

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

3. Свойства трещиноватых массивов

Presenter: Александр Макаров

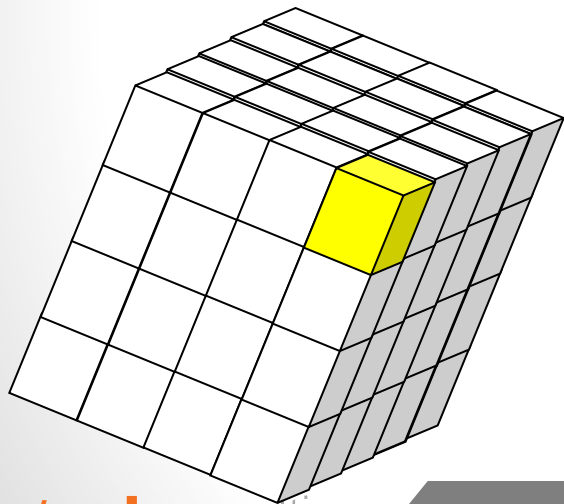
Location: Moscow 2023



- **МАССИВ НЕОДНОРОДЕН**, состоит из разных типов пород и руд. Поэтому в разных точках массива - разные свойства.
- **МАССИВ НАРУШЕН** на разных структурных уровнях:
 - микротрещины;
 - трещиноватость;
 - тектонические нарушения разных масштабных уровней.
- **МАССИВ обладает**
 - упругостью (деформируется при нагружении),
 - прочностью (сопротивляется разрушению).

<i>реально</i>	<i>модель</i>
<i>трещиноватый массив с несколькими системами трещин</i>	<i>сплошной массив с эквивалентными свойствами</i>

необходим переход от прочностные и деформационные свойств пород в образцах (intact) к свойствам трещиноватого массива (Rock Mass)



$$E_o \rightarrow E_m$$

$$\sigma_o \rightarrow \sigma_m$$

$$E_o \gg E_m$$

$$\sigma_o \gg \sigma_m$$



*Dr. Leopold Muller
1908-1988
First President
of the ISRM
1962 - 1966*



$$E_o \rightarrow E_M \quad \sigma_o \rightarrow \sigma_M$$
$$E_o \gg E_M \quad \sigma_o \gg \sigma_M$$

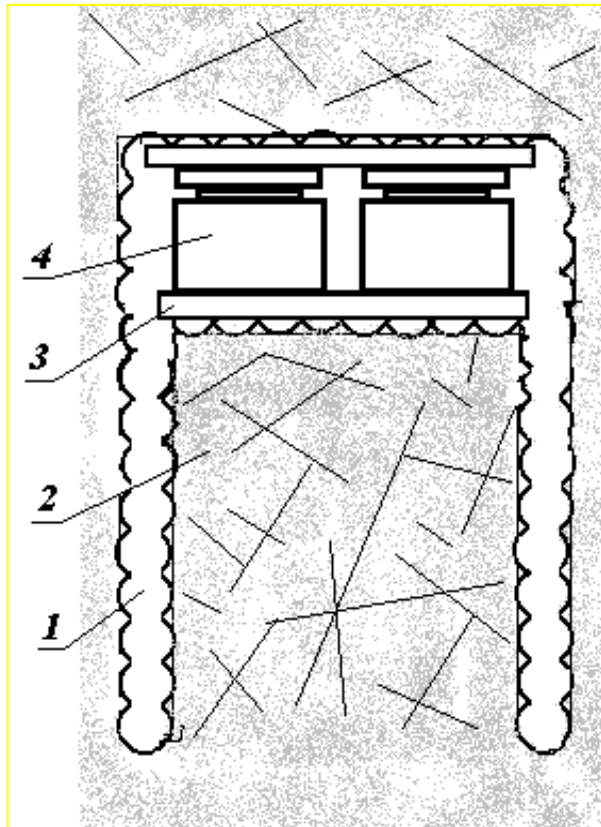


Методы определения свойств трещиноватого массива (Rock Mass Properties):

- *натурные испытания (in situ test)*
- *экспертные оценки (рейтинговые системы RMR, Q)*
- *расчеты свойств массива (коэффициенты структурного ослабления, GSI в критерии H-B)*
- *обратные расчеты по фактам проявления горного давления (back analyze)*

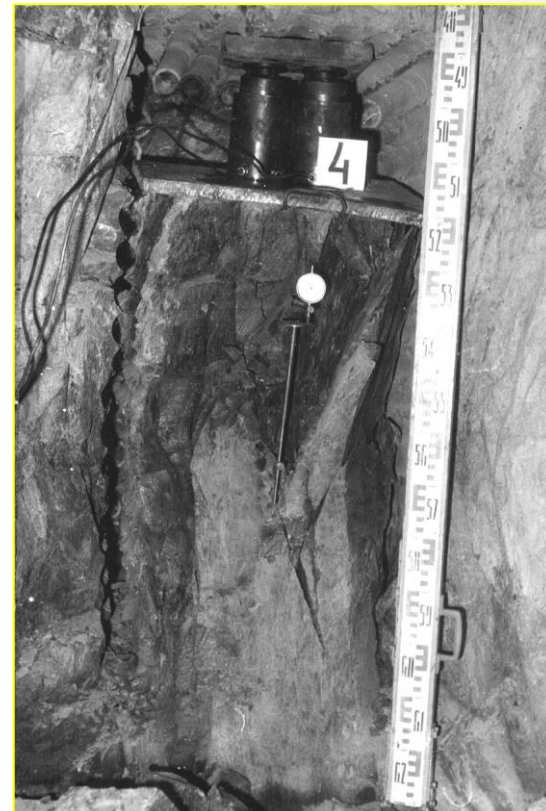
● *Натурные испытания трещиноватого массива на сжатие*

- 1 – строчка скважин;*
- 2 – испытуемый блок;*
- 3 – опорные плиты;*
- 4 – гидродомкраты*



