльтрационных завес на пути движения подземных вод (линейных на отдельных участках или кольцевых по контуру защищаемой территории) и осушение карстующихся пород*

27. Не прогнозируется изменение активности карстового процесса на защищаемом участке после выполнения защиты.

28. Не прогнозируется изменение активности карстовых процессов на прилегающих участках.

*Регулирование бытовых и промышленных стоков.*

27, 28

*Обрушение кровли карстовых полостей трамбованием с последующим плотным заполнением воронок*

29. Не учитывается, что данный вид защиты эффективен лишь при неглубоком залегании карстующихся пород.

30. Не учитывается возможность просадки заполнителя воронок обрушения.

*Заполнение полостей несвязными инертными материалами*

31. Не учитывается, что данный вид защиты эффективен при практически неразвивающихся полостях.

32. Не прогнозируется возможность выноса заполнителя.

*Заполнение полостей тампонажными растворами*

8, 28, 32

33. Перед началом работ не определяются размеры и очертания полости.

34. Задается высокая прочность материала заполнителя.

35. Не учитывается, что при незначительной прочности грунта кровли полости возможно трещинообразование.

*Закрепление трещиноватых и разрушенных зон тампонажными растворами*

28, 29, 32, 34, 35

36. Не учитывается, что данный вид защиты эффективен лишь в случае карсто-суффозионных деформаций.

*Цементация оснований, сложенных карстующимися породами*

21

37. Не предусматриваются мероприятия по стабилизации несущей способности грунта во времени.

*Эксплуатационные и строительные решения*

*Установка глубинных реперов*

26

*Геодезический контроль за оседанием земной поверхности*

38. Не выявляется скорость оседаний.

13

*Ограничение искусственного изменения гидрогеологических условий*

39. Не прогнозируется изменение интенсивности карсто-суффозионных деформаций.

27

*Снижение статических нагрузок от сооружений*

40. Не учитывается, что данное мероприятие целесообразно при залегании подземных карстовых форм в активной зоне основания

*Снижение динамических нагрузок и воздействий (ограничение технологической вибрации, взрывных работ, откоса или уменьшение объемов погружения свай путем забивки или вибрационного погружения)*

36, 40



## 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ВЫБОРЕ ПРОТИВОКАРСТОВОЙ ЗАЩИТЫ НА СТАДИИ ПРИНЯТИЯ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ

### Основные требования

5.1. Основным требованием к инженерно-геологической информации, получаемой в результате инженерно-геологической рекогносцировки и инженерно-геологической съемки и используемой при выполнении проектов детальной планировки и застройки жилых районов, микрорайонов и генпланов промышленных предприятий, размещаемых на закарстованных территориях, является полнота исходных данных, достаточная для создания обоснованных архитектурно-планировочных решений.

5.2. Инженерно-геологическая информация должна обеспечить многовариантность архитектурно-планировочных решений и сравнение их по степени карстоопасности. Выбор наиболее эффективного варианта позволит установить рациональный объем и вид изысканий, выполняемых при инженерно-геологической разведке, результаты которых будут использованы при определении вида противокарстовой защиты на стадиях принятия конструктивных, геотехнических и других решений, а также при уточнении планировки выбранного варианта застройки.

### Микрорайонирование закарстованной территории

5.3. Перед началом работы над проектами детальной планировки и застройки жилых районов и микрорайонов и генпланами промышленных предприятий необходимо в масштабе выполнения соответствующих проектов выполнить микрорайонирование территории застройки по ее карстоопасности.

Под микрорайонированием закарстованной территории понимается дифференцирование ее на зоны и участки по ряду признаков, характеризующих степень и характер опасности карста для зданий и сооружений за расчетный срок их службы и непосредственно определяющих инженерно-планировочные решения в соответствующих проектах.

5.4. Микрорайонирование закарстованных территорий должно базироваться на районировании территории по условиям развития карста, которое выполняется на предпроектных стадиях (районная планировка, генплан города). В результате районирования должны быть определены типы и виды карста (см. табл. 1).

5.5. Рассматриваемая территория или отдельные ее участки должны быть соотнесены с одним из типов карста с учетом глубины залегания карстующих пород и в зависимости от:

реальных технических возможностей обнаружения подземных карстовых форм в карстующихся породах (карст глубокой или неглубокой);

преобладающих размеров активной зоны сооружений (карстующие породы залегают в активной зоне основания сооружений или за ее пределами).

5.6. Выделение зон при микрорайонировании должно проводиться по двум группам признаков:

характеристикам потенциальных карстовых деформаций земной поверхности (оснований сооружений) — А; характеру и степени чувствительности карстового процесса к различным техногенным воздействиям (см. табл. 3) — В.

5.7. Внутри зон выделяются участки наличия (отсутствия) с разной степенью опасности выявленных в результате изысканий карстовых форм (группа признаков В).

5.8. Группу А составляют следующие характеристики деформаций земной поверхности (оснований сооружений):

I. Вид.

II. Разновидность по механизму образования.

III. Интенсивность.

IV. Основные размеры.

5.9. В зависимости от вида (см. табл. 3, 4) деформаций (признак А.1) выделяются зоны, в которых прогнозируется образование: деформаций земной поверхности (оснований сооружений), имеющих дискретный характер (провалы, просадки, проседания); оседаний (мульд); оседаний и дискретных деформаций.

Выделение зон по виду деформаций необходимо для предварительной ориентации проектировщика при обосновании рациональной схемы функционального зонирования территории и выбора принципиального вида конструктивной защиты. Например, в зонах провалов при



конструктивной защите зданий и сооружений предпочтительнее следует отдавать главным образом жесткой конструктивной схеме зданий, в зонах же оседаний — податливой.

Если имеются достаточные статистические данные относительно по провалам, карстовым просадкам (неглубоким провалам), проседаниям, то целесообразно внутри деформаций зон земной поверхности выделять соответствующие подзоны.

5.10. В зависимости от механизма образования карстовых деформаций (признак А.II) выделяются зоны с развитием карсто-обвальных, карсто-суффозионных и карсто-обвально-суффозионных дискретных деформаций, оседаний вследствие прогиба толщи пород над карстовыми полостями, развития суффозии (с выделением, если представляется возможность, подзон в зависимости от различных механизмов суффозии), поверхностного или объемного растворения карстующих пород.

Выделение этих зон необходимо для прогноза размеров карстовых деформаций, степени опасности обнаруженных карстовых полостей, оценки степени влияния техногенного воздействия, установления параметров проектирования противокарстовой защиты, направленной на уменьшение техногенного воздействия (ограничение откачек подземных и инфильтрации бытовых и производственных вод в грунт, ограничений динамических воздействий при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений и т. д.).

5.11. Для количественной оценки карстоопасности необходимо знать: интенсивность карстовых деформаций (признак А.III).

Для зон с дискретными деформациями (признак А.III<sup>А</sup>) общепринятым показателем интенсивности является среднегодовое число деформаций на 1 км<sup>2</sup> в год ( $\lambda$ ). Этот параметр может быть определен для отдельных участков в результате натурных наблюдений или соответствующих расчетов с учетом комплекса природных факторов. Для определения надежности вариантов застройки и отдельных сооружений рекомендуется дифференцировать выделенный участок по показателю интенсивности провалов с учетом неравномерности их распределения, ориентации и направления провального процесса (прил. 3 и 4).

Интенсивность оседаний (признак А.III<sup>Б</sup>) характеризуется скоростью перемещения земной поверхности по

вертикали  $v$ . В зависимости от величины  $v$  решается вопрос о принципе защиты зданий и сооружений на участках оседаний. Рекомендуется выделять зоны с малыми ( $v \leq 10$  мм/год) и большими оседаниями ( $v > 10$  мм/год).

Если в первом случае достаточна конструктивная защита, аналогичная для зданий на подрабатываемых территориях, то во втором — конструктивная защита зданий является целесообразной лишь при выполнении защиты геотехнического характера, которая позволила бы уменьшить скорость оседаний.

5.12. В зависимости от прогнозируемых на основе геомеханических или стохастических моделей размеров карстовых деформаций земной поверхности (признак А.IV) закарстованную территорию необходимо делить на зоны, соответствующие определенным классам значений размеров карстовых деформаций.

Такое деление позволяет выбрать принципы конструктивной защиты в различных зонах. Для зон с карстовыми провалами представляется возможность, используя методику определения расчетного размера карстовых провалов (см. разд. 6), ориентировочно оценить необходимость и объем конструктивной противокарстовой защиты.

На рис. 8 в качестве примера показаны результаты определения значений размеров карстовых провалов  $l_p$ , на которые должны рассчитываться фундаменты для зон с определенными классами показателей (менее или равно 0,01; 0,01—0,05—0,1; 0,1—1 провалов/км<sup>2</sup> в год) и прогнозируемых диаметров провалов (менее или равно 3—10, 10—20 и более 20 м), на которых располагаются здания размером в плане  $70 \times 90$  м с расчетным сроком службы  $T$ , равным 50—150 лет.

