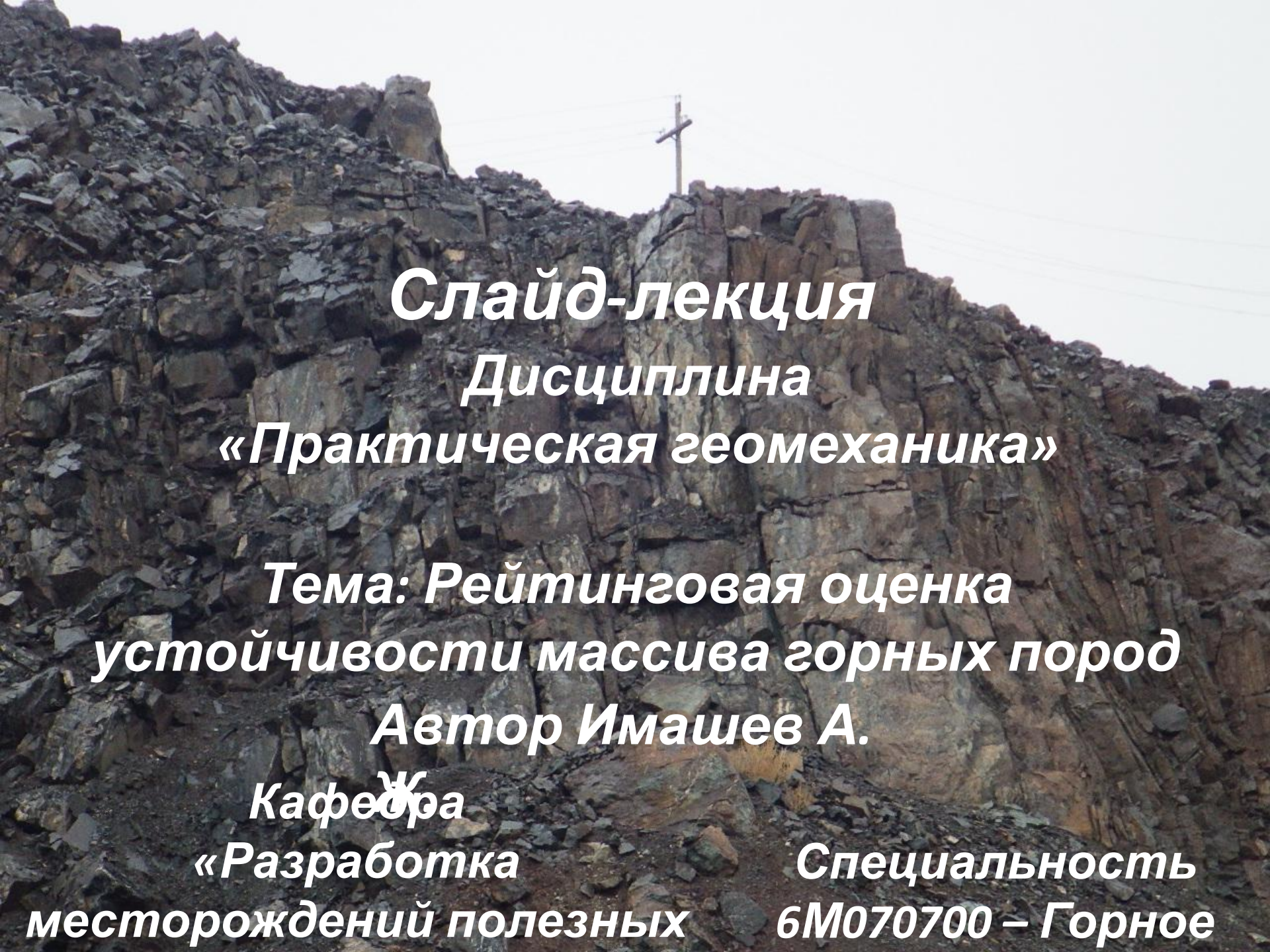


Слайд-лекция

Дисциплина «Практическая геомеханика»

Тема: Рейтинговая оценка устойчивости массива горных пород

Автор Имашев А. Ж.

