ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ИЗУЧЕНИЮ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

МОСКВА 1974

gost.e-ecolog.ru

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ИЗУЧЕНИЮ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

МОСКВА
СТРОЙИЗДАТ 1974

УДК 624.131.31

Рекомендации по изучению трещиноватости горных пород при инженерно-геологических изысканиях для строительства. М., Стройиздат, 1974. 40 с. (ПНИИИС Госстроя СССР)

Рекомендации разработаны Производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС) Госстроя СССР на основе обобщения опыта геологического изучения трещиноватости горных пород при инженерных изысканиях для различных видов строительства. Они дополняют и развивают главу СНиП II-А.13-69 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» в части инженерно-геологической характеристики трещиноватых горных пород. В Рекомендациях изложены состав и методика работ для получения инженерно-геологической характеристики указанных пород, приведены основные понятия, используемые в инженерно-геологическом изучении трещиноватости, и предлагаются методы оценки некоторых свойств массивов горных пород по параметрам трещиноватости.

Рекомендации составили: д-р геол.-мин. наук М. В. РАЦ и кандидаты геол.-мин. наук М. И. ПОГРЕБИСКИЙ и С. Н. ЧЕРНЫШЕВ.

Замечания и предложения по содержанию настоящих Рекомендаций просим направлять по адресу: *Москва Е-58, Окружной пр., 18 ПНИИИС.*

Р $\frac{30213-409}{047(01)-74}$ Инструкт.-нормат., 2 вып. — 13—73

© Стройиздат, 1974

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Свойства массивов скальных горных пород, используемых при проектировании и строительстве различных сооружений, определяются характеристиками собственно горных пород, слагающих массив, и его трещиноватостью, характеризуемой параметрами сети трещин. В настоящих Рекомендациях излагается методика изучения трещиноватости при производстве инженерно-геологических изысканий в районах распространения трещиноватых пород.

1.2. Целью инженерно-геологического изучения трещиноватости является:

качественная оценка свойств массива методом инженерно-геологической аналогии;

приближенная количественная оценка свойств массива расчетным путем;

определение рационального состава и объема полевых работ, необходимых для оценки прочностных, деформационных, фильтрационных и других свойств массива.

1.3. При изучении трещиноватости горных пород выполняются массовые измерения параметров сети трещин главным образом в естественных обнажениях, а также в горных выработках и строительных выемках и котлованах с последующей обработкой измеренных величин методами математической статистики.

1.4. Результаты количественного изучения трещиноватости следует интерпретировать генетически. Это облегчает интерполяцию и экстраполяцию оценок параметров трещиноватости и показателей свойств горных пород в массиве.

1.5. По результатам инженерно-геологического изучения трещиноватости строится расчетная схема (модель) массива горных пород, которая во всех случаях должна:

отражать только существенные в данной задаче черты структуры массива;

быть пригодной для расчета сооружения современными методами;

включать только те параметры трещиноватости, которые могут быть определены в исследуемом массиве доступными для изысканий методами.

2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

2.1. Трещины характеризуются:

шириной b, см;

длиной l, см;

ориентировкой стенок (азимут падения α и угол падения β, ...°);

расстоянием до соседней трещины той же системы a, см (системой трещин называется множество трещин, примерно параллельных друг другу);

формой поверхности стенок;

структурой и составом заполнителя и рядом других качественных характеристик.

2.2. По длине выделяются трещины четырех порядков:

IV — дефекты кристаллической решетки (длина менее 0,001 см);

III — микротрещины, разбивающие отдельные кристаллиты и небольшие участки горной породы. Размер их условно ограничивается величинами 0,001 см — 10 см;

II — макротрещины (длина от 10 см до 1000 см);

I — мегатрещины (длина более 10 000 см).

В настоящих Рекомендациях рассматривается в основном макротрещиноватость, для краткости называемая просто трещиноватостью.

2.3. По отношению длины трещин к характерному размеру сооружения практически следует различать два класса: крупные трещины, или тектонические разрывы, которые по длине больше или равны характерному размеру сооружения и трещины, длина которых меньше этого размера, но превышает размер образца горной породы. Первые в инженерно-геологической документации и расчетах рассматриваются каждая в отдельности, вторые — в виде множества, характеризуемого обобщенными параметрами трещиноватости.

2.4. По взаимосвязи в ориентировке трещин выделяются системные, полигональные и хаотические сети трещин (рис. 1). Системные сети состоят из нескольких (обычно не менее трех) систем трещин. Полигональная сеть образована одной системой и трещинами, перпендикулярными ей. Хаотическая сеть отличается от названных отсутствием упорядоченности в ориентировке трещин.

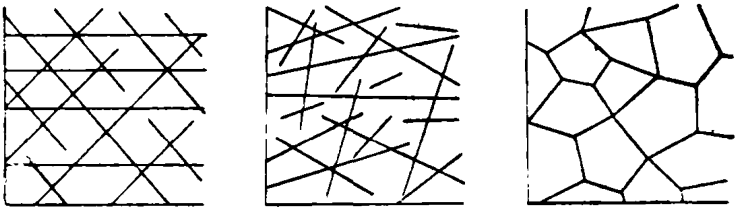


Рис. 1. Основные типы сетей трещин

2.5. Трещины, обладающие сходным обликом, принадлежат к одному морфологическому типу. Трещины одного морфологического типа могут быть представлены несколькими различно ориентированными системами. Реже одна система включает в себя трещины различных морфологических типов.

2.6. Морфология трещин складывается из ряда элементов и включает в себя характеристику формы трещин, поверхностей стенок, заполнения, взаимопересечения, окончания следов трещин, изменения «пристеночного слоя».

2.7. Для характеристики формы трещин следует рассматривать два уровня их изгибов: длинноволновые, которые повторяются совместно обеими стенками, и коротковолновые, чаще индивидуальные для каждой стенки. По первой составляющей выделяются трещины

прямолинейные, криволинейные, волнистые. По второй — стенки гладкие, беспорядочно шероховатые и текстурные.

Текстурные поверхности особенно важны, так как позволяют сделать важные генетические выводы. Известны следующие текстуры стенок трещин:

седиментогенные — следы ряби, волнения, ударов дождевых капель, кристаллов солей, трещин усыхания, механического воздействия в процессе седиментации (иероглифы);

перистые текстуры, возникающие в процессе тектогенеза и роста трещин;

тектонические зеркала, борозды и штрихи скольжения;

натеки, наросты и каверны, как следы движения подземных вод.

2.8. По характеру заполнения различают трещины:

открытые или зияющие;

заполненные рыхлым материалом;

заполненные или залеченные твердым (кристаллическим) материалом.

По степени заполнения выделяют трещины:

заполненные полностью (залеченные, если заполнитель кристаллический);

заполненные частично;

с налетами и корочками заполнителя на стенках.

2.9. По характеру взаимопересечения трещин различают следующие случаи:

трещины не пересекаются;

трещины пересекаются без видимого смещения;

трещины пересекаются, причем одна заметно смещает другую;

одна трещина резко заканчивается у другой, не пересекая ее.

2.10. По характеру окончания следов трещин выделяют трещины:

затухающие;

с концами, отсеченными другой трещиной;

с ветвящимися концами.

2.11. По характеру изменения «пристеночного слоя» различают трещины:

со стенками из неизмененной породы, слагающей массив;

со стенками из той же породы, но измененной в окрестности трещины тектоническими, гидротермальными или процессами выветривания.

2.12. Трещины, сформировавшиеся под действием одних и тех же геологических причин, относятся к одному генетическому типу. Понятие «генетический тип» может совпадать и не совпадать с понятием «морфологический тип». Генезис трещин не воспринимается непосредственно, а выводится из комплекса морфологических и геометрических особенностей трещин и анализа соотношения трещин с геологической структурой массива в целом. При этом в общем случае нет строго определенных правил, формально определяющих процедуру этого вывода. Генезис трещин изучать необходимо, но «приписывать» им то или иное происхождение без исчерпывающей аргументации не нужно и вредно.

2.13. Трещины в горных породах образуются в процессах петрогенеза, тектогенеза и в результате деятельности экзогенных процессов. В соответствии с этим выделяются три основных генетических типа трещин: первичные, тектонические и экзогенные (рис. 2).

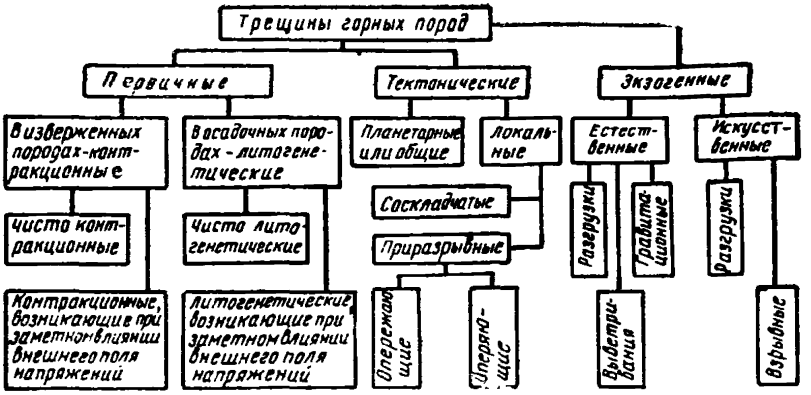


Рис. 2. Схема генетической классификации трещин горных пород

2.14. К первичным трещинам относятся трещины, формирующиеся в ходе процессов петрогенеза за счет внутренней энергии, запасенной в осадке (горной породе). Поэтому изменение параметров первичных трещин контролируется только литолого-петрографическим фактором. Общей чертой первичных трещин в однородных геологических условиях является примерное постоянство обусловленной ими трещинной пустотности.

2.15. Общие свойства первичных трещин изверженных пород, отличающие их от тектонических и экзогенных трещин, таковы: сравнительно равномерное распределение первичных трещин по массиву, наличие связей между структурой и текстурой пород, с одной стороны, и их трещиноватостью — с другой, наличие связей трещиноватости пород с формой изверженного массива, заполнение трещин гидротермальными минералами, генетически связанными с расплавом, образовавшим массив. Первичные трещины образуются в результате растяжения пород при остывании расплава. Благодаря динамике рамы сети трещин существенно различаются в глубинных интрузиях, в гипабиссальных интрузиях и в лавовых потоках и покровах.

2.16. В гранитных батолитах первичные трещины образуют системную сеть. Различаются три основные системы трещин, взаимно перпендикулярных между собой. Трещины закономерно ориентированы относительно структур течения и контакта интрузии. Две системы имеют с контактом угол около 90° и простираются одна поперек структур течения (поперечные трещины Q), другая вдоль структур течения (продольные трещины S). Третья система имеет небольшой угол с поверхностью контакта и располагается вдоль структур течения (пологие трещины L). Кроме того, обычно имеется система кососекущих трещин (диагональные трещины D), не отличающихся по простиранию от системы Q и с углом падения — средним между углами падения систем Q и L. Системы трещин различаются не только ориентировкой, но и другими параметрами. Три

основные системы трещин образуют параллелепипедальную отдельность, трансформирующуюся, в зависимости от соотношения расстояний между трещинами в системах, в матрацевидную, плитчатую и т. п. В пределах интрузивного массива трещиноватость закономерно изменяется, следуя изменениям структур течения и, в конечном счете, подчиняясь форме массива.

