

Слайд-лекция

Дисциплина
«Моделирование геомеханических процессов»

Тема: «Подготовка исходных данных
для численного анализа устойчивости
массива горных пород»

Автор Имашев А.Ж.

Кафедра
«Разработка месторождений
полезных ископаемых»

Специальность
6D070700 -
Горное дело

План лекции

1. *Современные проблемы при подготовке исходных данных для численного анализа;*
 2. *Переход от прочности образца пород к прочности массива;*
 3. *Съемка трещиноватости горных пород;*
 4. *Камеральная обработка результатов съемок трещиноватости;*
 5. *Геологический индекс прочности (GSI);*
 6. *Схема определения рейтинга RMR;*
 7. *Уточнение физико-механических свойств с применением программы RocLab;*
- Контрольные вопросы;*
- Список литературы.*

Современные проблемы при подготовке исходных данных для численного анализа

При оценке устойчивости массива горных пород вблизи горных выработок широкое применение получают методы численного анализа. Численное моделирование позволяет быстро провести анализ геомеханического состояния массива за счет мгновенной интерпретации изменения напряженно-деформированного состояния массива и картинной визуализации.

Преимущественная сторона численного моделирование заключается в создании идентичной геомеханической модели исследуемого участка с максимальным учетом горно-геологических и горнотехнических условий месторождения.

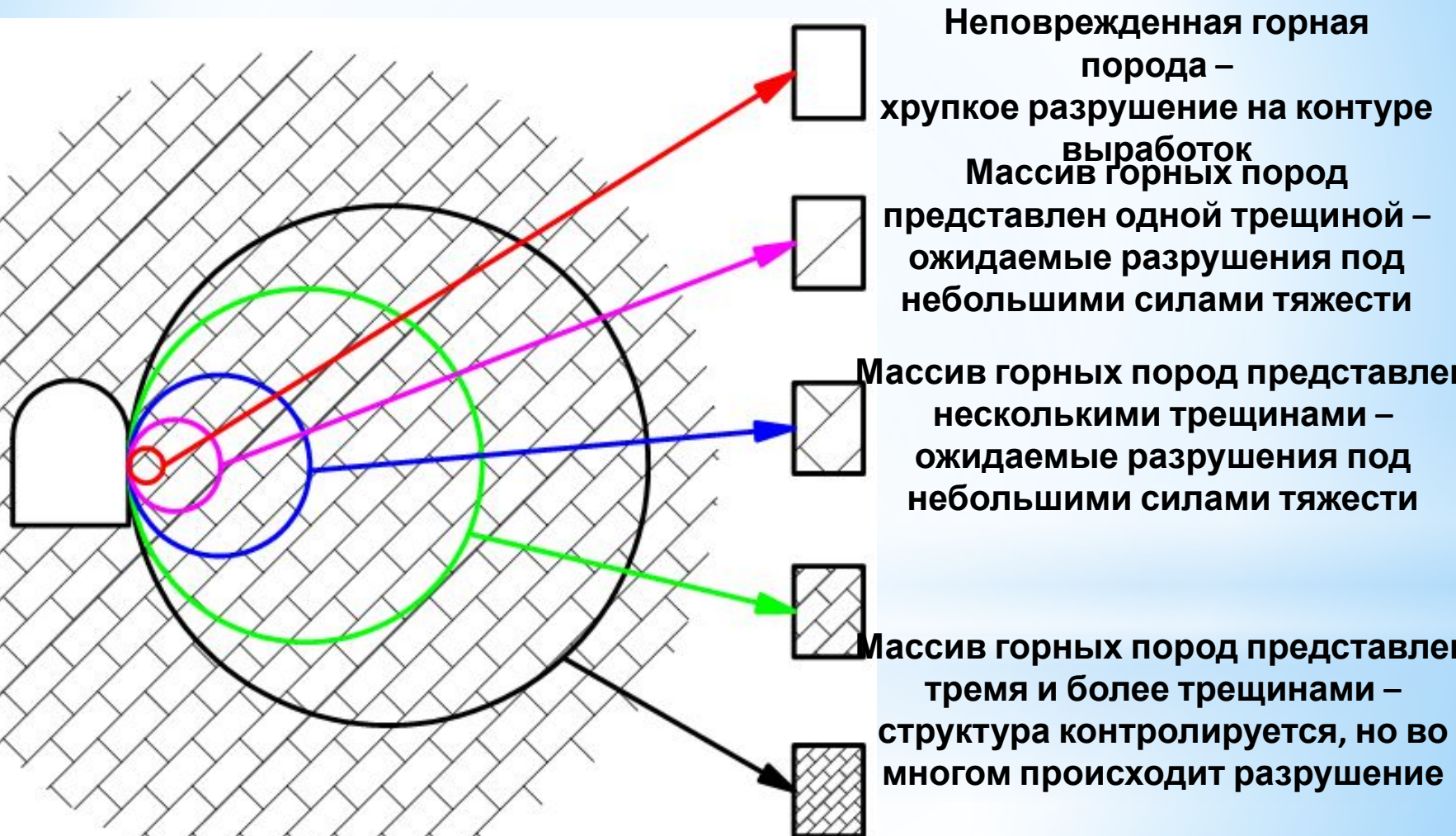
Но, не всегда результаты численного моделирования корректно отображают реальную геомеханическую ситуацию. Причиной такого результата является неточность исходных данных, которые используются при численном анализе.

