

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ОЦЕНКЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
МАГНЕТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ И ВМЕШАЮЩИХ ПОРОД

1138513

КРИВОРИЗЬКИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІБЛІОТЕКА

Кривой Рог: НДТРИ 1986

Изложены методы определения и способы расчета физико-механических свойств горных пород. Приведены в виде таблиц обобщенные показатели плотностных, прочностных, упругих, абразивных, акустических и тепловых свойств магнетитовых кварцитов рудников им.Дзержинского, им.Р.Люксембург, им.Ленина и Первомайского железорудного комбината Криворожского бассейна. Показаны зависимости этих свойств от минералогического состава кварцитов, а также закономерности изменения их с глубиной и с юга на север.

Рекомендации могут быть использованы научно-исследовательскими и проектными организациями, а также производственными предприятиями при проектировании добычи, транспортировки и переработки магнетитовых кварцитов.

Авторы: В.Г.Борисенко, Н.М.Гудименко

Ответственный за выпуск
В.М.Казак

Ордена Трудового Красного Знамени
Научно-исследовательский горно-рудный
институт, 1986

ВВЕДЕНИЕ

При значительных объемах добычи железных руд в Криворожском бассейне и практически полном освоении ресурсов традиционных видов металлургического сырья дальнейший рост производства товарных руд возможен лишь при условии вовлечения в эксплуатацию новых источников железа. Таким дополнительным источником являются магнетитовые кварциты, залегающие в горных отводах предприятий с подземным способом добычи руд.

Расширяющееся вовлечение в переработку магнетитовых кварцитов требует более полной информации об их физико-механических свойствах, определяющих наряду с условиями залегания способы ведения горных работ, а также технологии добычи и переработки.

В настоящей работе приведены в виде таблиц результаты выполненных в НИГРИ исследований по изучению физико-механических, тепловых и абразивных свойств магнетитовых кварцитов и прилегающих к ним вмещающих пород.

1. РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

1.1. Физико-механические свойства

Исследовались основные физико-механические свойства магнетитовых кварцитов и сопутствующих им вмещающих пород: плотность пород в массиве γ , т/м³; плотность пород δ , т/м³; пористость P , %; временное сопротивление одноосному сжатию (прочность) $\sigma_{см}$, Па; динамический модуль упругости E_d , Па; коэффициент Пуассона ν ; коэффициент крепости f и принадлежность к стратиграфическим горизонтам. Для пород рудника им.Дзержинского определялось содержание железа общего $Fe_{общ}$ и связанного с магнетитом $Fe_{мгт}$.

Плотность пород в массиве (объемный вес) определялась методом взвешивания кернов в воде и воздухе по ГОСТ 5182-78, а их

плотность (удельный вес) - пикнометрическим методом по ГОСТ 5181-78.

Пористость рассчитывалась по формуле $\Pi = (1 - \frac{\rho}{\rho_0}) \cdot 100\%$.

Временное сопротивление пород одноосному сжатию (см. табл. 6-14) определялось на черновых образцах диаметром 42 и 58 мм, полученных в процессе разведочного бурения. Слоистость испытываемых образцов по отношению к прилагаемой нагрузке располагалась под углом, изменяющимся от 35 до 50° (в среднем 45°). Высота образцов во всех определениях была равна их диаметру (ГОСТ 211532-75). Исследования показали, что временное сопротивление пород одноосному сжатию, испытываемому перпендикулярно слоистости, $\sigma_{сж}$ больше, чем испытываемому параллельно слоистости $\sigma_{сж}''$ в среднем в 1,3-1,4 раза. Приведенные в таблицах значения $\sigma_{сж}$ характеризуют среднюю прочность пород на одноосное сжатие, которая примерно на 17-18% меньше $\sigma_{сж}^I$ и на столько же больше $\sigma_{сж}''$.

Временное сопротивление сжатию (растяжению) магнетитсодержащих пород при насыщении их шахтными водами может уменьшаться в среднем на 13-18% (отн.). Это характерно для магнетитовых, магнетит-маритовых, мартит-магнетитовых, гематит-маритовых, мартит-гематитовых и других кварцитов и сланцев различного состава.

Иногда возникает необходимость использовать в расчетах параметры "паспорта прочности" - угол внутреннего трения φ и сцепление C . Эти параметры легко определяются по значениям $\sigma_{сж}$ (50 МПа $\leq \sigma_{сж} \leq$ 400 МПа) и данным табл. I. Отношение временного сопротивления одноосному сжатию к временному сопротивлению одноосному растяжению определяется по формуле

$$\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p} = 0,042 \cdot \sigma_{сж} + 1,83.$$

Таблица I

Исходные данные для определения углов внутреннего трения и сцепления горных пород

$\sigma_{сж}$ σ_p	φ , град	C $\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$ σ_p	φ , град	C $\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$ σ_p	φ , град	C $\sigma_{сж}$
4,00	22,0	0,338	6,40	33,0	0,270	8,80	39,0	0,239
4,10	22,5	0,334	6,50	33,5	0,268	8,90	39,0	0,238
4,20	23,0	0,331	6,60	34,0	0,265	9,00	39,0	0,237

Окончание табл. I

$\sigma_{сж}$ σ_p	φ , град	C $\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$ σ_p	φ , град	C $\sigma_{сж}$	$\sigma_{сж}$ σ_p	φ , град	C $\sigma_{сж}$
4,30	23,5	0,327	6,70	34,5	0,264	9,10	39,5	0,236
4,40	24,5	0,323	6,80	35,0	0,260	9,20	39,5	0,236
4,50	25,0	0,319	6,90	35,5	0,258	9,30	39,5	0,235
4,60	25,0	0,318	7,00	35,5	0,257	9,40	40,0	0,232
4,70	25,5	0,314	7,10	35,5	0,256	9,50	40,0	0,232
4,80	26,5	0,310	7,20	36,0	0,255	9,60	40,0	0,232
4,90	26,5	0,308	7,30	36,0	0,254	9,70	40,5	0,230
5,00	27,0	0,306	7,40	36,0	0,254	9,80	40,5	0,230
5,10	27,5	0,303	7,50	36,5	0,252	9,90	41,0	0,227
5,20	27,5	0,302	7,60	37,0	0,250	10,0	41,0	0,226
5,30	28,0	0,299	7,70	37,0	0,249	11,0	41,5	0,223
5,40	28,5	0,296	7,80	37,0	0,248	12,0	43,5	0,215
5,50	29,0	0,294	7,90	37,5	0,247	13,0	44,5	0,208
5,60	29,5	0,291	8,00	37,5	0,246	14,0	45,5	0,204
5,70	30,0	0,289	8,10	38,0	0,245	15,0	46,5	0,199
5,80	30,0	0,287	8,20	38,0	0,244	16,0	47,0	0,196
5,90	30,5	0,284	8,30	38,0	0,244	17,0	47,5	0,195
6,00	31,0	0,283	8,40	38,0	0,242	18,0	47,5	0,194
6,10	31,5	0,280	8,50	38,5	0,242	19,0	50,0	0,182
6,20	32,0	0,278	8,60	38,5	0,240	20,0	50,0	0,181
6,30	32,5	0,274	8,70	39,0	0,240			

По вычисленному отношению из табл. I находим угол внутреннего трения и $\frac{C}{\sigma_{сж}} = K$. Из последнего отношения расчетным путем определяем величину сцепления:

$$C = K \sigma_{сж}, \text{ МПа.}$$

Пример. Определить угол внутреннего трения и сцепление для карбонат-силикат-магнетитовых кварцитов (КСМ) стратиграфического горизонта K_2^{IX} на руднике им. Дзержинского.

Средняя величина временного сопротивления одноосному сжатию КСМ равна 143 МПа (см. табл. 6). Тогда $\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p} = 0,042 \cdot 143 + 1,83 = 7,84$. В табл. I для $\frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p} = 7,84$ находим $\varphi = 37,0^\circ$ и отношение $\frac{C}{\sigma_{сж}} = 0,248$. Тогда $C = 0,248 \cdot 143 \text{ МПа} = 35,5 \text{ МПа}$.

1.2. Тепловые свойства

К тепловым свойствам пород относятся: коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К (тепловое удельное сопротивление $\xi = \frac{1}{\lambda}$), теплоемкости удельная массовая C_m , Дж/г·К, объемная C_v Дж/м³·К и температуропроводность a .

Коэффициент теплопроводности определяет пропорциональность в уравнении $\frac{Q}{t} = \lambda \frac{t_1 - t_2}{X} S$, связывая количество тепла Q , перенесенное в единицу времени t через плоский слой толщиной X , с поверхностью S и градиентом температуры $\frac{t_1 - t_2}{X}$, т.е. коэффициент теплопроводности характеризует способность горных пород передавать тепло от одной точки к другой при наличии между ними разности температур. $\lambda = 0,2-7$ Вт/м·К.

Удельная массовая $C_m = 0,4-1,5$ Дж/г·К и объемная $C_v = 1800-2250$ Дж/м³·К теплоемкости характеризуют свойство пород поглощать тепловую энергию при теплообмене.