2.17. В эффузивном массиве первичные трещины обычно образуют полигональную сеть. Основу ее составляют вертикальные трещины, дающие столбчатую отдельность. Кроме того, имеются субгоризонтальные трещины, секущие столбы на блоки. Столбы иногда отклоняются от вертикального положения, подчиняясь форме ложа потока и стремясь ориентироваться перпендикулярно ему. В лавах кроме столбчатой наблюдаются глыбовая и шаровая отдельности.

2.18. Первичная трещиноватость гипабиссальных тел имеет общие черты с трещиноватостью как глубинных интрузий, так и излившихся массивов. Основными чертами сходства с трещиноватостью других интрузивных тел следует считать:

преимущественное развитие трех ортогональных систем трещин;

преобладание параллелепипедальной отдельности;

гидротермальное заполнение трещин;

приконтактовое изменение трещиноватости в эндо- и экзоконтакте. Наиболее четко проявленной чертой сходства с эффузивами является почти повсеместное развитие столбчатой отдельности и местами глыбовой и шаровой отдельностей.

2.19. В слоях осадочных пород первичные (или литогенетические) трещины образуют полигональную сеть. Трещины перпендикулярны поверхности слоя и делят его на призмы с тремя — восемью гранями. На отдельных участках отмечаются системы трещин.

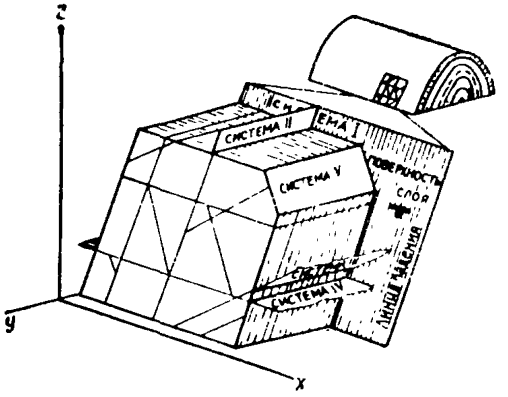
2.20. Среди тектонических трещин принято различать трещины, образовавшиеся при формировании складок (соскладчатые), трещины, связанные с образованием тектонических разрывов (приразрывные) и общие.

2.21. Соскладчатые трещины образуют сеть, состоящую из пяти основных систем. Одна из них параллельна поверхности напластования. Остальные перпендикулярны слою Из них одна параллельна, а другая перпендикулярна шарниру складки, третья и четвертая образуют с шарниром в плоскости слоя угол 45°. Совместно встречаются от трех до пяти систем. Основной особенностью соскладчатых трещин является постоянство их ориентировки в координатах слоя при переходе от одного элемента складки к другому. Характерны повсеместное распространение на складке указанных систем трещин, относительно слабые изменения густоты трещин в пространстве, превышение длины, измеренной на плоскости напластования, над длиной, измеренной в разрезе слоя (рис. 3, 4 и 5).

2.22. Приразрывные трещины по времени образования разделяются на опережающие, возникающие до формирования крупного разрыва, и оперящие, причиной формирования которых является трение при смещении по поверхности основного сместителя. Крупный разрыв образуется в результате слияния опережающих трещин.

2.23. Приразрывные трещины разбивают массив на призмы, оси которых параллельны поверхности сместителя и перпендикулярны направлению смещения. Удается различить четыре системы приразрывных трещин. Три из них образуют боковые грани призм. Одна грань параллельна сместителю. Две другие наклонены к нему под углом 45° (рис. 6). Четвертая система отсекает торцевые поверхно-

сти призмы. Она перпендикулярна поверхности сместителя и параллельна направлению смещения. На круговой диаграмме трещиноватости первые три системы обычно образуют пояс, пересекающий



Системы	I	II	III	IV	V
I	0	90°	90°	90°	90°
II	90°	0	45°	90°	45°
III	90°	45°	0	45°	90°
IV	90°	90°	45°	0	45°
V	90°	45°	90°	45°	0

Рис. 3. Ориентировка основных систем трещин на крыле складки и таблица углов между системами трещин

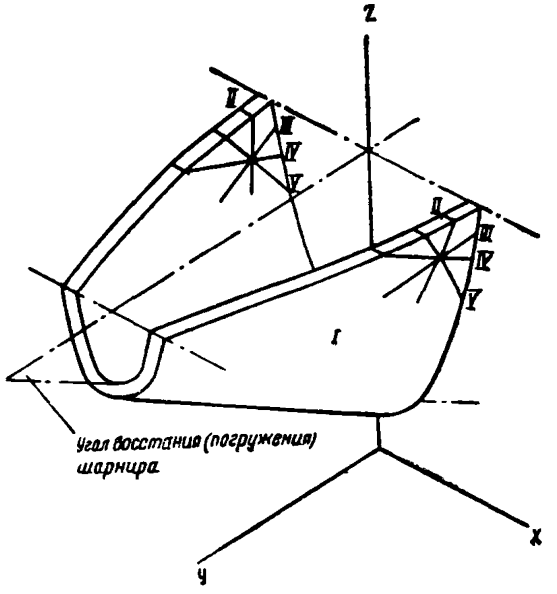


Рис. 4. Ориентировка основных систем трещин на крыле складки при наклонном положении шарнира

поле диаграммы по дуге меридиана. По мере удаления от разрыва густота приразрывных трещин убывает.

2.24. Общие трещины широко распространены, однако их происхождение окончательно не выяснено. Общие трещины обладают следующими особенностями:

они развиты как в дислоцированных, так и в горизонтально залегающих осадочных породах, как в складчатых областях, так и на платформах; в каждой точке земной поверхности трещины образуют обычно две взаимно перпендикулярные системы, ориентировка кото-

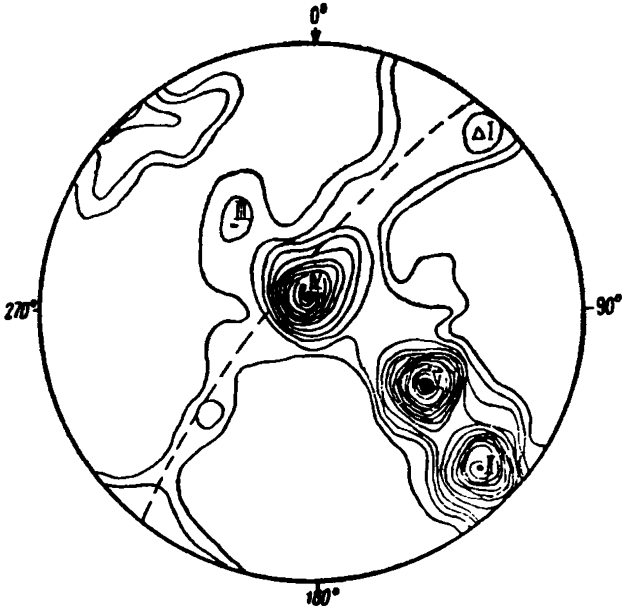


Рис. 5. Круговая диаграмма трещиноватости. Системы I, II, III, IV, V и пояс приразрывных трещин, обозначенный пунктиром. Изолинии проведены через 1%. Количество трещин на диаграмме 200.

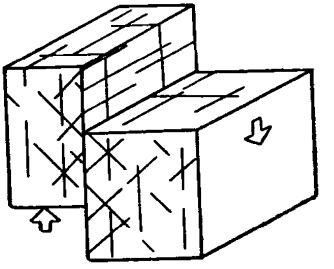


Рис. 6. Ориентировка основных приразрывных трещин относительно поверхности сместителя

рых меняется по площади. Так, для Русской платформы характерны ортогональная (С—Ю, В—З) и диагональная (СВ—ЮЗ, СЗ—ЮВ) ориентировки; трещины прослеживаются по разрезу платформенных отложений от докембрия до третичных отложений; общие трещины не приурочены к каким-либо тектоническим структурам, трещины лучше выражены в плотных породах, в которых они обычно перпендикулярны слоистости и не выходят, как правило, за пределы одного

слоя; наблюдается четкая параболическая зависимость густоты общих трещин от мощности разбитых ими слоев.

2.25. Экзогенные трещины развиты у поверхности земли. Сеть трещин приобретает ряд специфических особенностей: расширяются и объединяются друг с другом существовавшие ранее трещины и образуются новые. Причины этих процессов различны, главными из которых считаются: упругое расширение массива при его разгрузке от веса вышележащих пород, которое может привести к образованию трещин разгрузки; выветривание; деформации склонов под действием силы тяжести с образованием трещин отседания, оползневых и др.; горные и взрывные работы, способствующие образованию искусственных экзогенных трещин.

2.26. Трещины разгрузки встречаются в верхних 10—50 м массива. Их особенности: ширина в 10—100 раз больше, чем в массиве, не затронутом процессом разуплотнения; большинство трещин субпараллельно поверхности земли и обычно совпадает по ориентировке с одной из систем первичных или тектонических трещин; наличие следов выветривания породы по стенкам трещин и заполнение трещин продуктами выветривания; уменьшение средней ширины трещин с глубиной; уменьшение дисперсии ширины трещин с глубиной; иногда увеличение расстояния между трещинами с глубиной.

2.27. Трещины выветривания обычно развиваются в верхних 5—10 м массива с использованием существующей сети трещин. Их особенности: бессистемность (хаотическая ориентировка); расстояния между трещинами в среднем в несколько раз или в несколько десятков раз меньше, чем в массиве, не затронутом выветриванием; извилистость; заполнение продуктами выветривания.

2.28. Трещины, образующиеся при гравитационных деформациях, встречаются на крутых склонах. Они простираются вдоль склона, имеют ширину от нескольких сантиметров до нескольких метров, зияющие или заполнены рыхлыми обломочными образованиями.

3. ПОЛЕВЫЕ И КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Полевые работы

3.1. Различные виды полевых работ: геологическое изучение трещиноватости, документация горных выработок, геофизические и фотогеологические исследования освещают различные черты сети трещин. Геологическое изучение трещиноватости и документация горных выработок являются в настоящее время основными видами работ для получения сведений о трещиноватости. Геофизические и фотогеологические наблюдения дополняют сведения, полученные в ходе полевого изучения трещиноватости и документации горных выработок.

3.2. Геологическое изучение трещиноватости проводится для получения полной количественной характеристики трещиноватости всех частей массива, взаимодействующих с проектируемым сооружением. В ходе изучения на каждом элементе тектонической структуры следует охарактеризовать трещиноватость массовыми измерениями всех

основных литологических типов пород. Каждый литологический тип характеризуется независимыми выборками достаточного объема в пределах участков значительных экзогенных изменений пород и на участках слабых изменений. Измерения параметров трещиноватости необходимо выполнять раздельно для разных систем и морфологических типов трещин.