Современные проблемы при подготовке исходных данных для численного анализа

При подготовке исходных данных часто допускаются следующие ошибки:

- использование физико-механических свойств горных пород в том виде, в котором они представлены в геологических отчетах, полученных путем лабораторных испытаний;
- использование коэффициента ослабления массива горных пород из различных литературных источников или характерного для конкретного месторождения;
- не учет таких факторов как: трещиноватость, количество систем трещин, выход керна, обводненность, шероховатость, выветрелость и т.д.;
- не учет даты последних уточнений физико-механических свойств горных пород слагающих участок или район исследования;
- не точность в составлении геологического разреза или ее несоответствие реальности по параметрам в масштабе.

Переход от прочности образца пород к прочности массива



Съемка трещиноватости горных пород



Съемка трещиноватости горных пород

Наличие множества отдельных трещин, повторяющиеся через определенное расстояние в массиве образуют систему трещин, которые ориентированы примерно параллельно друг другу. Под системой трещин понимается группа трещин, которые в определенном объеме породы имеют близкую пространственную ориентировку. В массиве встречаются несколько систем трещин, но и бывают случаи, когда в массиве присутствует одна система трещин.

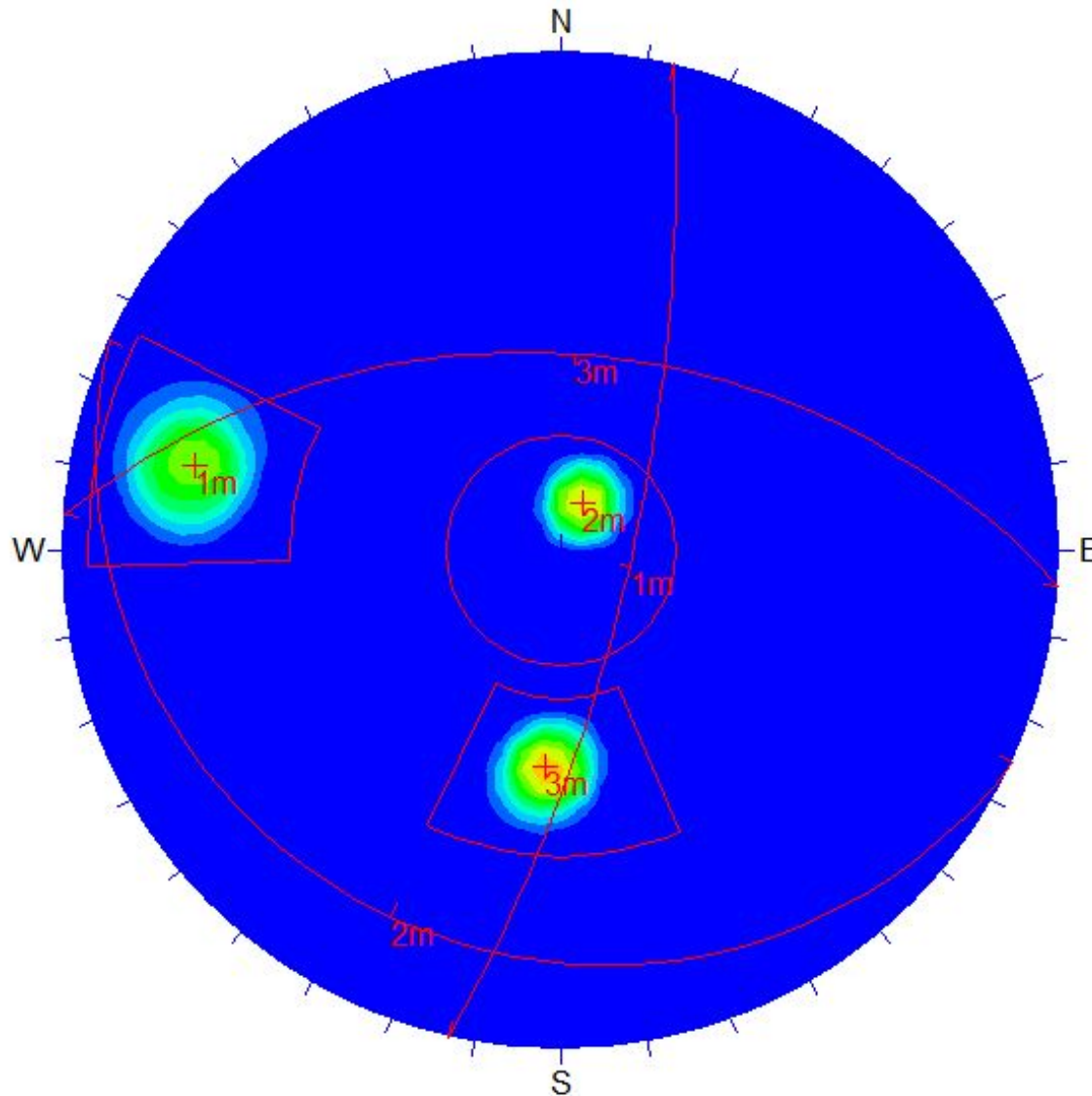
**Горный
компас**



Замеряются следующие элементы трещин:

- азимут простирания трещины;
- угол падения трещины;
- расстояние между трещинами;
- длину трещины;
- шероховатость трещины;
- раскрытие трещины;
- заполнение трещины.

Камеральная обработка результатов съемок трещиноватости



Orientations
ID Trend / Plunge

1	m	283 / 16
2	m	025 / 78
3	m	184 / 43

Equal Angle
Lower Hemisphere
57 Poles
57 Entries

Геологический индекс прочности (GSI)

Хоек и Браун в 90-х годах XX века представили геологический индекс прочности (GSI), который применим как для крепких, так и для слабых горных пород.

Опыт прошлых лет показывает, что система классификации должна быть нелинейной для слабых пород, так как их прочность быстро ухудшается с выветриванием. Кроме того, увеличение применения компьютерного моделирования создали настоящую необходимость системы классификации быть настроенной специально для компьютерного моделирования и анализа устойчивости массива горных пород и подземных сооружений. Чтобы удовлетворить эти потребности, Хоек и Браун разработал простые диаграммы для оценки GSI на основе следующих двух корреляций:

$$GSI = RMR - 5$$

где RMR - рейтинг массива горных пород по Бенявскому, определяется следующим образом:

$$RMR = JA1 + JA2 + JA3 + JA4 + JA5 + JBV$$

Схема определения рейтинга RMR

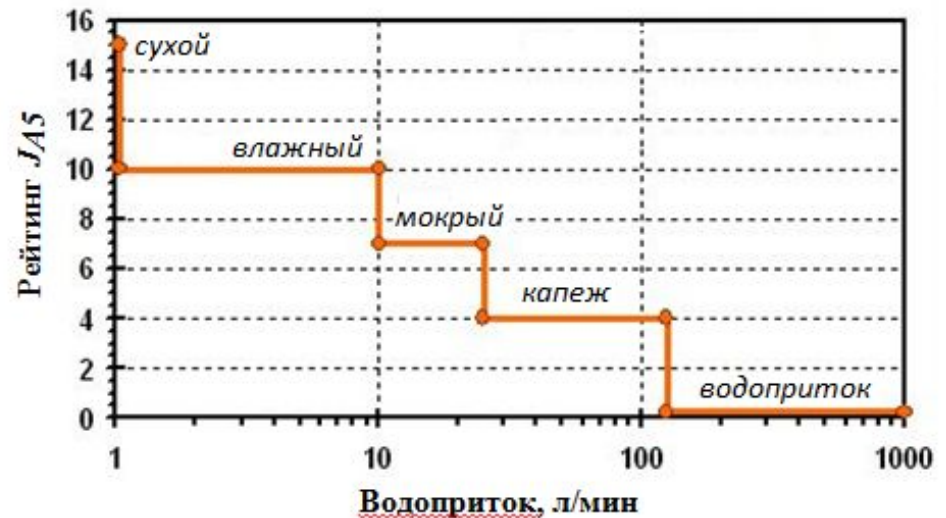
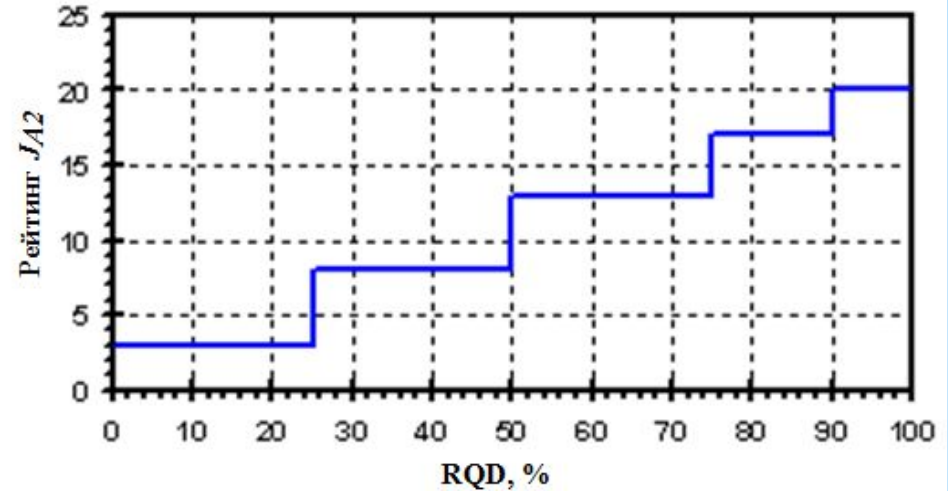


Схема определения рейтинга RMR

Шероховатость трещин	Длина трещин, м	Раскрытие трещин, мм	Заполнитель трещин	Выветрелость стенок трещин
Слегка шероховатые	от 3 до 10	от 0,1 до 1	Твердый заполнитель < 5 мм	Слегка выветрелые
Рейтинг - 5	Рейтинг - 2	Рейтинг - 4	Рейтинг - 4	Рейтинг - 5
Среднее значение по месторождению «Саяк»				Рейтинг JA4 - 20

Простирание трещин вкрест оси выработки		Простирание трещин параллельно оси выработки	
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°
Очень благоприятные	Благоприятные	Неблагоприятные	Очень неблагоприятные
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 простирания	
Благоприятные	Неблагоприятные	Неблагоприятные	