Температуропроводность горных пород является комплексным параметром, характеризующим изменение температуры при поглощении или отдаче тепла: $a = \frac{\lambda}{C_m \rho} = \frac{1}{\xi C_m \rho} = \frac{1}{\xi C_v} = \frac{\lambda}{C_v}$.

● $\lambda(\xi)$, C_m , C_v и a зависят от минерального состава пород, соотношения их фаз, температуры и давления.

Показатели тепловых свойств горных пород в лабораторных условиях определялись методом теплового нерегулярного поля с применением импульсного источника тепла (табл.2). В табл.3 приведены те же показатели, полученные расчетным путем по формулам смещения с последующим вводом поправок на неоднородность строения горных пород (трещиноватость, пористость и т.п.).

Удельная массовая теплоемкость породы рассчитывается с учетом удельной массовой теплоемкости каждого из минералов, входящих в породу, и их процентного содержания [1]:

$$C_m = \frac{(X_1 C_{11} + X_2 C_{22} + \dots + X_n C_{nn})}{\sum X_i} = \frac{\sum X_i C_i}{\sum X_i}$$

Аналогично, с учетом поправки на неоднородность строения, определяется температуропроводность породы

$$\lambda = 0,443 \frac{\sum X_i \lambda_i}{\sum X_i} + 0,913,$$

где X_i — содержание породообразующих минералов в процентах или долях единицы;

C_i — удельная массовая теплоемкость породообразующих минералов;

λ_i — теплопроводность породообразующих минералов.

Таблица 2

Тепловые свойства горных пород (экспериментальные данные)

Горные породы	Индекс: стратиграфического горного горизонта	Теплоемкость: C , Дж/г·К	Теплопроводность: λ , Вт/м·К	Температуропроводность: $a \cdot 10^6$, м²/с
Магнетитовые кварциты	K ₂ ^{2ж}	0,428-0,431	1,54-3,60	2,51-2,57
То же	K ₂ ^{4ж}	0,421-0,447	3,34-3,72	2,34-2,76
То же	K ₂ ^{5ж}	0,403-0,413	3,20-3,41	2,34-2,53
Мартит-магнетитовые кварциты	K ₂ ^{4ж}	0,609	4,79	2,46
Гематит-магнетитовые кварциты	K ₂ ^{4ж}	0,448-0,490	3,315-3,390	2,11-2,25
Мартитовые кварциты	K ₂ ^{5ж}	0,718	4,37	2,00
Хлорито-аспидиновые сланцы	K ₂ ^{1с}	0,769	2,52	1,23
Серицит-хлорит-аспидиновые сланцы	K ₂ ^{3-4с}	0,769	2,90	1,35
Аркозовые песчаники	K ₁ ¹	0,815	4,04	1,87
Граниты саксаганские		0,741	2,18	1,11
Гнейсы биотитовые ...		0,800	2,45	1,14
Вода		4,19	0,60	

Таблица 3

Тепловые свойства горных пород (расчетные)

Горные породы	Плотность: в массе ρ , т/м³	Теплопроводность: λ , Вт/м·К	Теплоемкость: C_m , Дж/г·К	Температуропроводность: $a \cdot 10^6$, м²/с
Биотитовые гнейсы	2,69	2,84	0,725	1,45
Плагноклазовые граниты	2,65	2,31	0,745	1,17
Диабазы	2,89	2,37	0,715	1,15

Окончание табл.3

Горные породы	Плотность в мас- сиве $\gamma, \text{т/м}^3$	Теплопро- водность $\lambda, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$	Теплоем- кость $C_m, \text{Дж/г}\cdot\text{К}$	Температу- ра рождения горных пород $\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$
Амфиболиты	2,88	2,35	0,716	1,14
Аркозовые песчаники...	2,63	3,87	0,742	1,98
Филлиты	2,60	3,26	0,737	1,70
Аспидные и хлорит-ас- пидные сланцы	2,67	3,22-5,15 4,07	0,675-0,762 0,726	1,51-2,53 2,10
Хлорит-биотитовые и хло- ритовые сланцы	2,80	3,13-3,96 3,46	0,670-0,758 0,712	1,55-1,99 1,73
Хлорит-карбонат-талко- вые сланцы	2,60	3,12	0,709	1,65
Красковые сланцы	2,85	3,67-3,74 3,70	0,728-0,747 0,737	1,76-1,77 1,76
Слюдисто-хлоритовые сланцы	3,00	3,21-3,89 3,55	0,721-0,751 0,736	1,42-1,80 1,61
Магнетитовые кварциты	3,46	3,33-3,75 3,59	0,678-0,719 0,695	1,42-1,60 1,49
Маритовые кварциты ...	3,36	4,61-4,78 4,70	0,663-0,687 0,678	2,01-2,10 2,06
Гематит-маритовые квар- циты	2,97	3,54-4,58 4,24	0,691-0,736 0,707	1,62-2,22 2,02
Гематитовые кварциты	2,93	4,28-4,47 4,73	0,698-0,707 0,702	2,07-2,18 2,12

Пример. Определить показатели тепловых свойств маритового кварцита K_2^* , имеющего (по пересчету химанализов) следующий минералогический состав: магнетит - 1,47%; гематит (мартит) - 53,56%; гетит-гидрогетит - 0,06%; ильменит - 0,11%; кварц - 42,2%; каолинит - 2,48%; апатит - 0,06%. Плотность кварцита $\gamma = 3360 \text{ кг/м}^3 = 3,36 \cdot 10^6 \text{ г/м}^3$.

Используя данные табл.4, по формуле смешения определим удельную массовую теплоемкость кварцита:

$$C_m = (1,47 \cdot 0,610 + 53,56 \cdot 0,628 + 0,06 \cdot 0,628 + 0,11 \cdot 0,770 + 42,2 \cdot 0,740 + 2,48 \cdot 0,930 + 0,06 \cdot 0,700) : 99,94 = 0,683 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}.$$

Таблица 4

Теплофизические свойства основных породообразующих минералов

Минералы	Формулы минералов	Плотность $\rho, \text{т/м}^3$	Тепло- провод- ность $\lambda, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$	Тепло- емкость $C_m, \text{Дж/г}\cdot\text{К}$
1	2	3	4	5
Оксиды				
Магнетит	Fe_3O_4	4,9-5,2	5,3	0,610
Гематит	Fe_2O_3	5,274	10,4	0,628
Кварц	SiO_2	2,648	7,99	0,740
Ильменит	FeTiO_3	4,786	2,2	0,770
Гидроокислы				
Гетит	$\text{FeO}(\text{OH})$	4,0-4,4	4,0	0,628
Лимонит	$\text{FeO}(\text{OH})_n \cdot \text{H}_2\text{O}$	3,3-4,0		0,920
Сульфиды				
Пирит	FeS_2	5,016	30,5	0,510
Пирротин	$\text{Fe}_{0,8}\text{S}_{1,1}$	4,6-4,7		0,590
Халькопирит	Cu, FeS_2	4,088	8,2	0,550
Карбонаты				
Сидерит	FeCO_3	3,944	3,0	0,74
Кальцит	CaCO_3	2,712	3,58	0,820
Доломит	$\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$	2,866	4,7	0,870
Железистые силикаты				
Биотит	$\text{K}(\text{Mg, Fe})_3(\text{OH, F})_2[\text{Al}(\text{Si, Al})_3\text{O}_{10}]$	3,02-3,12	1,95	0,770
Хлорит	$(\text{Mg, Fe, Al})_6[(\text{Si, Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	2,6-3,0	4,20	0,600
Кумингтонит- гроссерит	$(\text{Mg, Fe})_2(\text{OH})_2[\text{Si, Al}_2\text{O}_4]_2$	3,14-3,47	2,9	0,650
Актинолит ...	$\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe}^{2+})_5[\text{Si, Al}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$	3,1-3,3	3,8	0,650
Эббелит	$\text{Na}_2(\text{FeMg})_3\text{Fe}_2(\text{OH})_2$	3,44		
Роговая обман- ка	$\text{Na, Ca}_2(\text{Mg, Fe}^{2+})_4[\text{Al, Fe}^{3+}]_2[\text{Si, Al}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$	3,1-3,3	3,0	0,670

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5
Железистые силикаты				
Эгирин $\text{Na, Fe}^{3+}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	3,43-3,60	4,2	0,748	
Оливин $(\text{Mg, Fe})_2[\text{SiO}_4]$	3,32	3,0	0,550	
Альмандит $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$	4,25	3,3	0,750	
Нежелезистые силикаты				
Серпентин $\text{Mg}_3(\text{OH})_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	2,5-2,7	1,8-2,9	0,650	
Мусковит-серицит ... $\text{KAl}_2(\text{OH})_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$	2,834	2,32	0,760	
Каолинит ... $\text{Al}_4(\text{OH})_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	2,6-2,63	0,88	0,930	
Тальк $\text{Mg}_3(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	2,7-2,82	3,45	0,750	
Микроклин $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	2,561	2,9	0,680	
Плагноклаз $(\text{Na, Ca})[\text{Al}(\text{Si, Al})\text{Si}_2\text{O}_8]$	2,624-2,67	1,95	0,750	
Маргарит ... $\text{Ca Al}_2[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	3,02	2,30	0,760	
Фосфаты				
Апатит $\text{Ca}_5(\text{F, Cl, OH})(\text{PO}_4)_3$	3,2	1,4	0,700	
Простые вещества				
Графит C	2,09-2,26	157,8	0,720	