Зависимости, представленные на рис. 8, позволяют определить объем противокарстовой защиты и условия одинаковой надежности зданий с различным сроком службы, располагаемых в разных зонах, отличающихся как по интенсивности провалов, так и по прогнозируемым диаметрам карстовых провалов. Так, для зданий с расчетным сроком службы 50, 100 и 150 лет, расположенных на территории с  $\lambda = 0,05$  провалов на 1 км<sup>2</sup> в год и прогнозируемым (средневероятным)  $d = 20$  м, одинаковая надежность обеспечивается при  $l_p = 7,5; 11$  и 13,5 м соответственно. Из этого примера видно также, что для зданий со сроком службы 100 лет, расположенных на территории с  $\lambda = 0,05$  провалов/км<sup>2</sup> в год, и



5.14. При микрорайонировании закарстованных территорий на основе признаков группы Б целесообразно прежде всего выделять зоны с различной чувствительностью карстового процесса к техногенному изменению гидрогеологических условий (откачка подземных вод, повышение уровня подземных вод разных горизонтов и т. п.). При этом выделяются зоны с изменением интенсивности деформаций (признак Б.1) и их размеров (признак Б.11). Эти изменения могут быть связаны с таковыми явлениями, как увеличение или уменьшение скорости растворения карстующихся пород, вынос заполнения из карстовых полостей, усиление или ослабление процессов суффозии, включая возможность разжижения грунтов, увеличение или уменьшение давления на кровлю карстовых полостей.

5.15. На основе анализа конкретной инженерно-геологической и гидрогеологической обстановки выделяются зоны, в которых в результате того или иного техногенного воздействия на карстовый процесс интенсивность деформаций (признак Б.1) и их размеры (признак Б.11) увеличиваются, уменьшаются или практически не изменяются.

В зависимости от различного сочетания значений признаков Б.1 и Б.11 возможно получить девять зон. Выделение таких зон на основе качественного прогноза окажет положительное влияние на выбор защиты с учетом реального техногенного воздействия.

5.16. Для выделения участков по выявленным в результате изысканий подземным и поверхностным карстовым формам (группа признаков В) необходимо оценить степень их опасности (см. табл. 6).

При этом степень опасности выявленных потенциально опасных карстовых форм при составлении проектов планировки, как правило, количественно не оценивается. Такая оценка может потребоваться на более поздних стадиях изысканий при выборе противокарстовой защиты для конкретных сооружений. Исключение составляет случай, когда та или иная выявленная карстовая форма принципиально влияет на всю планировку.

Методика оценки степени опасности отдельных карстовых форм заключается в моделировании в лабораторных условиях процесса их развития.

5.17. Основанный на результатах изысканий прогноз отсутствия подземных карстовых форм на изучаемом участке позволяет сделать вывод о его безопасности.

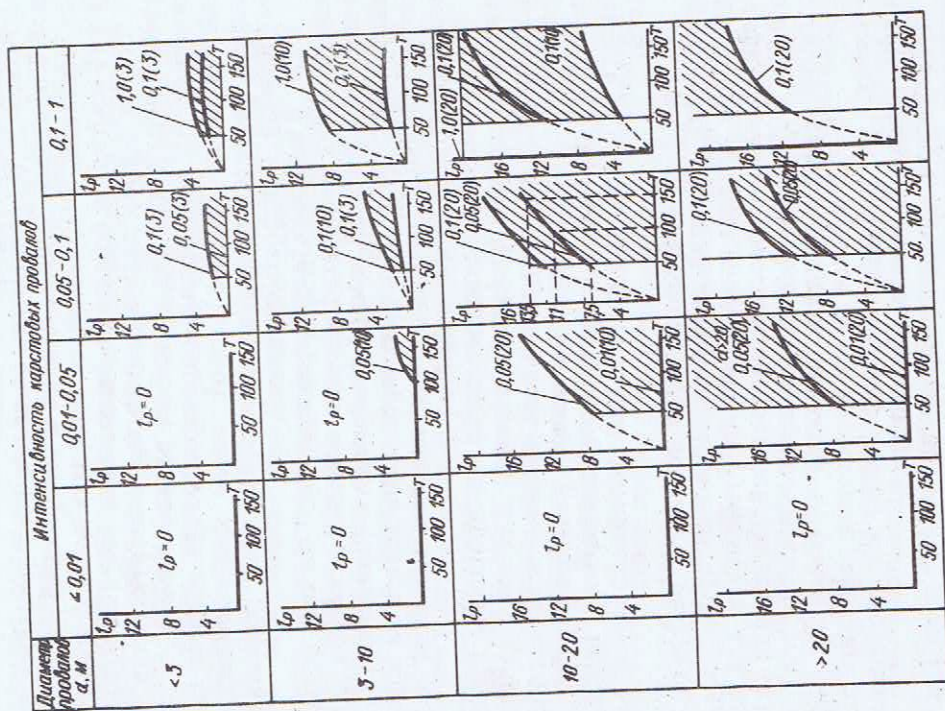


Рис. 8. Пример определения условий одинаковой надежности зданий с различным сроком службы

$d = 10$  м проектировать специальные фундаменты нет необходимости.

5.18. Выделение подзон в зависимости от глубины карстовых провалов (неглубоких провалов) или наклонов мульд оседаний позволяет выполнять противокарстовую конструктивную защиту в соответствии с руководством по проектированию зданий и сооружений на просадочных грунтах или на подрабатываемых территориях.



Достоверность прогноза зависит от учета таких дополнительных факторов, как тип зоны, выделенной при микрорайонировании, информативность метода изысканий (бурение, бурение с каротажем, наземные геофизические методы и т. д.), особенности геологического строения и состояние карстующихся пород.

Данные (хотя и неполные) о наличии или отсутствии карстовых форм самым непосредственным образом влияют на принятие планировочных решений, при этом тем в большей степени, чем больший объем изысканий осуществлен. В связи с этим все обнаруженные в результате изысканий карстовые формы, а также участки (точки), где подземные карстовые формы не зафиксированы, должны иметь координатную привязку.

Контуры поверхностных карстовых форм должны быть сняты инструментально и с соответствующей точностью нанесены на карты и планы. Их местоположение в плане непосредственным образом должно использоваться при размещении сооружений. Так, например, при невозможности вынесения застройки за пределы мульты оседания здания предпочтительнее располагать вдоль мульты, нежели поперек.

5.18. Значения всех признаков показываются на нескольких или одной (синтетической) карте микрорайонирования. Выделенные на ней зоны и участки имеют полную характеристику для последующего выполнения противокарстовой защиты различных видов (ограничительные мероприятия по планировке, строительству и эксплуатации, конструктивной защите, геотехнические мероприятия).

Учет данных по интенсивности и диаметрам карстовых провалов при составлении проектов планировки

5.19. Значения показателя интенсивности карстовых провалов  $\lambda$ , средние (прогнозируемые) диаметры  $d$ , а также максимальные диаметры  $d_{max}$  возможных провалов должны определяться в результате изысканий, проводимых для составления проектов планировки.

5.20. Значения средних и максимальных диаметров карстовых провалов в различных зонах освещаемой территории определяются путем построения гистограмм, теоретических кривых распределения диаметров и определения среднеарифметического и среднеквадратического отклонения.

При отсутствии достаточного количества данных для построения кривых распределения диаметров провалов в отдельных зонах территории рекомендуется использовать кривые распределения диаметров провалов, построенные для других участков данного закарстованного района, аналогичных по условиям, определяющим размеры карстовых провалов.

5.21. Если прогноз диаметров возможных провалов вероятностно-статистическими методами не может быть выполнен, то рекомендуется использовать экспериментальные и расчетно-детерминистические методы (см. разд. 2).

5.22. По значениям  $\lambda_i, d_i, d_{max}$  на карте выделяются зоны с равными значениями соответствующих параметров (рис. 9), что позволяет оценивать степень надежности застройки на закарстованных территориях.

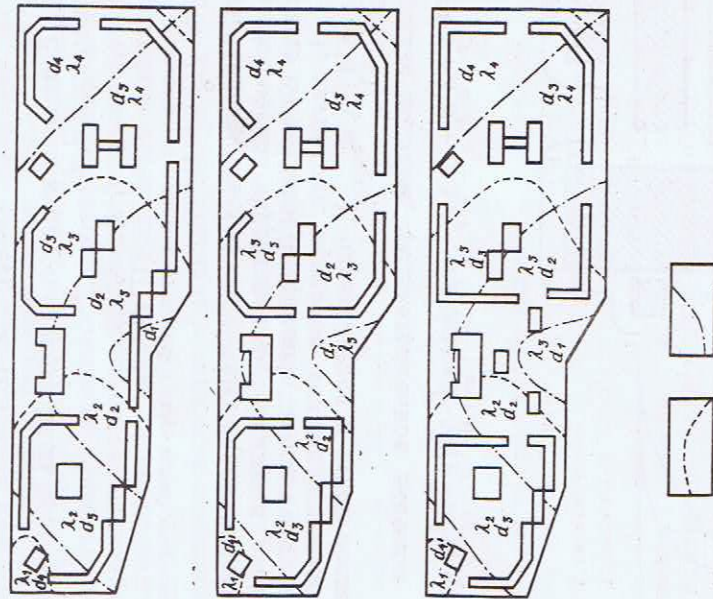


Рис. 9. Варианты планировочных решений застройки микрорайона с учетом показателя интенсивности и диаметров карстовых провалов



5.23. Под надежностью комплекса зданий и сооружений с расчетным сроком службы  $T$ , расположенного на закарстованной территории площадью  $S$ , характеризующейся показателем интенсивности провалов  $\lambda$  и кривой распределения диаметров провалов с параметрами распределения  $\bar{d}$  и  $d_{max}$ , понимается вероятность, равная

$$P = 1 - P_c, \quad (8)$$

где  $P_c$  — вероятность нахождения одного из зданий (сооружений) распадающегося комплекса в зоне влияния карстового провала за время  $T$ ;

$$P_c = \left( \frac{F_3}{S} + \frac{\bar{d}}{d_{max}} \frac{F_0}{S} \right) (1 - P_0), \quad (9)$$

где  $F_3$  — площадь застройки;  $F_0$  — площадь участков между сооружениями и линиями, очерченной на расстоянии  $\frac{d_{max}}{2}$  от контура сооружений (рис. 10);

$$P_0 = \exp(-\lambda FT).$$

5.24. Если зоны характеризуются лишь одним расчетным диаметром  $d$ , то

$$P_c = \left( \frac{F_3 + F_0'}{S} \right) (1 - P_0), \quad (11)$$

где  $F_0'$  — площадь участков вокруг зданий и сооружений, очерченная на расстоянии  $d/2$  от их контура.