Параметр	Интервалы значений						
A1. Прочность породы на одноосное сжатие	> 250 МПа	100 , 250 МПа	50 , 100 МПа	25 , 50 МПа	5 , 25 МПа	1 , 5 МПа	< 1 МПа
Рейтинг JA1	15	12	7	4	2	1	0
A2. Качество массива по выходу керна RQD	90% , 100%	75% , 90%	50% , 75%	25% , 50%	< 25%		
Рейтинг JA2	20	17	13	8	3		
A3. Расстояния между трещинами	> 2 м	0.6 , 2м	200 , 600 мм	60 , 200мм	< 60 мм		
Рейтинг JA3	20	15	10	8	5		
A4. Характеристика трещин							
A4.1. Шероховатость трещин	Очень шероховатые	Слегка шероховатые	Слегка шероховатые	Гладкие поверхности	Следы скольжения		
Рейтинг JA41	6	5	3	1	0		
A4.2. Длина трещин	< 1 м	1 , 3 м	3 , 10 м	10 , 20 м	> 20 м		
Рейтин JA42	6	4	2	1	0		
A.4.3. Раскрытие трещин	Нет	< 0,1 мм	0,1 , 1,0 мм	1 , 5 мм	> 5 мм		
Рейтинг JA43	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 JA44	6	4	2	2	0		
A4.5. Выветрелость стенок трещин	Нет	Слегка выветрелые	Средне выветрелые	Сильно выветрелые	Раздробленные		
Рейтинг JA45	6	5	3	1	0		
JA4 = JA41+ JA42+ JA43 +JA44 +JA45	30	25	20	10	0		
A5. Обводненность выработки	Полностью сухая	Влажная	Мокрая	Капез	Водоприток		
Рейтинг JA5	15	10	7	4	0		
B. Ориентация трещин	Очень благоприятны	Благоприятны	Средние	Неблагоприя	Очень неблагоприятные		
Рейтинг JB	0	- 2	- 5	- 10	- 12		

Уточнение физико-механических свойств с применением программы RocLab

RocLab - компьютерная программа для определения параметров прочности массива горных пород, разработана канадской фирмой Rocscience Inc и основанная на обобщенном критерии разрушения Хука-Брауна и Мора-Кулона .

Одной из основных трудностей при численном моделировании геомеханических задач является отсутствие исходных данных - параметров механического поведения массива горных пород.

Программа RocLab обеспечивает простую и интуитивно понятную реализацию критерия разрушения Хука-Брауна и Мора-Кулона, позволяя пользователям легко получать надежные оценки свойств массива горных пород, и прямо на экране (в интерактивном режиме) видеть изменения огибающих разрушения (кривых прочности) при изменении параметров.

Свойства массива горных пород, определяемые RocLab, могут быть использованы как исходные данные для ввода в программы численного анализа, такие как Phase2 (конечно-элементный анализ напряжений и расчет крепления при ведении горных работ) или Slide (анализ предельного равновесия при расчете устойчивости откосов).

Уточнение физико-механических свойств с применением программы RocLab

Определение параметров прочности

Определение обобщенных параметров прочности Хука-Брауна массива горных пород (m_b , s , a) по следующим вводимым значениям :

- сопротивление одноосному сжатию ненарушенной породы σ_{gsi} ,**
- параметр ненарушенной породы m_i ,**
- геологический индекс прочности GSI ,**
- коэффициент нарушенности D .**

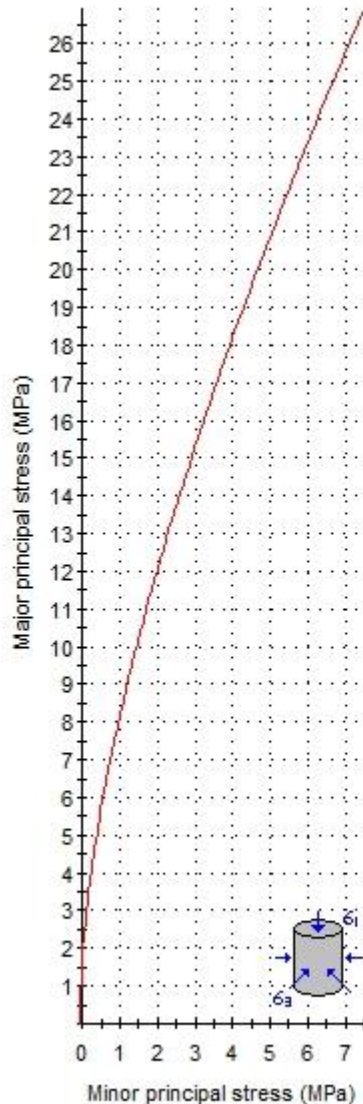
Определение модуля деформации массива горных пород

