

## ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Соиск. *Хугаев О. Ч.*, д-р техн. наук *Пустобриков В. Н.*,  
*Касаев А. С.*

ООО «Югспецподземстрой»

*Приводятся результаты исследований основных теплофизических свойств пород Терского и Боснинского месторождений и их влияние на напряженно-деформированное состояние и отбойку массива в режиме разнопеременных температур.*

Вопросы изучения свойств горных пород в теоретическом и экспериментальном плане сегодня по-прежнему актуальны. Исследование свойств горных пород проводится по пути достижения физических закономерностей деформирования и разрушения с привлечением параметров трещин, акустических и теплофизических характеристик, а также давления, исходящего от динамического или статического воздействия в режиме разнопеременных температур среды.

Физические процессы горного производства, как объект научного изучения, решают общие проблемы, среди которых эффективность добычи и сохранность откосов при круглогодичной эксплуатации карьеров. Одним из наиболее перспективных направлений науки и практики совершенствования процесса разрушения является направленное изменение свойств и состояния горных пород [1].

Устойчивость пород оценивается на основе данных о распределении напряжений по его массиву. Особый интерес представляет вопрос о влиянии физико-механических свойств пород на устойчивость массива, что можно считать частью проблемы управления массивом путем изменения их физико-механических свойств [2, 3].

Знание теплофизических свойств в режиме разнопеременных температур среды важно в нескольких аспектах. Теплофизические свойства чутко реагируют на изменение состава, строение и состояние охлажденных пород и тесно связаны с рядом физико-механических характеристик, изучение которых позволит более детально понять протекание процессов в различных температурных режимах.

Основные параметры, определяющие характер теплообмена при отработке месторождений – это теплопроводность ( $\lambda$ , Вт/(м<sup>0</sup>С)), температуропроводность ( $a$ , м<sup>2</sup>/с) и теплоемкость ( $C$ , Дж/(кг<sup>0</sup>С)). Существенную связь теплофизические свойства осадочных пород имеют с температурным режимом окружающей среды, которые в свою очередь оказывают влияние на напряженно-деформированное состояние массива. Перепад температур среды обуславливает изменение теплофизических характеристик горных пород, что создает как положительные (рост), так и отрицательные (замедление) воздействия на процесс разрушающих напряжений пород открытым способом. Величина сопротивляемости пород (отрыву или сдвигу) во многом зависит от температуры окружающей среды.

Испытания керновых образцов из осадочных пород (известняка, доломита) показали, что при нормальной температуре разрушение происходит от сдвига под действием касательных напряжений ( $\tau$ , МПа), а при отрицательных температурах при растяжении образца той же породы происходит уже хрупкое разрушение от нормальных напряжений ( $\sigma$ , МПа) вследствие более значительного сопротивления сдвигу.

Установлено, что интенсивное охлаждение пород как без наличия в трещинах льда, называемые морозными, так и в талых, с наличием естественных и искусственных трещин, влага в которых замерзает, а затем оттаивает [4, 5], приводит к развитию на поверхности уступа и берм растягивающих напряжений. При определенных условиях охлаждения растягивающие напряжения, достигнув критических значений, могут заставить имеющиеся в породе микротрещины осуществлять их рост, тем самым ослабляя массив. Раскрытие трещин составляет от долей миллиметров до десятков сантиметров на глубину промерзания [6].

Определение теплофизических свойств производили методом теплового режима. Образец (кern), нагретый (охлажденный) до необходимой температуры, помещается в термостат, куда вводится термопара, которая служит для замера разности температур между kernом и охлажденной средой. Регистрация за охлаждением образца фиксировалась микроамперметром.

Исследования показали, что теплофизические свойства исследуемых пород с повышением давления увеличиваются. При этом характер изменения их зависит главным образом от пористости, минералогического состава, плотности и влагонасыщенности. Установлено, что теплопроводность с повышением давления в интервале от 0 до 20 МПа растет по экспоненциальной зависимости, а при давлении свыше 20 МПа темп роста замедляется и зависимость  $\lambda=f(Pa)$  практически становится линейной [7]. На интенсивность роста теплопроводности доломита и известняка с повышением давления оказывает влияние влагонасыщение. Так, при изменении давления от 10 до 15 МПа теплопроводность у сухих образцов увеличивается вдвое, а у влагонасыщенных – не более 30 %. Для плотных малопористых пород увеличение теплопроводности не превышает 1,2 – 1,4 % на каждые 10 МПа [8].

Теплопроводность доломита и известняка растет с увеличением плотности (рис. 1) по следующей зависимости:

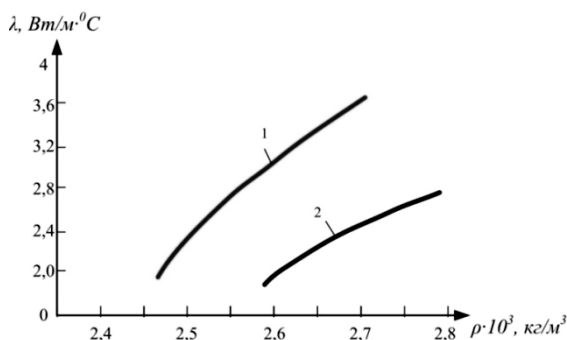


Рис.1. Зависимость теплопроводности от плотности пород:

1 – известняк;  $\lambda(\rho) = -13,643 \cdot \rho^2 + 77,705\rho - 106,77$  ,  
 2 – доломит,  $\lambda(\rho) = -8,857 \cdot \rho^2 + 53,529\rho - 77646$  .

Изменение температуропроводности от плотности пород показана на рис. 2. С повышением плотности ( $\rho$ ) и температуры среды ( $T$ ), температуропроводность ( $a$ ) и теплопроводность возрастают.