3.3. Полевые исследования необходимо сопровождать и завершать текущей обработкой материала. В ходе ее весь полевой материал систематизируется. Это помогает выявить пробелы в полевом материале и своевременно добрать недостающие данные.

3.4. Полевым исследованиям предшествует планирование работ на основе изучения материалов предыдущих исследований, материалов геологической съемки, аэрофотосъемки или, в крайнем случае, рекогносцировки на местности. Планирование работ выполняется геологом-руководителем.

Основное внимание следует уделять литологическому составу пород, их формационной и фациальной характеристике, с одной стороны, и тектонической структуре и геологической истории изучаемого участка — с другой.

3.5. Планирование работ следует выполнять на основе геологической карты более крупного масштаба, чем составляемая карта трещиноватости, либо, при отсутствии таковой, на основе геологической карты того же масштаба, что и составляемая карта. В ходе планирования решаются следующие задачи:

ориентировочно оценивается необходимое количество точек или станций наблюдения;

ориентировочно оценивается предполагаемое количество индивидуальных измерений по каждому параметру трещиноватости;

выполняется рекогносцировка на местности и намечаются обнажения, подлежащие документации.

3.6. При планировании и проведении работ следует исходить из того, что в точке делается по 40—50 измерений параметров α и β на систему. Измерения каждого из параметров a, b, l выполняются в объеме 25—40 замеров на систему. Если обнаженность не позволяет набрать такого количества измерений в одной точке, то нужно стремиться добрать измерения на соседних участках в аналогичных геологических условиях. Размещение точек на площади не должно быть равномерным. На участках, сложных по геологическому строению, точки наблюдения следует сгущать, на простых в структурном отношении участках плотность точек снижается. При неудовлетворительной обнаженности территории необходимо выполнять расчистки, проходить шурфы, штольни, скважины. Отдельные элементы структуры и горные породы, плохо обнаженные на площади работ, рекомендуется изучать и за пределами изучаемой площади. Выходы за пределы площади, особенно при крупномасштабных исследованиях, рекомендуется выполнять также с целью увеличения интервалов колеблемости связанных параметров. Например, в случае недостаточной изменчивости мощностей слоев в пределах участка исследований желательно «добрать» обнажения за пределами участка для изучения зависимости параметров трещиноватости от мощности слоя. В случае наличия на участке одного-двух тектонических разрывов следует выполнять измерения и за пределами участка, чтобы получить более обоснованную характеристику зон разрывных нарушений.

3.7. Подготовка к выполнению массовых замеров трещинова-

сти должна вестись систематически, планомерно и тщательно. Не следует стремиться к полному и строгому расчленению трещин на генетические типы. Такое расчленение в ряде случаев может быть сделано лишь на завершающем этапе исследований. Вначале главную роль играет детальность морфологического и геометрического расчленения, которая должна быть максимальной. Самой неприятной ошибкой на подготовительном этапе является пропуск какого-либо морфологического типа трещин. Поэтому первые результаты массовых замеров должны сразу подвергаться первичной обработке по рекомендуемой ниже системе, чтобы в первые же дни работы могли быть внесены коррективы в план работ. Пропущенные морфологические типы на уже отработанных обнажениях необходимо описать обратным ходом.

3.8. При выполнении массовых измерений трещиноватости используются: горный компас, алюминиевая пластинка 10×15 см, геологический молоток, металлическая линейка с ценой деления 1 мм, рулетка, складной метр, слесарный щуп, лупы, бинокль, фотоаппарат, фанерный планшет, полевая книжка, мел, карандаш, специальные бланки. Точность измерений горным компасом, линейкой, рулеткой, складным метром и слесарным щупом определяется в первую очередь точностью этих инструментов. Слесарный щуп может быть использован для измерения ширины открытых трещин. С помощью линейки и лупы обычно производятся измерения как открытых, так и закрытых трещин. Измерения ориентировки трещин выполняются горным компасом с помощью алюминиевой пластинки, которая накладывается на стенку трещин или вкладывается в последнюю. Мел используется для маркировки измеренных трещин и обследованных участков. Бинокль необходим при работе в горных районах или на больших площадях для выбора обнажений.

3.9. Работа на обнажении состоит из геологического описания обнажения и массовых измерений параметров трещиноватости, которые следует выполнять двум исполнителям: геологу и коллектору либо технику-геологу и коллектору. Разделение обязанностей между ними заметно повышает производительность труда. Число рабочих пар может варьироваться в зависимости от сроков и объемов работ. При работе двух или более пар необходимо для получения сопоставимых результатов провести совместную документацию двух-трех характерных обнажений. При работе на обнажении следует обращать внимание на качественное описание трещиноватости и в особенности на описание формы и размера естественных блоков отдельности. Обязательно надо измерять элементы ориентировки обнажения или отдельных его частей, если оно не плоское. Элементы залегания слоев, полосчатости изверженных пород и другие элементы макротекстуры массива измеряются несколько раз с тем, чтобы получить достаточное представление о колеблемости этих величин. Колеблемость значений элементов залегания слоев в пределах одного обнажения допустима не более чем $\pm 5 - 10°$. При большей колеблемости размеры обнажения уменьшаются. Одновременно необходимо увеличить число обнажений.

Подробному описанию подлежат те элементы морфологии трещин, которые в дальнейшем не характеризуются массовыми замерами (извилистость трещин, шероховатость их поверхности, зеркала скольжения, заполнитель трещин, изменчивость ширины трещин — «четковидность»). После этого выполняются массовые измерения ориентировки, густоты, длины, ширины трещин по системам, кото-

рые выделяются на диаграмме. Работа на обнажении завершается фотографированием его, а для особо характерных обнажений также и их зарисовкой.

3.10. Описание заполнителя выполняется в соответствии с п. 2.8. Для монолитного заполнителя следует указывать минеральный состав, для рыхлого — гранулометрический состав, плотность его и равномерность распределения вдоль трещины.

3.11. При измерении ширины трещин натеки и пленки монолитного заполнителя следует относить к массиву. За ширину трещин принимают ее зияние или пространство, заполненное рыхлым материалом.

3.12. Измерения расстояний между соседними трещинами необходимо производить по перпендикуляру к плоскостям трещин, чтобы избежать введения тригонометрических поправок или влияния экспозиции обнажения на результаты. В большинстве случаев вследствие естественной «ступенчатости» обнажений это не представляет трудностей. Если это не удается, то пересчет может быть выполнен через известные тригонометрические соотношения.

Затруднения могут встретиться, когда трещина распадается на серию кулисообразно расположенных трещин. В таких случаях следует производить измерения лишь «больших» расстояний между трещинами, пренебрегая «малыми».

3.13. Расстояния между трещинами в хаотических и полигональных сетях трещин оцениваются условно.

Для хаотической трещиноватости

$$a' = \frac{4{,}71\, S_{\text{пл}}}{\Sigma l}, \qquad (1)$$

где a' — условное расстояние между трещинами, см;

$S_{\text{пл}}$ — площадь обнажения, см^2;

Σl — суммарная длина следов трещин в пределах площади обнажения, см.

Для полигональных трещин, образующих боковые поверхности призм

$$a' = \frac{3{,}0\, S_{\text{пл}}}{\Sigma l}. \qquad (2)$$

Расстояние между трещинами в системе, перпендикулярной призмам, измеряется непосредственно.

3.14. Записи следует вести в полевой книжке или на отдельных бланках. Удобно иметь бланки двух видов (табл. 1 и 2). Все изме-

Таблица 1

Бланк для записи ориентировки трещин

Бланк № _____ Обнажение № _____

Ориентировка обнажения _____

Элементы залегания слоев _____

№ п.п.	Заполнитель	Угол падения	Азимут падения

Таблица 2

Бланк для записи расстояний между трещинами, ширины и длины трещин

Бланк № _____ Обнажение № _____

Элементы залегания слоев _____

Система трещин № _____

Ориентировка трещин системы _____

№ п.п.	Расстояния между трещинами	Ширина трещин	Длина трещин

рения записываются без размерности в установленных единицах (п. 2.1). При необходимости фиксировать еще какие-либо параметры можно увеличить число столбцов в табл. 1 и 2.

3.15. Изучение трещиноватости в горных выработках выполняется для решения следующих задач:

исследование влияния экзогенных процессов на решетку трещин и в первую очередь на ширину, густоту, ориентировку и заполнитель трещин;

исследование трещиноватости недоступных для непосредственного наблюдения частей массива, если они должны быть охарактеризованы по существу задачи изысканий.

3.16. Горные выработки следует описывать непрерывно или выборочно, по отдельным представительным участкам. От работы на обнажениях такая работа отличается лишь тем, что зачастую невозможно спланировать заранее размещение точек в выработке.

Документация выработки выполняется по мере проходки. Она заключается в непрерывном наблюдении за трещиноватостью пород, в фиксировании всех трещин с измерением их ориентировки, ширины, густоты, с описанием заполнителя, формы и, если возможно, длины. Если массив однородный, а выработка имеет большую протяженность и изучение трещиноватости по существу задачи не имеет большого значения, то возможно выборочное исследование трещиноватости. В этом случае через определенный интервал длины выработки выполняется детальное описание участка выработки по всему контуру с измерением всех параметров трещин в количествах, указанных выше для обнажений.

Кроме морфологических типов трещин, выделяемых на обнажениях, в горных выработках необходимо выделять и отдельно описывать искусственные трещины взрыва. Они обычно располагаются веером у шпуров, но могут и отходить от них на несколько десятков сантиметров. Чтобы получить представление о микротрещиноватости пород, следует с площадок, на которых детально описывается трещиноватость, брать образцы для изготовления шлифов.

3.17. Описание трещиноватости по данным колонкового бурения обладает рядом особенностей. Оно может быть произведено путем

обзора или фотографирования стенок скважины либо путем описания керна. В обоих случаях неизбежно снижается точность и повышается трудоемкость работ в сравнении с измерением на обнажениях и в выработках, доступных для непосредственного наблюдения. Следует отдавать предпочтение изучению трещиноватости на керне. Фотографирование стенок рекомендуется применять для изучения ширины трещин.

3.18. Для получения количественной характеристики трещиноватости по керну должны соблюдаться следующие условия:

выход керна не менее 95%;

наличие в породе маркирующих поверхностей, с помощью которых может быть восстановлена естественная ориентировка керна относительно стран света.

3.19. Описание трещиноватости по керну колонковых скважин следует выполнять непосредственно после его подъема. На керне измеряется ориентировка трещин и расстояние между ними в системах в соответствии с п. 2.1.