● *Натурные испытания трещиноватого массива на сжатие*

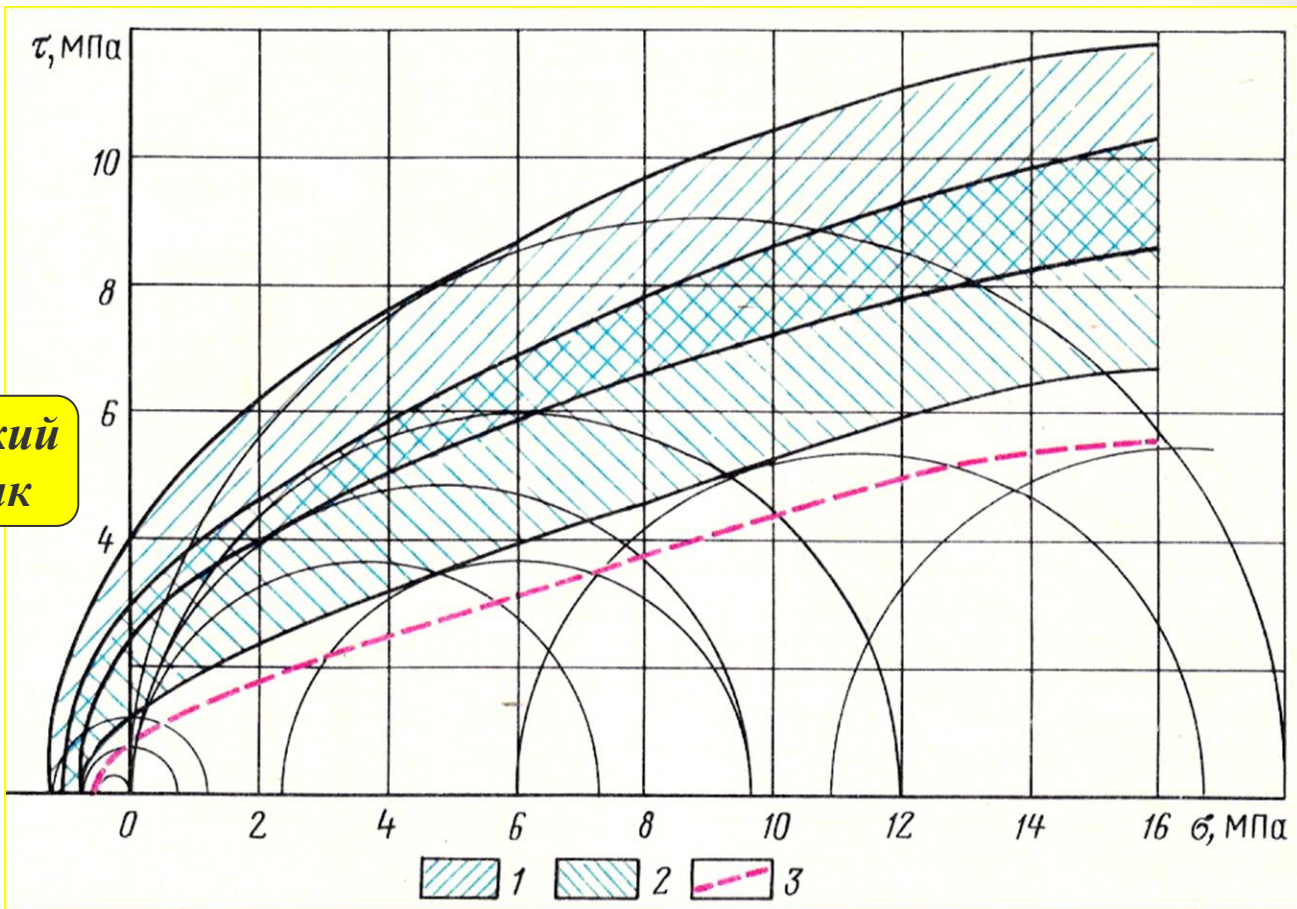
*рудник
Матросова*



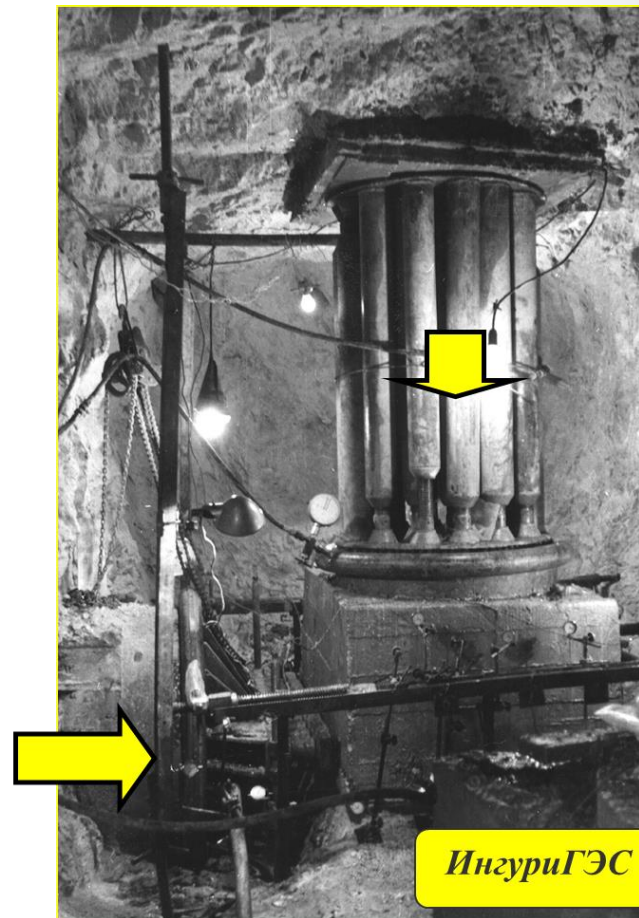
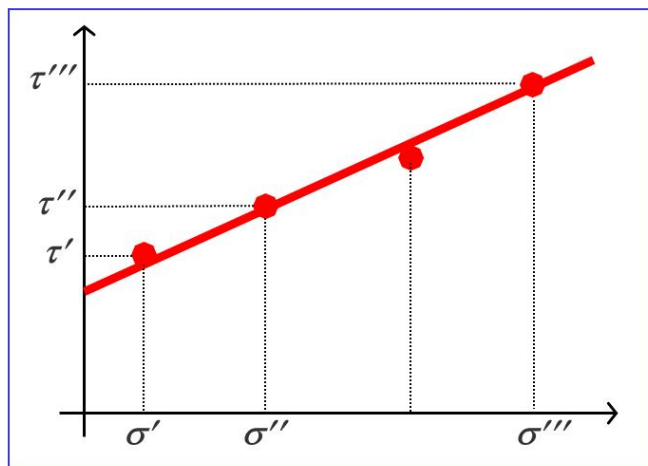
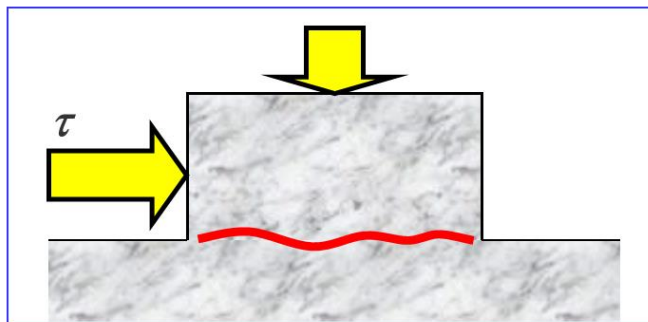
● *Натурные испытания трещиноватого массива на сжатие*

Урупский рудник

кремнистые сланцы:
1 - сплошные;
2 – рассланцованные;
3 – поверхности ослабления



● *Натурные испытания массива на сдвиг*



ИнгуриГЭС

● *Натурные испытания массива на сдвиг*



*карьер
Чиганак*

● *Натурные испытания массива на сдвиг*



*карьер
Чиганак*

Rock Mass Rating (RMR)

Z.T. Bieniawski

Параметр	Интервалы значений						
	> 250 МПа	100+250 МПа	50+100 МПа	25+50 МПа	5+25 МПа	1+5 МПа	< 1 МПа
A1. Прочность породы на одноосное сжатие							
Рейтинг J_{A1}	15	12	7	4	2	1	0
A2. Качество массива по выходу керна RQD	90% + 100%	75% + 90%	50% + 75%	25% + 50%	< 25%		
Рейтинг J_{A2}	20	17	13	8	3		
A3. Расстояния между трещинами	> 2 м	0.6 – 2м	200 - 600 мм	60 - 200мм	< 60 мм		
Рейтинг J_{A3}	20	15	10	8	5		
A4. Характеристика трещин							
A4.1. Шероховатость трещин	Очень шероховатые	Слегка шероховатые	Слегка шероховатые	Гладкие поверхности	Следы скольжения		
Рейтинг J_{A41}	6	5	3	1	0		
A4.2. Длина трещин	< 1 м	1+3 м	3+10 м	10+20 м	> 20 м		
Рейтинг J_{A42}	6	4	2	1	0		
A4.3. Раскрытие трещин	Нет	< 0,1 мм	0,1+1,0 мм	1+5 мм	> 5 мм		
Рейтинг J_{A43}	6	5	4	1	0		
A4.4. Заполнитель трещин	Нет	Твердый заполнитель < 5 мм	Твердый заполнитель > 5 мм	Мягкий заполнитель < 5 мм	Мягкий заполнитель > 5 мм		
Рейтинг J_{A44}	6	4	2	2	0		
A4.5. Выветренность стенок трещин	Нет	Слегка выветрелые	Средне выветрелые	Сильно выветрелые	Раздробленные		
Рейтинг J_{A45}	6	5	3	1	0		
$J_{A4} = J_{A41} + J_{A42} + J_{A43} + J_{A44} + J_{A45}$	30	25	20	10	0		
A5. Обводненность выработки	Полностью сухая	Влажная	Мокрая	Капек	Водоприток		
Рейтинг J_{A5}	15	10	7	4	0		
B. Ориентация трещин	Очень благоприятные	Благоприятные	Средние	Неблагоприятные	Очень неблагоприятные		
Рейтинг J_B	0	- 2	- 5	- 10	- 12		

Учет ориентации трещин на устойчивость выработок (J_B) в RMR

<i>Простираание трещин вкрест оси выработки</i>		<i>Простираание трещин параллельно оси выработки</i>	
Проходка выработки ведется по падению трещин с углами падения 45÷90°	Проходка выработки ведется по падению трещин с углами падения 20÷45°	Углы падения трещин 45÷90°	Углы падения трещин 20÷45°
<i>Очень благоприятные</i>	<i>Благоприятные</i>	<i>Неблагоприятные</i>	<i>Очень неблагоприятные</i>
Проходка выработки ведется против падения трещин с углами падения 45÷90°	Проходка выработки ведется против падения трещин с углами падения 20÷45°	Углы падения трещин 0÷20° независимо от простираания	
<i>Благоприятные</i>	<i>Неблагоприятные</i>	<i>Неблагоприятные</i>	

$$RMR = J_{A1} + J_{A2} + J_{A3} + J_{A4} + J_{A5} + J_B$$

Определение категорий устойчивости массивов по RMR

Рейтинг массива RMR	Класс скального массива	Оценка устойчивости	Среднее время устойчивости	Сцепление в массиве, МПа	Угол внутреннего трения, град.
100 - 81	I	Весьма устойчивые породы	20 лет при пролете 15 м	> 0,4	> 45
80 - 61	II	Устойчивые породы	1 год при пролете 10 м	0,3÷0,4	35 - 45
60 - 41	III	Породы средней устойчивости	1 неделя при пролете 5 м	0,2÷0,3	25 - 35
40 - 21	IV	Неустойчивые породы	10 часов при пролете 2,5 м	0,1÷0,2	15 - 25
< 21	V	Весьма неустойчивые породы	30 мин. при пролете 1 м	< 0,1	< 15

Q-System

Prof. Nic Barton



Rock Mechanics 6, 189—236 (1974)
© by Springer-Verlag 1974

Start
1974

**Engineering Classification of Rock Masses
for the Design of Tunnel Support**

By

N. Barton, R. Lien, and J. Lunde

With 8 Figures

(Received August 31, 1974)

Summary — Zusammenfassung — Résumé

Using the Q-system



Rock mass classification
and support design



www.ngi.no

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_R}{J_a} \frac{J_w}{SRF},$$

показатели:

RQD (Rock Quality Designation) - качества массива по состоянию керна;

J_n – количества систем трещин;

J_r – шероховатости трещин;

J_a – сцепления по поверхностям трещин;

J_w – учет обводнение массива;

SRF (Stress Reduction Factor) - учет действующих напряжений

Первая дробь характеризует интенсивность трещиноватости. Поскольку RQD обычно увеличивается с уменьшением числа систем трещин, числитель и знаменатель усиливают друг друга

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_R}{J_a} \frac{J_w}{SRF},$$

Вторая дробь учитывает силы трения по трещинам. Более высокие ее значения соответствуют лучшему качеству массива.

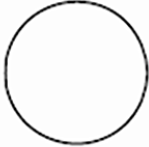








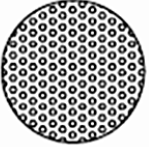
$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_R}{J_a} \frac{J_w}{SRF},$$

Третья дробь отражает давление воды в трещинах и напряженное состояние массива *in situ*. Увеличивается с уменьшением давления воды и при благоприятствующем напряженном состоянии массива.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_R}{J_a} \frac{J_w}{SRF},$$

**Показатель
количества
систем
трещин**

J_n

# of Joint Sets		J_n			# of Joint Sets
Intact Rock No Joints		0.5	1		Few Random Joints Only
1 Set		2	3		1 Set + Random
2 Sets		4	6		2 Sets + Random
3 Sets		9	12		3 Sets + Random
> 4 Sets Heavily Jointed		15	20		Earthlike, Crushed Rock

**Показатель
шероховатости
трещин**

J_r








	Large Scale:	Planar	Undulating	Discontinuous
Small Scale:				
Slickensided		0.5	1.5	2.0
Smooth		1.0	2.0	3.0
Rough		1.5	3.0	4.0
Gouge-Filled No Wall Contact		1.0	1.0	1.5

Показатель шероховатости трещин

 J_r

В малом масштабе (Small Scale) – в строчках сверху вниз:

- зашлифованные трением (Slickensided);
- гладкие, ровные (Smooth);
- шероховатые, неровные (Rough);
- заполненные глиной трения или другим мягким материалом, нет контакта между стенками (Gouge-Filled, No Wall Contact).