Аналогично определяем коэффициент теплопроводности:

$$\frac{\sum X_i \lambda_i}{\sum X_i} = (1,47 \cdot 5,3 + 53,56 \cdot 10,4 + 0,06 \cdot 10,4 + 0,11 \cdot 2,2 + 42,2x) / (2,99 + 2,48 + 0,08 + 0,06 + 1,4) : 99,94 = 9,057;$$

$$\lambda = 0,443 \cdot 9,057 + 0,913 = 4,925 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}.$$

Температуропроводность определяем, применяя соотношение:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_m \rho} = \frac{4,925}{0,683 \cdot 3,36 \cdot 10^6} = 2,146 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

1.3. Абразивные свойства

Для определения абразивности горных пород использовался метод Д.И.Барона и А.В.Кузнецова [2].

Сущность метода заключается в следующем. Торцы цилиндрических стальных стержней истираются при прерывательном движении о необработанную поверхность образца горной породы. Износ стержня определяется взвешиванием его на аналитических весах с точностью до 0,1 мг до и после опыта. Показателем относительной абразивности служит потеря массы истираемого стержня, выраженная в миллиграммах. На абразивный износ влияют следующие факторы:

- твердость зерен минералов, составляющих горные породы. Высокая твердость зерен (например, кварца) и низкая прочность связующего их цемента обуславливают абразивное действие на породоразрушающий инструмент;

- прочность связи между зернами породы. С одной стороны, высокая прочность делает устойчивым абразивное зерно, а с другой стороны, она затрудняет вскрытие новых абразивных зерен, в результате чего может возникнуть так называемый эффект "засаливания". Чем легче вскрываются зерна, тем выше абразивный износ;

- форма и размеры зерен (остроугольные зерна - более абразивные, окатанные - менее абразивные); размер зерен влияет на степень шероховатости породы - крупные зерна более интенсивно изнашивают инструмент;

- пористость породы, она также увеличивает шероховатость поверхности, поэтому породы с высокой пористостью и незначительной крепостью (например, пемза, туфы, туфопесчаники и т.п.) абразивнее пород с низкой пористостью и высокой крепостью;

- степень неоднородности породы. Породы полимерные (граниты, гранодиориты) и вторично окварцованные (кварциты и богатые руды) более абразивны, чем мономинеральные (кварцевые жилы);

- характер слоистости пород. При взаимодействии породоразрушающего инструмента с породой по слоистости абразивный износ больше, чем по нормали к ней. Это обусловлено тем, что в слоистых породах зерна кварца в большинстве своем вытянуты вдоль слоистости, поэтому на единицу контактируемой с инструментом площади приходится большее количество зерен, грани которых имеют более острые углы.

Для всех пород, кроме сланцев, прослеживается преобладающее влияние содержания кварца на абразивность. Это позволило установить корреляционную зависимость абразивности от содержания в по-

родах SiO_2 общ (%). Коэффициент корреляции равен 0,71. Уравнение регрессии имеет вид:

$$A = 0,428 SiO_2 + 1,68,$$

где A - показатель абразивности, мг.

В табл.5 приведена шкала абразивности горных пород месторождений Кривбасса. Основа построения шкалы сохранена в том виде, в каком она была предложена Л.И.Бароном и А.В.Кузнецовым. В процессе исследований шкала уточнена и, главным образом, пополнена типами и разновидностями горных пород, наиболее часто встречающимися в Криворожском бассейне и попадающими в тот или иной класс. Как видно из таблицы, породы и руды Кривбасса по абразивности укладываются в классы с I по V включительно. Породы и руды более высоких классов пока не выявлены. Для полного представления о возможных пределах изменения показателя абразивности названия пород, вошедших в VI-VIII классы, приведены по данным Л.И.Барона и А.В.Кузнецова.

Пример приближенного определения абразивности горных пород

В результате химических анализов установлено, что в среднезернистых аркозовых песчаниках, встречающихся на рудниках им.Дзержинского, им.К.Либкнехта и им.Ленина, содержание SiO_2 колеблется от 67,2 до 83,2%. По уравнению регрессии определяем:

$$A_{min} = 0,428 \cdot 67,2 + 1,68 = 30,4 \text{ мг};$$

$$A_{max} = 0,428 \cdot 83,2 + 1,68 = 37,3 \text{ мг}.$$

По шкале абразивности (табл.5) аркозовые песчаники относятся к V классу пород, характеризующихся как породы выше средней абразивности.

Таблица 5

Шкала абразивности горных пород месторождений Кривбасса (по методу Л.И.Барона и А.В.Кузнецова)

Класс абразивности	Наименование класса	Показатель абразивности, мг	Горные породы
I	Весьма малоабразивные породы	До 5	Доломиты мраморизованные, известняки, дисперсно-гематитовые руды, хлорит-карбонат-талковые, хлорит-сиенитовые окрасочные и интенсивно обокрашенные сланцы

Окончание табл.5

Класс абразивности	Наименование класса	Показатель абразивности, мг	Горные породы
II	Малоабразивные породы	5-10	Мартитовые и гематит-мартитовые руды с содержанием Fe общ > 58%. Интенсивно выщелоченные мартитовые, гематит-мартитовые и гематитовые кварциты, графитит-кварцевослюдистые, серицит-хлоритовые сланцы
III	Породы ниже средней абразивности	10-18	Мартитовые и гематит-мартитовые руды с содержанием Fe общ < 58%. Выщелоченные мартитовые, гематит-мартитовые и гематитовые кварциты. Окварцованные сланцы с прослоями кварцита
IV	Среднеабразивные породы	18-30	Мартитовые, гематит-мартитовые окварцованные руды, магнетитовые руды, диабазы, плотные мартитовые, гематит-мартитовые, гематитовые и магнетитовые кварциты, жильный кварц, аркозовые песчаники с зернами кварца размером до 1 мм, мелкозернистые амфиболиты
V	Породы выше средней абразивности	30-45	Песчаники кварцевые и аркозовые, средние и крупнозернистые, плагиограниты, микроклиновые граниты, мартитовые и магнетитовые кварциты с крупнозернистым кварцем, биотитовые гнейсы
VI	Породы повышенной абразивности	45-65	Средне- и крупнозернистые граниты, амфиболиты, окварцованные гнейсы, диориты, граидиориты
VII	Высокоабразивные	65-90	Гранитоидные нефелиновые сиениты, граниты крупнозернистые, порфириты, диориты
VIII	Породы высшей степени абразивности	>90	Корундосодержащие породы

2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНЕТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ ПО РУДИКАМ КРИВЬЯССА

Сокращения

для разновидностей железистых кварцитов:

А - амфибол;

Г - гематит;

К - карбонат;

Л - лимонит;

М - магнетит;

М_т - мартит;

С - силикат;

Х - хлорит;

КСМ - карбонат-силикат-магнетитовый кварцит;

ММ_т - магнетит-мартитовый кварцит;

ЛМ_т - лимонит-мартитовый кварцит;

С(А)М - силикат (амфибол)-магнетитовый кварцит;

МА - магнетит-амфиболовый кварцит;

Мбр - магнетитовая брекчия;

ГМ_{эп} - гематит-магнетитовый кварцит эгиринизированный;

ХАМ - хлорит-амфибол-магнетитовый кварцит.

2.1. Рудник им.Дзержинского

Результаты определений физико-механических свойств магнетитовых кварцитов и вмещающих пород приведены в табл.6. Анализ более 900 определений показателей свойств позволил выявить следующие их особенности.

Средняя плотность минеральных разновидностей кварцитов продуктивных толщ К₂^{1к} и К₂^{2к} на руднике им.Дзержинского равна 3,21 т/м³. Прослеживается следующая характерная для обоих стратиграфических горизонтов последовательность железистых кварцитов по убыванию их плотности: гематит-магнетитовые - 3,3 т/м³; магнетитовые - 3,29 т/м³; карбонат-силикат-магнетитовые и магнетит-карбонатные - 3,25 т/м³; мартит-магнетитовые и карбонат-магнетитовые - 3,22 т/м³; силикат-карбонат-магнетитовые - 3,17 т/м³; силикат-магнетитовые и силикат-магнетит-карбонатные - 3,10 т/м³.

Для К₂^{1к} наблюдается изменение плотности кварцитов с глубиной. Средняя плотность кварцитов на отметке -100 м определена в 3,09 т/м³. Градиент ее изменения, вплоть до отметки -900 м, составил 0,025 т/м³ на 100 м глубины. Для К₂^{2к} такая закономерность не установлена (табл.7).