3.20. Для изучения трещиноватости скрытых от наблюдения частей массива в комплексе с документацией горных выработок следует применять геофизические (сейсмические, ультразвуковые, электрические и магнитные) методы исследования. Рекомендуется применять ультразвуковое просвечивание массива для оценки пустотности массива, сейсмопрофилирование, электропрофилирование и метод заряженного тела для оценки положения и мощности зон повышенной трещиноватости, электроразведочные, магниторазведочные и сейсмоакустические методы для оценки трещинной анизотропии. При использовании геофизических методов следует иметь в виду, что их главное достоинство — возможность получить характеристику трещиноватости массива в целом или его крупной части, в особенности ненарушенной экзогенными процессами.

Результаты геофизических исследований могут быть использованы для более обоснованной интерполяции и экстраполяции результатов непосредственного изучения трещиноватости. Недостаток геофизических исследований заключается в комплексной характеристике трещиноватости без раздельной оценки по параметрам и системам, чего требуют методы инженерно-геологических расчетов.

3.21. В целях сокращения времени работы в подземных условиях рекомендуется выполнять стереофотограмметрическую съемку в горных выработках с последующим дешифрированием снимков. По снимкам следует определять ориентировку трещин, расстояние между трещинами, длину трещин. Для съемки могут быть использованы стандартные малоформатные фотокамеры и фотоматериалы. Дешифрирование снимков производится с помощью специальных приборов (зеркальных стереоскопов, стереометров и т. п.). Методы работы и приборы описаны в специальных руководствах. Стереофотограмметрическая съемка используется также для исследования трещиноватости на труднодоступных обнажениях.

Камеральные работы

3.22. Текущая камеральная работа заключается в обработке замеров раздельно по каждой точке наблюдения и в систематизации материала в целом. Обработку замеров по каждой точке наблюдения в отдельности следует выполнять непосредственно вслед за поле-

выми замерами. Обработка включает вычисления и построения, которые необходимы для первичной приближенной оценки параметров по обнажениям. Эта работа не должна отставать от полевых изме-

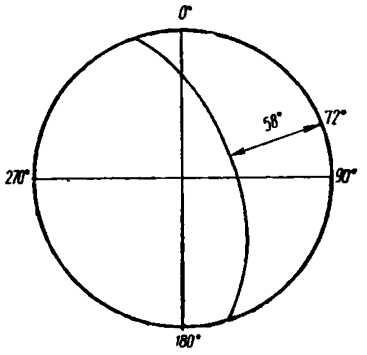


Рис. 8. Изображение на круговой диаграмме плоскости в виде линии (азимут падения 252° ∠58°)

рений более чем на 3—5 дней. В обработку поступают полевые книжки или бланки полевых замеров ориентировки трещин, густоты, ширины и длины трещин (табл. 1 и 2). В результате обработки должны быть получены средние значения указанных параметров и характеристики их изменчивости по типам и системам трещин раздельно по каждому обнажению и для каждой породы.

3.23. Обработка массовых замеров ориентировки состоит в графическом определении средних значений угла и азимута падения трещин и оценке степени колеблемости данных единичных замеров. Вследствие значительной трудоемкости строгого решения этой задачи [1] она решается приближенно на экваториальной сетке равноплощадной проекции сферических координат (рис. 7 см. стр. 20—21).

Плоскость (трещины) на экваториальной сетке равноплощадной проекции (см. рис. 7) изображается линией или точкой. Линия представляет собой пересечение плоскости трещины, проведенной через центр сферы с поверхностью верхней полусферы. Она изображается в проекции на плоскость сетки и имеет форму дуги большого круга. Для изображения плоскости в виде линии на окружности сетки необходимо отыскать азимут восстания плоскости (на 180° отличается от азимута падения), совместить место нуля на диаграмме с найденным азимутом. От полюса сетки вниз по радиусу отсчитать угол, равный углу восстания плоскости. Совместить найденную точку с экватором сетки. Найти меридиан, проходящий через точку, и изобразить его на диаграмме (рис. 8).

3.24. Точка, изображающая на диаграмме плоскость трещины или слоя, представляет собой проекцию на плоскость диаграммы точки пересечения с полусферой перпендикуляра к изображаемой плоскости, проведенного через центр сферы. Для изображения плоскости трещины или слоя точкой на сетке под калькой отыскивается азимут падения трещины или слоя. Место нуля на диаграмме совме-

[1] Для более точных построений, когда, например, проводится статистическая строгая проверка гипотезы о наличии систем трещин, необходимо пользоваться сеткой равнопромежуточной проекции.

щается с найденным азимутом. Из центра сетки по радиусу вверх отыскивается угол падения плоскости. Найденная точка однозначно изображает плоскость трещины или слоя на диаграмме (рис. 9).

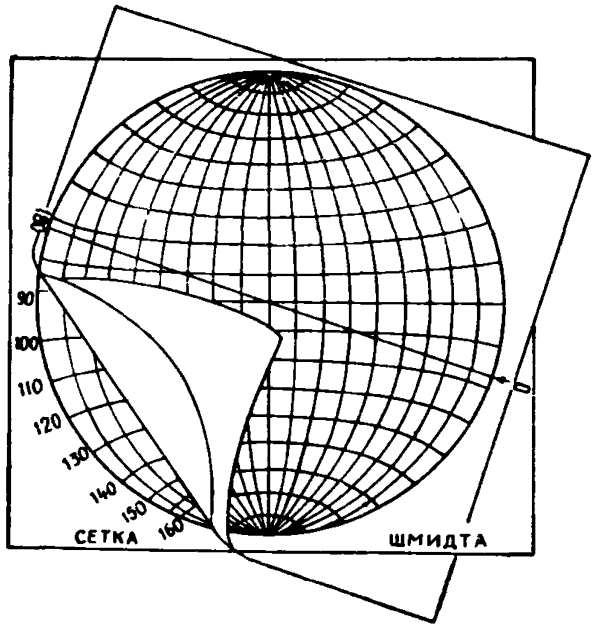


Рис. 9. Способ нанесения на кальку точки, изображающей плоскость (азимут падения 262°∠58°). Калька приводится в положение, изображенное на рисунке. Точка наносится на кальку по вертикальному диаметру сетки на расстоянии 58° от центра диаграммы.

3.25. Прямая линия на диаграмме изображается точкой, которая является проекцией на плоскость чертежа точки пересечения изображаемой линии, проведенной через центр сферы, с поверхностью верхней полусферы. Для изображения линии на внешней окружности координатной сферы под калькой отыскивается азимут восстания линии. Место нуля на диаграмме (кальке) совмещается с найденным азимутом. По радиусу сетки из ее полюса (азимут на сетке 0°) от окружности сверху вниз отсчитывается острый угол, равный углу между изображаемой линией и горизонтальной плоскостью (рис. 10).

3.26. Угол пересечения двух произвольно ориентированных плоскостей легко определяется путем приведения их полюсов на один меридиан сетки. Эта операция осуществляется поворотом кальки, наложенной на сетку. Угол измеряется по меридиану. Если получаемый угол тупой, то следует принять значение, дополняющее его до 180°.

3.27. Угол пересечения двух плоскостей можно определить и методом приведения одной из них в горизонтальное положение.

3.28. Метод приведения слоев к горизонту используется главным образом для проверки соотношения ориентировки соскладчатых трещин и элементов залегания слоя (см. п. 2.21). Суть метода такова. Элементы залегания (или полюсы слоистости) и ориентировка систем трещин с различных элементов складки наносятся на одну диаграмму. Один из полюсов слоистости поворачивается по азимуту (вокруг центра диаграммы) до совпадения со вторым полюсом слоистости. На соответствующую величину смещаются и системы трещин первого, «подвижного» слоя. Оба полюса приводятся по экватору

к центру диаграммы (т. е. к горизонту). Центры систем трещин при этом переносятся по соответствующим параллелям сетки на то же число градусов, что и полюсы слоистости (рис. 11). При обработке большого количества измерений по нескольким складкам целесообразно приводить полюсы слоистости к какому-либо одному азимуту.

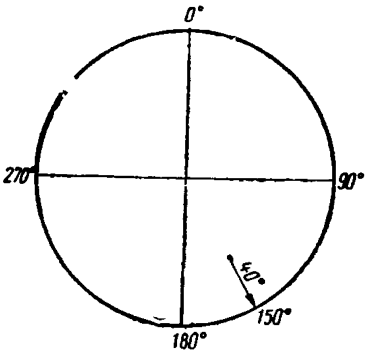


Рис. 10. Изображение линии на круговой диаграмме (азимут восстания 150° ∠40°, азимут падения 330° ∠40°)

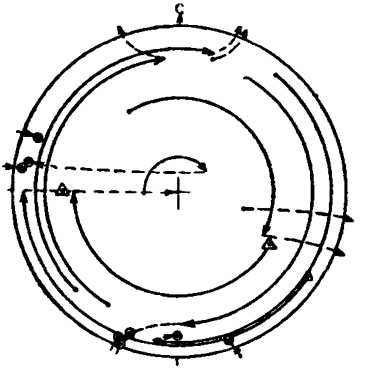


Рис. 11. Способ приведения слоев к горизонту

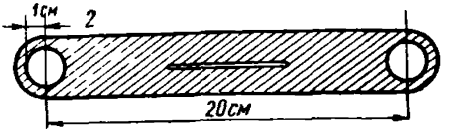
3.29. Построение круговых диаграмм трещиноватости заключается в следующем. К центру сетки Шмидта (см. рис. 7), наклеенной на картон или фанеру, иглой прикрепляется калька так, чтобы она смогла свободно вращаться. На кальке из центра, обозначенного иглой, описывается окружность того же диаметра, что и сетка. На окружности штрихом отмечается север. Штрих служит для отсчета азимутов падения. При нанесении точки, изображающей на диаграмме трещину, калька поворачивается так, чтобы штрих на окружности совпадал с азимутом падения трещины (на сетке). Точка ставится на кальке на верхнем вертикальном радиусе сетки, который разбит на отрезки по величине угла падения трещины от 0° в центре сетки до 90° на окружности. Точки, соответствующие вертикальным трещинам, попадают на окружность, горизонтальным — в центр сетки. На диаграмму наносятся результаты измерения ориентировки трещин по данному обнажению. Трещины, характеризующиеся различной морфологией, удобно показывать разными значками (точки, крестики, кружки и т. д.). На диаграмму обязательно наносятся также знаки, изображающие элементы залегания пластов и ориентировку обнажения и тектонических разрывов. Отсчет величины азимута падения на сетке ведется против часовой стрелки (как в горном компасе), а на кальке диаграмма имеет обычную ориентировку (азимуты по часовой стрелке).

3.30. Полученная таким образом точечная диаграмма трещиноватости достаточна лишь для выявления примерной ориентировки основных систем трещин и сравнения колеблемости ориентировки трещин различных систем, развитых в пределах одного обнажения.

3.31. Диаграммы в изолиниях (по плотности точек) строятся на новых листах кальки. Эти диаграммы необходимы для более точной

графической оценки средних значений углов и азимутов падения трещин, для определения углов пересечения между системами трещин и для решения ряда других задач (см. раздел 5).