5.25. Надежность для конкретных вариантов застройки закарстованной территории с площадями, различающимися по интенсивности провалов ( $n$  зон с интенсивностью  $\lambda_i$ ), диаметрам провалов ( $m$  зон с диаметрами провалов  $d_j$  и  $d_{maxj}$ ), определяется в такой последовательности.

Вначале находим средневзвешенное значение  $\lambda ST$ :

$$\lambda ST = (\lambda_1 S_1 + \lambda_2 S_2 + \dots + \lambda_n S_n) T + \sum_{a=1}^m (F_3 + F_{0j}^a) \lambda_a \Delta I_a / T, \quad (12)$$

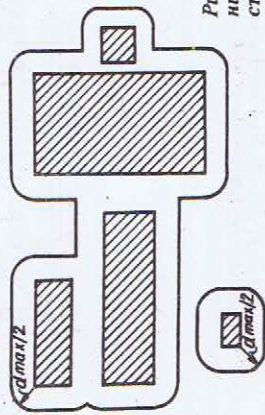


Рис. 10. Расчетная схема определения надежности комплекса застройки

где  $T$  — срок службы большинства зданий комплекса застройки;  $[ \Delta T_a = T - T_a ]$ ;  $T_a$  — срок службы сооружений, отличающийся от  $T$ ;  $F_3^a$  — площадь застройки сооружений со сроком службы  $T_a$ ;  $F_0^a$  — площадь участков между линиями сооружений со сроком службы  $T_a$  и линией, очерченной на расстоянии  $\frac{d_{maxj}}{2}$  от контура сооружений;  $T$  — число сооружений с расчетным сроком службы, отличающимся от  $T$ .

Затем по формуле (10) определим  $P_0$  и найдем средневзвешенное значение параметра в формуле (9)

$$\frac{\bar{d}}{d_{max}} = F_0 = \sum_{j=1}^m \frac{\bar{d}_j F_{0j} F_j}{d_{max} S}. \quad (13)$$

По формулам (8) и (9) определяются соответственно  $P_c$  и  $P$ .

На основе расчета надежности подбираются наиболее рациональные варианты застройки. Например, из трех вариантов застройки, показанных на рис. 9, (при  $\lambda_1 = 0,02$ ,  $\lambda_2 = 0,015$ ,  $\lambda_3 = 0,01$ ,  $d_1 = 12$ ,  $d_2 = 15$  и  $d_3 = 18$  м), значения надежности соответственно для I, II и III вариантов застройки оказались равными 0,41; 0,38; 0,48. Таким образом, вариант III является наиболее надежным.

Определение надежности варианта застройки, в котором сооружения запроектированы с противокарстовой защитой на расчетный пролет  $s$ , производится по формуле (8). При этом в случае применимости формулы (9) справедливо выражение

$$P_c = \left( (1 - P_{dc}) \frac{F_3}{S} + \frac{\bar{d}}{d_{max}} (1 - P_{tc}) \frac{F_0}{S} \right) (1 - P_0), \quad (14)$$

а для формулы (11) — выражение

$$P_c = \left( \frac{F_3}{S} + (1 - P_{tc}) \right) (1 - P_0), \quad (15)$$

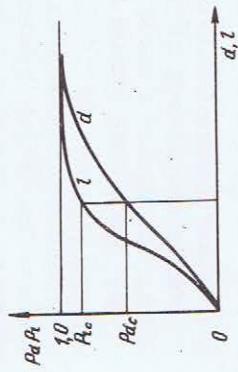


Рис. 11. Интегральные кривые распределения диаметров провалов  $d$  и параметра  $l$



## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО РАЗМЕРА КАРСТОВОГО ПРОВАЛА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ

6.1. Размер карстовых провалов в плане  $l$  является основным параметром при расчете фундаментов. Для большинства зданий именно этот размер в наибольшей степени определяет объем и стоимость конструктивной защиты.

6.2. В условиях покрытого глубокого карста при залегании карстующих пород за пределами активной зоны расчетный размер карстового провала рекомендуется определять на основе вероятностного подхода, рассматривая размеры карстовых провалов и параметры проектируемого инженерного сооружения в рамках одной системы.

6.3. Исходными данными для определения расчетного размера карстового провала в плане являются следующие:

показатель интенсивности карстовых провалов  $\lambda$ ;  
среднее или прогнозируемое расчетное значение диаметра карстового провала  $\bar{d}$ ;

максимальное значение диаметра провалов  $d_{max}$ , определяемое как  $d_{max} = \bar{d} + 3\sigma_d$  (при нормальном законе распределения диаметров) или по  $(tg d)_{max} = tg \bar{d} + 3\sigma_{tg d}$  (при логарифмически нормальном законе распределения), где  $\sigma_d$  и  $\sigma_{tg d}$  — соответственно среднеквадратическое отклонение диаметров и логарифмов диаметров,  $tg d$  — математическое ожидание  $tg d$ ;

расчетный срок службы сооружения  $T$ ;  
размеры и очертания фундамента в плане;  
степень ответственности объекта.

При этом следует иметь в виду, что значение  $d_{max}$ , полученное по кривым распределения, должно иметь инженерно-геологическое обоснование, составленное с учетом выявленных закономерностей формирования провальной воронки (см. разд. 2).

6.4. Расчетный размер карстового провала рекомендуется определять в такой последовательности:  
построение кривой распределения размера  $l$  провала при условии образования его под фундаментом;

где  $P_{dc}$  — вероятность образования провала диаметром не более  $c$ , определяемая по интегральной кривой распределения диаметров провалов (рис. 11);  $P_{lc}$  — вероятность попадания в зону образования провала сооружения размером не более  $c$  на площади  $F_3 + F_0$ , определяемая по интегральной кривой распространения параметра  $l$ , методика построения которой изложена в разд. 6.



определение условной вероятности образования провала под фундаментом при условии, что провал произошел;

определение безусловной вероятности образования провала под фундаментом;

назначение допустимого значения надежности фундамента;

определение расчетного пролета фундамента над провалом.

6.5. Распределение линейных размеров карстовых провалов при попадании их под фундамент рекомендуется находить методом статистических испытаний.

6.6. При небольшом объеме возможно проведение статистических испытаний вручную (рис. 12) в такой последовательности.

Задаются тройки случайных чисел  $[x, y, d]$ , где  $x, y$  — центры возможных провалов. Их значения берутся по таблицам случайных чисел: для  $x$  и  $y$  используются таблицы равномерно распределенных, а для  $d$  — нормально распределенных случайных чисел, если распределение диаметров провалов подчинено логарифмически нормальному закону, то по таблицам случайных нормально распределенных чисел определяются значения  $\lg d$ , а затем

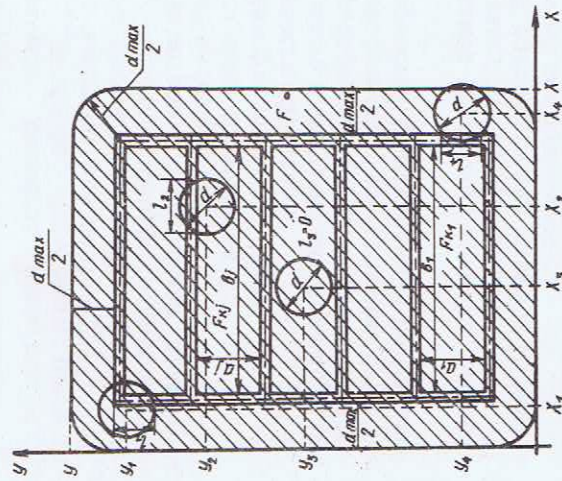


Рис. 12. Пример расчетной схемы определения распределения размеров провалов под фундаментом

координаты вероятных провалов в пределах  $x \leq x_i, y \leq y_i$

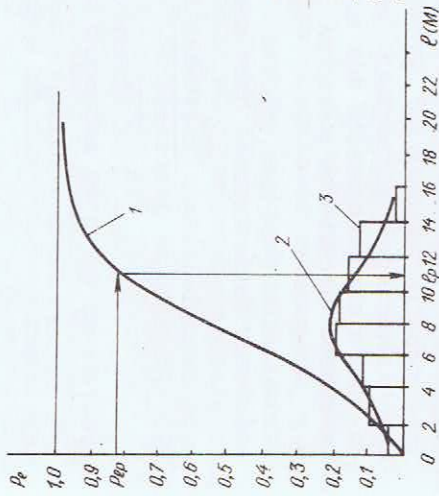


Рис. 13. Функция распределения параметра  $l$

1 — интегральная кривая, 2 — выровненная дифференциальная кривая; 3 — гистограмма

соответствующие значения  $d_i$ . Если же распределение  $d$  не установлено, то случайное значение  $d$  определяется в соответствии с гистограммой распределения диаметров провалов по «урновой» схеме без возвращения.