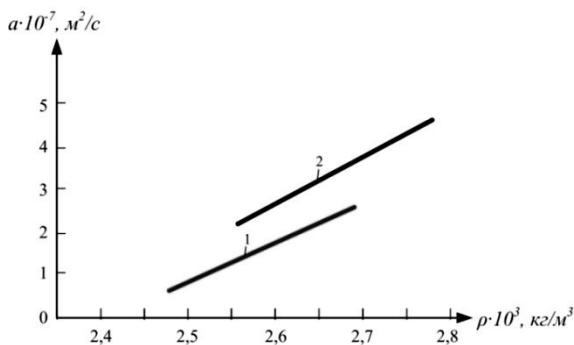


Рис.2. Зависимость температуропроводности от плотности породы:

1 – известняк,  $a(\rho) = 9,08 \cdot 10^{-7} \cdot \rho - 2,214 \cdot 10^{-6}$  ,  
 2 – доломит,  $a(\rho) = 1,174 \cdot 10^{-6} \cdot \rho - 2,825 \cdot 10^{-6}$  .

Теплопроводность исследуемых пород в зависимости от пористости меняется так же как и от плотности по экспоненциальному закону (рис.3). В интервале температур  $-5 \div -10$  °С теплопроводность можно считать постоянной в связи с тем, что фазовый состав не меняется. В положительном интервале  $0 \div +25$  °С коэффициент  $\lambda_i$  линейно возрастает.

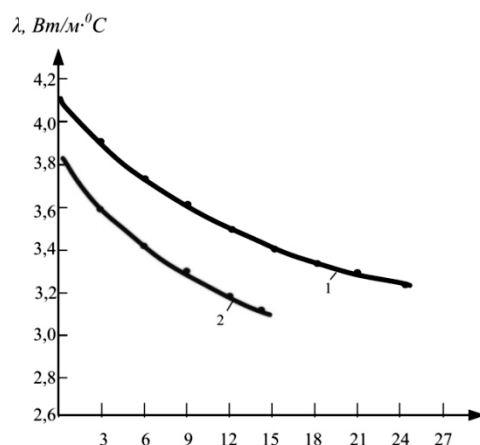


Рис. 3. Зависимость теплопроводности доломита (1) и известняка (2) от пористости пород при плотности  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>:  
 1 – 2800,  $\lambda(\Pi) = 1,518 \cdot 10^{-3} \Pi^2 - 0,075 \Pi + 4,149$ ,  
 2 – 2600,  $\lambda(\Pi) = 2,326 \cdot 10^{-3} \Pi^2 - 0,086 \Pi + 3,87$ .

Результаты лабораторных испытаний теплофизических свойств исследуемых пород сведены в таблицу.

Таким образом, среднее значение теплопроводности исследуемых пород следующие: для доломита при положительных температурах 1,9÷2,51 Вт/м·К, а при отрицательных – 3,85 Вт/м·К, аналогично для известняка – 2,8 и 4,2 Вт/м·К. Число образцов принято 26.

Следует отметить, что при охлаждении пород до –20 °С и ниже наблюдается снижение предела прочности на растяжение не менее чем на 20 – 25 % по сравнению с естественной температурой.

#### Значение теплофизических свойств пород Терского и Боснинского месторождений при повышенных и пониженных температурах среды

Порода	Температура среды, T, °С	Теплофизические параметры:		
		удельная теплоемкость, C, Дж/кг К	температуропроводность, $a \cdot 10^{-7}$ , м <sup>2</sup> /с	теплопроводность, $\lambda$ , Вт/м·К
Доломит	-20	2817,4	5,4	4,13
	-15	2853,9	5,0	4,09
	-10	2954,6	4,8	3,75
	-5	3029,1	4,1	3,44
	0	3198,8	3,5	3,12
	+5	3570,4	3,3	2,43
	+20	4180,1	2,1	1,82
	+40	5394,6	1,8	1,75
Известняк	-20	2200,7	7,2	4,48
	-15	2212,7	6,4	4,27
	-10	2343,9	6,3	4,14
	-5	2480,1	5,3	4,03
	0	2621,5	5,0	3,84
	+5	2768,2	3,7	3,51
	+20	3240,9	2,5	2,43
	+40	3951,0	2,1	2,48

Полученные теплофизические параметры позволяют повлиять на общую картину деформирования и разрушения пород при отработке открытым способом и выявить причины их повышения или понижения в зависимости от температуры среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Сидорцова Л.С.* Современное состояние и тенденции развития интеллектуальной собственности в области физико-технического контроля свойств и состояние горных пород // М.: ГИАБ. 2009. №3. С. 141-145
2. *Шапарь А.Г.* Механика горных пород и устойчивость бортов карьеров. Киев.: Выша школа. 1973. 120 с.
3. Методические указания по расчету бортов откосов, уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л.: ВНИИМ. 1972. 164 с.
4. *Ершов Э.Д.* Физико-химия и механика мерзлых пород. М.: Недра, 1986. 333 с.
5. Теплофизические свойства горных пород //Под редакцией Э.Д. Ершова. М.: 1984. 204 с.
6. *Москалев А.Н., Керкилица Л.Т., Вахалин Ю.Н.* Сопротивляемость разрушению горных пород. Киев: Наукова думка, 1988.
7. *Пустобриков В.Н., Дзагоев Л.М.* Добыча минерального сырья с использованием невзрывчатых разрушающих составов в условиях низких положительных и отрицательных температур. Владикавказ: СКВИ ВВ МВД России, 2004. 261 с.
8. Теплофизические свойства горных пород. / Бабаев В.В.[и др.] М.: Наука, 1987. 156 с.