Работа по проведению изолиний начинается с подсчета точек на точечной диаграмме с помощью трафаретов (рис. 12)[1]. Точечная



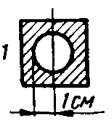


Рис. 12. Трафареты для подсчета плотности точек на круговых диаграммах

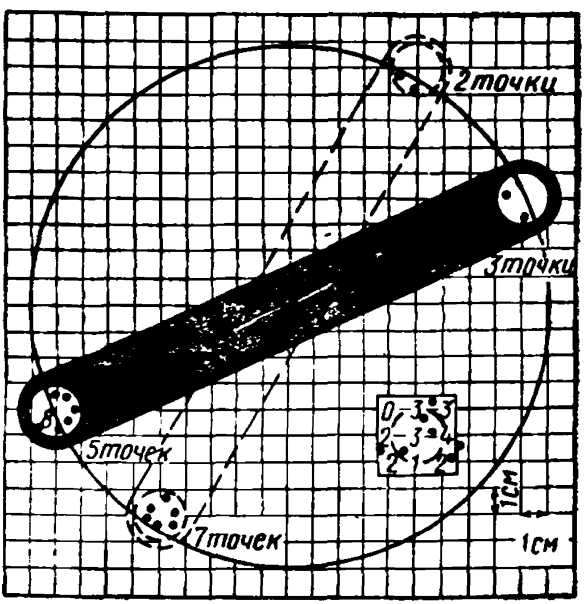


Рис. 13. Способ подсчета точек для построения изолиний

диаграмма, скрепленная в нескольких местах с чистой калькой, накладывается на сетку квадратов со стороной 1 см (рис. 13). Трафарет *1* используется для подсчета точек внутри круга: трафарет перемещается так, чтобы соседние узлы сетки квадратов последовательно находились в его центре. Число точек, видимое в прорези трафарета, отмечается на чистой кальке цифрой соответствующего

[1] Такой способ обработки точечных диаграмм не лишен недостатков, что неоднократно отмечалось в специальной литературе. Предложенные взамен более точные методы довольно трудоемки и не находят широкого применения.

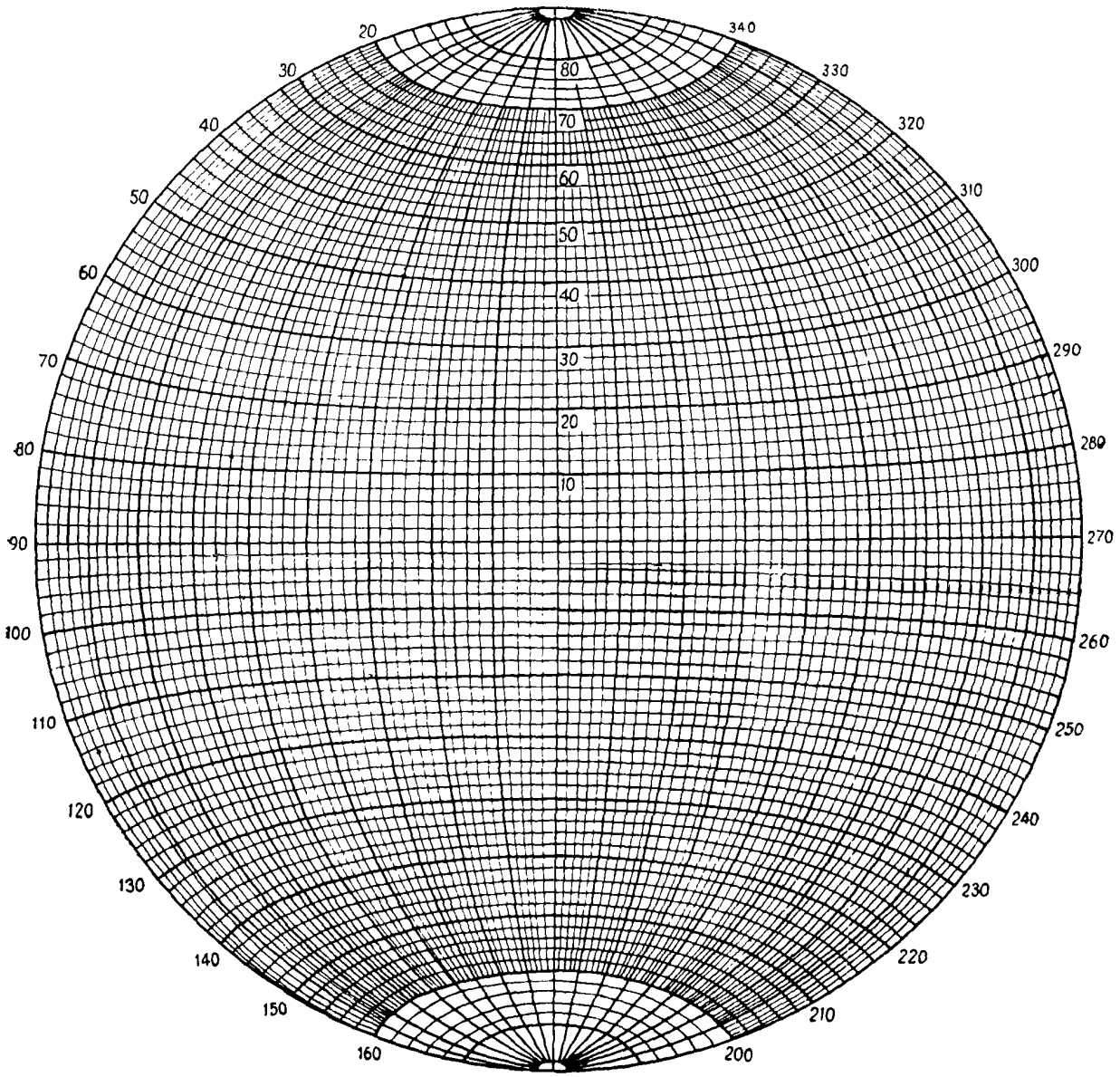


Рис. 7. Экваториальная сетка равноплощадной азимутальной проекции (сетка Шмидта)

узла сетки. Трафарет 2 используется для подсчета точек, располагающихся вблизи окружности, когда в прорези трафарета видна линия окружности. Трафарет устанавливается так, чтобы его прорезь (в центре) проходила через центр диаграммы, а круговые прорези вписывались в четыре смежных квадратика (по 4 на каждой стороне круга). Суммарное количество точек, видимых в обоих кружках, указывается около центра того кружка, который находится в контуре диаграммы. Если центры обоих кружков находятся на линии контура, то суммарное (для двух кружков) количество точек указывается на каждом из кружков.

3.32. Изолинии наносятся через интервалы, выраженные в процентах от общего числа замеров, нанесенных на диаграмму. Если, например, на диаграмму нанесено 200 точек, то изолиния 1 % соответствует плотности точек 2 (цифра *2* в узлах сетки), изолиния 3% — плотности 6 (цифра *6* в узлах сетки) и т. д. Проведение изолиний плотности значительно облегчает сравнение колеблемости ориентировки трещин разных систем по различным станциям, имеющим существенно различное число замеров. На противоположных концах любого диаметра диаграммы плотность точек должна быть одинаковой, так как они изображают одну и ту же точку.

3.33. При интерпретации диаграмм необходимо иметь в виду, что центр максимума той или иной системы фиксирует среднее значение угла и азимута падения трещин данной системы, а размер площадки, занимаемой на диаграмме в изолиниях данной системой трещин, характеризует степень колеблемости ориентировки единичных трещин: чем больше площадка, тем больше дисперсия ориентировки трещин.

Построение диаграмм в изолиниях не обязательно производить в процессе текущей обработки. Эти диаграммы могут составляться и при написании отчета. При этом число таких диаграмм может и должно быть сокращено путем объединения точечных диаграмм ряда соседних обнажений, характеризующихся одинаковыми геологическими условиями и ориентировкой трещин.

3.34. При камеральной обработке массовых замеров ориентировки трещин необходимо определять углы пересечения систем трещин со слоистостью (линейностью), осями складок и друг с другом. Эти определения нужны для геометрической классификации трещин и для правильного сопоставления систем друг с другом.

3.35. Для каждой системы трещин раздельно по обнажениям следует вычислять средние значения расстояний между трещинами, ширины и длины трещин.

4. МОДЕЛЬ СЕТИ ТРЕЩИН ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ И ОЦЕНКА СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД В МАССИВЕ

4.1. При решении прикладных задач используется геометрическая модель сети трещин, в которой трещины заменяются плоскими зияющими щелями, параллельными друг другу в каждой системе. При оценке блочности, пустотности и проницаемости наличие локальных контактов противоположных стенок трещин не учитывается. Раскрытие трещин-щелей считается постоянным по всей длине. При оценке деформируемости контакты стенок трещин учитываются по специальной методике, разработанной НИИ оснований.

В рамках рекомендуемого подхода каждая система трещин характеризуется, следовательно, двумерным распределением параметров ориентировки (угол и азимут падения) и распределениями расстояний между соседними трещинами и их ширины. Практически используются средние значения указанных параметров и их дисперсии.

4.2. Оценка параметров модели сети трещин дается для описания трещиноватости в пределах единой геологической позиции, где параметры трещиноватости претерпевают лишь случайные колебания, т. е. в пределах того или иного инженерно-геологического элемента (элемента неоднородности низшего порядка). В реальных массивах параметры трещиноватости, как правило, претерпевают те или иные систематические изменения в пространстве. Эти изменения могут быть отображены путем построения карт и разрезов трещиноватости или различных поверхностей (линий) тренда (регрессии) параметров трещиноватости.

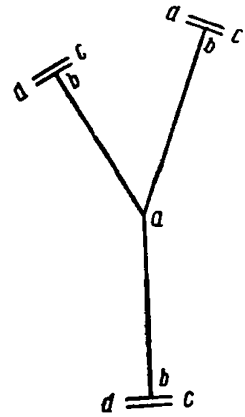


Рис. 14. Условный знак точки наблюдения трещиноватости

Основные системы трещин: *ab* — направление падения, длина линии *ab* равна среднему расстоянию между трещинами данной системы в масштабе 1 : 20; сдвоенная линия *dc* — простирание, расстояние между линиями равно средней ширине трещин данной системы в масштабе 2 : 1, длина линий *dc* изображает величину трещинной пустотности данной системы (1 мм длины=0,1%); *a* (дробь) — в числителе общая трещинная пустотность по всем системам, в знаменателе — средний размер блока, см; *b* — угол падения трещин данной системы. Пара сдвоенных линий простирания на одной линии падения обозначает наличие двух устойчивых максимумов густоты трещин данной системы (густота трещин — величина, обратная среднему расстоянию между трещинами)

4.3. Суть построения модели трещиноватости массива горных пород сводится к следующему:

в пределах каждого обнажения (отрезка горной выработки), где параметры трещиноватости не претерпевают систематических изменений, строится упрощенная плоская модель отдельно для каждой системы трещин;

параметры модели наносятся на инженерно-геологическую карту или разрез или строится регрессия параметров трещиноватости по координатам пространства; результаты измерения параметров трещиноватости наносятся на карту или разрез с помощью специальных условных знаков (рис. 14).