Large Scale:		Planar	Undulating	Discontinuous
Small Scale:	<i>J_r</i> (Critical Set)			
Slickensided		0.5	1.5	2.0
Smooth		1.0	2.0	3.0
Rough		1.5	3.0	4.0
Gouge-Filled No Wall Contact		1.0	1.0	1.5

В большом масштабе (Large Scale) – в колонках слева направо:

- плоские (Planar);
- волнистые (Undulating);
- прерывистые (Discontinuous).

*JRC = коэффициент
шероховатости трещин,
используемый в критерии сдвига
по трещинам Бартона-Бэндиса*

*Измерение шероховатости
трещин гребенкой*





*Измерение
шероховатости
трещин гребенкой*



*Измерение
шероховатости
трещин гребенкой*

*Измерение шероховатости,
неровности трещин по рейке*



*Измерение
неровности трещин
рулеткой*



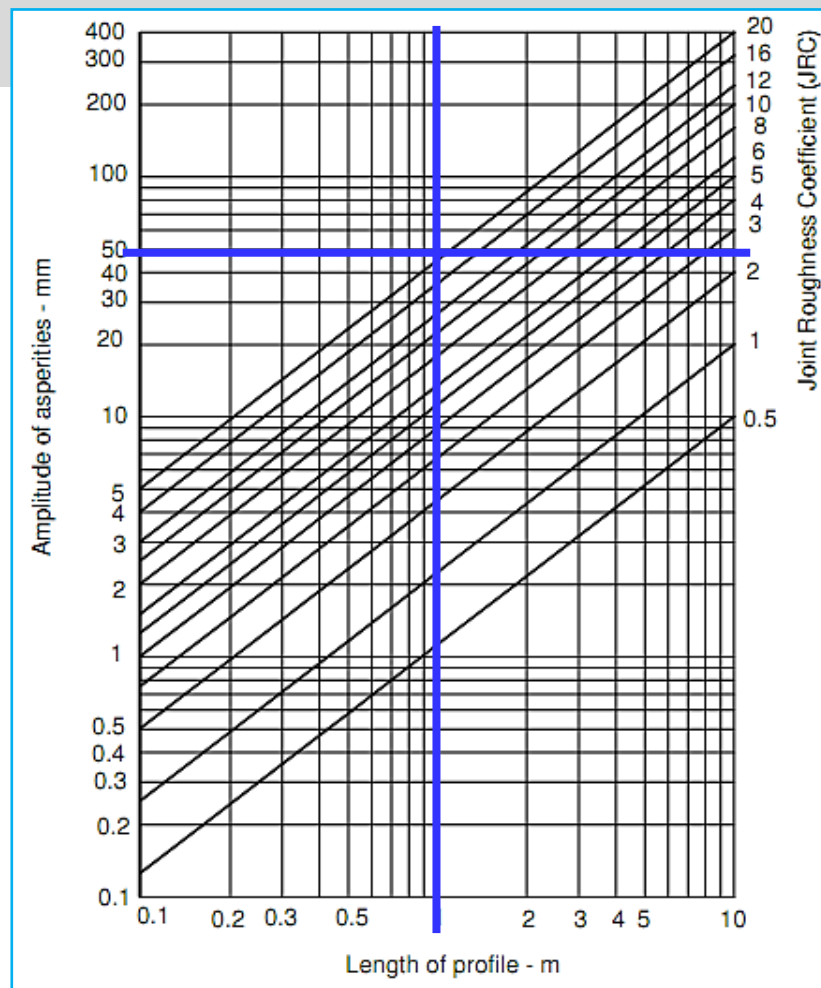
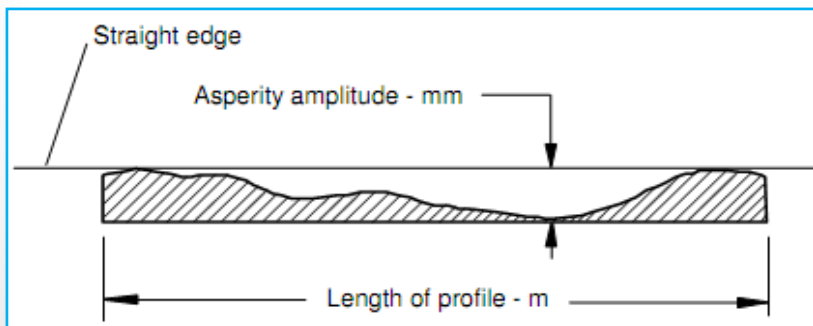
Измерение неровности трещин по рейке





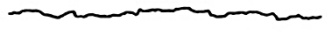
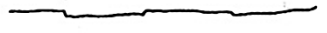
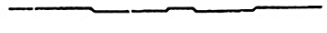


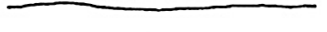



*Измерение
неровности трещин
по рейке*

Определение JRC по результатам замеров шероховатости трещин



stepped – ступенчатые
undulating – волнистые
planar - плоские, уплотненные

rough – шероховатые, грубые
smooth – гладкие, плавные
slickensided – гладкие, отполированные

Description	Profile	J _r	JRC 200mm	JRC 1 m
Rough Smooth Slickensided		4	20	11
		3	14	9
		2	11	8
	Stepped	2	11	8
Rough Smooth Slickensided		3	14	9
		2	11	8
		1.5	7	6
	Undulating	1.5	7	6
Rough Smooth Slickensided		1.5	2.5	2.3
		1.0	1.5	0.9
		0.5	0.5	0.4
	Planar	0.5	0.5	0.4

by Barton
(1987)

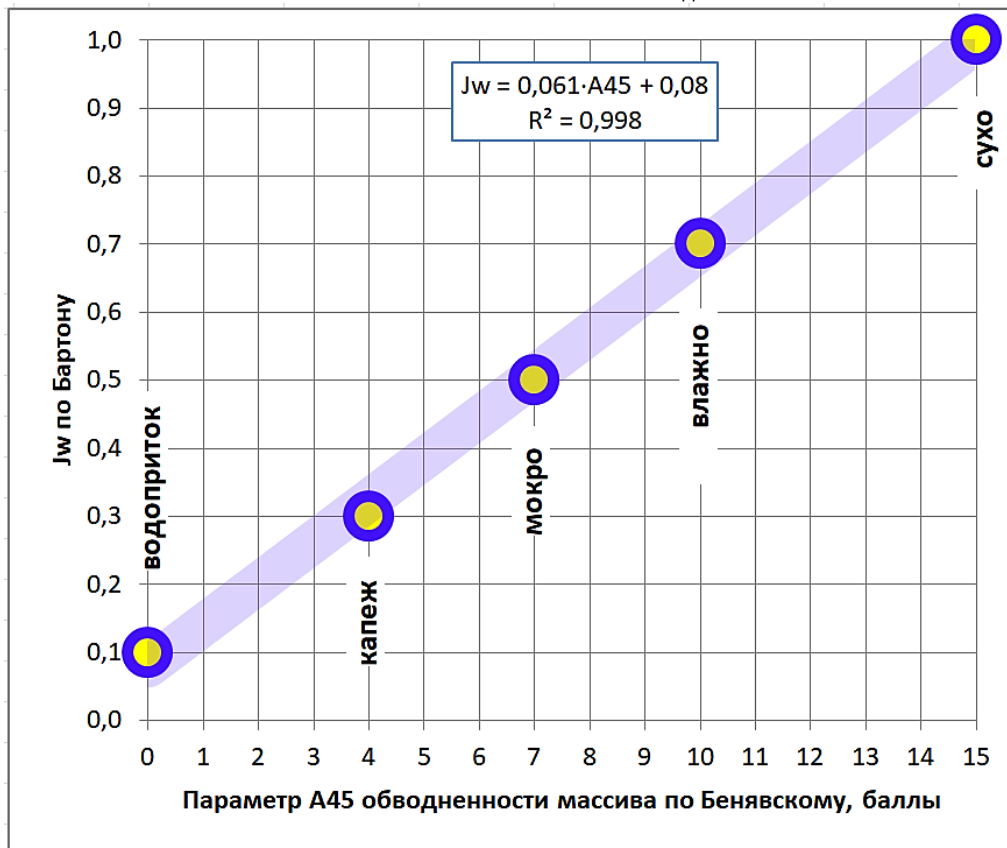
<i>Показатель сцепления стенок трещин</i>	<i>Ja</i>
а) хорошо залеченные крепким, непроницаемым, неразмягчающимся заполнителем	0,75
б) без заполнителя, без выветривания	1
в) слегка измененные (выветрелые) стенки трещин, покрытые неразмягчающимися минералами, частицы песка, нет глинки трения	2
г) илистый, песчано-глинистый, мелкозернистый неразмягчающийся заполнитель	3
д) размягчающийся глинистый заполнитель типа милонит, каолин, слюда, тальк, хлорит, графит	4

Показатель, учитывающий обводненность массива J_w

Описание гидрогеологических условий	Поровое давление подземных вод, кг/см ²	J_w
Сухая выработка или незначительный локальный водоприток менее 5 л / мин	< 1	1,0
Средний водоприток или поровое давление, эпизодическое вымывание заполнителя трещин.	1,0-2,5	0,66
Большой водоприток или высокое поровое давление в крепкой породе с трещинами без заполнения	2,5-10	0,5
Большой водоприток или значительное вымывание заполнения трещин	2,5-10	0,33
Исключительно высокий водоприток или поровое давление воды при взрывах, ослабевающие значения с течением времени	больше 10	0,2-0,1
Исключительно высокий водоприток или давление воды, продолжающиеся без заметного ослабления	больше 10	0,1-0,05