Для этого в урну закладывают одинаковые по форме жетоны (шары) с номерами интервалов  $d$ . Затем вынимают жетоны с гистограммой распределения  $d$ . Затем вынимают любой жетон, по которому определяют значение диаметра, соответствующее номеру интервала, указанному на жетоне, и графически находят значение  $l$  (рис. 13). После этого жетон снова опускают в урну, и процедура повторяется. Как показал опыт практического использования метода статистических испытаний по выявлению функции  $P(l)$ , число значений  $l$  для статистической обработки должно быть не менее 100. При этом в расчет принимают лишь те провалы, которые попадают под подошву фундамента.

По результатам статистических испытаний строят гистограмму распределения и выровненные дифференциальную и интегральную кривые распределения  $P(l)$ .

6.7. Условную вероятность образования карстового провала под фундаментом при условии, что провал произойдет, определяют в такой последовательности (см. рис. 12).

Вычисляют условную вероятность попадания под фундамент провала при образовании его в зоне вокруг сооружения по формулам:

при распределении диаметров провалов по нормальному закону



$$P_{f_0} = \frac{\bar{d}}{d_{max}}; \quad (16)$$

при распределении диаметров провалов по логарифмически нормальному закону

$$P_{f_0} = \frac{\lg \bar{d}}{(\lg d)_{max}}; \quad (17)$$

при неустановленном виде распределения диаметров провалов значение  $P_{f_0}$  находят методом статистических испытаний.

Затем определяют условную вероятность попадания под фундамент провала при образовании его в зоне одного из отсеков плана фундамента размерами  $a_1$  и  $b_1$  ( $a_1 < b_1$ ):

$$P_{f_1} = \bar{d}_{a_1} \frac{a_1 + b_1 - \bar{d}_{a_1}}{a_1 b_1} P_{a_1} + 1 - P_{a_1}, \quad (18)$$

где  $\bar{d}_{a_1}$  — среднее значение диаметров провалов в интервале от 0 до  $a_1$  (рис. 14);  
 $P_{a_1}$  — вероятность образования провалов до  $a_1$ .

Аналогично вычисляют вероятность  $P_{f_j}$  попадания под фундамент провала при образовании его в соседнем,  $j$ -том отсеке размерами  $a_j$  и  $b_j$  (без учета части фундамента, общей с первым отсеком).

Общую условную вероятность попадания под фундамент провала при образовании его в контуре сооружения и зон около него (на площади  $F$ ) определяют по формуле

$$P_f = P_{f_0} \frac{F_0}{F} + P_{f_1} \frac{F_1}{F} + \sum_{j=2}^n P_{f_j} \frac{F_{kj}}{F}, \quad (19)$$

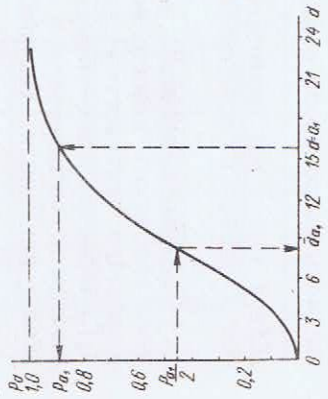


Рис. 14. Интегральная кривая распределения диаметров провалов

где  $n$  — количество отсеков;

$F_1$  — площадь в пределах контура  $1$ -го отсека фундамента;

$F_{kj}$  — площадь в пределах контура  $j$ -го отсека фундамента;

$F_j$  — площадь, определяемая по формуле

$$F = F_0 + \sum_{j=1}^n F_{kj}. \quad (20)$$

6.8. Вероятность непопадения площади  $F$ , расположенной на территории с интенсивностью провалов  $\lambda$ , за срок службы сооружения  $T$  определяют как

$$P_0 = \exp(-\lambda FT). \quad (21)$$

6.9. Безусловная вероятность образования провала под фундаментом составит

$$P_F = (1 - P_0) P_f. \quad (22)$$

6.10. Вероятность того, что размер провала под фундаментом будет меньше  $l$ , примет вид

$$P_l = \frac{[P] + P_F - 1}{P_F}. \quad (23)$$

Минимально допустимое значение надежности  $[P]$  назначается в зависимости от степени ответственности объекта.

Для зданий и сооружений с чисто экономической ответственностью значение  $[P]$  необходимо определять по минимуму приведенных затрат (см. разд. 7).

Для зданий и сооружений, повреждения которых имеют социально-экономические последствия, нормированное значение должно быть не менее 0,95.

6.11. Используя интегральную кривую распределения  $l$  по значению  $P_{f_P}$ , находится расчетное значение деформации фундамента  $l_P$  (см. рис. 13).

Если  $[P] + P_F \leq 1$ , то  $l_P = 0$ , т. е. для обеспечения заданной надежности  $[P]$  противокоррозийная защита не требуется.



## 7. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОКАРСТОВОЙ ЗАЩИТЫ

7.1. Термин «эффективность противокарстовых мероприятий» объединяет два взаимосвязанных понятия: «инженерно-геологическая» и «экономическая» эффективность.

Инженерно-геологическая эффективность противокарстовой защиты характеризуется ее способностью повысить надежность, уменьшить возможный размер карстового провала и вероятный ущерб независимо от технико-экономических условий.

Инженерно-геологическую эффективность противокарстовой защиты не всегда удается выразить количественно. Однако и качественная оценка инженерно-геологической эффективности позволяет достаточно объективно назначать принципиально возможные варианты противокарстовой защиты.

Например, устройство оповестительной глубинной точечной сигнализации над обнаруженной карстовой полостью для здания с небольшой площадью опирания в плане является достаточно эффективным средством для обеспечения безопасности людей защищаемого здания. Устройство же такой сигнализации в условиях неопределенности местоположения карстовых полостей в основании сооружений с большой площадью опирания или линейных сооружений будет малоэффективно.

7.2. В отчеты по инженерно-геологическим изысканиям на основании изучения закономерностей карстового процесса на участке строительства необходимо включить возможные варианты противокарстовой защиты с оценкой инженерно-геологической эффективности каждого из них. Это позволит проектировщикам выбрать конкурентоспособные варианты, реализация которых будет отвечать конкретным условиям строительства и эксплуатации защищаемого сооружения.

7.3. Под экономической эффективностью противокарстовой защиты понимается отношение параметра, характеризующего результат, достигнутой благодаря выполнению противокарстовой защиты (надежность, сокращение вероятного ущерба) к ее стоимости, выражаемой

соответственно показателем эффективности и абсолютной эффективностью.

7.4. Показателем эффективности противокарстовой защиты является отношение приращения надежности (в процентах или долях единицы) благодаря выполнению противокарстовой защиты к стоимости  $C$  по сравнению с существующей или достигнутой надежностью при использовании других видов противокарстовой защиты

$$W = \frac{\Delta P}{C} \quad (24)$$

При этом значение надежности для конструктивных видов противокарстовой защиты определяется по формуле

$$P = 1 - P_F (1 - P_{t_p}), \quad (25)$$

а для принятия архитектурно-планировочных решений — по формуле (8). Вычисляя значение  $W$  для различных видов противокарстовой защиты, можно определить их рациональный комплекс.

Используя показатель эффективности противокарстовой защиты, вычисляются следующие параметры, необходимые при проектировании: расчетный размер карстового провала, оптимальную плотность застройки. Так, в примере, показанном на рис. 15, видно, что эффективность проектирования противокарстовых фундаментов, рассчитанных на пролет  $l \geq 12$  м, весьма незначительна.

7.5. Абсолютную эффективность противокарстовой защиты рекомендуется определять по формуле

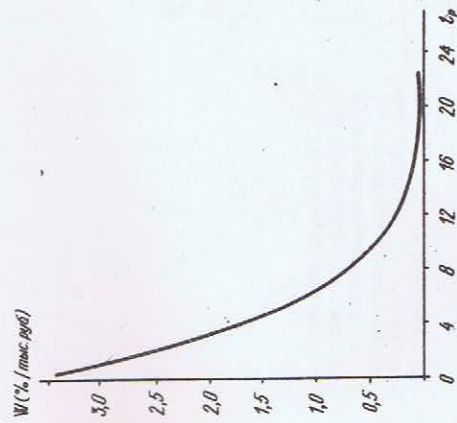


Рис. 15. Пример зависимости коэффициента эффективности противокарстовых фундаментов от расчетного пролета  $l_p$



$$\mathcal{Z} = \frac{(1-P)UK_{пр}}{C}, \quad (26)$$

где в числителе показан вероятный ущерб от карстовых деформаций с учетом отдаления его во времени, который может быть предотвращен путем проведения противокарстовой защиты стоимостью  $C$ ;  $U$  — ущерб от повреждения защищаемого объекта карстовыми деформациями. Величина  $U$  представляет собой

$$U = A + V, \quad (27)$$

где  $A$  — стоимость восстановительных работ;  $V$  — народнохозяйственные потери, связанные с постоянным или временным прекращением или затруднением эксплуатации объекта;  $K_{пр}$  — коэффициент приведения отдаленных во времени затрат, учитывающих образование ущерба в течение расчетного срока службы сооружения  $T$ .