Кафедра «Разработка месторождений полезных

Специальность 6М070700 – Горное

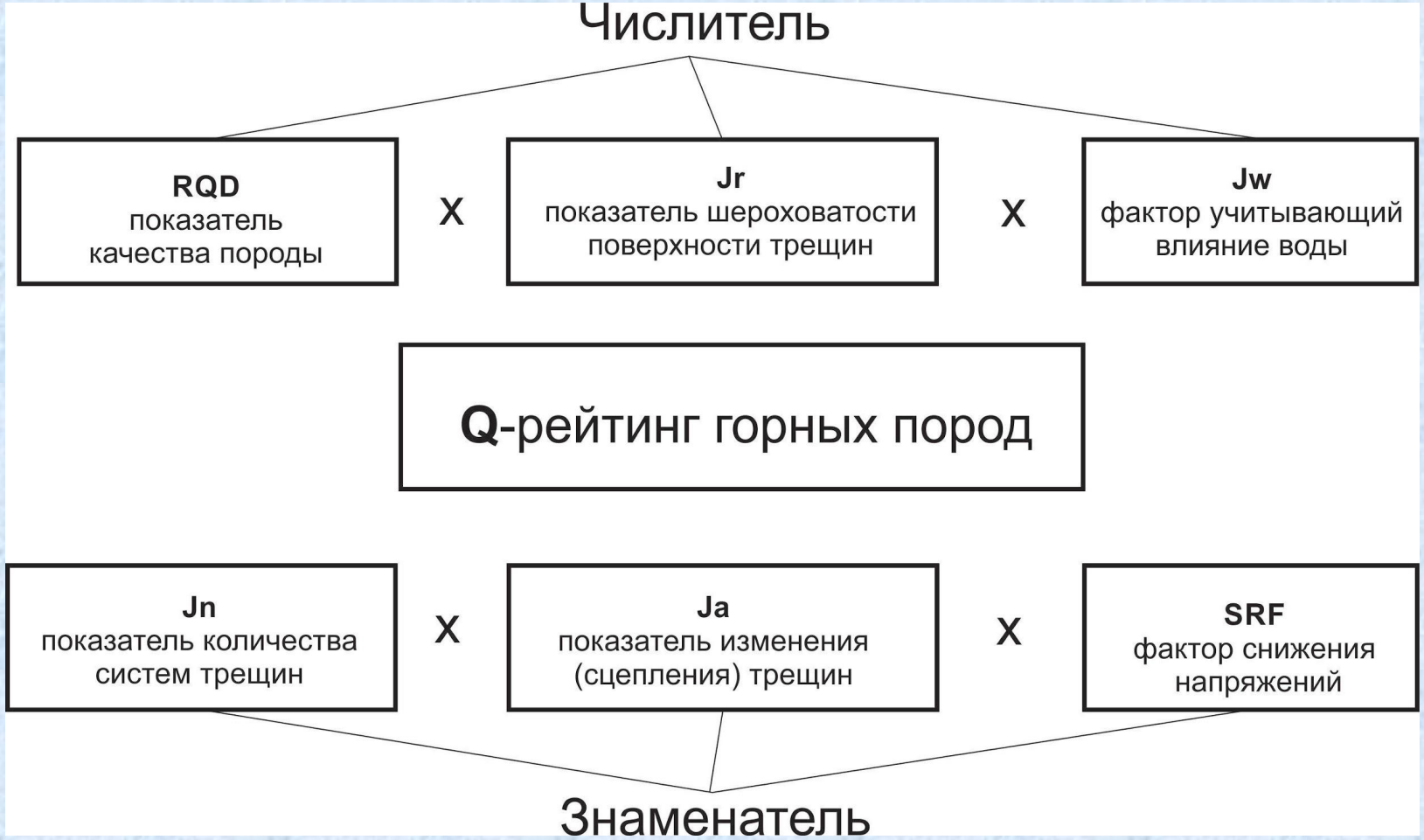
План лекции

1. Классификация устойчивости горных пород по Q-рейтингу;
2. Порядок определения RQD;
3. Порядок определения J_n – показателя количества систем трещин;
4. Порядок определения J_r - показателя шероховатости поверхности трещин;
5. Порядок определения J_a – показателя степени изменения (сцепления) трещин;
6. Порядок определения показателя влияния воды J_w;
7. Порядок определения показателя релаксации напряжений SRF;
8. Выбор формы и размеров сечений выработок;
9. Выбор типа и параметров крепи горных выработок на основании рейтинговой оценки массива;
10. Крепление горно-капитальных выработок;

Контрольные вопросы;

Список литературы.

Классификация устойчивости горных пород по Q-рейтингу



Сотрудниками Норвежского геотехнического института Бартоном, Лиеном и Люндом была разработана классификация качества массива горных пород, которая называется Q-система или NGI.

Классификация устойчивости горных пород по Q-рейтингу

Отношение RQD/ J_n представляет собой строение массива и является приближенным значением размера блока, с двумя экстремальными значениями 100/0,5 и 10/20. Большие блоки должны быть в несколько раз больше среднего размера блока, а более мелкие фракции – составляют менее половины этого блока, глинистые фракции не рассматриваются.

Отношение J_r/J_a– прочность на сдвиг вдоль поверхности трещин, представляет характеристики шероховатости стенок трещин и материала, заполняющего трещины и их фрикционные свойства. Это отношение имеет наиболее благоприятное значение при шероховатых поверхностях трещин, трещинах с низкой степенью выветривания по направлению вдоль контакта.

Отношение J_w / SRF – активный коэффициент напряженного состояния. Параметр J_w представляет собой параметр давления грунтовых вод, которое снижает прочность породы на срез, из-за снижения нормальной составляющей давления. К тому же подземные воды могут привести к эффекту размягчения породы и возможности вымывания глинистых частиц из трещин. Параметр фактор снижения напряжений SRF – это параметр, указывающий уменьшение нагрузки.

Классификация устойчивости горных пород по Q-рейтингу

Классификация массива горных пород по устойчивости относительно интервалов Q-рейтингов

Категория горного массива по Q рейтингу	Значение Q-рейтинга	Степень устойчивости горного массива
1	2	3
G	0,001-0,01	Исключительно слабый
F	0,01-0,1	Весьма слабый
E	0,1-1,0	Очень слабый
D	1-4	Слабый
C	4-10	Средний
B	10-40	Крепкий
A3	40-100	Очень крепкий
A2	100-400	Весьма крепкий
A1	400-1000	Исключительно крепкий

Порядок определения RQD

RQD – Показатель качества породы (Rock Quality Designation). отношение общей длины сохранных кусков керна длиной более 10 см (или два диаметра керна) к длине пробуренного интервала в скважине [1]. Используя значения RQD выделяют пять классов горных пород (A-E).

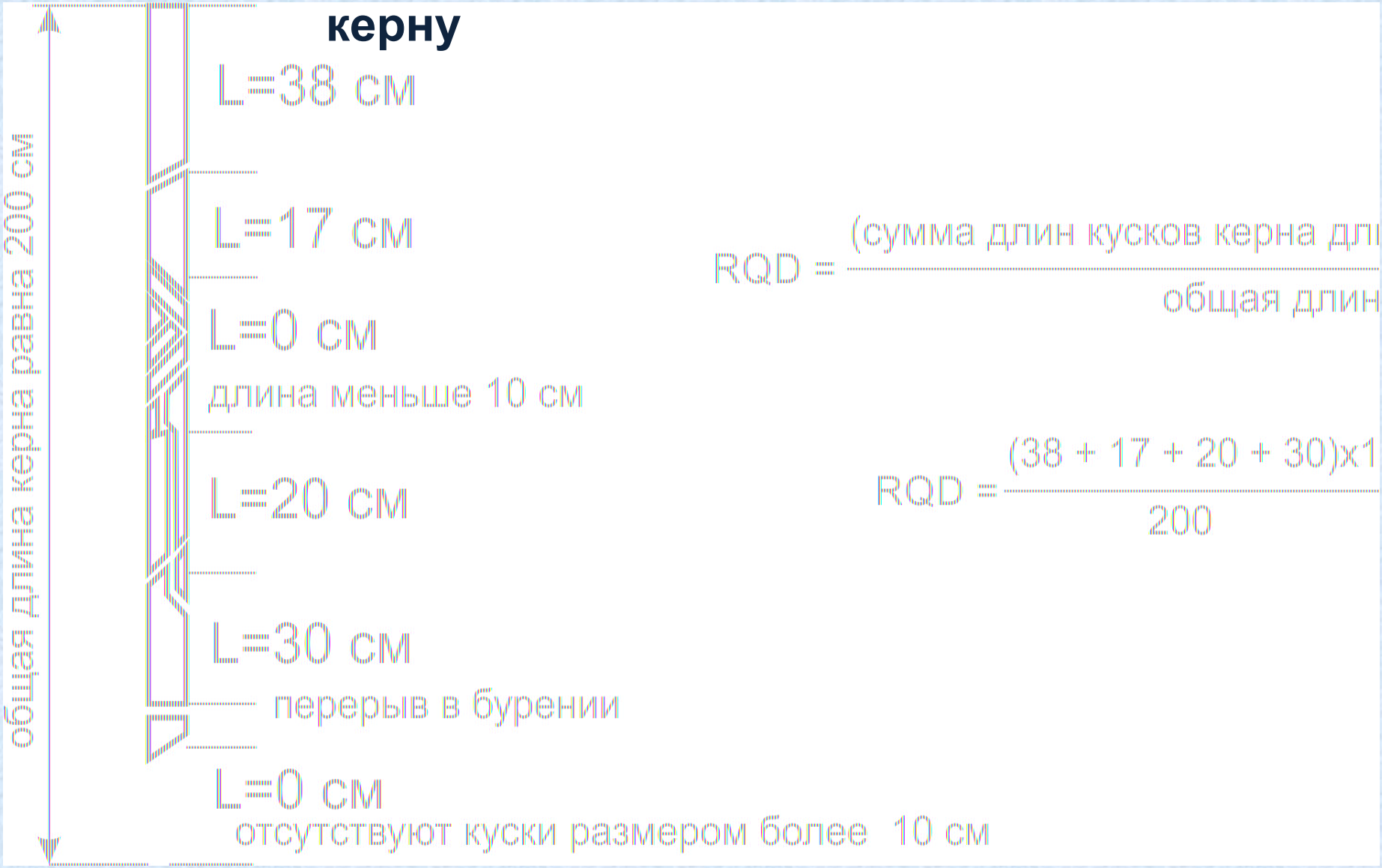
RQD имеет значения от 0 до 100. При RQD = 0, значение Q рейтинга также равен 0, поэтому при расчетах все значения RQD от 0 до 10 округляют до 10. При расчетах округление значений до 5, например, 100, 95, 90 и т.д., дают достаточную точность.