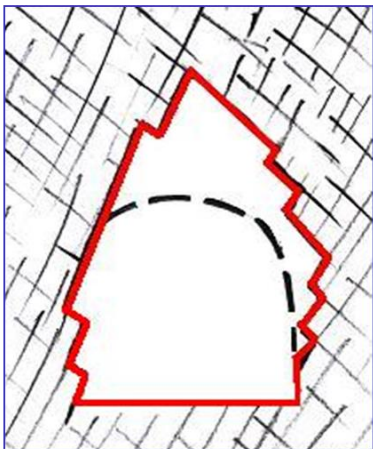
Показатель, учитывающий обводненность массива J_w

степень обводненности	Бен	Бар
	A45	J_w
сухо	15	1,0
влажно	10	0,7
мокро	7	0,5
капез	4	0,3
водоприток	0	0,1

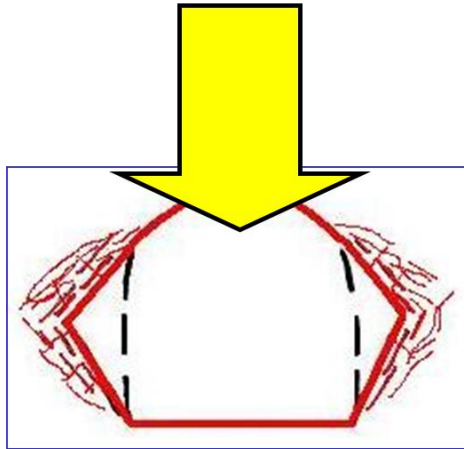


***Показатель SRF (Stress Reduction Factor),
учитывающий характер проявлений горного давления***

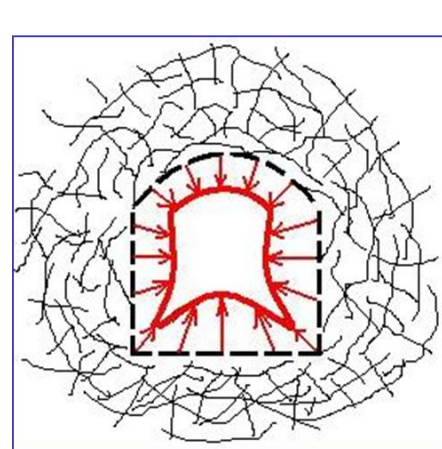
*вывалы блоков
пород по
трещинам*



*раздавливание пород
большим давлением в
зонах концентрации*



*сдавливание
выработок на
большой глубине*

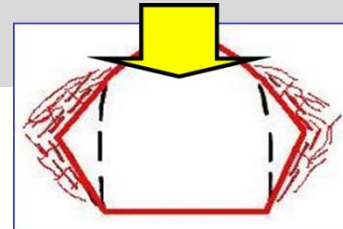


Разные горные условия – разные механизмы вывалов – разные инструменты их анализа – разные закономерности – разные методы управления горным давлением. Поэтому в самом начале крайне важно понять, что именно происходит в шахте !

Горно-геологические условия: сильно трещиноватые массивы, зоны тектонических нарушений, в которых при проходке выработок происходят вывалы *блоков пород по поверхностям ослабления массива под действием собственного веса*



A	Многочисленные поверхности ослабления, содержащие глину или химически дезинтегрированную породу (серитизация, хлоритизация), сильно разрыхленные вмещающие породы (любая глубина)	10
B	Одиночные поверхности ослабления, содержащие глину или химически дезинтегрированную породу (серитизация, хлоритизация), глубина выработки < 50 м	5
C	Одиночные поверхности ослабления, содержащие глину или химически дезинтегрированную породу (серитизация, хлоритизация), глубина выработки > 50 м	2,5
D	Множественные зоны сдвигов в крепкой породе (без глинистого заполнителя) раздробленные вмещающие породы (глубина любая)	7,5
E	Одиночные зоны сдвигов в крепкой породе без глинистого заполнителя, глубина выработки < 50 м	5,0
F	Одиночные сдвиговые зоны в крепкой породе без глинистого заполнителя, глубина выработки > 50 м	2,5
G	Разрыхленный, сильно трещиноватый массив с открытыми трещинами (глубина любая)	5,0
<p><i>Примечания: 1) можно уменьшить данные значения SRF на 20-25%, если крупные зоны сдвиговых нарушений не пересекают выработку, а только оказывают влияние на ее устойчивость.</i></p>		

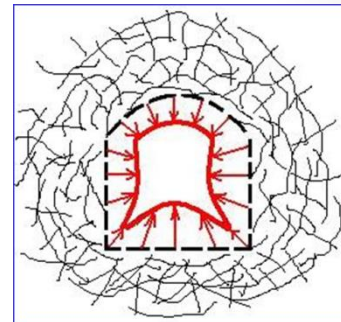
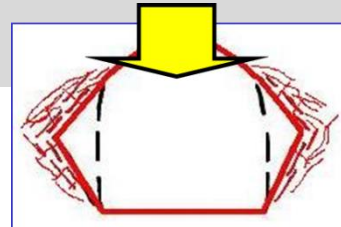


Горно-геологические условия: крепкие породы, разрушение которых вызвано высокими напряжениями

		σ_c/σ_1	SRF
H	Низкие действующие напряжения (на небольшой глубине), открытые трещины	>200	2,5
J	Средние действующие напряжения, благоприятное напряженное состояние	200-10	1,0
K	Высокие напряжения, очень плотно сжатые трещины. Обычно благоприятно для устойчивости. Может быть неблагоприятно для устойчивости стенок	10-5	0,5-2,0
L	Умеренное отслаивание породных плит по прошествии более 1 часа после обнажения	5-3	5-50
M	Отслаивание породных плит и горный удар после нескольких минут после обнажения	3-2	50-200
N	Сильный горный удар и немедленные динамические деформации в плотной породе	< 2	200-400

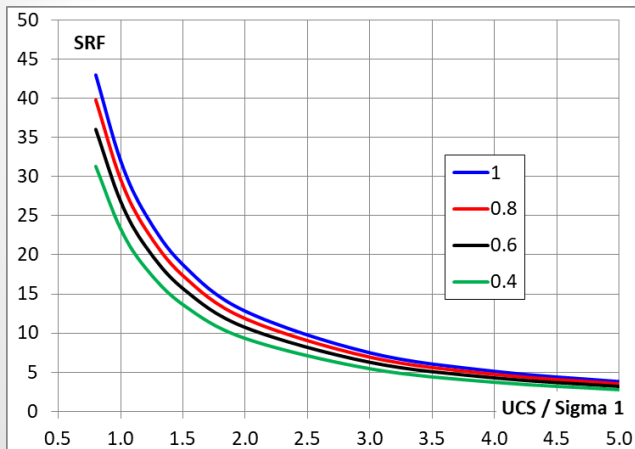
Примечания: 2) для сильно анизотропного первоначального напряженного состояния (если об этом свидетельствуют данные измерений): когда $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, уменьшить σ_c до $0,7\sigma_c$. когда $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, уменьшить σ_c до $0,5 \sigma_c$ где σ_c – предел прочности породы при одноосном сжатии, σ_1 и σ_3 – максимальное и минимальное главные напряжения; 3) в случаях, когда глубина от поверхности до свода выработки менее ширины выработки, тогда увеличить SRF до 2,5-5,0 см. (см. п. H)

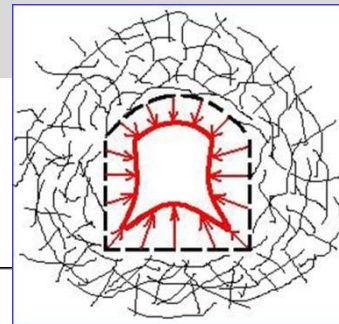
Горно-геологические условия: крепкие породы, разрушение которых вызвано высокими напряжениями



Kirsten Equation for SRF Estimation:

$$SRF = 32 \cdot (\sigma_1 / \sigma_3)^{0.346} \cdot (UCS / \sigma_1)^{-1.322}$$





Горно-геологические условия: неупругие деформации или пластическое течение слабой породы под влиянием высокого горного давления на большой глубине

неупругие деформации или пластическое течение некрепкой породы под влиянием высокого горного давления

		σ_0/σ_c	SRF
О	Умеренное выдавливание пород в выработку	1-5	5-10
Р	Сильное выдавливание пород в выработку	> 5	10-20