Средние величины пористости железистых кварцитов продуктивных толщ К₂^{1к} и К₂^{2к} практически совпадают и изменяются от 4,3 до 7,1%. Последовательность минералогических разновидностей кварцитов по убыванию их пористости следующая: мартит-магнетитовые - 7,1%, силикат-магнетитовые - 6,8%, карбонат-силикат-магнетитовые - 5,9%, силикат-магнетит-карбонатные и силикат-карбонат-магнетитовые - 5,5%, карбонат-магнетитовые - 5,4%, магнетитовые и гематит-магнетитовые - 5,3% и магнетит-карбонатные - 4,3%. В среднем пористость железистых кварцитов продуктивных толщ К₂^{1к} и К₂^{2к} оценивается в 5,7-6,0%.

Средние величины временного сопротивления одноосному сжатию минералогических разновидностей кварцитов К₂^{1к} и К₂^{2к} разнозначны и изменяются в сравнительно небольших пределах - от 110 МПа до

Физико-механические свойства минералогических разновидностей железистых кварцитов на руднике им. Дзержинского

Индекс по стро- кам	Индекс по столб- цам	Индекс по диаго- нали	Индекс по горизонта-		Плотность, % в массе	Нори- мость	Проч- ность	Модуль упруго- сти Е _p , ГПа	Коэфф- циент Пуассона μ	Коэф- фици- ент вн. креня- емости f
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KOM	K ₁ ^m	25,8-36,2 31,88	12,25-31,1 20,37	2,75-3,66 3,25	2,2-11,7 5,9	57-230 ¹⁾ 143	55,4-98,9 68,3	0,19-0,26 0,22	7-20 14	
CME	K ₂ ^m	26,25-36,9 29,74	9,76-31,68 17,05	2,78-3,68 3,17	1,2-15,8 5,4	69-236 135	30,7-96,0 66,1	0,19-0,27 0,23	7-20 14	
CMK	K ₂ ^m	22,7-30,5 27,1	9,5-22,81 14,98	2,64-3,26 3,03	3,0-10,9 5,5	97-183 137	55,2-90,1 67,7	0,20-0,26 0,23	10-18 14	
KM	K ₁ ^m	24,0-36,7 31,23	12,01-30,55 20,07	2,63-3,68 3,22	0,3-19,2 5,7	42-270 131	26,8-102,5 67,8	0,19-0,26 0,23	4-20 13	
KM	K ₂ ^m	21,5-37,1 30,34	8,4-31,62 18,90	2,68-3,80 3,22	0,3-13,2 5,04	55-273 126	21,6-103,0 61,0	0,18-0,31 0,23	6-20 13	
M	K ₁ ^m	28,2-36,2 34,44	16,3-31,35 25,78	2,61-4,01 3,26	0,3-11,5 5,4	51-270 132	28,4-98,9 67,2	0,19-0,27 0,22	5-20 13	
M	K ₂ ^m	26,0-38,1 32,77	19,95-30,3 26,11	2,83-3,78 3,31	0,3-15,7 5,05	48-296 148	34,3-100,2 65,0	0,18-0,26 0,23	5-20 15	
CKM	K ₁ ^m	22,0-38,0 31,85	3,3-30,9 19,63	2,60-3,58 3,10	0,6-15,8 7,4	41-251 104	39,4-86,1 61,4	0,17-0,27 0,20	4-20 10	
CKM	K ₂ ^m	25,8-30,3 27,48	12,21-20,4 15,19	3,16-3,38 3,23	2,5-5,4 3,6	61-196 115	42,1-77,8 63,4	0,20-0,25 0,23	6-20 12	

Продолжение табл. 6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CM	K_2^1	<u>26,5-40,4</u> 31,8	<u>3,52-31,68</u> 21,25	<u>2,93-3,68</u> 3,17	<u>1,2-13,6</u> 5,6	<u>72-230</u> 135	<u>49,3-85,2</u> 66,2	<u>0,19-0,27</u> 0,22	<u>7-20</u> 14	
CM	K_2^2	<u>22,7-32,9</u> 29,08	<u>9,56-22,81</u> 16,08	<u>2,64-3,34</u> 3,02	<u>1,9-14,7</u> 7,9	<u>69-183</u> 118	<u>38,8-70,2</u> 57,9	<u>0,2-0,28</u> 0,24	<u>7-18</u> 12	
FM	K_2^1	<u>30,9-37,0</u> 31,83	<u>17,58-28,27</u> 24,94	<u>2,94-3,59</u> 3,27	<u>1,4-10,9</u> 5,9	<u>67-226</u> 128	<u>49,4-81,5</u> 65,9	<u>0,19-0,26</u> 0,23	<u>7-20</u> 13	
FM	K_2^2	<u>32,6-38,4</u> 34,75	<u>23,55-26,75</u> 25,43	<u>3,11-3,53</u> 3,34	<u>2,0-9,1</u> 4,6	<u>97-191</u> 131	<u>42,6-65,0</u> 51,5	<u>0,21-0,26</u> 0,23	<u>10-19</u> 13	
$M_2^1 M$	K_2^1	36,1	21,97	3,23	6,4	184	66,6	0,24	18	
$M_2^1 M$	K_2^2	<u>30,5-36,2</u> 33,78	<u>15,31-29,69</u> 21,50	<u>2,91-3,42</u> 3,22	<u>2,1-12,6</u> 7,9	<u>43-197</u> 120	<u>34,7-7,30</u> 57,5	<u>0,19-0,27</u> 0,23	<u>4-20</u> 12	
Высшие породы										
MNC	K_2^1	<u>25,30-28,40</u> 28,19	<u>7,55-20,67</u> 12,76	<u>2,56-3,68</u> 3,00	<u>3,7-16,5</u> 9,9	<u>40-209</u> 89	<u>37,7-9,21</u> 57,4	<u>0,23-0,26</u> 0,24	<u>4-20</u> 9	
MNC	K_2^2	<u>25,3-28,4</u> 27,03	<u>8,24-12,82</u> 10,46	<u>2,53-3,12</u> 2,82	<u>4,9-15,1</u> 9,60	<u>45-162</u> 98	<u>36,3-11,09</u> 66,0	<u>0,21-0,26</u> 0,23	<u>5-16</u> 10	
MOK	K_2^1	<u>21,45-37,7</u> 32,53	<u>5,4-27,24</u> 13,58	<u>2,6-3,87</u> 3,12	<u>0,9-15,6</u> 6,0	<u>42-296</u> 110	<u>21,7-94,2</u> 64,5	<u>0,19-0,26</u> 0,23	<u>4-20</u> 11	
MOK	K_2^2	<u>23,45-30,9</u> 26,07	<u>6,9-12,75</u> 11,67	<u>2,78-3,44</u> 3,30	<u>1,6-14,2</u> 7,3	<u>25-290</u> 95	<u>39,8-103,0</u> 62,2	<u>0,17-0,26</u> 0,22	<u>3-20</u> 10	
МК	K_2^1	<u>19,0-34,20</u> 27,58	<u>8,53-21,31</u> 14,10	<u>3,08-3,82</u> 3,28	<u>0,9-6,2</u> 4,1	<u>91-198</u> 137	<u>60,9-98,9</u> 71,2	<u>0,19-0,26</u> 0,23	<u>9-20</u> 14	

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
МК	K_2^x	24,10-32,50 27,8	9,77-24,38 15,9	2,1-3,53 2,2	2,2-9,9 4,50	65-167 110	36,0-93,7 70,2	0,20-0,27 0,22	7-17 11
МЛ	K_2^I	33,20-37,90 35,25	7,42-14,70 11,41	2,45-3,11 2,88	10,2-14,8 12,1	57-170 99	49,1-76,1 62,5	0,19-0,23 0,21	6-17 10
МЛ	K_2^x	27,3-37,4 33,54	4,80-26,65 11,76	2,45-3,62 3,11	0,9-14,8 9,0	28-189 92	22,7-96,9 57,2	0,17-0,29 0,23	3-19 9
М	K_2^I	26,3-37,6 30,47	0,45-4,44 2,96	2,81-3,29 3,02	5,1-16,6 12,1	61-143 78	33,3-74,3 48,4	0,20-0,27 0,24	6-14 8
М	K_2^x	21,1-39,6 32,1	0,3-6,6 2,60	2,44-3,56 3,04	0,8-20 10,73	40-134 81	19,5-74,3 50,0	0,15-0,27 0,23	4-13 8
МЛ	K_2^I	24,0-37,2 31,2	0,3-12,18 2,42	2,72-3,52 3,07	1,3-10,4 8,8	38-154 95	14,9-83,2 5,27	0,20-0,28 0,24	4-15 10
МЛ	K_2^x	26,7-35,4 30,7	1,75-12,5 6,02	2,65-3,45 3,13	1,0-14,2 5,6	29-140 70	29,8-80,9 59,2	0,21-0,29 0,24	3-14 7
МЛ	K_2^I	25,7-35,9 31,8	0,72-3,78 2,30	2,82-3,25 3,04	10,2-17,2 13,7	30-51 41	36,4-67,6 51,9	0,18-0,26 0,22	3-5 4
МЛ	K_2^x	25,0	1,43	2,74	14,9	46	34,1	0,19	5
Л	K_2^I	28,4	0,68	2,89	7,7	125	63,8	0,23	13
Л	K_2^x	21,4-36,1 28,95	0,23-3,63 1,70	2,51-3,10 2,89	3,2-9,0 6,5	81-122 104	51,7-66,7 65,2	0,21-0,25 0,23	8-12 10

Окончание табл. 6

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ГЛ	K_2^x	29,1-34,5 32,7	1,46-12,15 4,6	2,85-3,90 3,20	8,7-9,7 9,0	74-128 96	39,0-69,0 56,9	0,20-0,29 0,24	7-13 10
ГЛ	K_2^I	34,2	26,76	3,27	4,7	121	85,6	0,23	Н.св.