RQD и объемная трещиноватость массива

Классы	Описание состояния массива	Количество трещин на м3	RQD
A	Весьма слабый	> 27	0-25
B	Слабый	20-27	25-50
C	Среднее	13-19	50-75
D	Хорошее	8-12	75-90
E	Отличное	0-7	90-100

Порядок определения RQD

Схема определения RQD по керну



Порядок определения RQD

Схема определения RQD в выработках

$$RQD = \frac{16 + 17 + 16 + 18 + 16 + 14 + 14 + 11}{200} \times 100 = 61\%$$

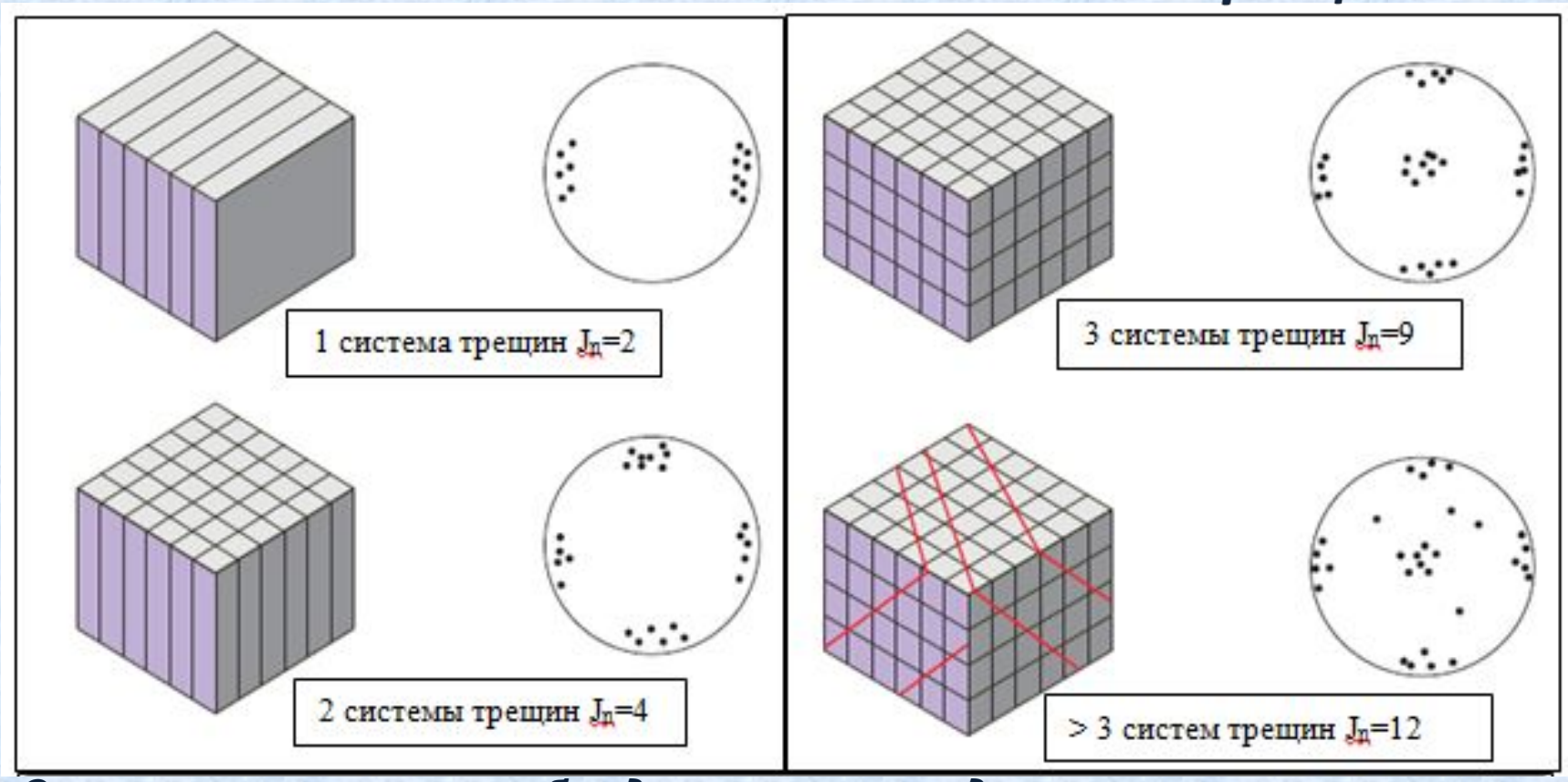
Порядок определения J_n – показателя количества систем трещин

J_n (Joint set number) – показатель количества систем трещин определяет блочность массива горных пород. Обычно на отдельных участках выделяют 2-4 системы трещин.

Под системой трещин понимается группа трещин, которые в определенном объеме породы имеют близкую пространственную ориентировку. Множество трещин развивающиеся в той или иной степени в массиве горных пород, образуют сеть трещин или трещиноватость (обычно не превышает трех систем трещин). Трещины не относящиеся ни к одной системе трещин классифицируются, как + одиночные трещины.

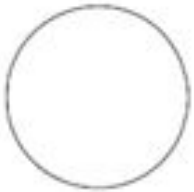
Показатель числа систем трещин		J_n
A	Монолит, трещин мало или совсем нет	0,5-1,0
B	Одна система трещин	2
C	Одна система трещин плюс одна произвольная беспорядочная (случайная) трещина	3
D	Две системы трещин	4
E	Две системы трещин плюс беспорядочная (случайная) трещина	6
F	Три системы трещин	9
G	Три системы трещин плюс беспорядочная (случайная) трещина	12
H	Четыре и более систем трещин, случайная, сильнотрещиноватые, сахарный кубик и т.д.	15
J	Дробленая порода (щебень), сильно нарушенный перемятый	20

Порядок определения J_n – показателя количества систем трещин



Съемку трещин необходимо производить горным компасом. Трещины, длиной менее 1 м в описание не берутся. Замеренные углы и азимуты падения трещин наносятся на полярную диаграмму трещиноватости. Одна трещина обозначается на диаграмме точкой. По сгущению точек на диаграмме трещиноватости выделяют системы трещин – совокупность примерно параллельных трещин. Далее по количеству систем трещин принимается показатель Jn.

