

Важно отметить, что при более точном математическом построении профилей шестерен, появляется необходимость ввода малого шага интегрирования, а также корректировки решения методом дихотомии, что существенно затрудняет его построение без применения специализированных программ. В «Компас-3DHome» мы можем получить более точное отображение примитивов без применения сложных расчетов.

Вывод. Применение «Компас-3DHome» существенно облегчает работу при построении профилей шестерен планетарного редуктора роторного гидромотора. Построенные графически профили гидромотора позволяют еще на начальном этапе проектирования визуализировать гидромотор, для его дальнейшей корректировки.

ЛИТЕРАТУРА

1. HYDROMECH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.hydromech-rac.pl
2. Ан И-Кан. Синтез, геометрические и прочностные расчеты планетарных механизмов с некруглыми зубчатыми колесами роторных гидромашин : дис. докт. техн. наук : 01.02.06, 05.02.18 / Ан И-Кан. – Томск, 2001. – 236 с.
3. Бродский И.Л. Центроиды. Несколько лекций по теории плоского движения. Учебно-методическое пособие. Мурманск, НТФ "Комплексные системы", 1992. – 30 с.

УДК 553.91:552.08

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГРАФИТА

Т.С. Савельева, кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования механизмов и машин

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, E-mail: ziborov@nmu.org.ua

А.В. Тарновский, студент группы ПКмм-10-1

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина

Аннотация. В работе приведены результаты исследования разрушающего напряжения при одноосном сжатии и на растяжение, модуля упругости и коэффициента Пуассона, модуля сдвига для графита и вмещающих пород. Полученные результаты позволяют выбрать размеры камер при переходе к подземной разработке месторождения с применением камерной системы с закладкой выработанного пространства хвостами обогащения.

Ключевые слова: разрушающие напряжения при одноосном сжатии и на растяжение, сопротивление сдвигу, модуль упругости, коэффициент Пуассона.

THE STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS OF GRAPHITE DEPOSIT

T.S. Savelyeva, Ph.D., Associate Professor of Machinery Design Bases Department
State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine,
E-mail: ziborov@nmu.org.ua

A.V. Tarnovsky, student of group PCmm-10-1
State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine

Abstract. The work deals with the results of the study of destructive strength under axial compression and tensile strength, elastic modulus and Poisson's ratio, shear modulus for graphite and enclosing rocks. The obtained results allow to choose the dimensions of the cameras during the transition to underground mining of Deposit with application of a camera system with a mined-out space tails of enrichment.

Keywords: destructive strength under axial compression and tensile, shear strength, elastic modulus, Poisson's ratio.

Введение. Завальевский графитовый комбинат является одним из основных поставщиков кристаллического графита и коллоидно-графитовых препаратов для основных отраслей промышленности. Основными потребителями графита являются предприятия металлургической, электротехнической, авиационной, машиностроительной отраслей. Сырьевой базой комбината является Завальевское месторождение графита.

Завальевское месторождение графита находится на юго-западе Украинского кристаллического щита. В настоящее время отработка месторождения ведется открытым способом. Большая часть промышленных запасов находится в целиках под поймой реки Южный Буг, обогатительной фабрикой и поселком [1].

Для дальнейшего ведения горных работ открытым способом предусматривается сооружение плотины и руслоотводного канала, перенос имеющейся обогатительной фабрики и отчуждения земель площадью 400 га. Общая стоимость этих работ по предварительной оценке значительно выше предполагаемых затрат при переходе на добычу графита подземным способом. Для сохранения поверхности земли для нужд народного хозяйства, экологического равновесия промышленного района, занятости населения рекомендуется отработка месторождения комбинированным способом.

Цель работы. Целью работы является исследование физико-механических свойств графита и вмещающих пород для перехода к подземной разработке месторождения с возможностью применения

камерной системы разработки с закладкой выработанного пространства хвостами обогащения.