4.4. Свойства горных пород в массиве зависят от характеристик горных пород в образце, структуры массива (в первую очередь — трещиноватости горных пород) и заполнителя трещин.

4.5. Модель сети трещин горных пород может быть использована для ориентировочной оценки показателей свойств горных пород массива (преимущественно на первых этапах изысканий).

4.6. Трещинную пустотность массива следует определять как отношение объема полостей трещин к общему объему массива

$$П = \sum_{i=1}^{n} \frac{b_i}{a_i + b_i} 100\ \%, \qquad (3)$$

где $П$ — трещинная пустотность в процентах;
a_i — расстояние между трещинами в системе;
b_i — ширина трещин в системе;
n — количество систем трещин.

Примечание. «Коэффициент трещинной пустотности» может быть определен на плоскости обнажения по методу, принятому в Гидропроекте. Для этого подсчитывается площадь трещин и площадь межтрещинных целиков. Отношение найденных площадей, выраженное в процентах, называется коэффициентом трещинной пустотности ($K_{т.п}$). Такой способ оценки пустотности удобен при хаотической ориентировке трещин. Надо иметь в виду, что $П \approx 1{,}5K_{т.п}$.

4.7. Блочность — показатель размера блоков горной породы, разделенных трещинами. Она характеризуется средним поперечным размером блока:

$$\bar{a}_{бл} = \sqrt[3]{\frac{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}{\left(1 + \frac{\sqrt[3]{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}}{\bar{a}_4}\right)\left(1 + \frac{\sqrt[3]{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}}{\bar{a}_5}\right)}}, \qquad (4)$$

где $\bar{a}_1, \bar{a}_2, \bar{a}_3, \bar{a}_4, \bar{a}_5$ — средние расстояния между трещинами в системах;
$\bar{a}_{бл}$ — средний поперечник блока.

Системы трещин нумеруются так, чтобы выполнялось соотношение

$$\bar{a}_1 \leqslant \bar{a}_2 \leqslant \bar{a}_3 \leqslant \bar{a}_4 \leqslant \bar{a}_5.$$

4.08. Полная характеристика блочности горных пород в массиве дается в виде распределения $a_{бл}$ по фракциям. Содержание фракций выражается в процентах от общего веса или от общего объема блоков.

Одним из способов получения информации о распределении блочности по фракциям может служить графоаналитический метод. В качестве исходных данных используются α_i, β_i и a_i. Сеть трещин представляется в виде нескольких систем бесконечных плоскостей. Расстояние между трещинами в каждой i-й системе характеризуется выборкой значений a объемом не менее 100. В одной из систем дисперсия расстояний между трещинами принимается равной нулю [1].

Операции по определению блочности начинаются с построения круговой диаграммы трещиноватости в изолиниях. Основная система трещин приводится к горизонту и соответственно на диаграмме перемещаются центры всех остальных систем. Здесь на отдельный лист, изображающий плоскость основной системы, начиная от произвольной точки, наносятся азимуты падения всех систем, полученные после приведения к горизонту.

Следующая операция (при условии субперпендикулярности основной и остальных систем трещин) заключается в делении линий падения систем на отрезки, пропорциональные соответствующим

[1] Эту систему называют основной. В осадочных породах удобно, если это будет система трещин, параллельных плоскости напластования.

расстояниям между трещинами. Через концы отрезков проводятся линии простирания трещин. Полученная сетка представляет собой проекцию блоков породы на плоскость основной системы. Умножив их площадь на густоту трещин основной системы, получаем объемы блоков. Затем подсчитываем число блоков того или иного размера.

На плане систем выделяется цепочка многоугольников, построенная так, чтобы каждое индивидуальное измерение расстояния между трещинами входило в нее только один раз. В каждом многоугольнике цепочки подсчитывается размер блока. Их совокупность и есть искомая выборка размеров блоков. Она может быть представлена в виде таблицы, гистограммы или охарактеризована моментами распределения. От нее можно перейти к распределению блоков по фракциям в весовых или объемных единицах.

Проверка изложенного метода была сделана на месторождениях строительного камня на участках Токтогульской и Нурекской ГЭС. Сравнение блочности, полученной графическим методом с блочностью по результатам опытного взрыва, показало, что эти величины статистически неразличимы.

4.9. Использование модели сети трещин для оценки фильтрационной анизотропии массива основывается на применении формулы, полученной во Всесоюзном научно-исследовательском нефтяном геологоразведочном институте (ВНИГРИ)

$$K = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{n} \frac{b_i^3}{a_i} \{1 - [\sin \beta_i (\cos \alpha_i \cos \varphi - \sin \alpha_i \cos \rho) + \cos \beta_i \cos \gamma]^2\}, \quad (5)$$

где β_i — угол падения трещин системы i;

α_i — азимут падения трещин системы i;

ρ, φ, γ — углы между направлением, для которого вычисляется K, и координатными осями, направленными соответственно на север, восток и в зенит.

K — показатель водопроницаемости массива горных пород, пропорциональный коэффициенту фильтрации.

Для оценки анизотропии следует вычислить K для различных направлений, построить эллипсы трещинной проницаемости для горизонтальной плоскости и двух вертикальных плоскостей, простирающихся в направлениях север — юг и восток — запад (или для других, более важных в данном конкретном случае, плоскостей). На графиках выявляются направления минимальной и максимальной водопроницаемости. По их отношению оценивается анизотропия массива.

Пример. Рассмотрим проницаемость песчаников и алевролитов баррем-аптского яруса нижнего мела, залегающих в основании строящейся Нурекской ГЭС (Таджикская ССР).

Горные породы северо-западного крыла Кизойской синклинали характеризуются трехсистемной сетью взаимно ортогональных трещин, параметры которых приведены в табл. 3.

Расчеты дали следующие значения коэффициента фильтрации: в направлении на север 0,32 м/сутки, на восток 0,50, по вертикали 0,50 и в вертикальной плоскости (вдоль реки) под углом 45° к горизонту 0,18 м/сутки. Были выполнены расчеты и для ряда других направлений. Отсюда степень анизотропии — 2,8.

Таблица 3

Пачка 7	Система		
	I	II	III
Расстояния между трещинами	34	55	66
Ширина трещин	0,06	0,06	0,06
Угол падения	63	80	38
Азимут падения	321	34	164

4.10. Если трещины заполнены рыхлым проницаемым материалом, коэффициент фильтрации массива $K_{ф\,м}$ приближенно может быть оценен по формуле

$$K_{ф.м} = K_{ф.тр} \sum_{i=1}^{n} \frac{b_i}{a_i} \{1 - [\sin\beta_i (\cos\alpha_i \cos\varphi - \sin\alpha_i \cos\rho) + \cos\beta_i \cos\gamma]^2\}; \quad (6)$$

$K_{ф.тр}$ — коэффициент фильтрации заполнителя трещин. В простейшем случае для массива, состоящего из кубиков с ребром a_i, разделенных трещинами шириной b :

$$K_{ф.м} = 2K_{ф.тр} \frac{b}{a+b}. \quad (7)$$

4.11. Принцип расчета деформируемости трещиноватого массива горных пород по параметрам сети трещин разработан в НИИ оснований с учетом характерных размеров будущего сооружения. Исходным материалом для расчета служат результаты геологического изучения трещиноватости и лабораторных исследований. Разработан целый ряд расчетных формул для различных механических моделей основания. Приведем здесь формулу для оценки модуля деформации массива с системной сетью открытых трещин различной длины ($l \geqslant L$, где L — характерный размер сооружения) при нормальной нагрузке:

$$E_{\perp} = \frac{E_{п}}{1 + \sum_{i=1}^{n} \eta_i (1 - \sin^4\theta_i)}, \quad \eta = \frac{b_i}{3 \cdot 10^4 \bar{a}_i}, \quad (8)$$

где $E_{\perp}$ — модуль деформации массива по нормали к плоскости основания, н/м²;

$E_{п}$ — модуль деформации материала массива (образца), н/м²;

θ_i — угол между плоскостью трещин системы i и плоскостью основания, ...

Для оценки анизотропии массива по модулю деформации следует построить эллипсы модуля деформации для нескольких плоскостей. Эллипсы графически выражают анизотропию массива. Отношение максимального к минимальному модулю показывает степень анизотропии массива.

Пример. Приведем результаты расчета модуля деформации горных пород основания строящейся Нурекской ГЭС (по данным

табл. 3). Максимальное значение модуля деформации $2{,}6 \cdot 10^{10}$ н/м^2 было получено для вертикальной плоскости с азимутом 10° в направлении под углом 100° к зениту. Минимальное значение $1{,}4 \cdot 10^{10}$ н/м^2 — для горизонтальной плоскости в направлении на север. Общее среднее значение модуля деформации для этого горизонта равно $2{,}0 \cdot 10^{10}$ н/м^2, а степень анизотропии составляет 1,8.

4.12. Сцепление пород в массиве при отсутствии крупных трещин (разрывов) может быть ориентировочно оценено по формуле, полученной во ВНИМИ:

$$C_м = \frac{C_п}{1 + r \lg \frac{h}{a_{бл}}}, \qquad (9)$$

h — характерный размер массива горных пород;

r — эмпирический коэффициент;

$C_п$ — сцепление материала горной породы, н/м^2.

Угол внутреннего трения от трещиноватости горных пород в этих условиях не зависит.

Примечание. При наличии в массиве горных пород крупных трещин (разрывов), соизмеримых по длине с высотой откоса, расчет устойчивости откоса выполняется с привлечением специальных методов механики горных пород, учитывающих ориентировку трещин, сцепление и угол трения по трещине.

Таблица 4

Пустотность, П%	Классификация массивов по степени трещиноватости при густоте сети трещин (блочности) $a_{бл}$, см								
	Очень редкая, 300—100		Редкая, 100—30		Густая, 30—10		Очень густая, 10—3		Отношение модуля деформации породы к модулю деформации трещиноватого массива
	Индекс	$K_ф$	Индекс	$K_ф$	Индекс	$K_ф$	Индекс	$K_ф$	
Малая— —0,1—0,3	А-1	10^{-1}	А-2	10^{-2}	А-3	$5 \cdot 10^{-3}$	А-4	10^{-4}	2
Средняя— —0,3—1,0	Б-1	5	Б-2	1	Б-3	$5 \cdot 10^{-2}$	Б-4	10^{-2}	6
Большая— —1,0—3,0	В-1	10^2	Б-2	10	В-3	5	В-4	10^{-1}	20
Очень большая—3,0— —10,0	Г-1	*	7-2	$5 \cdot 10^2$	Г-3	$5 \cdot 10^1$	Г-4	10	60

* В массиве с трещиноватостью класса Г-1 уже при уклоне 0,01 возможно возникновение турбулентного течения воды в трещинах.