Порядок определения J_n – показателя количества систем трещин

Количество систем трещин		Jn			Количество систем трещин
Неповрежденная порода, нет трещин		0.5	1		Несколько случайных трещин
1 система трещин		2	3		1 система трещин + случайная трещина
2 системы трещин		4	6		2 системы трещин + случайная трещина
3 системы трещин		9	12		3 системы трещин + случайная трещина
> 4 систем трещин сильнотрещиноватый		15	20		Дробленная порода

Порядок определения J_r- показателя шероховатости поверхности трещин

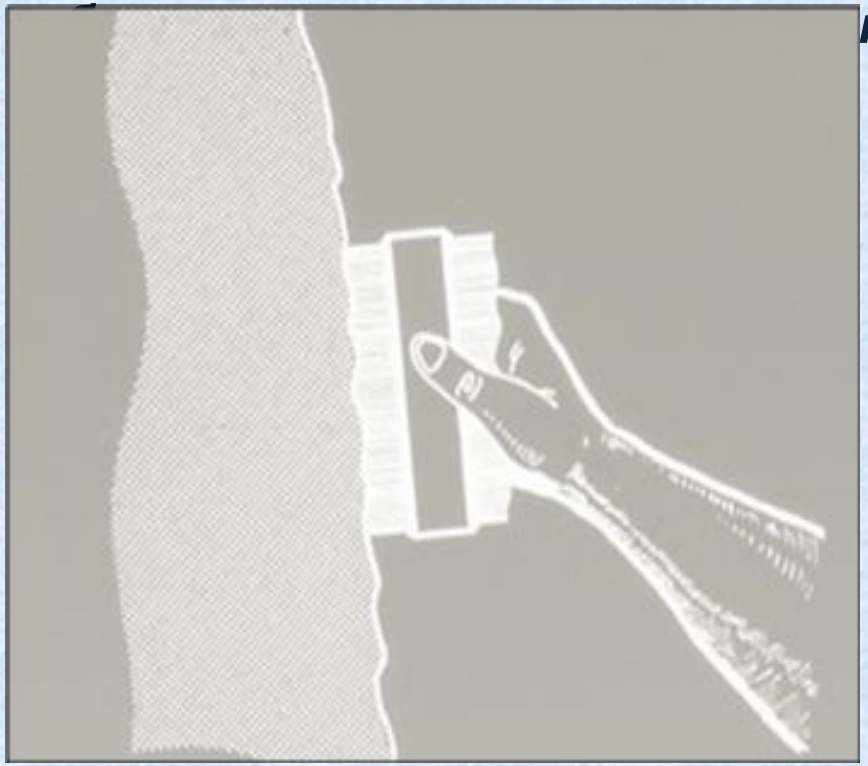
Трение по поверхности трещин зависит от природы поверхностей трещин, если она волнистая, плоская, гладкая или шероховатая.

Термины – шероховатая, гладкая и зеркало скольжения относятся к малым трещинам в масштабе: сантиметрах или миллиметрах. Это можно оценить путем запуска пальца вдоль трещины; небольшой масштаб шероховатости будет ощущаться.

	Показатель шероховатости трещины	J_r
а) Контакт «порода –стенка», при сдвиге менее 10 см		
A	Прерывистые, разрывные трещины	4
B	Шероховатые или нерегулярные, волнистые	3
C	Гладкие, волнистые	1
D	Волнистые с плоскостями скольжения	1,5
E	Шероховатые или нерегулярные, плоские	1,5
F	Гладкие, плоские	1,0
G	С полированными берегами, с плоскостями скольжения	0,5
б) Отсутствие контакта «порода - стенка», толстое заполнение если имеет место сдвиг		
G	Зона содержащая глинистые минералы толщиной достаточной для предотвращения контакта «порода-стенка»	1,0
H	Песчаная, гравелистая или дробленая зона	1,0

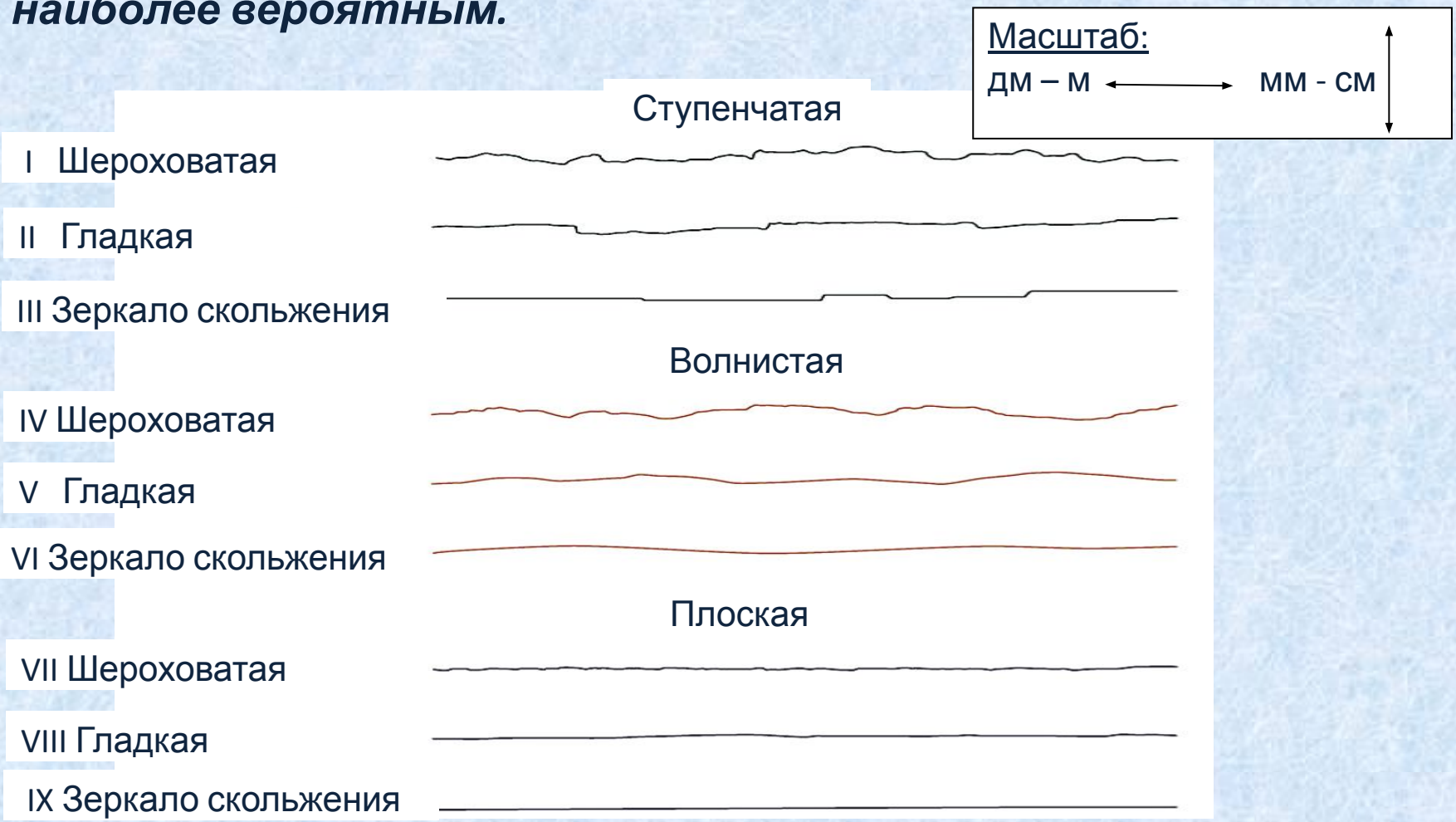
Порядок определения J_r-показателя шероховатости поверхности трещин