1) Величины прочности приведены в мегапаскалях (МПа).

I МПа = 10^6 Па = 9,81 кгс/см² ≈ 10 кгс/см².

2) Величины модуля упругости приведены в гигапаскалях (ГПа).

I ГПа = 10^9 Па = 9810 кгс/см² ≈ 10^4 кгс/см².

143 МПа. Последовательность разновидностей кварцитов по убыванию их прочности следующая: карбонат-силикат-магнетитовые - 143 МПа, магнетитовые - 140 МПа, силикат-магнетит-карбонатные - 136 МПа, гематит-магнетитовые - 130 МПа, карбонат-магнетитовые - 129 МПа, силикат-магнетитовые - 127 МПа, магнетит-карбонатные - 124 МПа, марит-магнетитовые - 120 МПа и силикат-карбонат-магнетитовые - 110 МПа. В среднем прочность магнетитовых кварцитов K_2^{I-2x} оценивается в 129 МПа. С глубиной прочность кварцитов несколько увеличивается с градиентом 1-2 МПа на каждые 100 м глубины (начиная с отметки -240 м для K_2^x и с -120 м для K_2^I).

Распределение кварцитов по коэффициенту крепости по М.М. Протодаьянову характеризуется следующими цифрами: коэффициент крепости - < 6, 6-9, 9-12, 12-15, 15-18, > 18; % горных пород - 8, 19, 30, 20, 10, 13.

Средние величины коэффициентов крепости для обоих стратиграфических горизонтов изменяются от II до I4 с преобладанием I3.

Изменение с глубиной физико-механических свойств магнетитовых кварцитов
на руднике им. Дзержинского

Номера скважин, глубина, м	Глубина, м	Родок, %	Fe магн, %	Плотность в массиве		Пористость		Прочность		Модуль упругости		Коэффициент расширения, 1/°С
				γ, т/м³	π, %	π, %	σ _{сж} , МПа	σ _{сж} , МПа	Е _д , ГПа	Е _д , ГПа	α _{сж} , 1/°С	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
К ₁												
17264	-85	34,0	21,42	2,86-3,06	5,4-15,8	71-83	53-59	7-8				
				2,96	10,6	77	56	8				
17260	-90	28,16-34,1	10,03-25,0	3,0-3,42	1,4-15,7	50-156	52,6-80,4	5-16				
		30,98	18,12	3,14	7,76	97	65,9	10				
17293	-100	28,8-36,0	11,0-27,45	2,93-3,36	3,1-6,7	49-114	37,7-62,8	5-11				
		32,45	20,0	3,13	4,97	86	49,7	9				
17058	-150	28,0-34,1	15,3-24,86	3,0-3,66	1,4-14,45	52-95	53,5-64,6	5-10				
17355		30,28	18,18	3,15	6,01	73	58,8	7				
16723	-175	29,8-31,3	15,43-26,4	2,96-3,04	6,0-8,25	66-110	57,9-63,8	7-11				
		30,77	21,42	2,99	7,4	89	60,8	9				
17088	-180	29,5-33,43	12,88-24,45	2,87-3,24	7,4-8,63	93-96	48,2-51,9	9-10				
		31,46	18,66	3,10	8,01	95	50,0	10				
17090	-205	32,02-33,1	18,12-23,58	3,0-3,2	2,8-6,75	89-126	49,0-6,23	9-13				
		32,55	20,4	3,11	4,35	108	55,5	11				
17069	-240	29,96-35,85	17,13-27,53	3,05-3,41	3,4-7,31	120-188	62,1-69,7	12-19				
		33,01	23,82	3,19	5,25	141	66,1	14				
17098	-245	25,85-29,48	8,02-16,5	2,73-3,23	1,5-16,5	93-107	37,7-53,5	9-11				
		28,21	14,58	3,01	14,58	99	46,5	10				

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
17085	-250	27,6-33,53	18,18-26,99	3,15-3,25	1,9-8,8	91-119	61,0-80,0	9-12
		32,26	30,32	3,21	4,9	105	67,7	11
17089	-315	29,31-35,7	13,77-25,8	3,02-3,26	4,43-10,65	142-195	53,7-64,9	14-20
		31,86	18,54	3,12	8,49	175	62,0	18
16878	-380	28,35-33,85	11,62-27,01	3,19-3,45	1,4-12,3	113-147	49,4-68,3	11-15
		32,46	23,32	3,32	5,81	134	57,7	13
17076	-460	19,0-35,85	8,72-27,44	3,08-3,51	2,7-11,1	82-137	55,5-68,4	8-14
		30,05	18,89	3,20	7,34	105	63,1	11
17042	-500	28,65	14,87	3,2-3,22	3,3	134-217	75,2-91,9	13-20
				3,21	н.св.	176	83,5	18
16877	-530	29,26-31,56	17,16-24,53	3,25-3,27	0,9-4,4	122-199	77,0-72,4	12-20
		30,41	21,04	3,26	2,65	160	71,5	16
17280	-540	28,42-34,8	14,36-25,88	3,03-3,33	4,1-11,7	101-196	60,2-85,6	10-20
17095		31,53	21,3	3,18	7,0	141	67,1	14
17075	-600	34,31	25,63	3,42	2,0	149	63,1	15
17262	-640	28,23-31,68	14,3-20,62	3,06-3,17	4,5-9,4	110-156	53,7-69,8	11-16
17279		30,04	16,8	3,11	7,8	130	64,5	13
17263	-650	34,23	22,8	3,51	0,3	121	87,5	12
17084	-700	29,13	21,38	3,43	3,1	136	68,3	14
17263	-780	30,78	20,0	3,10	6,85	155	64,8	16
17281	-790	31,8-34,2	11,57-23,92	3,25-3,44	2,6-4,41	115-128	77,5-86,1	12-13
		32,78	22,22	3,31	3,72	119	82,4	12
К ₂								
16721	-110	23,45-32,0	9,15-23,35	2,95-3,05	6,02-10,3	82-99	48,2-55,8	8-10
		27,7	16,30	3,01	8,16	93	51,1	9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
№	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.
17088	-125	35,8	25,4	3,31	9,1	148	50,7	15
17261	-150	26,1-31,6	10,8-20,7	3,19-3,25	1,6-4,0	102-138	51,6-55,4	10-14
17085	-165	27,95	15,8	3,22	2,8	121	53,5	12
17098	-190	24,9-32,6	8,93-18,22	2,52-3,31	2,5-12,6	88-132	51,0-70,6	9-13
16877	-425	27,65	13,4	3,22	6,56	114	60,5	11
17042	-445	25,5-32,06	11,92-24,53	3,08-3,31	1,6-4,4	84-122	50,7-70,1	8-12
17076	-460	29,91	19,99	3,23	3,15	103	59,9	10
17280	-445	23,8-32,79	7,02-25,65	3,16-3,22	3,0-6,8	116-186	71,5-91,2	12-19
17095	-460	27,73-34,12	10,28-20,26	3,06-3,12	4,9-11,2	78-90	55,3-72,3	8-9
17279	-540	31,20	15,4	3,10	8,46	86	63,2	9
17262	-555	29,25-34,6	12,35-26,75	3,16-3,38	5,1-9,9	65-203	47,6-77,8	7-20
17281	-600	32,23	19,59	3,28	8,48	143	68,1	14
17084	-610	26,55-37,9	8,89-26,52	3,14-3,44	1,3-11,8	40-143	50,1-78,7	4-14
16339	-630	32,38	19,94	3,29	6,04	108	56,6	11
16727	-650	33,3	26,78	3,38	3,5	192	71,2	19
17263	-700	32,3	22,47	3,18	9,2	82	60,0	8
		24,1-34,18	11,56-18,10	3,22-3,27	4,1-6,3	77-114	60,5-93,7	8-11
		29,14	14,90	3,25	5,2	96	77,1	10
		25,7-31,89	12,45-27,09	3,03-3,39	3,6-5,19	104-183	64,9-91,6	10-18
		29,53	21,18	3,27	3,87	147	78,8	15
		26,53-31,9	16,08-26,17	2,88-3,22	6,7-7,8	107-138	60,2-75,2	11-14
		29,57	20,9	3,09	7,42	126	66,7	11

Динамический модуль упругости кварцитов обеих стратиграфических горизонтов изменяется незначительно - от 56,7 (гематит-магнетитовые разности) до 71,2 ГПа (магнетит-карбонатные разности) при среднем значении 61-65 ГПа. Коэффициент Пуассона кварцитов продуктивных толщ изменяется от 0,20 до 0,24 и в среднем составляет 0,23.