Участок "Промежуточный", на котором возможен переход на подземный способ отработки, находится на северной полосе синклинальной складки месторождения графитовых пород. Простираение пород – северо-западное, падение почти вертикальное (80 – 90°). Рудоносная толща представлена чередованием биотито-графитовых и биотито-гранатовых гнейсов со скарноидами, известняками и кварцитами. Мощность рудоносной толщи 300 – 350 м. Промышленные концентрации графита приурочены к каолинизированным и хлоритизированным разностям гнейсов. Мощность рудных тел колеблется от 1 до 25,2 м. Прослеживающиеся внутри рудоносной толщи тела скарноидов имеют такую же, как и рудные тела, морфологию. Мощность тел скарноидов колеблется от 4 до 28 м на западе участка и от 1 до 24 м на востоке. Количество тел скарноидов изменяется по разрезам от 4 до 6 м.

Почти вся левобережная площадь участка засыпана вскрышными породами (старые отвалы) и хвостами обогащения - тонкозернистыми песками. Мощность этих пород в восточной части участка достигает 23 м при ширине до 150 м. К северо-западу мощность "хвостов" и отвалов постепенно уменьшается до нуля. В целом по участку средняя мощность кайнозойских пород (включая хвосты) составляет около 20 м. Этот факт позволяет говорить о возможности использования «хвостов» для закладки выработанного пространства при переходе к подземной разработке месторождения.

Материал и результаты исследований. Исследования по определению разрушающего напряжения при одноосном сжатии и на растяжение проводились на образцах правильной формы по стандартной методике [2].

Согласно этой методике для испытаний использовали образцы цилиндрической формы с отношением диаметра к высоте равным единице. Диаметр испытуемых образцов составлял для графита 50 – 51 мм, для вмещающих пород – от 57 до 58 мм. Обработку образцов производили таким образом, чтобы отклонение от параллельности торцов и от перпендикулярности торцов к образующим цилиндра составляло до 0,05 мм. Испытания проводили на прессе марки ПГ-100А. Для строгого центрирования нагружения образцов применяли шариковое центрирующее устройство. Нагружение производили плавно, повышая нагрузку вплоть до разрушения образца и фиксируя при этом значение разрушающей нагрузки.

Предел прочности при одноосном сжатии определяли по формуле:

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{F}, \text{Па} \quad (1)$$

где P – разрушающая нагрузка, н ; F – площадь поперечного сечения, м².

Прочность при растяжении определена Бразильским методом на образцах правильной формы: керны диаметром 57 – 58 мм. Высота кернов равна диаметру. Определение производилось методом диаметрального сжатия, заключающегося в раскалывании цилиндрических образцов усилиями, приложенными по диаметрально противоположным образующим.

Расчет предела прочности на растяжение производился по формуле:

$$\sigma_{раст.} = 0,64 \frac{P}{d \cdot h}, \text{Па} \quad (2)$$

где P – разрушающая нагрузка, н ; d – диаметр образца, м; h – высота образца, м.

Характеристикой крепости породы при сдвиге служит ее сопротивление сдвигу, создаваемое двумя физическими факторами: внутренним трением и сцеплением. Внутреннее трение сравнительно легко поддается учету, так как представляет собой силу взаимодействия при деформации между минеральными частицами, пропорциональную нормальному напряжению от внешней нагрузки. Сцепление представляет собой ту часть сопротивления сдвигу, которая не связана с напряжениями от внешней нагрузки, а определяется только молекулярными силами связывания и может считаться величиной постоянной. Полное сопротивление породы сдвигу выражается, таким образом, в виде суммы внутреннего трения, вызванного внешними силами, и сцеплением. Полное сопротивление породы сдвигу определяли на образцах правильной формы [3]. Испытание образцов производилось на прессе с помощью наклонных матриц с углами $\alpha_1 = 35^\circ$ и $\alpha_2 = 55^\circ$.

Известно, что скорость распространения упругих волн зависит от модуля упругости материала. Поэтому в настоящее время для определения упругих показателей свойств горных пород (модуля упругости и коэффициента Пуассона) нашел широкое распространение метод определения скоростей распространения продольных и поперечных упругих волн – звуковой динамический метод. Этот метод в настоящее время является одним из наиболее перспективных, так как он значительно проще других известных (особенно статических) методов. Кроме того, он позволяет определять свойства горных пород, находящихся в массиве, что делает его незаменимым при проведении работ в натуральных условиях. Упругие показатели свойств горных пород, полученные при

статическом и динамическом нагружениях, по величине отличаются между собой вследствие различия характера деформирования пород.