Крупномасштабная шероховатость измеряется от масштаба: дециметра к метру и измеряется путем укладки метровой линейки на поверхность трещины для определения амплитуды большого масштаба шероховатости. Термины ступенчатая, волнистая и плоская используются для крупномасштабной шероховатости. Масштабность шероховатости должна быть рассмотрена в связи с размером на



Порядок определения J_r- показателя шероховатости поверхности трещин

При расчете Q-значения, Jr - значение выбирается для самой неблагоприятной системы трещин, где сдвиг является наиболее вероятным.



Порядок определения J_r- показателя шероховатости поверхности трещин

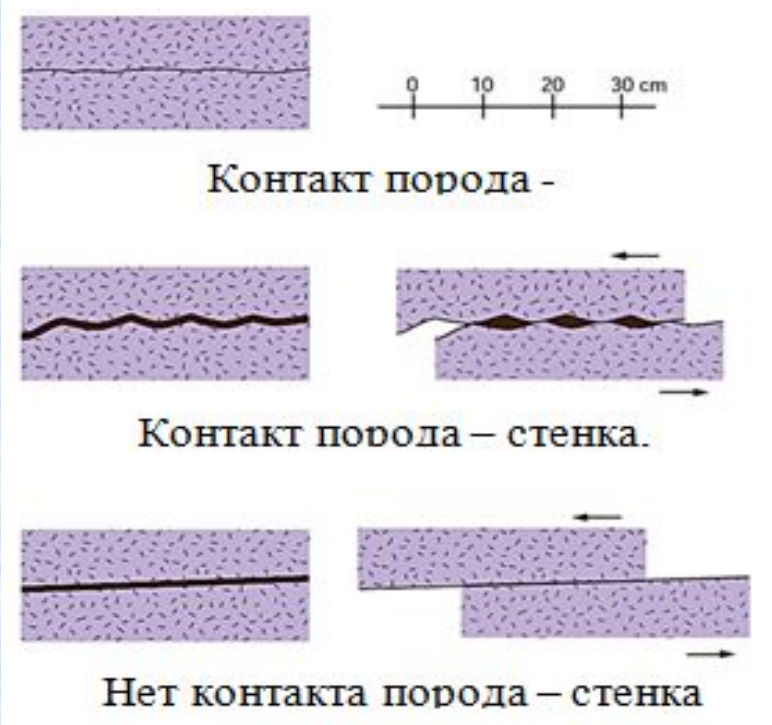
	Крупный масштаб:	Плоские	Волнистые	Прерывистые
Небольшой масштаб:	Jr (Critical Set)			
Поверхность скольжения		0.5	1.5	2.0
Гладкая поверхность		1.0	2.0	3.0
Шероховатая поверхность		1.5	3.0	4.0
Заполненная трещина, нет контакта со стенкой		1.0	1.0	1.5

Порядок определения J_a – показателя степени изменения (сцепления) трещин

Показатель степени изменения трещин J_a зависит от двух факторов: толщины заполнителя трещин; прочности заполнителя трещин, которые зависят от минерального состава заполнителя.

При определении степени изменения сцепления трещин заполнитель делится на три категории («a», «b» и «c») основанные на мощности и степени сцепления контактов трещины при сдвиге по контакту.

Для гладких трещин достаточно заполнителя мощностью 1 мм для предотвращения контакта стенок трещин, а для шероховатых и волнистых трещин требуется



Описание	Величина Ja
Поверхность царапается	1,0-1,5
Поверхность царапается ногтем, чувствуется на ощупь скользкая	2,0
Поверхность может быть вдавлена, на ощупь скользкая	4,0

Порядок определения J_a – показателя степени изменения (сцепления) трещин

Показатель степени изменения трещин		$Ø_r$, прибл.	J_a
а) Контакт «порода-стенка» без минерального заполнителя			
A	Плотно залеченное, твердое не ослабляющееся, непроницаемое заполнение, например кварц или эпидот		0,75
B	Неизменные стенки трещин, только пятно на поверхности (изменение цвета)	25-35˚	1,0
C	Слегка изменены стенки трещин. Не ослабляющиеся минеральные покрытия, песчаные частицы, не содержащая глины дезинтегрированная порода и т.д.	25-30˚	2,0
D	Илисто – или песчано-глинистые покрытия, малая доля глины (не ослабляющаяся)	20-25˚	3,0
E	Не ослабляющиеся или с низким трением глинистые минеральные покрытия, например каолинит или слюда. Также хлорит, тальк, гипс, графит и т.д. и малое количество набухающей глины.	8-16˚	4,0

Порядок определения J_a – показателя степени изменения (сцепления)

Показатель степени изменения трещин		$Ø_r$, прибл.	J_a
b. Контакт «порода-стенка», сдвиг до 10 см (тонкое минеральное заполнение)			
F	Песчаные частицы, не содержащая глины дезинтегрированная порода и т.д	25-30˚	4,0
G	Сильно –размягчающиеся переуплотненный не ослабляющийся минеральный заполнитель (непрерывный, но толщиной ‹ 5мм)	16-24˚	6,0
H	Размягчающийся заполнитель на основе глинистых минералов со средней или низкой степенью переуплотнения	12-16˚	8,0
J	Заполнитель из набухающей глины, например монтмориллонита (непрерывный , но толщиной ‹ 5мм). Значение J_a зависит от процентного содержания частиц набухающей глины и доступа воды и т.д	6-12˚	8-12
c. Отсутствие контакта «порода-стенка», если имеет место сдвиг (мощное минеральное заполнение)			
KLM	Зоны или прослойка дезинтегрированной или дробленной породы или глины (см G, H, J для описания состояния глины)	6-24˚	6,0-8,0 или 8,0-12,0
N	Зоны или прослойки илисто или песчано – глинистой, мелкой глинистой фракции (не ослабляющиеся)	-	5,0
OPR	Толстые, непрерывные зоны прослойков глины (смG, H,	6-24˚	10,0-13,0 или