Величину  $K_{пр}$  определяем по формуле

$$K_{пр} = \frac{1}{T \ln(1 + E_{н.п})}, \quad (28)$$

где  $E_{н.п}$  — норматив для приведения разновременных затрат, принимаемый в настоящее время равным 0,08.

7.6. Сравнение вариантов противокарстовой защиты производится по приведенным затратам (сравнительная эффективность) по формуле

$$\Pi = C + (1-P)UK_{пр}. \quad (29)$$

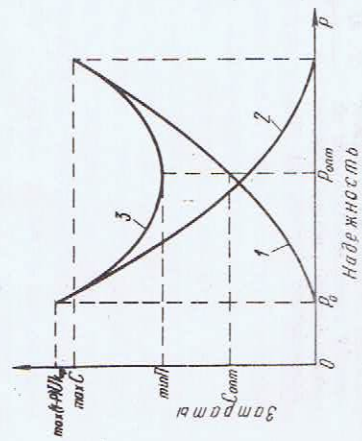


Рис. 16. Определение допустимой надежности по минимуму приведенных затрат. 1 — стоимость противокарстовой защиты; 2 — вероятный ущерб; 3 — приведенные затраты.

Первый и второй члены в формуле (29) взаимосвязаны. С увеличением стоимости противокарстовой защиты  $C$  увеличивается надежность  $P$  защищаемого объекта (рис. 16) и, следовательно, уменьшается вероятный ущерб. Это позволяет по суммарной кривой находить минимум приведенных затрат, которому соответствуют оптимальная надежность  $P_{опт}$  и оптимальный объем противокарстовой защиты  $C_{опт}$ .

Для объектов с чисто экономической ответственностью минимально допустимая надежность  $[P] = P$ .



### Использование инженерно-геологической информации при составлении проектов тампонажа карстовых полостей (опыт института Гидроспецпроект)

Тампонаж заключается в нагнетании через буровые скважины в карстовые полости и закарстованные зоны тампонажного (инъекционного) раствора, который через определенное время твердеет и превращается в прочный и нерастворимый материал (тампонажный камень), заполняющий открытые карстовые полости, каверны и крупные трещины в породах.

Для выполнения тампонажа необходимы следующие сведения о грунтах, залегающих в основании сооружений: тип и разновидность, мощность, отметки подошвы и кровли пород и физико-механические характеристики отдельных слоев.

Пробы следует брать из зон, не нарушенных карстовыми процессами. На основании данных о геолого-литологическом строении участка можно установить:

вид бурения (колонковое, роторное, ударно-канатное); тип промывочной жидкости, ее состав, расход на 1 м бурения и общее количество на весь объем бурения; расход материалов (воды, бетонитовой глины и добавок) на приготовление промывочной жидкости; количество снимаемых диаметров труб; глубину обсадки скважин, необходимое количество обсадных извлекаемых труб и неизвлекаемых труб-кондукторов, которыми оборудуют скважины после окончания бурения в нескольких грунтах; расход истирающих материалов на бурение; категорию пород по буримости для выбранного вида бурения; стоимость бурения и связанных с ним вспомогательных работ.

Помимо сведений о грунтах необходимы следующие данные о гидрогеологических условиях: уровень карстовых и надкарстовых вод на период производства тампонажных работ; количество горизонтов грунтовых вод; сведения о напоре и химическом составе карстовых и надкарстовых вод; температура воды в зоне развития карста; направление движения потока и его градиенты в пределах площади тампонажных работ; коэффициент фильтрации обводненных пород.

Эти данные позволяют оценить агрессивность грунтовых вод к тампонажному камню, возможность размыва его до начала схватывания и, следовательно, выбрать тип цемента, состав тампонажного раствора, последовательность бурения и отработки скважин. Например, в условиях сульфатной агрессивности необходимо применять сульфатостойкий портландцемент. При больших скоростях фильтрации целесообразно со стороны потока устраивать цементную завесу, под защитой которой выполнять основные тампонажные работы, а в состав раствора желательнее вводить ускорители схватывания, например жидкое стекло. Температурный режим подземных вод в зоне тампонажа имеет значение при выборе интервала между циклами бурения и нагнетания раствора, поскольку при низких положительных температурах сроки схватывания тампонажного раствора удлиняются. Кроме того, на сроки схватывания тампонажного раствора оказывает влияние химический состав грунтовых вод.

Для принятия обоснованного решения по тампонажу карстовых зон основными данными о характере закарстованности пород являются: тип карста; механизм карстовых деформаций; скорость растворения кар-

тующихся пород; мощность закарстованной зоны; размеры и формы карстовых полостей в плане и по высоте; количество карстовых полостей по всей площади тампонажных работ; пространственное положение карстовых полостей и их связь с тектоническими условиями; яркость (этажность) карстовых полостей; состав заполнителя полостей, его физико-механические характеристики, а также степень заполнения; наличие сведений о типе карста по литологии карстуемых пород.

Сведения о типе карста по литологии карстуемых пород (карбонатный, сульфатный, соляной) позволяют прогнозировать развитие карста, на основании чего принимается решение о необходимости выполнения тампонажных работ и их объеме. Например, для карбонатного карста при появлении деформации вследствие обрушения кровли полостей достаточно обнаружить и заполнить крупные карстовые полости, предотвращая опасность для устойчивости сооружений. Малые же полости, каналы и трещины можно не тампонировать, если не требуется уменьшить водопроницаемость пород основания сооружения. Для сульфатного и соляного карста достаточно только обнаружить и ликвидировать крупные полости с неустойчивыми кровлями. Здесь необходимо затампонировать и мелкие полости убрать, чтобы уменьшить водопроницаемость закарстованного массива пород и тем самым максимально замедлить карстовый процесс.

Данные по глубине развития и мощности зоны карста позволяют обоснованно назначать глубину тампонажных скважин. Обычно зона развития карста в сульфатных и гипсовых породах составляет 5-15 м. Грещины в массиве пород мало, и их можно быстро ликвидировать вторичным гипсом или солью. Основное развитие карста происходит в кровле пород на контакте с рыхлыми, обладающими хорошей водопроницаемостью породами.

В карбонатных скальных породах трещиноватость более развита, ликвидация трещин происходит медленнее, поэтому карст может развиваться по всей толще пород, хотя интенсивность его на контакте с покровными отложениями выше, чем в остальной толще пород. В связи с этим при карбонатном или смешанном типе карста тампонаж следует проводить по всей толще карстуемых пород.

Данные по размерам карстовых полостей в плане и по высоте, их общему количеству в пределах участка, если это представляет опасность для устойчивости зданий и сооружений, дают основание правильно наметить сетку тампонажных скважин, охватывающую полости.

Кроме этого, данные позволяют достаточно точно определить объем заполнения каждой скважины и всего участка; выбрать тип инъекционного оборудования и его количество. Наличие достоверных сведений о характере заполнителя карстовых полостей дает возможность наметить состав тампонажного раствора, определить оптимальную технологию тампонажных работ (способ нагнетания раствора, давление, длительность нагнетания и т. п.). Например, в условиях неводных карстуемых пород можно применять любые тампонажные растворы: цементно-песчаные, цементно-глинистые, цементно-песчано-глинистые. Если же полости заполнены водой, то целесообразно использовать более стабильные растворы, например, цементно-глинистые или цементно-песчано-глинистые, так как они не расслаиваются при попадании в воду. При наличии в полостях рыхлого заполнителя в отдельных случаях бывает оправдано применение более дорогих чисто цементных растворов, а нагнетание их следует проводить отдельными порциями при поступательном движении с короткими интервалами, так как скважина постоянно заливается материалом заполнителя полостей.



Метод определения диаметров карстовых провалов с учетом нагрузки от сооружений

Расчет диаметра карстового провала

Расчет размера карстового провала выполняется из условия равновесия цилиндрического столба грунта, зависающего над карстовой полостью, вес которого уравновешивается суммарным трением, действующим по его боковой поверхности (рис. 1).

Расчетное значение диаметра  $d_{пр}$  является минимальным диаметром провала, образование которого возможно с глубины расположения полости. Для возможности образования провала с этой глубины необходимо, чтобы размер полости в плане был не менее расчетного значения  $d_{пр}$ .

Метод позволяет учитывать равномерно распределенную нагрузку от одного или нескольких сооружений, учитывая их форму и размеры в плане, глубину заложения фундамента ( $H_z$ ), взаимное расположение сооружения и провала.

Диаметр провала определяется по формуле:

$$d_{пр} = 4 \frac{q_j}{\sum (c_j \Delta h_j) + \sum \Delta f_j} \quad (1)$$

где  $h_j$  — толщина  $j$ -го слоя грунта с заданными значениями удельного сцепления  $c_j$ , угла внутреннего трения  $\varphi_j$ , удельного веса  $\gamma_j$ ;

$$\Delta f_j = [P_0 \alpha_j + \sum (\gamma_j \Delta h_j) + \frac{1}{2} \gamma_j \Delta h_j] \Delta h_j k_j \operatorname{tg} \varphi_j; \quad (2)$$

$$K_j = 1 - \sin \varphi_j \quad (3)$$

$$q_j = P_0 \alpha_j + \gamma_j h_j + \sum (\gamma_j \Delta h_j), \quad (4)$$

где  $\alpha$  — коэффициент, распределения напряжений по глубине основания согласно главы СНиП "Нормы проектирования. Основания зданий и сооружений";  $i = j-1, j-2$  и т. д. — порядковые номера слоев грунта, залегающих над  $j$ -ым слоем;  $P_0$  — среднее давление под подошвой фундамента сооружений, с учетом действующего бытового давления в грунтах. Видимая глубина провала  $h_0$  принимается равной высоте полости, свободной от заполнения.