породы, набухающие от присутствия воды

R	Небольшое набухание пород		5-10
S	Сильное набухание пород		10-15



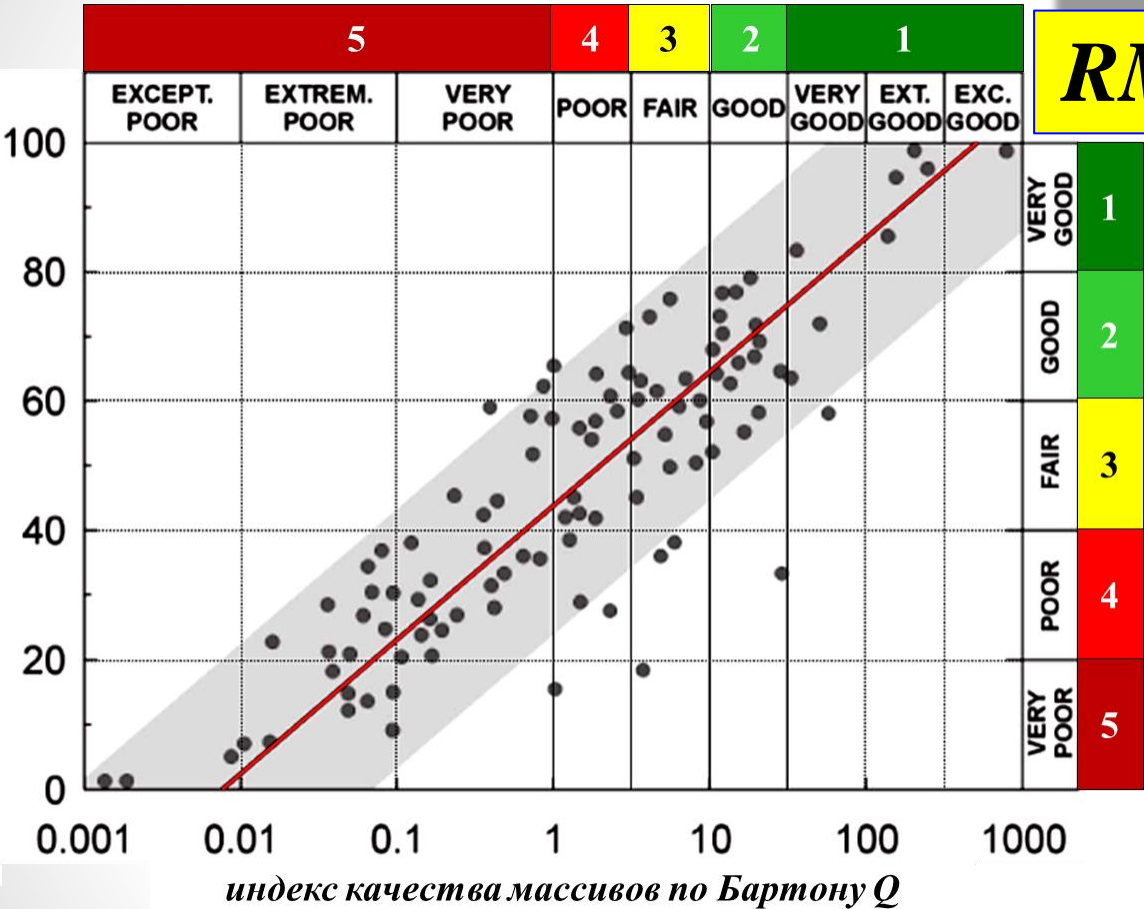
$$Q = \frac{RQD}{J_n} \frac{J_R}{J_a} \frac{J_w}{SRF},$$

используется в обоснованиях:

- *типов крепи по рекомендациям Бартона;*
- *параметров камер по методике Мэтьюза-Потвина;*
- *устойчивости потолочин по методике Картера;*
- *устойчивости стволов шахт, пройденных бурением, по методике МакКракена;*
- *устойчивости горизонтальных выработок, пройденных бурением с помощью ТВМ.*

$$RMR = 9 \cdot \ln Q + 44$$

рейтинг массивов по Беньявскому RMR



<i>Рейтинг массива RMR</i>	<i>Индекс качества массива Q</i>	<i>Категория устойчивости массива</i>	
<i>< 20</i>	<i>< 1</i>	<i>весьма неустойчивый</i>	<i>5</i>
<i>20 ÷ 40</i>	<i>1 ÷ 4</i>	<i>неустойчивый</i>	<i>4</i>
<i>40 ÷ 60</i>	<i>4 ÷ 10</i>	<i>средней устойчивости</i>	<i>3</i>
<i>60 ÷ 80</i>	<i>10 ÷ 40</i>	<i>устойчивый</i>	<i>2</i>
<i>80 ÷ 100</i>	<i>> 40</i>	<i>весьма устойчивый</i>	<i>1</i>

Rock Mass Classification Examples

- ✓ massive, strong rock
- ✓ low stress regime
- ✓ note lack of ground support
- ✓ RMR = 90
(very good rock)
- ✓ Q = 180
(extremely good rock)



by E. Eberhard

Rock Mass Classification Examples

- ✓ blocky rock
- ✓ low stress regime
- ✓ minimal but systematic ground support
- ✓ RMR = 70
(good rock)
- ✓ Q = 15
(good rock)



by E. Eberhard

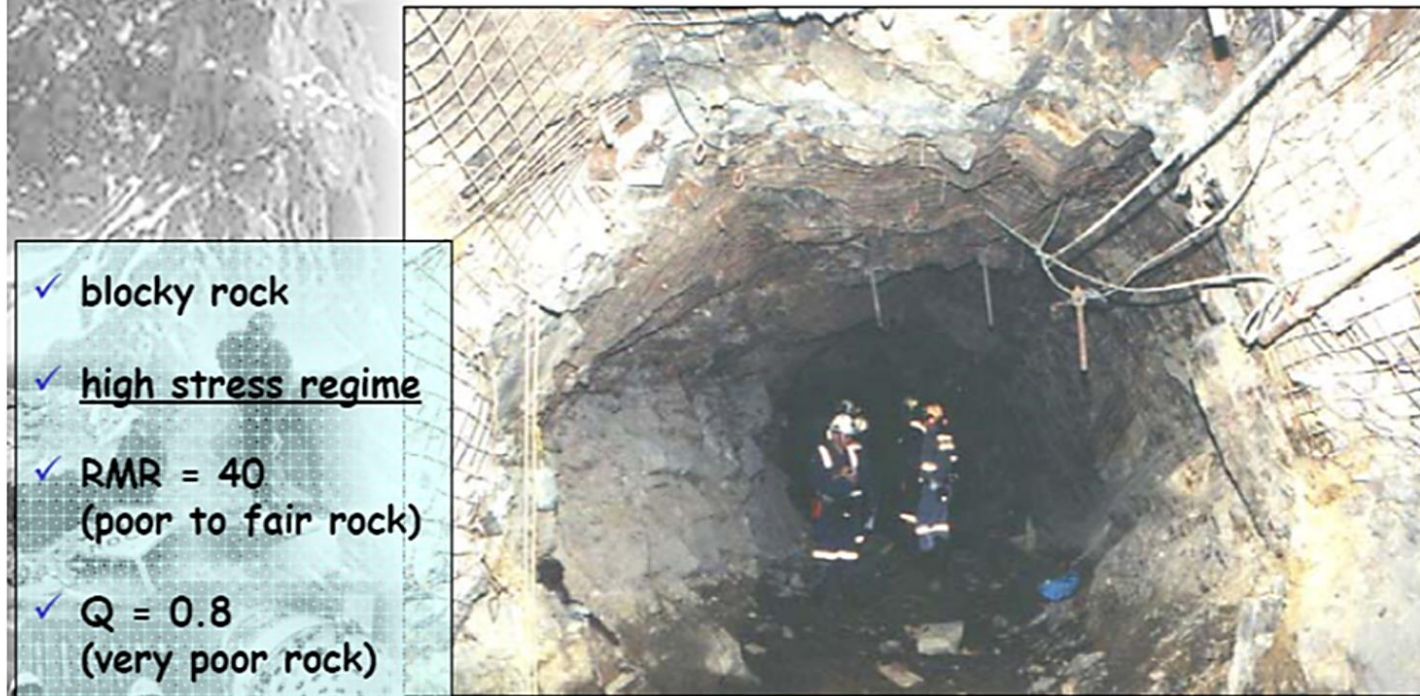
Rock Mass Classification Examples

- ✓ weak/foliated rock
- ✓ low stress regime
- ✓ note lack of ground support
- ✓ RMR = 40
(poor to fair rock)
- ✓ Q = 0.9
(v. poor to poor rock)



by E. Eberhard

Rock Mass Classification Examples



- ✓ blocky rock
- ✓ high stress regime
- ✓ RMR = 40
(poor to fair rock)
- ✓ Q = 0.8
(very poor rock)

by E. Eberhard

Rock Mass Classification Examples

- ✓ massive, strong rock
- ✓ extremely high stress regime
- ✓ rockburst failure, complete closure of drift, extremely heavy support, screen retains failed rock
- ✓ RMR = 80
(good to v.good rock)
- ✓ Q = 0.5
(very poor rock)



screen retains of failed rock – сетка
удерживает раздавленную породу

by E. Eberhard

Rock Mass Classification Examples

- ✓ weak/foliated rock
- ✓ high stress regime
- ✓ Buckling wall failure
- ✓ RMR = 40
(poor to fair rock)
- ✓ Q = 0.1
(extremely poor to v. poor rock)



buckling failure – разрушение продольным изгибом / изломом

by E. Eberhard

Рейтинг качества массивов Бенявского RMR не учитывает уровень действующих напряжений, т.е. только свойства трещиноватого массива без внешней нагрузки. Если геомеханическая ситуация определяется только структурой массива, рейтинг RMR и индекс Q хорошо согласуются между собой.

Как только геомеханическая ситуация начинает определяться не только качеством массива, но и его напряженностью, RMR перестает работать. Q продолжает адекватно описывать ситуацию.

1995 г.:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

$$m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) \quad s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

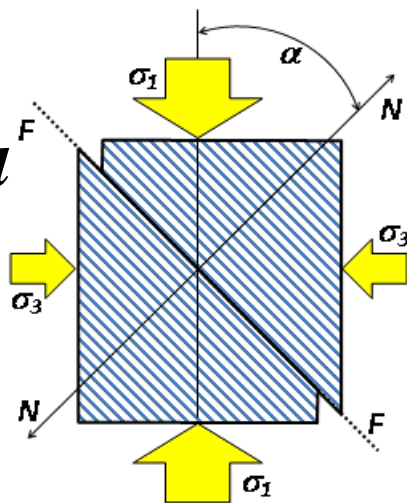
GSI (Geological Strength Index) – геологический индекс прочности трещиноватого массива