Из приведенных данных видно, что несмотря на значительную вариацию показателей свойств минералогических разностей железистых кварцитов средние их величины изменяются в небольших пределах. Разница между максимальными и минимальными средними величинами плотности не превышает 6%; пористости - 25,4%; прочности на одноосное сжатие - 23%; модуля упругости - 17%. Все это указывает на более или менее однородный состав минерального состава с точки зрения его физико-механических свойств.

2.2. Рудники им.Р.Люксембург

Рудные тела №1 и №3 представлены довольно плотными магнетитовыми, гематит-магнетитовыми и силикат-магнетитовыми кварцитами, свойства которых, выявленные на основании 278 определений, приведены в табл.8. Плотность кварцитов в массиве продуктивной толщ в среднем равна 3,4 т/м³ для рудного тела №3 и 3,46 т/м³ для рудного тела №1. Большая величина плотности по рудному телу №1 обусловлена низкой пористостью кварцитов в скважинах 16928 и 16926. Коэффициент вариации плотности магнетитовых кварцитов находится в пределах 4,5-6%.

Пористость кварцитов продуктивной толщ в зависимости от проявления вторичных изменений колеблется от 2,2 до 11,9%. Средняя ее величина для рудного тела №3 - 5,6%, для рудного тела №1 - 3,5%.

Временное сопротивление одноосному сжатию продуктивной толщ кварцитов варьирует в весьма больших пределах - от 66 МПа до 280 МПа. На границе и вблизи зоны окисления наблюдаются более малые величины прочности кварцитов. В среднем для рудных тел №1 и №3 временное сопротивление одноосному сжатию оценивается в 145 МПа, что соответствует коэффициенту крепости 15 (при его колебании от 7 до 20 и более). Распределение кварцитов по коэф-

цениту крепости характеризуется следующими цифрами:

коэффициент крепости	-	49	9-15	>15
% горных пород	-	15	50	35.

Динамический модуль упругости железястых кварцитов продук-
тивной толли изменяется в пределах от 61 до 127 МПа и в среднем
равен 99 МПа для рудного тела №3 и 78 ГПа для рудного тела №1.
Коэффициент Пуассона для обоих рудных тел изменяется от 0,12 до
0,25 при среднем значении 0,17.

Разница между максимальными и минимальными средними величинами показателей свойств минералогических разновидностей кварцитов не больше 6% - по плотности; 28,5% - по пористости; 32% - по временному сопротивлению одноосному сжатию и 21% - по динамическому модулю упругости.

2.3. Рудник им. Денана

Наиболее полно физико-механические свойства железистых кварцитов, приведенные в табл. 9, изучены по опытно-промышленному блоку (ОПБ) на гор. 607 м по К₂^{6х}. Всего проанализировано 375 образцов физико-механических свойств кварцитов. Плотность в массиве пород К₂^{5х} колеблется от 3,05 до 4,01 т/м³ и в среднем равна 3,56 т/м³. Прослеживается следующий порядок минералогических типов кварцитов по убыванию плотности: тематит-магнетитовые - 3,72 т/м³; магнетитовые - 3,57 т/м³; силикат-магнетитовые - 3,55 т/м³; силикат-(амфибол)-тематит-магнетитовые - 3,48 т/м³.

Плотность в массиве пород K_2 варьирует от 2,85 до 3,86 г/см³ при среднем значении 3,54 г/см³. Максимальная плотность — у гематит-магнетитовых кварцитов (в среднем 3,57 г/см³), далее идут силикат (амфибол) — гематит-магнетитовые — 3,53 г/см³; силикат-магнетитовые — 3,52 г/см³ и магнетитовые — 3,43 г/см³.

Пористость пород К₂ по индивидуальным определениям изменяется от 0,3 до 8,5%, в три раза как средние величины ее по минералогическим разновидностям колеблется в сравнительно небольших пределах - от 1,1 до 3,5%. Минимальная пористость характерна для гематит-магнетитовых разновидностей - 1,1%, далее по мере ее увеличения идут марштитовые и силикат-магнетитовые - 2,5%, силикат

Физико-механические свойства железа и сплавов на его основе
(данные НИИГА и ДГРП)

[illegible]

1	2	3	4	5	6	7	8
Гегит-гематитовые, гематитовые кварциты (лежачий блок)	K_2	2,82-3,34 3,15	1,5-12,5 5,7	76-151 102	37,0-54,0 43,0	0,13-0,25 0,17	8,0-15,0 10,0
Магнетитовые кварциты	K_2	3,07-3,64 3,45	2,4-18,1 6,9	Н.св. 216	97,0	0,15	20,0
Маргитовые кварциты ...	"	2,79-3,79 3,30	1,6-12,0 6,9	166-283 199	55,0-103,0 82,0	0,12-0,21 0,17	17,0-20,0 20,0
Рудное тело №1							
Магнетитовые кварциты (по скв. 16926)	K_2	3,31-3,57 3,49	1,9-9,0 5,3	113-169 145	64,0-83,0 72,0	0,10-0,19 0,14	11,0-17,0 15,0
Магнетитовые кварциты (по скв. 16928)	"	3,20-3,57 3,46	1,0-8,1 2,6	68-219 131	61,0-95,0 78,0	0,10-0,21 0,13	7,0-20,0 13,0
Силикат-магнетитовые кварциты (по скв. 16602)		3,40-3,52 3,46	1,4-1,5 1,4	120-202 146	76,0-91,0 84,0	0,10-0,13 0,12	12,0-20,0 15,0
Магнетитовые кварциты (по скв. 16602)		2,93-3,0 2,97	2,0-5,0 3,4	88-108 98	73,0-81,0 77,0	0,09-0,19 0,15	9,0-11,0 10,0

Таблица 9

Физико-механические свойства минералогических разновидностей железистых кварцитов на руднике им. Ленина

Минералогический тип руд	Индекс структуры	Плотность, г/см ³	Пористость, %	Прочность на сжатие, МПа	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона, ν	Коэффициент крепости, f
И	2	3	4	5	6	7	8
М	K_2	3,36-3,71 3,57	0,2-8,5 2,3	137-367 249	77,0-125,0 100,0	0,10-0,31 0,20	14-37 25
М	K_2	3,32-3,63 3,43	1,2-1,9 1,6	131-350 241	86,0-90,0 88,0	0,11-0,25 0,18	13-35 24
ГМ	K_2	3,52-4,01 3,72	0,6-2,8 1,1	134-374 262	72,0-106,3 96,1	0,10-0,26 0,20	13-37 26
С(А)М	"	3,31-3,63 3,53	0,3-8,1 2,7	188-352 243	85,0-117,1 103,6	0,15-0,28 0,20	19-35 24
С(А)ГМ	"	3,37-3,57 3,48	2,5-4,5 3,3	226-432 306	95,1-105,3 99,4	0,11-0,27 0,18	23-43 31
С(А)ГМ	K_2	3,36-3,71 3,53	0,5-6,5 3,1	168-440 275	83,6-150,0 103,5	0,13-0,31 0,21	17-44 28
СМ	K_2	3,39-3,72 3,58	1,1-4,0 2,3	77-225 135	61,0-93,0 77,0	0,10-0,20 0,13	8-23 14
СМ	K_2	3,29-3,75 3,53	1,1-3,1 2,1	111-195 157	34,0-107,0 65,5	0,10-0,20 0,14	11-20 16
ХМ	K_2	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.
ХМ	K_2	3,04-3,76 3,43	1,1-10,0 5,0	69-102 86	Н.св.	Н.св.	2-10 5

Окончание табл. 9

1	2	3	4	5	6	7	8
ИС	K_2^{5x}	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.
ИС	K_2^{6x}	3,07-3,86 3,50	0,8-4,3 3,0	73-195 137	53,0-91,0 67,2	0,10-0,21 0,11	7-20 14
МА	K_2^{5x}	3,05-3,58 3,33	0,6-3,2 2,0	146-178 167	95,1-103,1 98,0	0,10-0,18 0,15	15-18 17
МА	K_2^{6x}	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.
ММ ₁ А	K_2^{5x}	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.
ММ ₁ А	K_2^{6x}	2,85-3,34 3,04	0,6-13,2 9,2	104-181 139	63,0-77,5 70,3	0,18-0,21 0,20	10-18 14
ММ ₂	K_2^{5x}	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.	Н.св.
ММ ₂	K_2^{6x}	3,14-3,33 3,23	4,3-11,8 8,0	81-105 93	Н.св. 58,3	Н.св.	8-11 9

(амфибол)-магнетитовые - 2,7% и силикат(амфибол)-гематит-магнетитовые кварциты - 3,5%. Средняя величина пористости пород K_2^{5x} - 2,2%.