Расчет диаметра провальной воронки

После образования на поверхности земли или под фундаментом сооружения цилиндрического или сводаобразного провала, под действием веса грунта и нагрузки от сооружения происходит уположение склонов до их устойчивого состояния. В зависимости от типа грунта в пределах видимой глубины провала  $h_0$ , величины нагрузки от сооружения  $P_0$ , этот процесс может происходить почти одновременно с процессом выхода провала на земную поверхность. В результате провал принимает форму воронки с диаметром по верху  $d_E$ . Метод расчета диаметра провальной воронки как и метод расчета диаметра провала позволяет учитывать заглубление фундамента, взаимное расположение воронки и сооружений, а также многослойность грунтов.

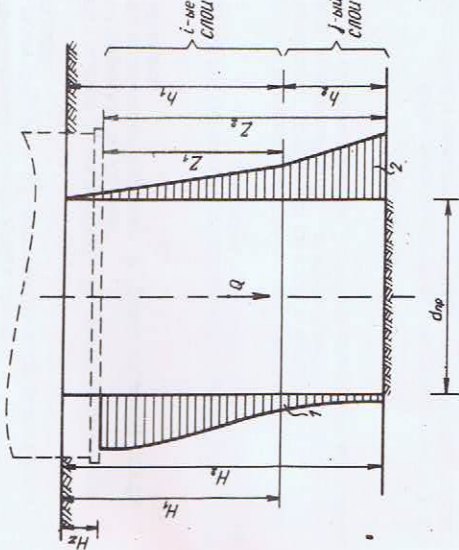


Рис. 1. Расчетная схема к определению диаметра круглоцилиндрического провала  
1 — распределение напряжений в основной массе от внешней нагрузки; 2 — распределение напряжений по глубине основания от собственного веса грунта

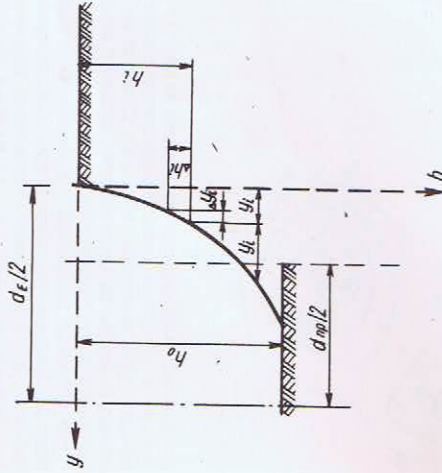


Рис. 2. Расчетная схема определения конечного диаметра провала

Расчет диаметра провальной воронки заключается в следующем (рис. 2).

Определяется очертание устойчивого склона борта провальной воронки (в прямоугольной системе координат  $h-y$  с началом координат в произвольной точке на земной поверхности или под фундаментом сооружения):

$$y_i = \sum \left[ \Delta h_i \left( \operatorname{tg} \varphi_i + \frac{c_i}{\alpha_i P_0 + \sum \gamma_i \Delta h_i} \right) \right], \quad (5)$$

где  $y_i$  — ордината поверхности устойчивого склона на глубине  $h_i$ ;  $\Delta h_i$  — толщина элементарных слоев грунта (рекомендуется принимать  $\Delta h_i = 0.1-0.25$  м).

Рассчитывается размер провальной воронки по формуле:

$$d_E = 2 \left[ \frac{\sum y_i}{\pi} + \sqrt{\left( \frac{\sum y_i}{\pi} \right)^2 - \frac{\sum y_i^2}{\pi} + \frac{d_{пр}^2 h_0}{4 \sum \Delta h_i}} \right], \quad (6)$$



где  $n$  — количество рассчитываемых элементарных слоев.  
 Процесс вычисления сумм  $\Delta h_i$ ,  $y_i$  и  $y_i^2$  производится до выполнения одного из следующих условий:

$\frac{1}{2} d_E \leq y_i$  — ордината слоя  $y_i$  на глубине  $h_i$  равна радиусу провальной воронки  $d_E/2$ ; или  
 $\Sigma \Delta h_i = h_i = h_0$  — глубина провальной воронки  $h_i$  равна видимой глубине  $h_0$  провала.

Методы дифференцирования закарстованных территорий по интенсивности карстовых провалов

Дифференцирование рекомендуется проводить посредством трансформации поля провала в поле их плотности, используя принципы скольжения кружка. Радиус кружка, обеспечивающий наибольшую контрастность поля плотности провалов, определяется по формуле

$$R = 0,867l, \quad (1)$$

где  $l$  — расстояние между точками измерений.

Методика трансформации поля провалов в поле их плотности заключается в следующем. На карту наносят квадратную сеть точек измерений с выбранным расстоянием  $l$ , в каждую точку помещают центр кружка радиусом  $R$ , подсчитывают количество провалов в его пределах и присваивают полученные значения соответствующей точке измерений.

Эти значения плотности провалов, рассчитанные на площадь кружка, и образуют поле. Поскольку плотность провалов при такой трансформации может выражаться лишь целыми числами, полученное поле плотности дискретно. Это позволяет провести границы между зонами с разной плотностью, в пределах которых плотность провалов постоянна в любой точке. Пример трансформации показан на рис. 1.

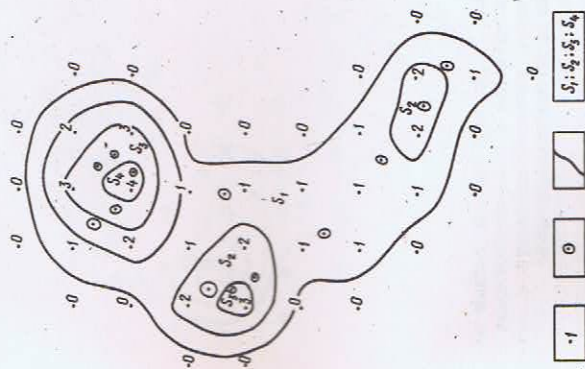


Рис. 1. Пример трансформации поля провала в поле их плотности  
 1 — точка измерения со значением плотности провала; 2 — карстовые провалы; 3 — границы различной плотности зон; 4 — разнородности провала (1, 2, 3, 4)



Провалы представляются точками, соответствующими их центрам. При подсчете количества провалов не учитываются те, центры которых лежат на границе кружка. Границы зон с разной плотностью проводят по аналогии с изолиниями (рис. 2). Местоположение границы соответствует середине расстояния между двумя соседними значениями плотности провалов. При этом промежуточные значения плотности рассчитывают только между соседними точками измерений, образующими квадраты. Внешняя граница является границей поля плотности провалов.

Интенсивность провалов для каждой выделенной зоны рассчитывают по формулам:

$$\text{при } \lambda_0 > 0,2 \quad \lambda_i = - \ln \left[ 1 - (1 - \lambda_0) \left( \frac{\pi_i S_0}{\sum_{i=1}^n \pi_i S_i} \right) \right]; \quad (2)$$

$$\text{при } \lambda_0 \leq 0,2 \quad \lambda_i = \frac{\pi_i \lambda_0 S_0}{\sum_{i=1}^n \pi_i S_i}, \quad (3)$$

где  $\lambda_i$  — интенсивность провалов для  $i$ -той зоны;  $\lambda_0$  — среднее значение интенсивности провалов для выделенного поля плотности;  $\pi_i$  — величина плотности провалов в  $i$ -той зоне;  $S_0$  — площадь выделенного поля плотности провалов;  $S_i$  — площадь  $i$ -той зоны;  $n$  — количество зон с разной плотностью.

Величина  $\lambda_0$  определяется по формуле

$$\lambda_0 = N/S_0 T, \quad (4)$$

где  $N$  — количество провалов в выделенном поле плотности;  $T$  — период времени, за который образовалось  $N$  провалов.

Необходимость более точного учета неравномерности распределения провалов может возникнуть при освоении участков со значительной карстоопасностью, строительстве особо ответственных и ответственных сооружений в непосредственной близости с местами случившихся провалов. В этом случае рекомендуется измерять плотность в точках, соответствующих

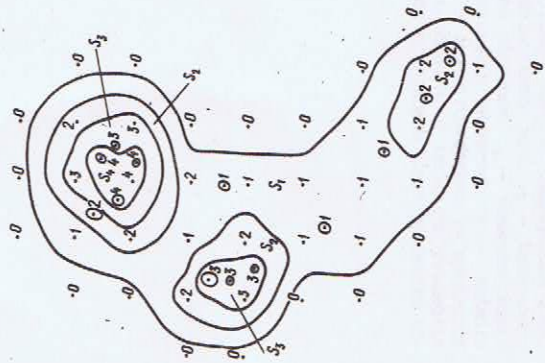


Рис. 2. Пример трансформации поля провалов в поле их плотности с учетом значений плотности в местах расположения провалов

центрам провалов. Расчет промежуточных значений плотности в квадратах, образованных соседними точками измерений, при наличии провалов производится методом треугольников. При этом необходимо стремиться к построению треугольников, близких к равносторонним.