Определение модуля деформации массива горных пород по следующим вводимым значениям:

- модуль деформации ненарушенной породы E_i ,**
- E_i может быть опционально вычислен с помощью отношения модулей M_R .**

Уточнение физико-механических свойств с применением программы RocLab

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 30 MPa
GSI = 50 m_i = 10 Disturbance factor (D) = 0
intact modulus (E_i) = 12000 MPa

Hoek-Brown Criterion

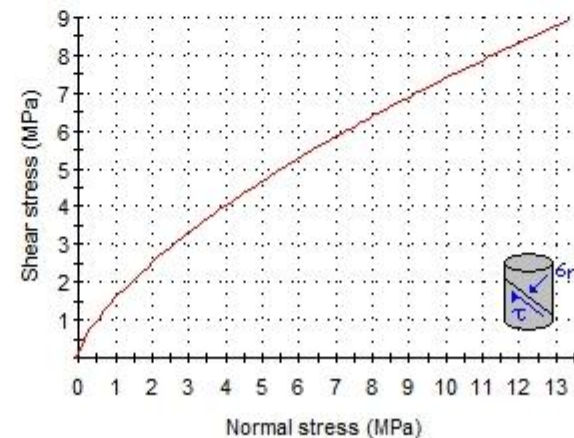
m_b = 1.677 s = 0.0039 a = 0.506

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 1.494 MPa friction angle = 30.52 deg

Rock Mass Parameters

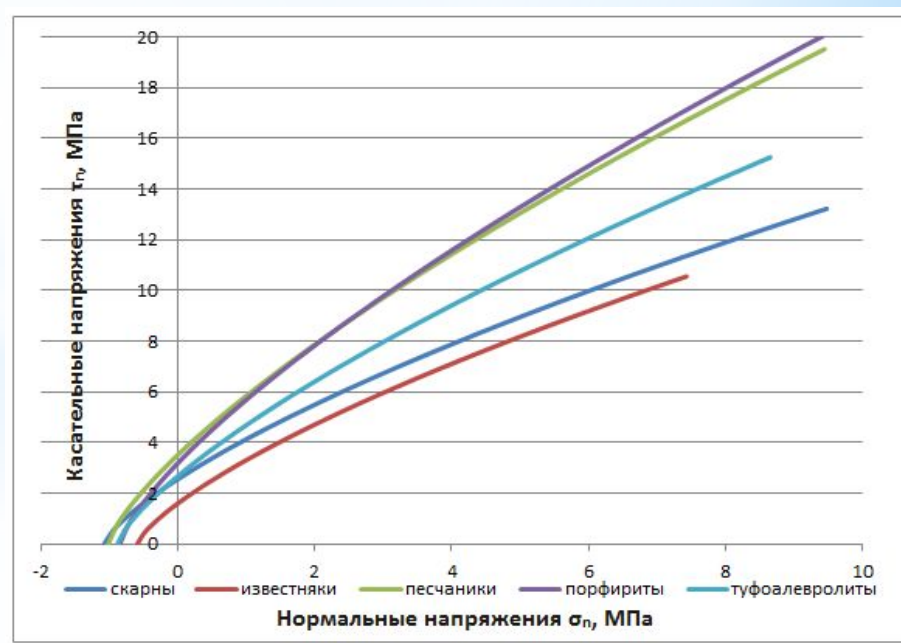
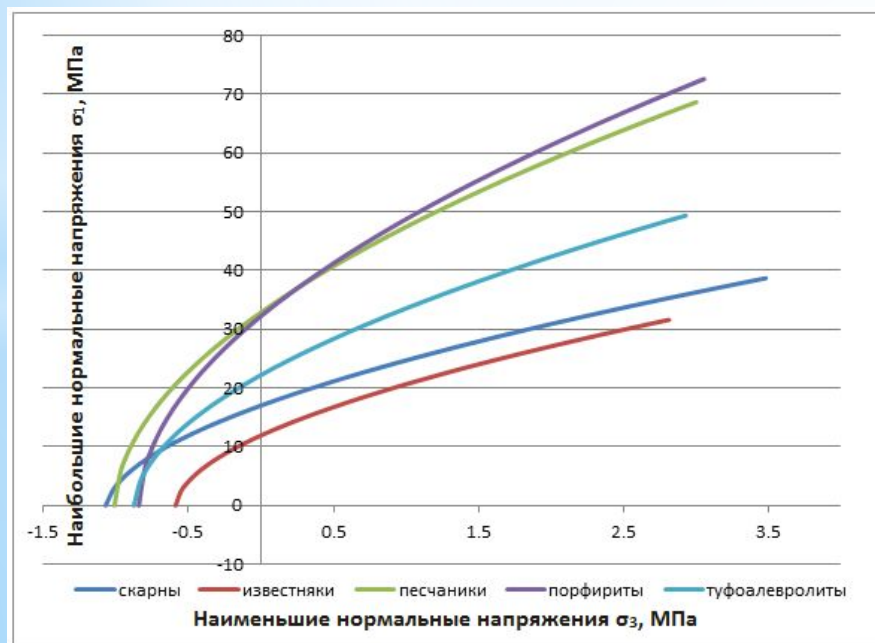
tensile strength = -0.069 MPa
uniaxial compressive strength = 1.807 MPa
global strength = 5.230 MPa
deformation modulus = 3686.23 MPa