D (Disturbance Factor) – параметр повреждения массива взрывными работами

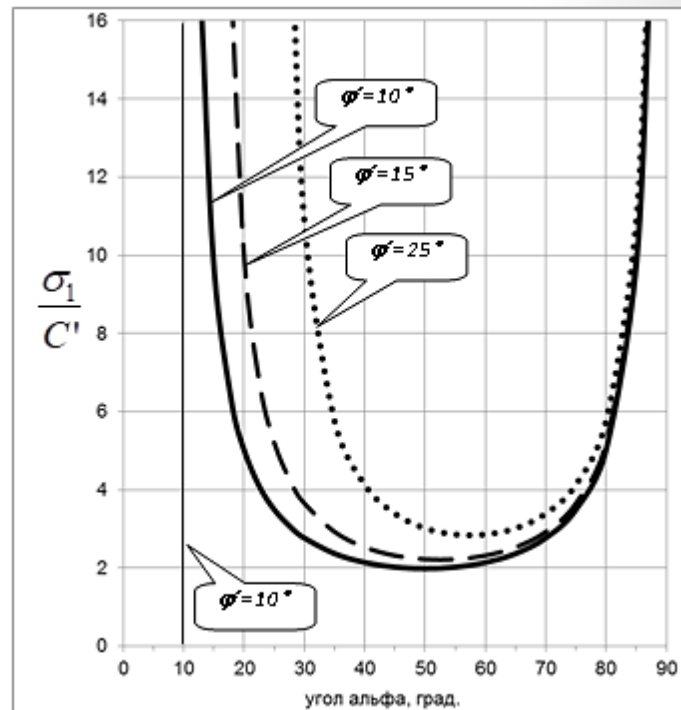


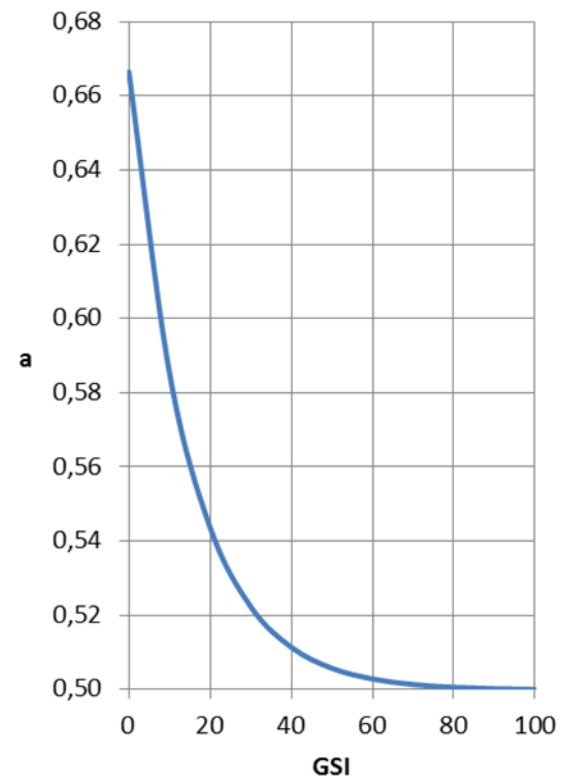
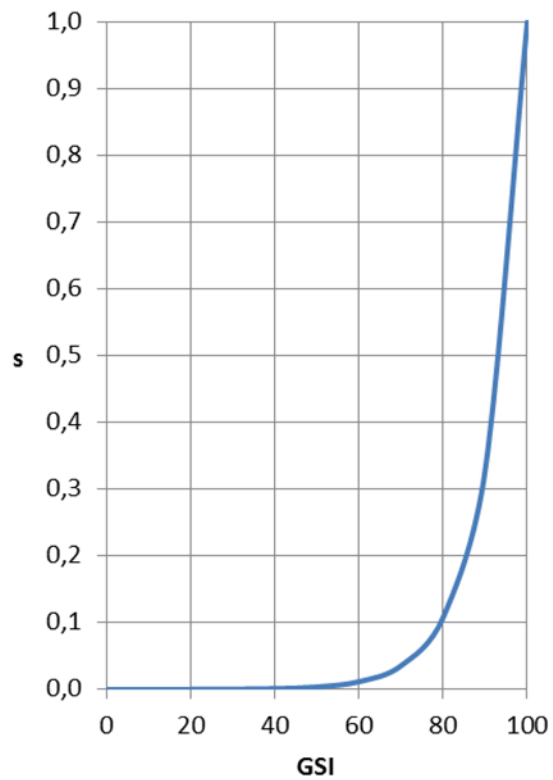
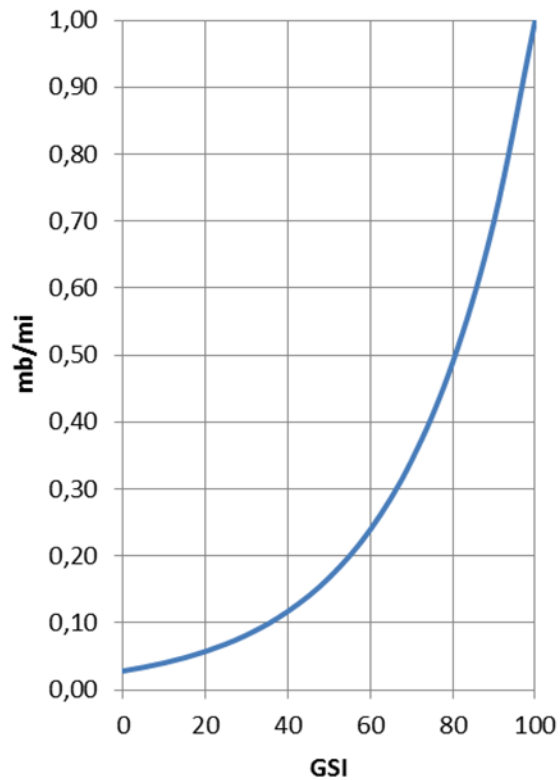
программы RocLab, RocData

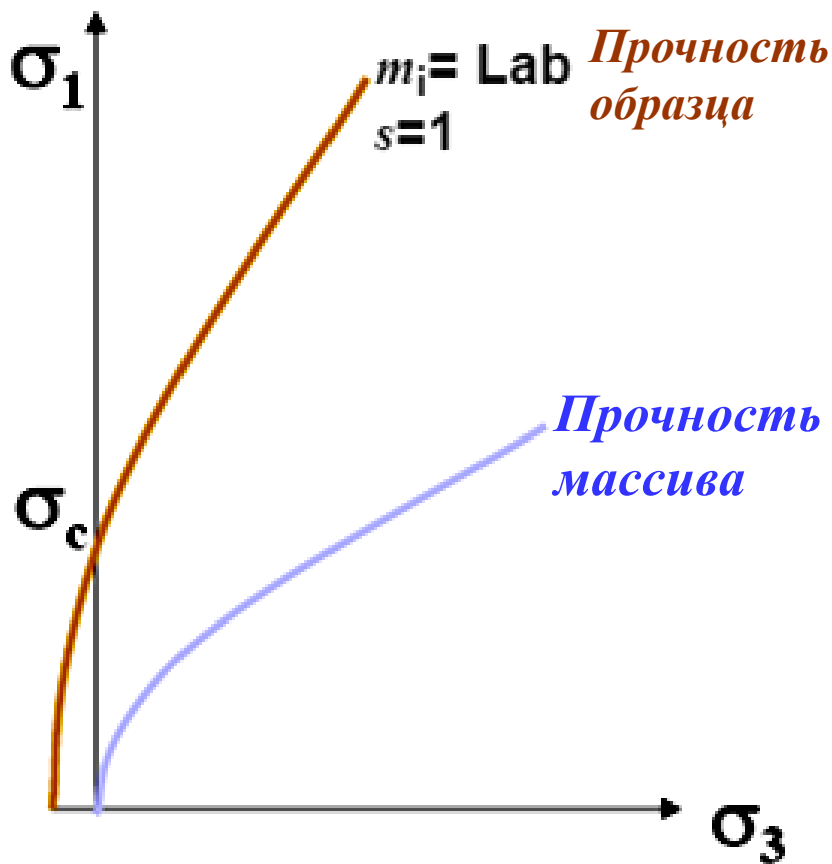
*GSI НЕ работает
при **анизотропном**
деформировании и
разрушении массива
по поверхностям
ослабления!*



*Сланцеватый массив = трансверсально
анизотропная среда с плоскостью
изотропии F-F и осью анизотропии N-N*





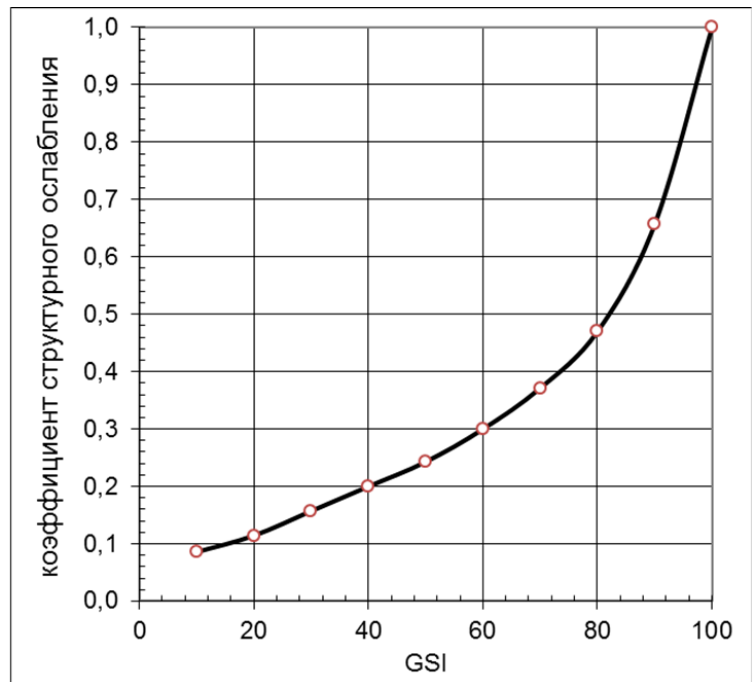
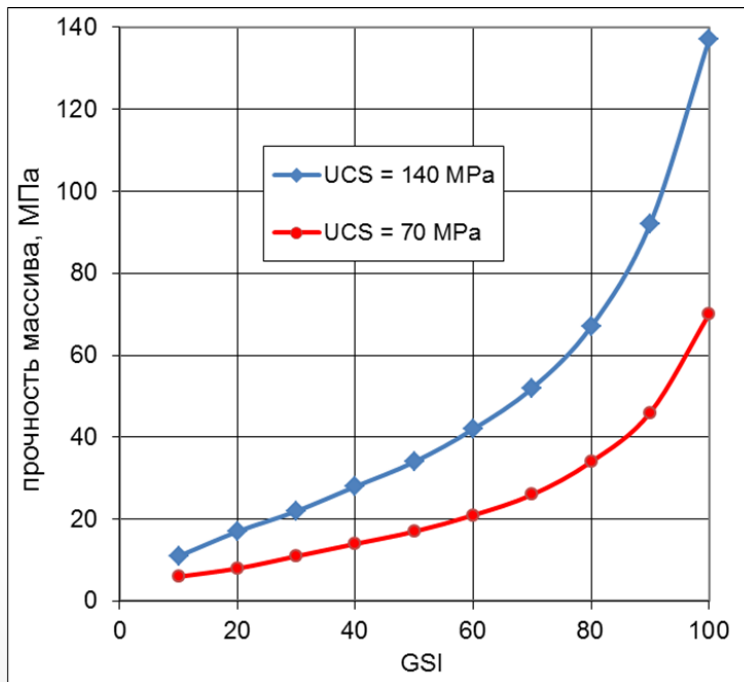