Для детального определения конфигураций границ с разной плотностью зон рекомендуется следующий метод трансформации поля провалов в поле их плотности. На карту наносят квадратную сеть точек измерений плотности с выбранным расстоянием  $L$ , в каждую точку помещают центр кружка радиусом  $R$ , определяя количество провалов в пределах кружка, расстояние от точки измерения до центра провалов и рассчитывают значение плотности в точке измерения по формуле

$$\pi = \sum_{j=1}^m \sqrt{1 - \left(\frac{r_j}{R}\right)^2},$$

где  $m$  — количество провалов в пределах кружка;  $r_j$  — расстояние от точки измерения до центра  $j$ -го провала.

Такая трансформация позволяет получить непрерывное распределение плотности провалов в пределах выделенного поля плотности. Для приведения поля к дискретному виду в соответствии с физическим смыслом измеряемой плотности провалов необходимо провести изолинии плотности 0,5; 1,5; 2,5 и т.д. и определить значения плотности в каждом интервале изолиний. Расчет промежуточных значений плотности проводится по методике, указанной в данном приложении.

Таким образом, изолиния 0,5 является границей слоя плотности провалов, а интервалы изолиний 0,5–1,5; 1,5–2,5; 2,5–3,5 и т.д. соответствуют зонам с плотностью провалов 1, 2, 3 и т.д. Пример такой трансформации представлен на рис. 3. Расчет интенсивности провалов для выделенных зон проводится по формулам (2), (3).

Уточнение местоположения границ разноплотностных зон проводится по методике, приведенной в данном приложении. Пример такой обработки представлен на рис. 4.

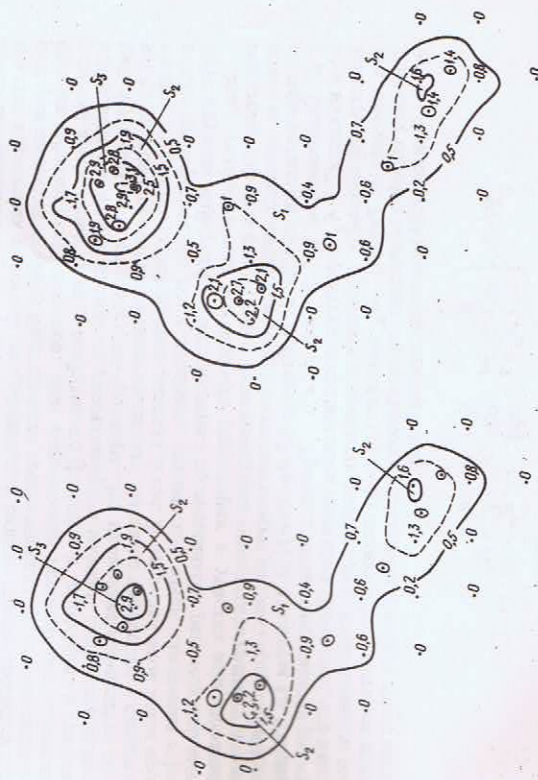


Рис. 3. Пример трансформации поля провалов в поле их плотности с учетом расстояний между точками измерений и центрами провалов  $T_i$

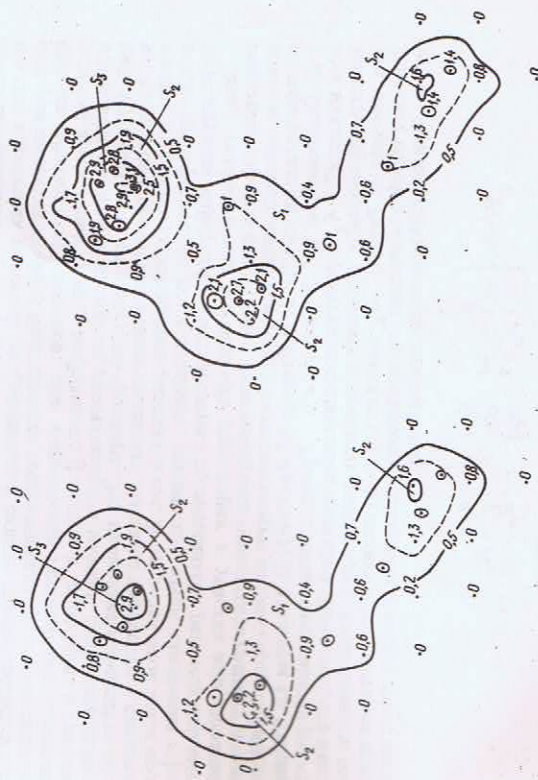


Рис. 4. Пример трансформации поля провалов в поле их плотности с учетом значений  $T_i$  и значений плотности в центрах провалов



плотности провалов.

Количество точек измерений плотности и величина радиуса кружка зависят от степени геологической изученности участка исследования и окружающей его территории и определяются следующим образом.

Если степень геологической изученности территории такова, что позволяет выделить участки, однородные по основным геологическим условиям, влияющим на образование провалов, то необходимо определить границы этих участков, рассчитать для них среднее значение интенсивности провалов, а затем в пределах каждого участка трансформировать поле провалов в поле их плотности.

При этом количество точек измерений плотности провалов на единицу площади выбирается согласно общему количеству точек наблюдений в масштабе исследования при инженерно-геологических изысканиях в сложных условиях, что позволяет добиться одинаковой информативности полей плотности и других видов инженерно-геологических данных и дает возможность их корректного сопоставления и совместной обработки.

Если в пределах участка, однородного по основным геологическим условиям, влияющим на образование провалов, существуют зоны, характеризующиеся нулевым значением плотности, хотя образование провалов в них возможно, то выбирают такой радиус кружка, чтобы любая точка участка характеризовалась бы каким-либо значением плотности провалов, отличным от нуля. Эта операция сравнительно легко выполняется методом подбора.

Если степень геологической изученности территории недостаточна для выделения однородных участков, то рекомендуется на участке исследования определять границу потенциально опасной зоны, вне пределов которой вероятность образования провалов незначительна. Критерием выделения такой границы служат какой-либо геологический фактор, влияние которого на образование провалов наиболее по сравнению с другими факторами. В большинстве случаев критерием может служить мощность закарстованной зоны (сумма мощностей заполненных и незаполненных карстовых полостей, разрушенных и сильно трещиноватых зон), которая является суммой большинства геологических факторов, влияющих на образование провалов. Для определения границы потенциально опасной зоны строят карту выбранного фактора в изолиниях и график изменения плотности провалов, рассчитанной в каждом интервале изолиний в зависимости от величины фактора. Это позволяет определить значение фактора, соответствующее нулевому значению плотности, а следовательно, трансформацию поля провалов, количество точек измерения и радиус кружка выбирают в соответствии с приведенными рекомендациями.

Если геологическая изученность территории и участка исследования недостаточна или отсутствует, рекомендуется определять границу потенциально опасной зоны, используя математическую модель, предложенную исследователями из ГДР Ф. Рейтером (F. Reiter), Д. Стояном (D. Stojan) и П. Олейкевичем (P. Oleikewitz). Граница зоны определяется радиусом влияния  $R_B$ , охватывающим поле провалов. Показано, что вероятность образования провалов в пределах выделенной зоны прямо пропорциональна, чем вне ее. Радиус  $R_B$  находят через функцию  $D(r)$ , которая представляет собой количество пар провалов с расстоянием между ними меньше  $r$ . Функция  $D(r)$  имеет следующий вид:

$$D(r) = \begin{cases} 0 & \text{при } r \leq R_0; \\ a_1 + b_2 r^2 & \text{при } R_0 < r \leq R_B; \\ a_1 + b_2 r^2 & \text{при } r > R_B, \end{cases}$$

где  $a_1, b_1, a_2, b_2$  — эмпирические коэффициенты;  $R_0$  — наименьшее расстояние между провалами.

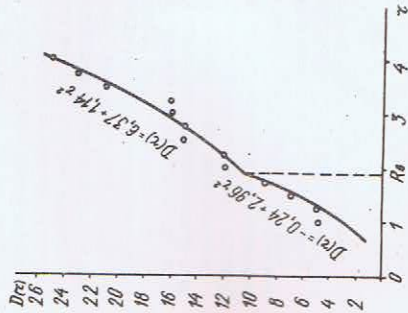


Рис. 5. Пример определения радиуса влияния;

Радиус  $R_0$  есть абсцисса точки пересечения двух парабол. Например, для поля провалов (см. рис. 1, прил. 3) функция  $D(r)$  представлена на рис. 5.

Во всех вариантах трансформации поля провалов в поле их плотности должно выполняться соотношение (1).



Методы определения направления провального процесса и ориентации поля провалов

Направление провального процесса рекомендуется определять по отношению к возрасту провалов путем визуального осмотра. Все провалы разделяются по возрасту на старые, молодые, свежие. Для каждой возрастной градации рассчитывают координаты центров плотности провалов по формулам:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad (1)$$

где  $x_i, y_i$  — координаты  $i$ -го провала данной возрастной градации;  $n$  — количество провалов данной возрастной градации.

Эти центры на карте последовательно (от старой градации к молодой) соединяются стрелками, указывающими направление провального процесса. При этом в каждой возрастной градации должно быть не менее шести провалов. Пример определения направления провального процесса приведен на рис. 1.