Пористость кварцитов K_2^{6x} по индивидуальным определениям колеблется от 0,6 до 10,5%, а по минералогическим разновидностям - от 1 до 3,6%. Средняя величина пористости для пород K_2^{6x} - 2,8%. По мере ее увеличения минералогические разновидности кварцитов располагаются в той же последовательности, что и для K_2^{5x} . Однако средние величины пористости несколько отличаются: для кварцитов гематит-магнетитовых - 1%; магнетитовых - 1,6%; силикат-магнетитовых - 2,1%; силикат(амфибол)-гематит-магнетитовых - 3,1% и силикат(амфибол)-магнетитовых - 3,6%.

Временное сопротивление одноосному сжатию железистых кварцитов K_2^{5x} по индивидуальным показателям варьирует от 77 до 432 МПа, а по средним значениям минералогических разновидностей - от 135 до 306 МПа. Средняя величина сопротивления одноосному сжатию пород K_2^{5x} составила 232 МПа.

Минералогические разновидности кварцитов по мере уменьшения прочности располагаются в следующем порядке: силикат(амфибол)-гематит-магнетитовые - 306 МПа, гематит-магнетитовые - 262 МПа, магнетитовые - 249 МПа, силикат(амфибол)-магнетитовые - 243 МПа и силикат-магнетитовые - 135 МПа.

Для K_2^{6x} прочность кварцитов на одноосное сжатие по отдельным образцам изменяется от 73 до 440 МПа, а по средним показателям для минералогических разновидностей - от 157 до 336 МПа и в среднем для толщ составляет 277 МПа.

Максимальная величина прочности характерна для гематит-магнетитовых кварцитов - 336 МПа. Далее идут силикат(амфибол)-гематит-магнетитовые - 275 МПа, силикат(амфибол)-магнетитовые - 255 МПа, магнетитовые - 241 МПа и силикат-магнетитовые - 157 МПа.

Распределение железистых кварцитов по коэффициенту крепости характеризуется следующими данными:

коэффициент крепости	< 9	9-15	> 15
% горных пород	24	18	58.

Средняя величина динамического модуля упругости для пород K_2^{5x} равна 98,6 ГПа. Минералогические разновидности кварцитов по мере снижения этого показателя располагаются в следующей поряд-

же: силикат(амфибол)-магнетитовые - 103,6 ГПа, магнетитовые - 100 ГПа, силикат(амфибол)-гематит-магнетитовые - 99,4 ГПа, гематит-магнетитовые - 96,1 ГПа и силикат-магнетитовые - 77 ГПа.

Средняя величина динамического модуля упругости для пород K_2^{5-6x} равна 104,2 ГПа. Последовательность ее изменения следующая: гематит-магнетитовые - 122,2 ГПа, силикат(амфибол)-магнетитовые - 111,5 ГПа, силикат(амфибол)-гематит-магнетитовые - 103,5 ГПа, магнетитовые - 88 ГПа и силикат-магнетитовые - 65,5 ГПа.

Средние величины коэффициента Пуассона для обоих стратиграфических горизонтов близки и равны 0,19-0,20.

Обобщенные показатели физико-механических свойств кварцитов ОПБ на гор. 607 м приведены в табл.10.

2.4. Первомайский железорудный комбинат

Результаты определений физико-механических свойств минералогических разновидностей железистых кварцитов приведены в табл.11. Анализ более 1130 определений показателей физико-механических свойств кварцитов на глубинах от 500 до 920 м позволил выявить следующие их особенности.

Плотность (в массиве) пород продуктивной толщи K_2^{5-6x} изменяется от 2,70 до 4,38 т/м³ и в среднем равна 3,42 т/м³. Распределение минералогических типов кварцитов в порядке убывания (возрастания) их плотности приведено в табл.12.

Изменение плотности кварцитов с глубиной носит пульсационный характер с выделением максимумов на гор. 500, 710 и 920 м и минимумов на гор. 570 и 780 м. Градиент повышения плотности кварцитов с глубиной составляет 0,024 т/м³ на 100 м глубины.

Пористость разновидностей железистых кварцитов колеблется от 0,3 до 13,6% при среднем значении 6,9%, изменяясь также с глубиной. При этом прослеживается обратная зависимость между пористостью и плотностью кварцитов: максимальной пористости кварцитов соответствует минимальная их плотность и наоборот (табл.13).

Последовательность в изменении средних величин пористости минералогических разновидностей кварцитов приведена в табл.12.

Временное сопротивление кварцитов K_2^{5-6x} одноосному сжатию по отдельным определениям колеблется в весьма больших пределах -

Таблица 10
Физико-механические свойства пород продуктивной толщи K_2^{5-6x} и K_2^{6x} на гор. 607 м
рудника им. Ленина

Параметры	Индекс: Плотность: γ , т/м ³	Прочность: на сжатие: $\sigma_{сж}$, МПа	Модуль упругости: E_g , ГПа	Коэффициент Пуассона: ν	Скорость продольных волн: C_p , м/с	Скорость поперечных волн: C_s , м/с
$\chi_{min} - \chi_{max}$ (минимальное-максимальное значение признака)	K_2^{5x} 2,85-4,01 K_2^{6x} 2,84-3,90	129-520 920-5670	61,6-131,0 56,7-166,0	0,02-0,33 0,02-0,33	4640-6590 4100-7500	2830-4420 2760-4340
$\chi_{ср}$ (среднее значение признака)	K_2^{5x} 3,56 K_2^{6x} 3,54	232 2770	98,6 104,0	0,19 0,20	5570 5690	3410 3500
S (среднее квадратическое отклонение)	K_2^{5x} $\pm 0,25$ K_2^{6x} $\pm 0,17$	± 98 ± 920	$\pm 10,8$ $\pm 19,3$	$\pm 0,07$ $\pm 0,07$	± 410 ± 650	± 230 ± 280
U , % (вариация)	K_2^{5x} 7,2 K_2^{6x} 4,8	42,4 32,2	11,0 8,5	38,9 34,6	7,45 11,3	6,9 7,9
n (количество определений)	K_2^{5x} 134 K_2^{6x} 225	151 220	138 225	138 204	134 226	135 226

Таблица II
Физико-механические свойства минералогических разновидностей железистых кварцитов на ПАРК

Минералогический тип руд	Плотность в массиве $\gamma, \text{т/м}^3$	Пористость $\Pi, \%$	Прочность на сжатие $\sigma_{сж}, \text{МПа}$	Модуль упругости $E_g, \text{ГПа}$	Коэффициент Пуассона ν	Коэффициент крепости f
И	3,21-3,69 3,46	2,8-16,2 7,8	44-217 84	31,0-80,9 53,3	0,10-0,29 0,17	4-20 9
М _{эгр}	3,58-3,72 3,66	0,3-3,5 1,4	93-298 206	52,0-108,9 88,5	0,12-0,24 0,17	9-30 20
ГМ	3,15-3,49 3,31	3,0-12,7 8,9	72-140 92	45,4-75,4 60,9	0,10-0,19 0,14	7-14 9
ГМ _{эгр}	3,37-3,59 3,48	3,0-10,4 6,7	145-175 160	60,8-77,7 69,3	0,16-0,17 0,17	15-18 16
С(А)М	3,0-3,44 3,30	6,1-12,1 8,4	51-105 72	38,0-72,4 58,1	0,14-0,20 0,16	5-11 7
С(А)М _{эгр}	3,52-3,82 3,70	0,5-8,0 3,5	83-302 161	74,4-80,4 77,4	0,13-0,21 0,17	8-30 16
С(А)М _{бр}	2,98-3,33 3,10	9,5-13,6 11,3	63-99 85	27,9-66,6 46,0	0,17-0,19 0,18	6-10 9
М(А)С	2,95-3,10 3,04	9,4-12,6 11,5	56-82 67	39,3-61,8 52,2	0,10-0,16 0,14	6-8 7
С(А)ГМ	3,29-3,48 3,39	6,6-7,9 7,3	61-99 76	43,6-76,5 62,1	0,18-0,20 0,19	6-10 8
М _{бр}	2,98-3,46 3,24	6,0-12,0 8,9	41-118 80	42,5-69,4 55,4	0,10-0,25 0,15	4-12 8

от 26 МПа до 327 МПа. Коэффициент вариации составляет более 67%. Средние величины временного сопротивления одноосному сжатию минералогических разновидностей изменяются в более узких пределах - от 67 до 206 МПа с коэффициентом вариации не более 4%. Средняя величина предела прочности оценивается в 118 МПа, а модальное его значение - 88 МПа.