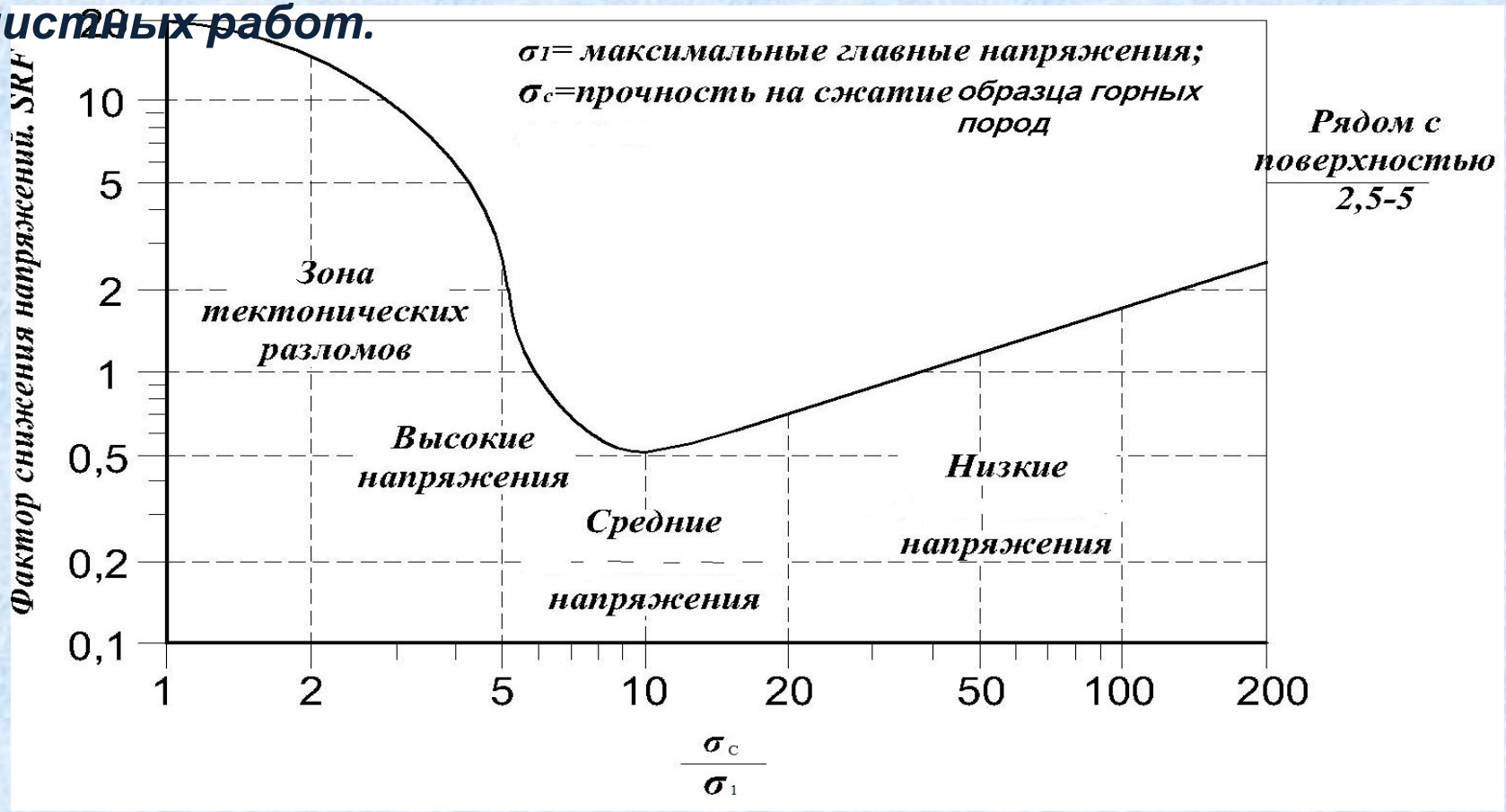
Порядок определения показателя влияния воды J_w

Параметры, подсчитываемые для оценки влияния воды, определяются на базе информации о количестве притока воды или на оценке давления воды. Вода может смягчить или промыть минеральный заполнитель, тем самым уменьшить трение совместных трещин. Давление воды может снизить нормальную составляющую напряжения на стенки трещин и вызвать более легко сдвиг блока. Показатель влияния воды определяется [illegible]

Показатель влияния воды		Прибл. давл. воды (кг/см^2)	J_w
A	Сухая выработка или незначительный водоприток, т.е. местный приток ‹ 5 л / мин	‹ 1	1,0
B	Средний водоприток или давление, эпизодическое вымывание заполнителя трещин.	1,0-2,5	0,66
C	Большой водоприток или высокое давление в крепкой породе с трещинами без заполнения	2,5-10	0,5
D	Большой водоприток или значительное вымывание заполнения трещин	2,5-10	0,33
E	Исключительно высокий водоприток или давление воды при взрывах, ослабевающие значения с течением времени	› 10	0,2-0,1
F	Исключительно высокий водоприток или давление воды, продолжающиеся без заметного ослабления	› 10	0,1-0,05
Примечание: 1) показатели с C по F представляют собой грубые оценки. Увеличить J_w если установлены водосборные измерительные пункты			

Порядок определения показателя релаксации напряжений SRF

Фактор релаксации напряжений создан для подсчета напряжений в горном массиве. Могут быть некоторые трудности в определении величины SRF для подземных горных работ, так как, напряжения, индуцированные горными работами, могут изменяться очень существенно с развитием очистных работ.



Порядок определения показателя релаксации напряжений SRF

SRF рассчитывается по описательной шкале напряжений от ограниченно низких к средним и высоким напряженным состояниям. Отношение прочности на одноосное сжатие (UCS) к максимальному главному напряжению, возникающему вокруг выработки может быть также использован для оценки SRF .

На этапе проектирования горных выработок ожидаемые значения SRF могут быть приняты на основании опыта ранее проведенных выработок, либо по значениям определенным для разрабатываемого района.

При определении SRF в первую очередь следует определить категорию напряженно-деформированного состояния массива. Различают следующие категории напряженно-деформированного состояния по Бартону:

а) Выработка пересекает зону ослабленных пород

б) Крепкие горные породы, проявляющие неустойчивость при высоких или низких напряжениях.

в) Слабые горные породы, склонные к пластическим деформациям под влиянием умеренных и высоких напряжениях.