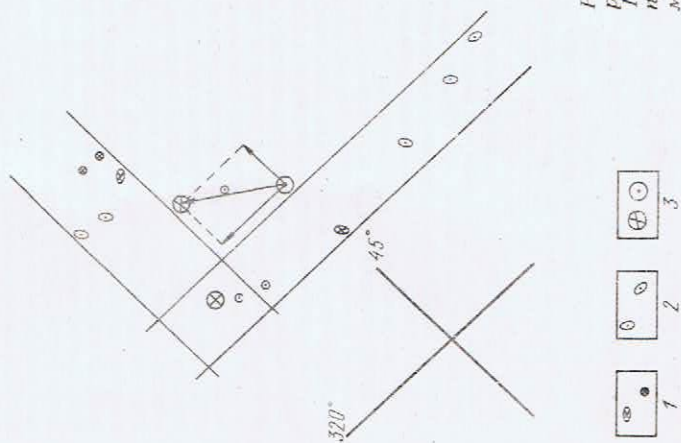


Рис. 1. Пример определения направления провального процесса  
1 — молодые провалы; 2 — старые провалы; 3 — центры плотности молодых и старых провалов

Если центры плотности провалов различных возрастных градаций находятся в непосредственной близости или совпадают, рекомендуется оценивать возможное направление провального процесса с помощью средних расстояний между точкой совмещения центров плотности и провалами в каждой градации. Если среднее расстояние для молодых провалов меньше среднего расстояния для более старых провалов, то провальный процесс имеет направление к совмещенному центру плотности.

В противном случае провальный процесс имеет направление от совмещенного центра плотности. Если средние расстояния близки по величине, то направление провального процесса отсутствует.

Ориентация поля провалов — это направление, вдоль которого группируются провалы исследуемого поля. Определение азимута ориентации необходимо для выявления факторов, влияющих на распределение провалов и уточнения направления провального процесса.

Азимуты ориентации рекомендуется определять посредством трех функций ориентации, имеющих общий вид:

$$f_1(0) = N; \quad f_2(0) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{r_i}\right)^2; \quad f_3(0) = N \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{r_i}\right), \quad (2)$$

где  $N$  — количество всех возможных пар провалов;  $r_i$  — расстояние между провалами в каждой паре.

Функции ориентации определяются в каждом интервале азимута с помощью построения роз-диаграмм. При этом рекомендуется выбирать интервал, равный  $10^\circ$ , с измерением азимута с точностью до  $1^\circ$ . Для определения значений функций ориентации измеряют азимуты и длины всех возможных линий, соединяющих провалы попарно, и рассчитывают значения функций в каждом интервале.

Значение функции  $f_2(0)$  в каком-либо интервале азимута выражается количеством линий, соединяющих провалы попарно (т.е. количество пар провалов) и имеющих азимуты, соответствующие данному интервалу. Эта функция не учитывает величину расстояния между провалами. Поэтому одинаковое количество пар провалов с различными расстояниями между ними дает одинаковое значение функции  $f_2(0)$  в различных интервалах азимута. Вместе с тем более близкое расположение провалов при прочих равных условиях должно определять наиболее вероятное направление ориентации поля провалов.

Функция  $f_2(0)$  учитывает как количество пар провалов, так и расстояние между провалами. Величина ее в каком-либо интервале азимута выражается суммой квадратов значений обратных расстояний для всех пар провалов, которые имеют азимуты соединяющих линий, соответствующих данному интервалу. В случае, когда какой-либо интервал характеризуется одной парой провалов, расположенных очень близко, величина функции  $f_2(0)$  будет значительна. Вместе с тем близкое расположение всего двух провалов может быть случайным и не отражать действительного направления ориентации поля провалов.

Функция  $f_3(0)$ , являющаяся произведением функций  $f_1(0)$  и  $f_2(0)$ , лишена недостатков рассмотренных функций. Роз-диаграммы всех функций ориентации для поля провалов представлены на рис. 2.

Поскольку количество вероятных направлений ориентации поля провалов для каждой функции может быть большим, то выделение главных направлений ориентации по какой-либо одной функции затруднительно.

Рекомендуется главные направления ориентации поля провалов определять с учетом всех функций. Для этого по роз-диаграммам рассчитывают среднее значение  $f(0)$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma_f$  для каждой функции и оценивают в баллах возможные азимуты ориентации поля провалов. Баллы присваиваются следующим образом:

- при  $\bar{f}(0) \leq f(0) < \bar{f}(0) + \sigma_f$  значение функции  $f(0)$  соответствует 1 баллу;
- при  $\bar{f}(0) + \sigma_f \leq f(0) < \bar{f}(0) + 2\sigma_f$  — 2 баллам;



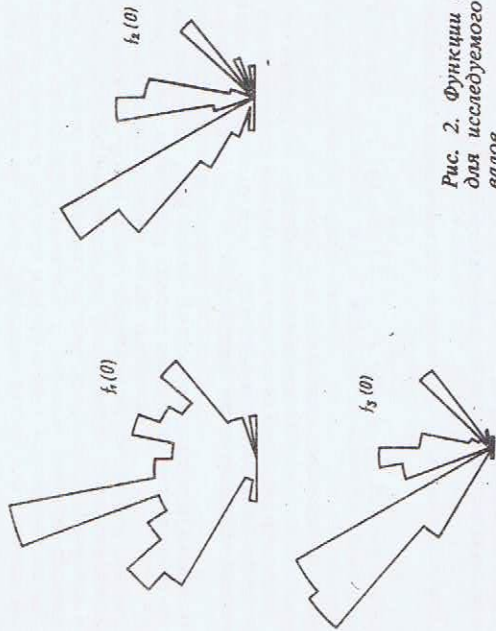


Рис. 2. Функции ориентации для исследуемого поля провалов

при  $\bar{f}(0) + 2\sigma_f \leq f_0 < \bar{f}(0) + 3\sigma_f$  — 3 баллам;  
 при  $\bar{f}(0) + 3\sigma_f \leq f(0)$  — 4 баллам.

Результаты такой оценки для рассматриваемого примера представлены в таблице.

Интервалы азимутов ориентации, град	Оценка значений функций ориентации, баллы			Сумма баллов
	$f_1(0)$	$f_2(0)$	$f_3(0)$	
0-9	0	1	1	2
10-19	1	0	0	1
20-29	1	0	0	1
40-49	1	1	1	3
300-309	1	1	1	3
310-319	2	2	3	7
320-329	1	3	3	7
330-339	1	0	0	1
340-349	3	0	1	4
350-359	1	2	1	4

Выбор главных направлений ориентации, которые рекомендуются выносить на карту, должен определяться общим количеством баллов. В рассматриваемом примере главные направления ориентации поля провалов характеризуются средними азимутами СВ 45° и СЗ 320°.

Рекомендуется определять факторы, влияющие на ориентацию поля провалов. В рассматриваемом примере такими факторами являются тектонические нарушения, азимуты которых в целом соответствуют азимутам ориентации поля провалов. В этом случае возможно определение веро-

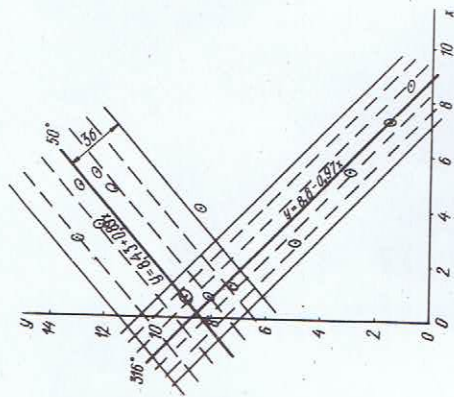


Рис. 3. Пример определения границ полос распространения провального процесса

ятных границ распространения провального процесса путем выделения полос распространения провалов. Границы этих полос определяются линиями, проходящими через крайние провалы согласно основным азимутам ориентации (см. рис. 1). Рекомендуется уточнить азимуты ориентации провалов в каждой выделенной полосе и вероятные границы распространения провального процесса следующим образом. Для провалов в пределах каждой полосы определяют линию ориентации провалов с аппроксимацией ее по формуле

$$y = a + bx,$$

где  $a, b$  — эмпирические коэффициенты. Затем рассчитывают среднее расстояние от этой линии до провалов ( $\bar{F}$ ) и среднеквадратическое отклонение ( $\sigma_F$ ). Вероятные границы распространения провального процесса определяются интервалами  $\pm 3\sigma_F$ . Пример расчетов представлен на рис. 3. В данном примере около 40% провалов практически совпадают с линиями ориентации поля провалов, а 92% находятся в пределах выделенных полос, что указывает на правомерность выделения таким методом полос распространения провалов.

Сведения об ориентации поля провалов позволяют уточнить направление провального процесса. Для этого общее направление провального процесса раскладывается на составляющие согласно азимутам ориентации поля провалов (см. рис. 1 прил. 2). Данные по ориентации поля провалов и направлениям провального процесса могут быть использованы для относительной оценки карстопроисхождений участков и выбора рациональных планировочных решений. В частности, при прочих равных условиях не рекомендуется размещать сооружения в пределах выделенных полос развития карста, а также в примыкающих к полосам зонах, куда направлен провальный процесс. В пределах самих полос наиболее опасной является зона, которая находится по направлению провального процесса дальше относительно других зон и эоны пересечения полос. Данные Рекомендации справедливы и для зон, однородных по плотности провалов.