Уточнение физико-механических свойств с применением программы RocLab

Исходные данные для программы RocLab

Вмещающие породы	Sigci, МПа	GSI	m_i	D	$E_i \text{ (MR)}$	Глубина, м	Объемный вес, МН/м^3
Песчаники	207	67	17	0	275	210	0,0262
Туфоалевролиты	148	66	13	0	300	210	0,0263
Известняки	89	64	10	0	700	210	0,0263
Диоритовые порфириды	203	67	20	0	400	210	0,0266
Гранатовые скарны	120	65	8	0	900	210	0,0325



Уточнение физико-механических свойств с применением программы RocLab

Вмещающие породы	Параметры массива горных пород					По критерию Кулона-Мора		По критерию Хука-Брауна		
	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на растяжение, МПа	Модуль деформации, МПа	Коэффициент Пуассона	Коэффициент ослабления	Сцепление, МПа.	Угол внутреннего трения, град	mb	s	a
Песчаники	33	1,0	38363	0,19	0,16	4,1	60	5,231	0,0252	0,502
Туфоалевролиты	22	0,9	28997	0,23	0,15	3,2	56	3,860	0,0229	0,502
Известняки	12	0,6	37998	0,27	0,13	2,1	51	2,765	0,0183	0,502
Диоритовые порфириды	32	0,8	54723	0,24	0,16	3,9	61	6,154	0,0256	0,502
Гранатовые скарны	17	1,1	68226	0,2	0,14	3,0	49	2,292	0,0205	0,502

Контрольные вопросы

1. *Изучение физико-механических свойств горных пород;*
2. *Влияние трещиноватости горных пород на устойчивость массива;*
3. *Определение геологического индекса прочности по Хуку-Брауну;*
4. *Критерии разрушения по Хуку-Брауну и Кулону-Мора;*
5. *Определение количества систем трещин с помощью программы Dips;*
6. *Определение прочностных показателей горных пород с помощью программы RocLab;*
7. *Построение паспорта прочности горных пород по данным программы RocLab;*
8. *Изучение процесса подготовки исходных данных для численного анализа.*

Список

литературы

1. Singh, B., Goel, R. *Rock Mass Classification*. - Printed 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*. Great Britain. Pergamon Press. 1993, - 820 p.
4. Hoek, E. and Brown, E.T. *Practical Estimation of Rock Mass Strength*, Int. Jr. Rock Mech. and Min. 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. *Практическая геомеханика. 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.