4.13. Интенсивность трещиноватости, охарактеризованная трещинной пустотностью и блочностью, принимается за основу для классификации массивов горных пород по степени трещиноватости (табл. 4). По интенсивности трещиноватости массивы горных пород подразделяются на 16 классов, имеющих двойное обозначение (А-1, В-3 и т. п.). Буква в обозначении указывает класс по трещинной пустотности, цифра — линейный размер блоков. Интенсивность трещиноватости позволяет при некоторых допущениях оценить водопроницаемость массива. Так, основываясь на упрощенной модели, т. е. полагая трещины плоскими зияющими щелями бесконечной длины (для трех ортогональных схем трещин с одинаковыми параметрами — «кубическая кладка»), получим коэффициенты фильтрации, приведенные в табл. 4 для каждого класса.

5. РЕШЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СЕТИ ТРЕЩИН

5.1. На основании известных связей между ориентировкой трещин и ориентировкой складок и разрывов (см. рис. 3, 4, 5, 6) решается прямая или обратная структурная задача. Под прямой задачей принимается определение пространственной ориентировки складок и тектонических разрывов по параметрам модели сети трещин. Обратная задача — построение модели сети трещин без полевых измерений параметров трещиноватости по известным элементам ориентировки складок и разрывов.

5.2. Для решения структурных задач используются следующие параметры: ориентировка систем трещин и поверхности сместителя, элементы залегания слоев горных пород, направление смещения по разрыву, ориентировка шарнира складки и следа разрыва на дневной поверхности, расстояния между трещинами в системах.

5.3. Оценка ориентировки «плоскости» сместителя в пространстве требует знания ориентировки, по крайней мере, двух непараллельных прямых, лежащих в этой плоскости. Одной из них может быть след разрыва на дневной поверхности, изображаемый красной линией на геологической карте. След, как прямая линия, определяется двумя точками A и B, в которых наличие разрыва установлено бесспорно. Другой прямой может быть ось симметрии пояса оперения, которая также лежит в плоскости разрыва.

Процедура сводится к измерению в поле или на карте азимута линии AB в направлении ее подъема и угла этой линии к горизонту, а также в определении параметров трещиноватости. В окрестности разрыва измеряется ориентировка нескольких сотен трещин. Строится круговая диаграмма трещиноватости в изолиниях. На ней выделяется пояс оперения. Через него проводится круг меридиана как аппроксимирующая кривая (рис. 15). Считая эту дугу экватором, на сетке находят полюс оперения. Он отстоит на 90° от любой точки аппроксимирующей дуги. На диаграмму в виде точки наносится линия AB. Азимут этой линии отыскивается на окружности. Угол наклона к горизонту отсчитывается от окружности по радиусу к центру. Полюс оперения и точка AB находятся на поверхности верхней полусферы. Одновременно они находятся на плоскости искомого сместителя. Дуга меридиана, проведенного через эти точки, является следом сместителя на поверхности полусферы. После проведения меридиана находится полюс, отстоящий от дуги на 90°, определение сферических

координат которого и дает ориентировку плоскости сместителя (α_1 и β_1 — азимут и угол падения). Направление смещения имеет азимут α_2 и угол наклона к горизонту β_2, соответствующие точке пересечения дуг *1* и *4* на рис. 15.

Пример. Измерения ориентировки трещин были выполнены севернее г. Кангурт (Таджикская ССР) на западном крыле Кангуртской антиклинали в неогеновых песчаниках (больджуанская и хингоусская свиты) в непосредственной близости от тектонического разрыва,

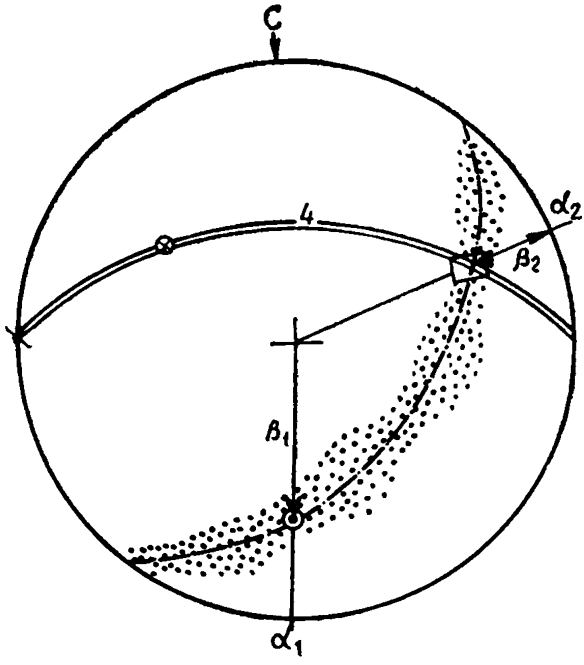


Рис. 15. Определение ориентировки сместителя и направления движения по разрыву

направленного на северо-восток (азимут примерно 23°). На диаграмме трещиноватости (рис. 16), построенной по измерениям ориентировки 600 трещин, можно видеть пояс трещин, оперяющих разрыв. В пояс входят: система трещин, параллельных напластованию (279°∠52°), система пологих трещин (135°∠23°) и слабо выраженная система субвертикальных трещин (115°∠84°). В результате выполнения всех операций, описанных в п. 5.3, получаем такую ориентировку сместителя: азимут падения 113°, угол падения 72°. Смещение происходило на запад-юго-запад (азимут 259°) под углом 66° к горизонту. Этот результат весьма близок значению, полученному другими способами (угол падения 70—80°).

5.4. Полная амплитуда смещения по разрыву a_c (рис. 17) вычисляется по формуле

$$a_c = \frac{a'_c}{|\cos \psi|} \qquad (10)$$

при известной горизонтальной составляющей амплитуды смещения, видимой на дневной поверхности (a'_c), и по формуле

$$a_c = \frac{a'_c}{|\sin \psi|} \qquad (11)$$

при известной составляющей амплитуды смещения по разрыву в плоскости, перпендикулярной дневной поверхности (a_c). Формулой (11) предпочтительней пользоваться при ψ, близком к 90° (взброс, сброс, надвиг). Угол ψ между направлением смещения и

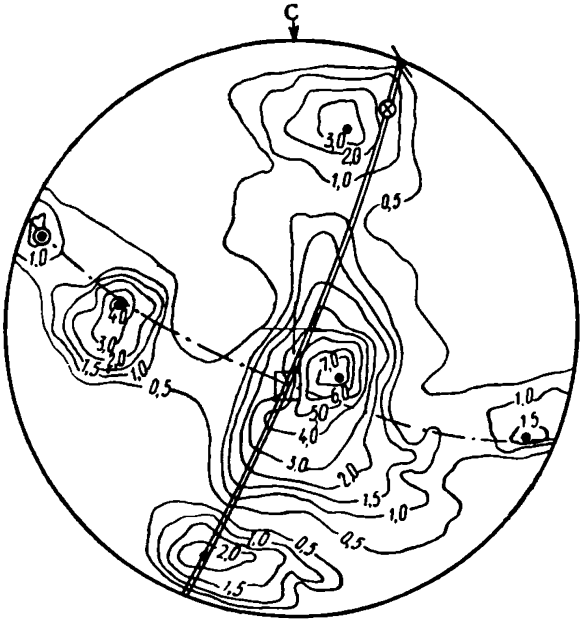


Рис. 16. Определение ориентировки сместителя и направления движения по разрыву (к примеру)

следом разрыва на дневной поверхности измеряется по дуге *4* (см. рис. 15) между соответствующими точками.

5.5. Протяженность зоны активного влияния разрыва на интенсивность трещиноватости горных пород оценивается по результатам измерения расстояний между трещинами в системах на разном расстоянии от разрыва. Результаты наносятся на график. По оси абсцисс откладывается расстояние от разрыва до точки наблюдения, по оси ординат откладываются средние расстояния между трещинами в точке наблюдения. Зависимость расстояний между трещинами a от расстояния до разрыва L удобно представить в виде

$$a = a_{max} - (a_{max} - a_{min})\, e^{-\frac{L}{K}}, \qquad (12)$$

где a_{max} — региональный фон, т. е. значения средних расстояний между трещинами вне зоны влияния разрыва;

a_{min} — величина средних расстояний между трещинами в непосредственной близости от тектонического нарушения;

K — параметр, характеризующий протяженность зоны влияния.

Протяженность зоны активного влияния разрыва на интенсивность трещиноватости принимается равной абсциссе (т. е. расстоянию от разрыва), соответствующей снижению регионального фона на 20%.

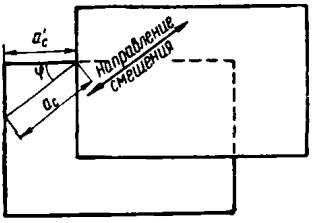


Рис. 17. Определение полной амплитуды смещения по разрыву

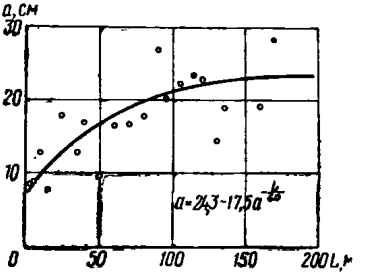


Рис. 18. Изменение средних расстояний между трещинами с удалением от разрыва (песчаники, р. Гоугел)

Пример. Измерения расстояний между трещинами выполнены в долине р. Обишур (Таджикская ССР) в зоне влияния небольшого разрыва (длина его порядка 1 км), расположенного на юго-восточном крыле Яфучской антиклинали. Красноцветы нижнего мела, слагающие крыло в присводовой части антиклинали, имеют юго-восточное падение. Плоскость сместителя субпараллельна плоскости напластования. Измерения проведены в тальвеге сая при максимальном удалении от разрыва в 200 м. Всего было измерено более 600 расстояний между трещинами при 21 фиксированном значении удаления от разрыва. На рис. 18 видно, что с удалением от разрыва средние расстояния между трещинами увеличиваются от 7 до 30 см. Уравнение зависимости $a=f(L)$ имеет такой вид:

$$a = 24{,}3 - 17{,}5\, e^{-\frac{L}{60}}.$$

Зона активного влияния этого разрыва на интенсивность трещиноватости измеряется величиной порядка 60—70 м.

5.6. Определение предполагаемой ориентировки приразрывных трещин возможно и без полевых измерений параметров трещиноватости, если известны ориентировка плоскости разрыва и направления смещения. Для этого последние наносятся на сетку Шмидта. Через две эти точки проводится меридиан, вдоль которого обычно и группируются системы приразрывных трещин.