г) Горные породы, склонные к набуханию, набухание за счет

Порядок определения показателя релаксации напряжений SRF

Показатель релаксации напряжений		SRF
а) зоны неустойчивости (ослабления), пересекающие выработку, которые могут привести к ослаблению массива пород при проходке туннеля		
A	Многочисленные зоны ослабления, содержащие глину или химически дезинтегрированную породу (серитизация, хлоритизация), сильно-разрыхленные вмещающие породы (любая глина)	10
B	Одиночные зоны ослабления, содержащие глину или химически дезинтегрированную (серитизация, хлоритизация) породу (глубина выработки ‹ 50 м)	5
C	Одиночные зоны ослабления, содержащие глину или химически дезинтегрированную (серитизация, хлоритизация) породу (глубина выработки ›50 м)	2,5
D	Множественные зоны сдвига в крепкой породе (не содержат глины), разрыхленные вмещающие породы (глубина любая)	7,5
E	Одиночные сдвиговые зоны в крепкой породе (не содержат глины) (глубина выработки ‹ 50 м)	5,0
F	Одиночные сдвиговые зоны в крепкой породе (не содержат глины) (глубина выработки ›50 м)	2,5
G	Разрыхленная, открытые трещины, сильно-трещиноватая или «сахарный кубик» и т.д. глубина любая	5,0
Примечание : 1) уменьшить эти значения SRF на 20-25%, если значимые сдвиговые только оказывают влияние		

Порядок определения показателя релаксации напряжений SRF

Показатель релаксации напряжений		SRF	
б) крепкая порода, проблемы с напряженным состоянием		σ_c/σ_1	SRF
H	Низкие напряжения, близко поверхность, открытые трещины	›200	2.5
J	Средние напряжения, благоприятное напряженное состояние	200-10	1.0
K	Высокие напряжения, очень плохая структура. Обычно благоприятно для устойчивости, может быть неблагоприятно для устойчивости стенок	10-5	2,0
L	Умеренное отслаивание, горный удар (шелушение) по прошествии › 1 часа в плотной породе	5-3	25-50
M	Отслаивание и внезапное обрушение (горный удар) после нескольких минут в плотной породе	3-2	50-200
N	Сильный горный удар и немедленные динамические деформации в плотной породе	‹2	200-400
в) Выжимание, поддувание, выпор, осадка породы: пластическое течение некрепкой породы под влиянием высокого горного давления.			
O	Небольшое сжимающее давление в массиве	1-5	5-10
P	Высокое сжимающее давление в массиве	›5	10-20
г) набухающая порода: действие химического набухания, зависящее от присутствия воды			
R	Небольшое набухание в массиве	5-10	
S	Высокое набухание в массиве	10-15	

Выбор формы и размеров сечений

Категория массив горных пород	Рекомендуемые формы сечения выработок
G	Круглая, подковообразная
F	Подковообразная, круглая
E	Прямоугольно-сводчатая, подковообразная круглая
D	Прямоугольно-сводчатая, подковообразная, круглая, сводчатая с наклонными стенками на выработку, подковообразная трехцентровая
C	Прямоугольно-сводчатая, подковообразная, круглая,сводчатая с наклонными стенками на выработку, трапециевидная, подковообразная трехцентровая
B	Прямоугольная с закруглениями в плечах, прямоугольно-сводчатая, подковообразная, круглая, сводчатая, сводчатая с наклонными стенками на выработку,трапециевидная, подковообразная трехцентровая
A3	Прямоугольная,прямоугольная с закруглениями в плечах, Прямоугольно-сводчатая, подковообразная,круглая, сводчатая, сводчатая с наклонными стенками на выработку, трапециевидная, подковообразная трехцентровая
A2	Прямоугольная, Прямоугольная с закруглениями в плечах, Прямоугольно-сводчатая, подковообразная,круглая, сводчатая, сводчатая с наклонными стенками на выработку,

Выбор типа и параметров крепи горных выработок на основании рейтинговой оценки массива

Параметры крепи выбираются исходя из показателя Пролет/ESR, которые зависят от типа выработки, где «Пролет» - пролет выработки, ESR - коэффициент типа выработки.

Значение ESR

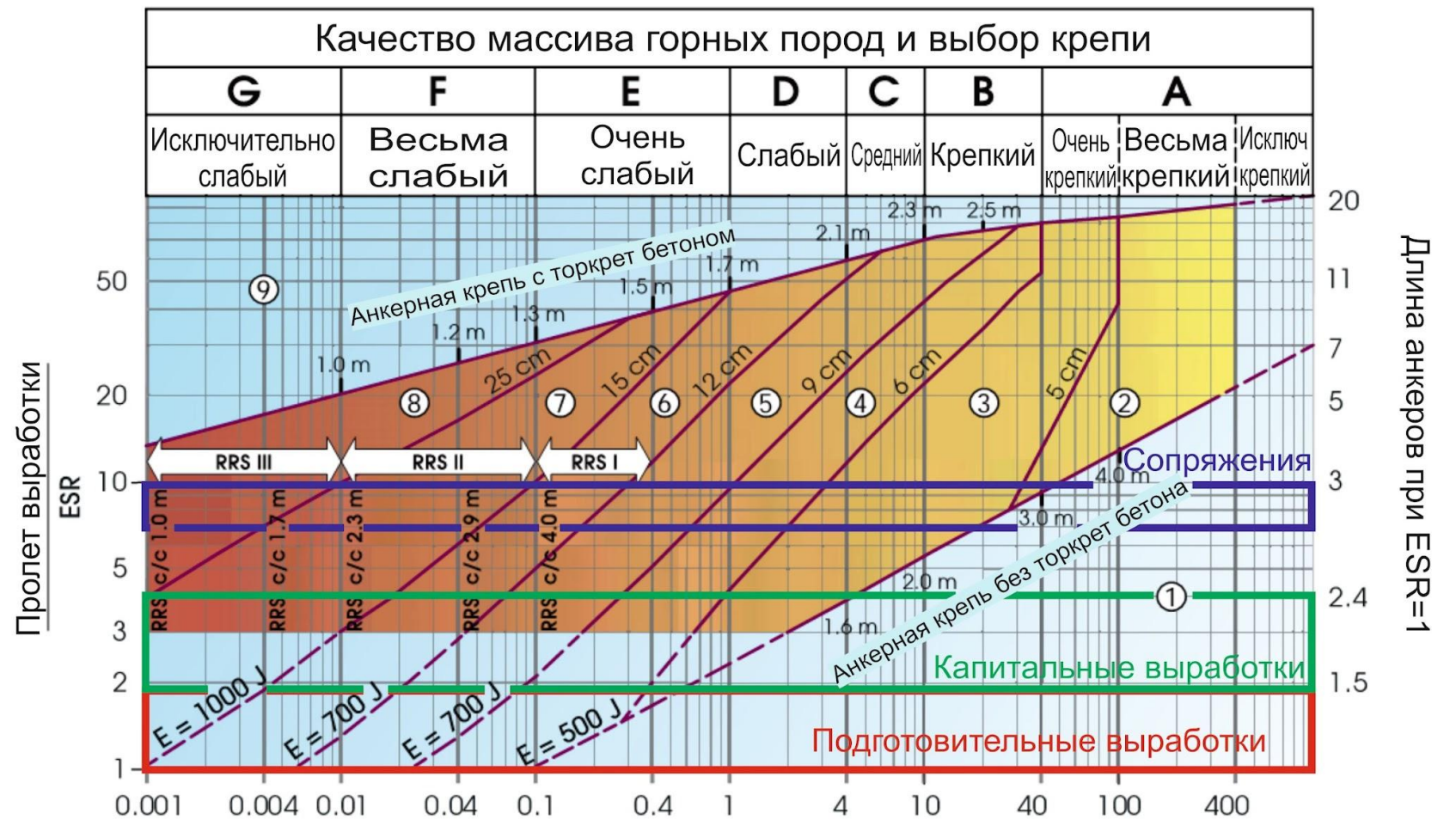
№	Тип выработки	ESR
1	Подготовительные выработки и т.д.	3-5
2	Вертикальные выработки А) круглого сечения Б) прямоугольного/квадратного сечения	 2,5 2,0
3	Капитальные горные выработки, дренажные выработки	1,6
4	Подходные выработки	1,3
5	Подземные склады, водоочистные сооружения, порталы, сопряжения и т.д.	1,0