Таблица I2

Распределение минералогических разновидностей кварцитов на ПАРК в порядке убывания (возрастания) показателей их физико-механических свойств

Разновидность	$\gamma, \text{т/м}^3$	Разновидность	$\Pi, \%$	Разновидность	$\sigma_{сж}, \text{МПа}$	Разновидность	$E_g, \text{ГПа}$
С(А)М _{эгр}	3,70	М _{эгр}	1,4	М _{эгр}	206	М _{эгр}	88,5
М _{эгр}	3,66	С(А)М _{эгр}	3,5	С(А)М _{эгр}	161	С(А)М _{эгр}	77,4
ГМ _{эгр}	3,48	ГМ _{эгр}	6,7	ГМ _{эгр}	160	ГМ _{эгр}	69,3
М	3,46	С(А)ГМ	7,3	ГМ	92	С(А)ГМ	62,1
С(А)ГМ	3,39	М	7,8	С(А)М _{бр}	85	ГМ	60,9
ГМ	3,31	С(А)М	8,4	М	84	С(А)М	58,1
С(А)М	3,30	ГМ	8,9	М _{бр}	80	М _{бр}	55,4
М _{бр}	3,24	М _{бр}	8,9	С(А)ГМ	76	М	53,3
С(А)М _{бр}	3,10	С(А)М _{бр}	11,3	С(А)М	72	М(А)С	52,2
М(А)С	3,04	М(А)С	11,5	М(А)С	67	С(А)М _{бр}	46,0

Последовательность распределения минералогических разновидностей кварцитов в порядке убывания средних величин их пределов прочности приведена в табл. I2. Распределение кварцитов по коэффициенту крепости характеризуется следующими среднестатистическими цифрами:

коэффициент крепости	- 4	6	9	12	15	18	> 18
% горных пород	-	21	23	22	17	12	5.

Закономерности в изменении предела прочности кварцитов с глубиной хорошо согласуются с изменениями плотности и пористости. Устанавливается прямая зависимость предела прочности кварцитов от плотности и обратная - от пористости. Градиент изменения временного сопротивления кварцитов одноосному сжатию на глубинах от 500 до 920 м оценивается в 6-7 МПа на 100 м глубины (табл. I3).

Динамический модуль упругости железистых кварцитов по индивидуальным определениям изменяется в широких пределах - от 20,4 до 118 ГПа. Усредненные по минералогическим разновидностям величины динамического модуля упругости изменяются в более узких

Таблица 13

Изменение с глубиной физико-механических свойств кварцитов
продуктивной толщи К^{5-6к} на ПКРК

Пара- метры	Плотность в массиве γ , т/м ³	Проч- ность на сж- тие σ_c , МПа	Модуль уп- ругости E_g , ГПа	Коэффици- ент Пу- ассона ν	Скорость продоль- ных волн C_p , м/с	Скорость попереч- ных волн C_s , м/с
Гор. 500 м (скв. 599, 602)						
$\chi_{min}-\chi_{max}$	2,91-4,35	27-189	34,0-118,0	0,05-0,23	3350-5960	Н.св.
χ_{cp}	3,39	97	66,7	0,17	4610	2950
n	14	16	13	12	14	14
Гор. 570 м (скв. 443)						
$\chi_{min}-\chi_{max}$	2,82-3,6	12-133	24,2-65,9	0,12-0,32	1370-4890	1860-2870
χ_{cp}	3,2	59	40,2	0,21	4090	2130
n	21	21	17	17	21	19
Гор. 460 м (скв. 435, 476, 493, 494, 495)						
$\chi_{min}-\chi_{max}$	2,7-3,9	40-298	12,3-186,0	0,01-0,38	1650-7860	1150-5310
χ_{cp}	3,39	70	63,5	0,16	4310	2870
S	$\pm 0,2$	± 47	$\pm 26,1$	$\pm 0,08$	± 1050	± 530
σ , %	5,96	67,2	41,0	48,8	24,2	18,5
n	402	397	360	276	392	352
Гор. 640 (залезь 6)						
$\chi_{min}-\chi_{max}$	2,29-3,9	60-264	20,0-186,0	0,01-0,38	1790-7860	1500-5310
χ_{cp}	3,39	67	63,7	0,17	4410	2900
S	$\pm 0,21$	$\pm 42,5$	$\pm 26,6$	$\pm 0,08$	± 990	± 530
σ , %	6,36	63,0	40,6	47,6	22,5	18,2
n	357	359	332	256	346	313
Гор. 710 м (скв. 511, 513)						
$\chi_{min}-\chi_{max}$	2,85-4,38	26-327	20,4-132,0	0,01-0,31	2740-6080	1570-3850
χ_{cp}	3,58	128	67,0	0,16	4350	2790
S	$\pm 0,25$	± 60	$\pm 24,3$	$\pm 0,07$	± 800	± 450
σ , %	7,26	46,7	36,4	49,0	18,2	16,2
n	111	110	106	95	113	112
Гор. 920 м (скв. 556, 557, 558)						
$\chi_{min}-\chi_{max}$	2,75-4,25	40-321	29,6-134,0	0,02-0,37	3230-6630	1820-3970
χ_{cp}	3,49	133	76,4	0,21	4860	2940
S	$\pm 0,32$	± 67	$\pm 27,7$	$\pm 0,07$	± 630	± 480
σ , %	9,2	50,0	36,3	35,9	17,0	16,3
n	127	110	127	122	128	128

пределах от 46 до 88,5 ГПа и в среднем для продуктивной толщи оцениваются в 63 ГПа. Последовательность минералогических разновидностей кварцитов в порядке убывания их упругих характеристик приведена в табл.12.

На глубинах от 500 до 920 м отмечена тенденция повышения модуля упругости с градиентом, равным 2,3 ГПа на 100 м глубины (табл.13). Средняя величина коэффициента Пуассона по толще равна 0,16-0,18.

2.5. Заключение

В результате анализа физико-механических свойств железистых кварцитов продуктивных толщ по рудникам Кривбасса выявлено следующее:

1. Массивы магнетитовых кварцитов являются сложными много-фазными системами, при этом агрегатное состояние отдельных фаз может изменяться как под влиянием естественных условий, так и в результате инженерной деятельности. Все это обуславливает объективную изменчивость показателей физико-механических свойств кварцитов.

2. Прослеживается тенденция изменения показателей физико-механических свойств кварцитов и их коэффициентов вариации с эта на север (табл.14), обусловленная текстурно-структурными особенностями, разнообразием минералогического состава, различной степенью проявления вторичных изменений и т.п. Незначительной изменчивостью характеризуются кварциты на руднике им.Дзержинского, несколько больше она на рудниках им.Р.Люксембург и им.Ленина и самая большая на ПКРК.

Таблица 14

Обобщенные показатели физико-механических свойств
железистых кварцитов по рудникам Кривбасса

Рудник	К-во опре- деле- ний	γ , т/м ³ σ , %	ν , % σ , %	E_g , ГПа σ , %	E_g , ГПа σ , %	ν	Удельная работа разруше- ния, МДж/м ³
I	2	3	4	5	6	7	8
Им.Дзержинского	935	$\frac{3,21}{2,3}$	$\frac{5,9}{14,8}$	$\frac{129}{9,0}$	$\frac{63,0}{6,1}$	0,23	125,0

Окончание табл. I4

I	2	3	4	5	6	7	8
Им.Р.Дюксембург	278	<u>3,40</u> 2,5	<u>5,6</u> 35,7	<u>145</u> 31,3	<u>99,0</u> 17,2	0,17	152,0
Им.Ленина	375	<u>3,55</u> 2,4	<u>2,5</u> 38,8	<u>255</u> 24,7	<u>101,4</u> 17,0	0,19	173,0
ПИРК	1137	<u>3,42</u> 6,4	<u>6,9</u> 41,6	<u>118</u> 44,9	<u>63,0</u> 20,6	0,18	95,0

3. Относительная энергоемкость разрушения кварцитов ударными нагрузками при условии, что за 100% принята энергоемкость самых крепких кварцитов на руднике им.Ленина, составила: на руднике им.Дзержинского - 72%, им.Р.Дюксембург - 88%, ПИРК - 55%.

Список литературы

1. Тохтуев Г.В., Борисенко В.Г., Титлянов А.А. Физико-механические свойства горных пород Кривбасса. - Киев: Гостехиздат, 1962. - 102 с.

2. Барон Л.М., Кузнецов А.В. Абразивность горных пород при добычи. - М.: Изд-во АН СССР, 1961. - 167 с.

Редактор И.И.Авраменко
Технический редактор Л.С.Тищенко
Корректор С.П.Добринская

Св.п., 1986, пос. 48

Подписано в печать 28.10.86, БТ 91113. Формат 60х84/16.
Плоская печать. Усл.печ.л. 2,25. Уч.-изд.л. 2,9. Т. 30 экз.
Заказ 177. Цена 20 к.

НИГРИ (МЧМ УССР). Редакционно-издательская группа.
324086, Кривой Рог, пр.Гагарина, 57. Тел. 71-96-2-54.
Ротапринт НИГРИ. 324086, Кривой Рог, пр.Гагарина, 57.