5.7. Угол восстания (или погружения) шарнира складки и азимут линии шарнира следует определять путем массовых измерений элементов залегания слоев на крыльях складки. Результаты измерений наносятся на круговую диаграмму (рис. 19). Через полученные точ-

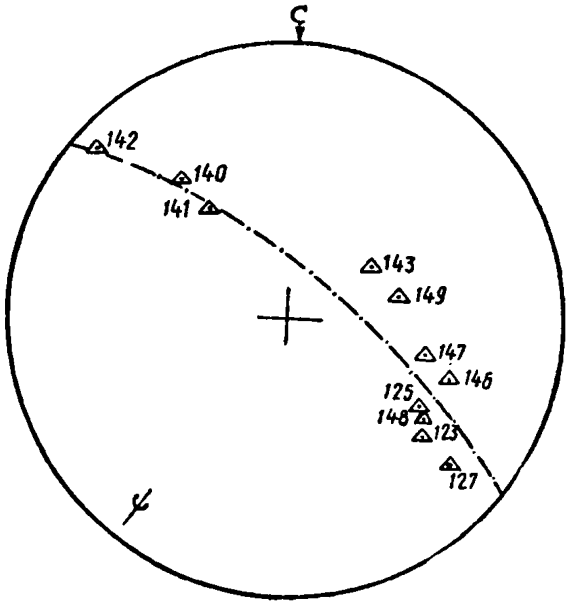


Рис. 19. Определение направления восстания (погружения) шарнира по полюсам крыльев складки. Штрих-пунктирная линия обозначает поверхность, перпендикулярную шарниру складки

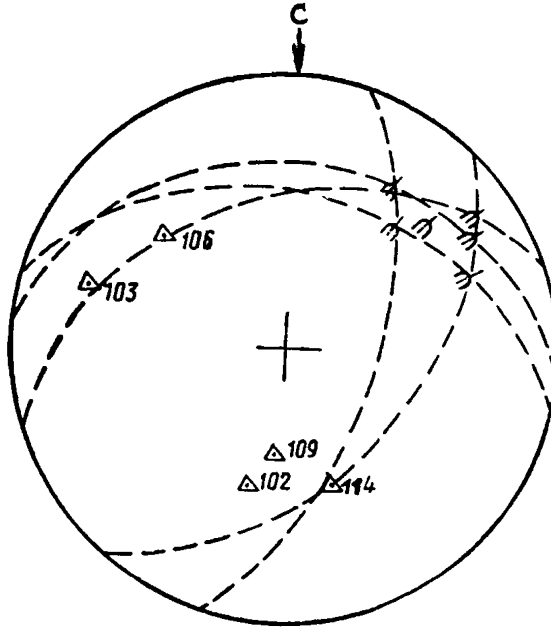


Рис. 20. Определение направления восстания (погружения) шарнира по пересечению на диаграмме дуг, изображающих крылья складки

ки следует провести аппроксимирующую дугу меридиана. Полюс, соответствующий этой дуге, показывает угол и азимут восстания шарнира складки. Для нахождения положения шарнира другим способом следует провести на диаграмме дуги больших кругов, изображающие ориентировку слоистости на крыльях складки в точках, где проведены измерения (рис. 20). Пересечение полученных дуг, относящихся к противоположным крыльям, указывает угол наклона и азимут восстания шарнира. Практически положение шарнира в последнем случае следует искать, как среднее из множества точек.

Пример. На южной оконечности Фарко-Джуруджской синклинали отмечена ундуляция и наблюдается воздымание складки. На участке наблюдений синклиналь сложена нижнемеловыми красноцветами и карбонатными отложениями верхнего мела. Измерения были проведены на одиннадцати станциях: на северо-западном крыле — на станциях № 140, 141 и 142 (элементы залегания 321°∠54°, 322°∠41° и 310°∠82°) и на юго-восточном крыле — на станциях № 123, 125, 127, 143, 146, 147, 148 и 149 (элементы залегания 281°∠54°, 121°∠48°, 129°∠68°, 56°∠30°, 108°∠53°, 102°∠42°, 121°∠40° и 76°∠34° соответственно). Определение угла наклона было выполнено первым из изложенных в п. 5.7 способов (см. рис. 19). Результаты: ось Фарко-Джуруджской синклинали воздымается в юго-западном направлении (азимут 217°) под углом 10° (второй из приведенных в п. 5.7 способов дает угол 15°).

Пример. На участке близ к. Туткаул (Таджикская ССР), где ось антиклинали Джангоу резко погружается, ее крылья сложены акджарскими и бухарскими известняками нижнего палеогена. Измерения были выполнены на пяти станциях: две из них относятся к северо-западному крылу антиклинали (№ 108 и 106), элементы залегания соответственно 285°∠63° и 310°∠50° и три — к юго-восточному крылу (№ 102, 109, 114), элементы залегания 190°∠43°, 180°∠32°, 158°∠45°.

Определение угла погружения шарнира антиклинали было произведено вторым из описанных в п. 5.7 способов (см. рис. 20). Результат: антиклиналь Джангоу погружается в юго-западном направлении (азимут 277°) под углом 29° (в среднем). Другие методы дают величину около 40°.

5.8. Оценка положения шарнира складки, когда доступно для наблюдений лишь одно крыло, производится по пространственному положению систем соскладчатых трещин *I*—*V* (см. рис. 3 и 4). Установлено, что положение каждой из этих систем связано с положением шарнира. Для решения задачи выполняется по 200 замеров ориентировки трещин на нескольких станциях. Для каждой станции строится круговая диаграмма в изолиниях, которые подвергаются следующей обработке:

находят на диаграмме систему *I*, параллельную напластованию;

находят на диаграмме системы *II*—*V* (иногда присутствуют не все из них);

проводят дугу большого круга, соответствующую пересечению плоскости слоя с верхней полусферой; она должна пройти через центры систем *II*—*V*. Пересечение шарнира с координатной сферой на каждой диаграмме отыскивается четырьмя способами (при наличии четырех систем соскладчатых трещин) (рис. 21);

искомая точки совпадает с полюсом системы *II* трещин отрыва, перпендикулярных шарниру;

от полюса системы *IV* следует отсчитать по дуге, изображающей

слой, по часовой стрелке 90°; таким образом определяется вторая точка;

для нахождения третьей точки по той же дуге в том же направлении нужно отсчитать 45° от полюса системы III;

для нахождения четвертой точки по той же дуге в том же направлении нужно отсчитать 135° от полюса системы V.

В силу случайностей, полученные точки не совпадают. Для отыскивания наилучшей оценки ориентировки шарнира найденные точки

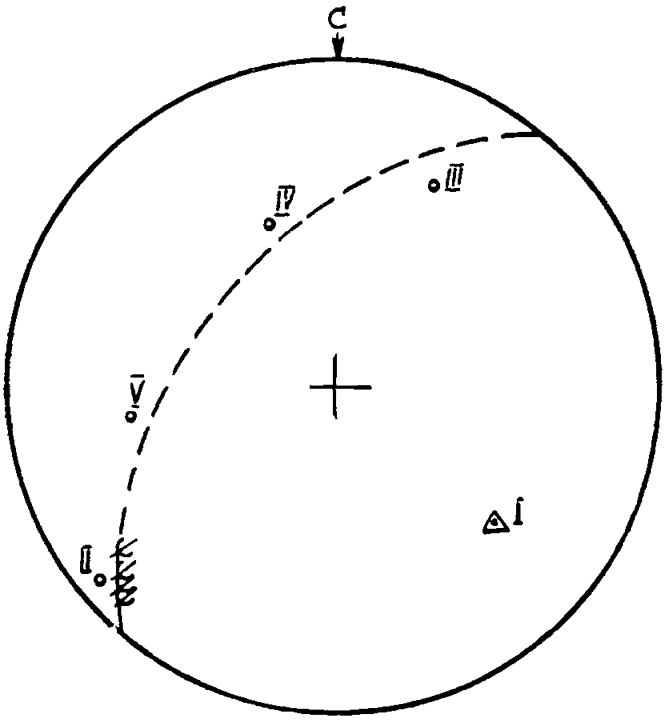


Рис. 21. Определение направления восстания (погружения) шарнира складки по положению основных систем соскладчатых трещин на одном из крыльев

с нескольких диаграмм переносятся на одну сводную, на которой графически находится средний результат.

Пример. Измерения ориентировки трещин в красноцветах юго-восточного крыла Фарко-Джуруджской синклинали уже были использованы при определении угла наклона шарнира складки (см. рис. 19). В данном примере мы взяли ориентировку трещин по сводной диаграмме (тт. 123, 125 и 127, общее число измерений около 600). Выполнение изложенных выше приемов позволило получить положение шарнира по всем системам соскладчатых трещин. Среднее значение пространственной ориентировки шарнира — воздымание под углом 10° в направление на юго-запад (азимут 229°). Совпадение с примером п. 5.7 весьма близкое.

5.9. Положение основных систем трещин на складке без проведения полевых работ оценивается следующим образом. На круговую диаграмму наносится слой в виде точки и в виде линии, а также шарнир складки в виде точки. Центр одной из систем трещин изображается точкой, расположенной на дуге меридиана, представляющего

слой, в минимальном удалении от точки шарнира. Остальные центры систем следует разместить по дуге того же меридиана через 45°. Следует иметь в виду, что не все системы трещин одновременно могут быть встречены в натуре.

5.10. Имея в виду неоднородность сети трещин, следует рассматривать получаемые оценки элементов структуры массива как приблизительные.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Условные обозначения для построения круговых диаграмм трещиноватости



— точка начала отсчета азимутов, «север»

— полюс трещины

— полюс системы трещин

— полюс системы трещин напластования

— полюс пояса оперения разрыва

— полюс поверхности сместителя

— след разрыва на дневной поверхности, изображенный на диаграмме в виде точки

— направление смещения по разрыву

— шарнир складки

— поверхность слоя, изображенная в виде линии

— поверхность сместителя, изображенная в виде линии

— пояс оперения разрыва

— изолинии плотности точек

— поверхность, перпендикулярная шарниру складки

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Общие положения	3
2. Основные понятия и определения	3
3. Полевые и камеральные работы при изучении трещиноватости для инженерно-геологических целей	10
4. Модель сети трещин горных пород для инженерно-геологических целей и оценка свойств горных пород в массиве	22
5. Решение структурных задач на основе модели сети трещин	28
Приложение	36

Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве Госстроя СССР

Рекомендации по изучению трещиноватости горных пород при инженерно-геологических изысканиях для строительства

Редактор издательства С. В. Беликина

Технические редакторы Н Г. Бочкова, Т. В. Кузнецова

Корректоры М. Ф. Казакова, Г. А. Кравченко

Сдано в набор 10.XII. 1973 г. Подписано к печати 30.X.1974 г. Т-14315. Формат 84×108$^{1}/_{32}$ — Бумага типографская № 3. 2,1 усл. печ. л (уч.-изд. 2,43 л.) Тираж 12 000 экз. Изд. № XII-4596. Зак. № 1201. Цена 12 коп.

103777, Москва, Стройиздат, Кузнецкий мост, д. 9

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли Гор Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

gost.e-ecolog.ru