Показатель (Пролет/ESR) для подготовительных выработок принимается в пределах 1,27 – 1,96, в зависимости от ширины выработки

Показатель (Пролет/ESR) для капитальных выработок принимается в пределах 1,97 – 3,71 в зависимости от ширины выработки.

Показатель (Пролет/ESR) для сопряжений принимается в

Выбор типа и параметров крепи горных выработок на основании рейтинговой оценки массива



Крепление горно-капитальных выработок

Параметры анкерной и торкретбетонной крепи

Значения длины анкеров в зависимости от ширины выработки

Ширина выработки, м		4	4,5	5	5,5	6	8
$l_{анк}$, м	более 2 систем трещин	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	2
	2 и менее систем трещин	1	1,1	1,25	1,4	1,5	2

Количество анкеров на 1 м^2 и расстояние между анкерами

	G			F		E	D		C					B
Q	0,001	0,004	0,01	0,04	0,10	0,40	1	4	5	6	7	8	9	10
$n_{анк}$	2,41	2,09	1,88	1,57	1,36	1,05	0,84	0,52	0,47	0,43	0,40	0,37	0,34	0,32
$d_{анк}$	0,65	0,7	0,75	0,80	0,85	1,0	1,1	1,4	1,5	1,5	1,6	1,65	1,70	1,8

Толщина торкрет бетонной крепи для капитальных горных выр

	G	F		E	D	C
Q	0,001	0,02	0,07	0,3	1	4
$m_{торкрет}$	>25	15	12	9	6	5

Крепление горно-капитальных выработок

Параметры армокаркасной крепи

Выбор конструкции армокаркасной крепи в зависимости от Q рейтинга

Q рейтинг	Конструкция армокаркаса	
G	Решетчатый сборный армокаркас 4 арматуры	Армокаркас RRS III
F	Решетчатый сборный армокаркас 3 арматуры	Армокаркас RRS II
E	-	Армокаркас RRS I

Расстояние между ребрами усиления при армокаркасной крепи в зависимости от значения Q рейтинга

Q рейтинг	G		F		E	
	0,001	0,004	0,01	0,04	0,1	0,4
Расстояние между ребрами, м	1	1,7	2,3	2,9	4	4

Крепление горно-капитальных выработок

Параметры армокаркасной крепи

Конструкции армокаркасной крепи

Тип армокар-каса	Пролет вырабо т-ки	Количес-тво рядов арматур	Толщ и-на торк-рет бето-на, см	Коли-чество арматур первого / второго ряда	Диаметр арматур ы, мм	Сборная армокаркасная конструкция:	
RRSI	5	-	-	-	-	4 арматуры диаметро м 20-40 мм, синусои-дальные арматуры 10-12 мм	3 арматуры диаметром 20-40 мм, синусои-дальные арматуры 16 мм
	10	1	30	6	16 - 20		
	20	2	40	6	16 - 20		
RRSII	5	1	35	6	16 - 20		
	10	2	45	6/2	16 - 20		
	20	2	55	6/4	20		
RRSIII	5	1	40	6	16 - 20		
	10	2	55	6/4	20		
	20	2	70	6/6	20		

Контрольные вопросы

1. ***История развития рейтинговых классификации массива горных пород;***
2. ***Классификация массива пород по Терцаги, Протодьяконову, Булычева;***
3. ***Определение индекса качество пород RQD по Диру в условиях рудника Ушкатын-3;***
4. ***Определение индекса качество пород RQD по Диру в условиях рудника Артемьевский;***
5. ***Определение индекса качество пород RQD по Диру в условиях рудника Нурказган;***
6. ***Рейтинг горных пород Q или NGI по Бартону в условиях рудника Укатын-3;***
7. ***Рейтинг горных пород Q или NGI по Бартону в условиях рудника Артемьевский;***
8. ***Рейтинг горных пород Q или NGI по Бартону в условиях рудника Нурказган.***

Список литературы

1. Singh, B., Goel, R. Rock Mass Classification – Published in the Netherlands: Elsevier, 1999. – 267 p.
2. Зенько Д.К., Узбекова А.Р. Основные факторы влияющие на устойчивость массивов в критериях Бенявского RMR и Бартона Q // ГИАБ. Семинар 13, 2004. – с. 273-275.
3. Hudson J.A. Comprehensive Rock Engineering. Vol.4 Excavation, support and monitoring.GreatBritain.PergamonPress.1993, - 820 p.
4. Hoek, E. andBrown, E.T. Practical Estimation of Rock Mass Strength, Int. Jr. RockMech. andMin. Sci., Pergamon, Vol. 34, No. 8, 1997. – pp. 1165-1186.
5. Deere, D. U. Geological Considerations, Rock Mechanics in Engineering Practice, ed. R. G. Stagg and D. C. Zienkiewicz, Wiley, New York, 1968. – pp. 1-20.
6. Макаров А.Б. Практическаягеомеханика. Пособие для горных инженеров. – М.: Издательство «Горная книга», 2006. – 391 с.
7. Кузмин Е.В., Узбекова А.Р. Рейтинговые классификации массивов горных пород и их практическое применение // ГИАБ.Семинар 13, 2004. – с. 181-185.
8. Barton, N., Lien, R., and Lunde, J. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, Rock Mechanics, Springer-Verlag, Vo.6, 1974. – pp. 189-236.
9. Grimstad, E. and Barton, N. Updating of the Q-system for NMT, Int. Symposium on Sprayed Concrete - Modern use of wet mix sprayed concrete for underground support, Fagemes. 1993.
10. Barton, N., Løset, F., Lien, R. and Lunde, J. Application of the Q-system in design decisions. 1980.