*Коэффициент структурного
ослабления массива трещинами K_W :*

$$K_W = \frac{\text{прочность массива}}{\text{прочность образца}}$$

Коэффициент структурного ослабления массива трещинами K_w :

$$K_w = \frac{\text{прочность массива}}{\text{прочность образца}}$$



2013 г.:

$$GSI = 1,5 \cdot JCond_{89} + RQD/2$$

JCond₈₉ - характеристика трещин в рейтинге RMR Бенявского, 1989 г.:

Condition of discontinuities	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 – 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous
Rating	30	25	20	10	0

Guidelines for classification of discontinuity conditions

Discontinuity length (persistence) Rating	< 1 m 6	1 to 3 m 4	3 to 10 m 2	10 to 20 m 1	More than 20 m 0
Separation (aperture) Rating	None 6	< 0.1 mm 5	0.1 – 1.0 mm 4	1 – 5 mm 1	More than 5 mm 0
Roughness Rating	Very rough 6	Rough 5	Slightly rough 3	Smooth 1	Slickensided 0
Infilling (gouge) Rating	None 6	Hard infilling < 5 mm 4	Hard filling > 5 mm 2	Soft infilling < 5 mm 2	Soft infilling > 5 mm 0
Weathering Rating	Unweathered 6	Slightly weathered 5	Moderate weathering 3	Highly weathered 1	Decomposed 0

2013 г.:

$$GSI = \frac{52 \cdot J_r / J_a}{1 + J_r / J_a} + RQD / 2$$

JOINT ROUGHNESS NUMBER Jr	Rating	JOINT ALTERATION NUMBER Ja	Rating
Discontinuous joints	4	Tightly healed, hard, non-softening, impermeable filling	0.75
Rough and irregular, undulating	3	Unaltered joint walls, surface staining only	1.0
Smooth, undulating	2	Slightly altered joint walls, non-softening mineral coatings, sandy particles, clay-free disintegrated rock, etc	2.0
Slickensided, undulating	1.5	Silty-, or sandy-clay coatings, small clay fraction (non-softening)	3.0
Rough or irregular planar	1.5	Softening or low friction clay, mineral coatings, i.e. kaolinite, mica. Also chlorite, talc, gypsum and graphite etc., and small quantities of swelling clays. (Discontinuous coatings, 1 – 2 mm or less in thickness)	4.0
Smooth, planar	1.0		
Slickensided, planar	0.5		

2013 г.

с показателями
Бенявского:

$$GSI = 1,5 \cdot JCond_{89} + RQD/2$$

с показателями
Бартона:

$$GSI = \frac{52 \cdot J_r / J_a}{1 + J_r / J_a} + RQD/2$$

свойства
трещин

интенсивность
трещиноватости

*Асачинский
рудник*

$$GSI = 1.5 \cdot JCond_{89} + RQD/2 \quad GSI = \frac{52J_r/J_a}{(1+J_r/J_a)} + \frac{RQD}{2}$$

Массивы	JCond ₈₉	RQD, %	J _r	J _a	GSI по (3.4)	GSI по (3.5)
рудные жилы	18	55	2.4	2	55	56
вмещающие породы	26	65	2.4	1	72	72

контроль !

Применять ТОЛЬКО для изотропных массивов !

This chart applies to tunnels of about 10 m span and slopes < 20 m high. For larger caverns and slopes consider reducing GSI to account for decreasing block interlocking.

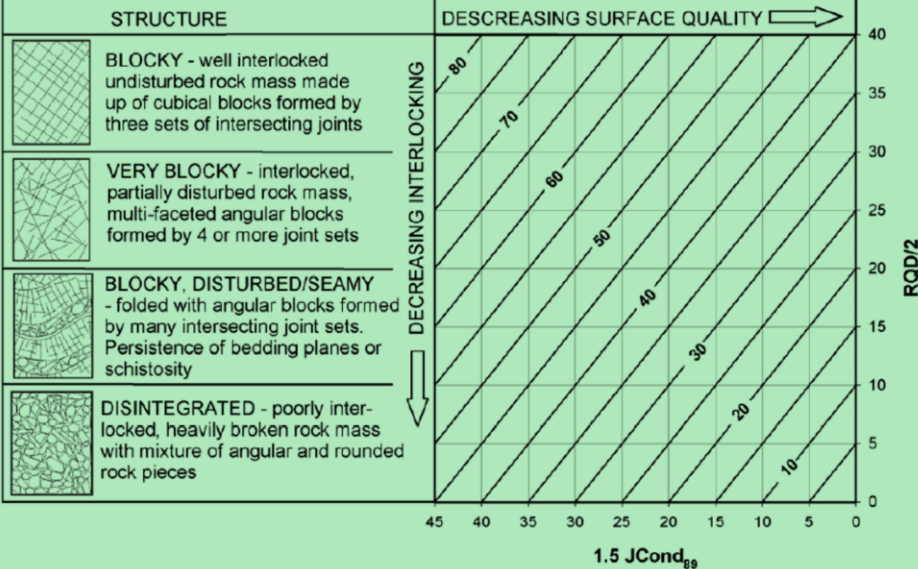
2013 г.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR JOINTED BLOCKY ROCK MASSES

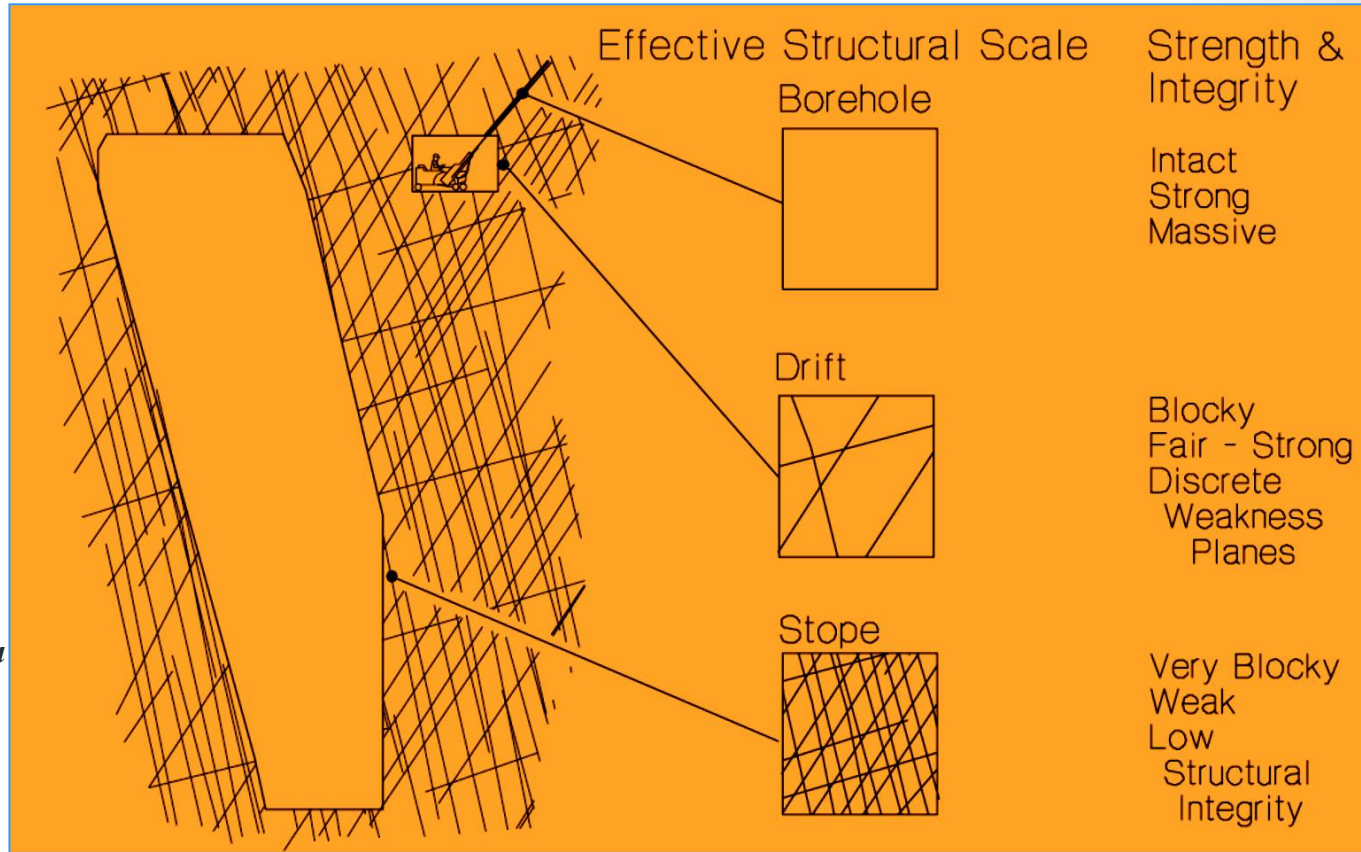
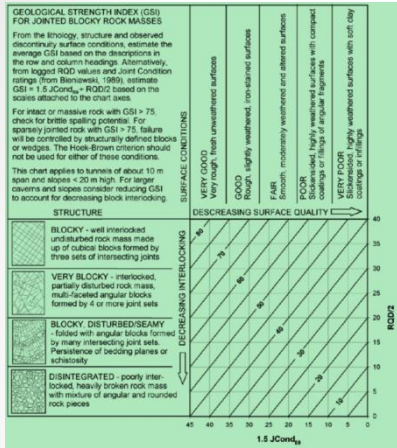
From the lithology, structure and observed discontinuity surface conditions, estimate the average GSI based on the descriptions in the row and column headings. Alternatively, from logged RQD values and Joint Condition ratings (from Bieniawski, 1989), estimate $GSI = 1.5 JCond_{80} + RQD/2$ based on the scales attached to the chart axes.

For intact or massive rock with $GSI > 75$, check for brittle spalling potential. For sparsely jointed rock with $GSI > 75$, failure will be controlled by structurally defined blocks or wedges. The Hoek-Brown criterion should not be used for either of these conditions.

This chart applies to tunnels of about 10 m span and slopes < 20 m high. For larger caverns and slopes consider reducing GSI to account for decreasing block interlocking.



Учет масштабного эффекта прочности массива с помощью GSI

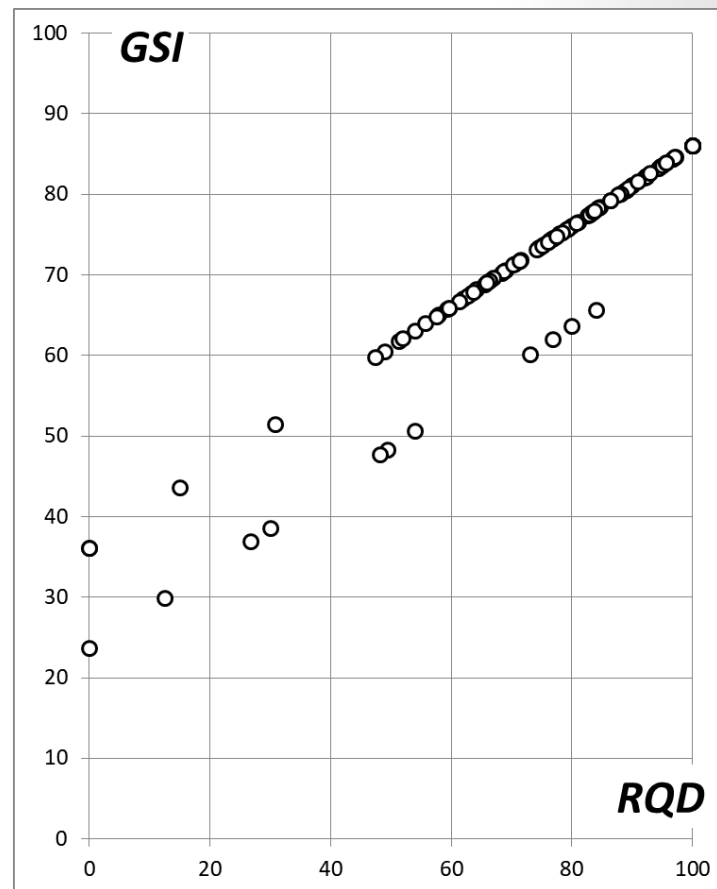
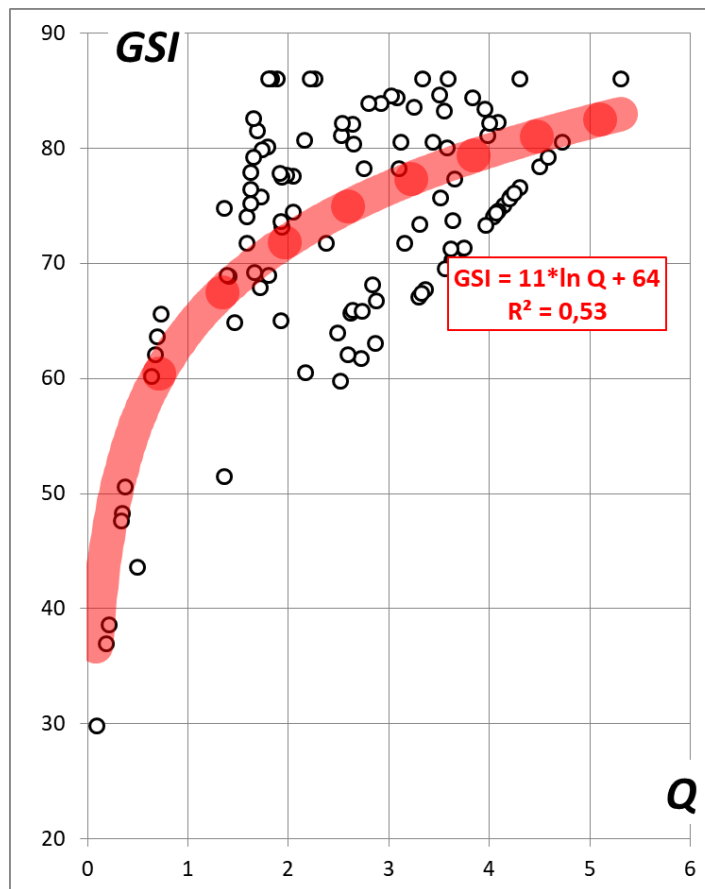
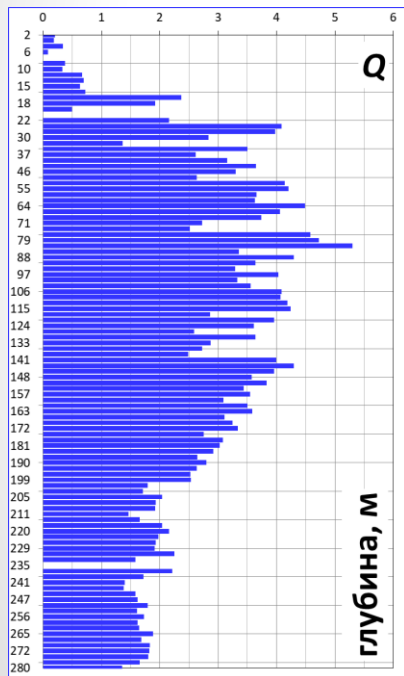


This chart applies to tunnels of about 10 m span and slopes < 20 m high. For larger caverns and slopes consider reducing GSI to account for decreasing block interlocking.

Эта диаграмма относится к выработкам с пролетами около 10 м и откосам меньше 20 м высоты. Для более крупных камер и склонов рассматривают возможность уменьшения GSI для учета уменьшения блокировки блоков.

рудник Акбастау

По данным контрольно-стволовой
скважины глубины 280 м
(112 интервалов)



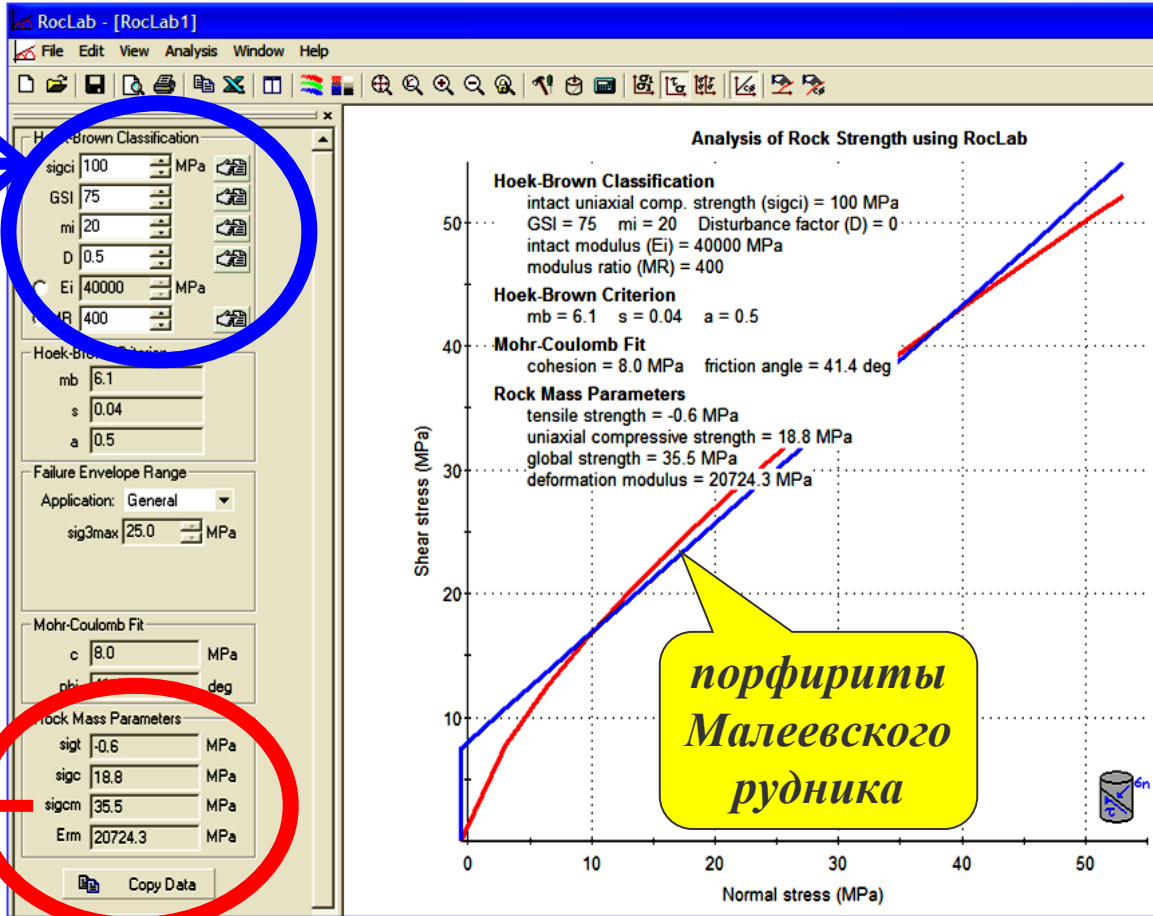
Обобщенный критерий прочности массива Хука-Брауна на основе GSI.

Определение свойств трещиноватого массива

Прочность породы в образце

программа RocLab

Прочность трещиноватого массива





resourceful



experienced



worldwide