Для определения модуля Юнга и коэффициента Пуассона динамическим методом применялась следующая аппаратура: ультразвуковой дефектоскоп УК-10П, избирательный усилитель ИГУ-60, звуковой генератор ЛИГ - 60, ламповый вольтметр, проводники из цирканат-титанат бария с $\delta = 10000$. При помощи этой аппаратуры находили два резонанса – поперечной и продольной волны, по которым определяли скорость прохождения продольной и поперечной волны.

Скорость прохождения продольной и поперечной волны определяли по формуле:

$$\begin{aligned} V_e &= 2l \cdot f_1, \text{ м/сек} \\ V_{\gamma\alpha} &= 2l \cdot f_2, \text{ м/сек} \end{aligned} \quad (3)$$

где l – длина образца, м; f – резонанс продольной волны.

Из отношения скорости продольной волны к скорости поперечной волны определяли коэффициент K , который равен:

$$K = \left(\frac{V_e}{V_\gamma} \right)^2 \quad (4)$$

Коэффициент Пуассона определяли по формуле:

$$\mu = \frac{K - 2}{2(K - 1)} \quad (5)$$

Значение динамического модуля упругости определяли после установления скорости прохождения продольной волны в образцах:

$$E = \frac{V_e^2 \rho}{\mu_u}, \text{ Па} \quad (6)$$

Модуль сдвига определяли по формуле:

$$\sigma = \frac{E}{2(1 - \mu)}, \text{ Па} \quad (7)$$

Средние данные по определению физико-механических свойств пород сведены в табл. 1.

Проведена оценка достоверности результатов экспериментальных исследований методом теории вероятности Монте-Карло [4]. Этим методом можно установить уровень доверия, то есть определить вероятность того, что при принятом количестве опытов среднее арифметическое значение прочности отклоняется от истинного значения менее чем на величину допускаемого отклонения δ . При определении механических свойств горных пород принято допустимое отклонение δ равное 20%. Установлено, что уровень доверия равен 0,84–0,99. Это позволяет утверждать, что количество опытов, принятое при определении

физико-механических свойств горных пород, достаточное, чтобы результаты исследований можно было считать достоверными.

Таблица 1. – Механические свойства и упругие характеристики графитовой руды и вмещающих пород.

№ пп	Наименование породы	Сжатие		Растяжение		Динамический способ			Модуль сдвига, 10^{-10} Па
		Количество образцов	$\sigma_{сж}$, МПа	Количество образцов	$\sigma_{раст}$, МПа	Количество образцов	Модуль упругости, 10^4 МПа	Коэффициент Пуассона	
1	Графит	9	20,2	6	1,0	8	1,55	0,26	0,61
2	Кварцит	8	60,3	7	8,8	8	5,42	0,21	2,24
3	Кальцифир	8	40,1	7	6,7	8	4,79	0,25	1,81
4	Гнейс	7	31,4	6	6,8	8	4,51	0,32	1,68
5	Скарноид	8	64,1	7	10,3	6	7,10	0,22	2,92

Вывод. Таким образом, в работе проведены исследования по определению физико-механических свойств графита и вмещающих пород, а именно разрушающего напряжения при одноосном сжатии и на растяжение, модуля упругости и коэффициента Пуассона, модуля сдвига. Эти данные позволяют выбрать размеры камер, отвечающие условиям длительной прочности при переходе к подземной разработке с применением камерной системы с закладкой выработанного пространства хвостами обогащения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бузило В. И. Комбинированный способ разработки Завальевского месторождения графита / В. И. Бузило, Т.С. Савельева // Форум гірників – 2012 : матеріали міжнар. конф., 3 – 6 жовтня 2012 р. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – Т. 1. – С. 112-119.
2. Барон Л.И. Определение свойств горных пород / Л.И. Барон, В.М. Логунцов, Е.З. Нозин. – М : Госгортехиздат, 1962. – 332 с.
3. Турчанинов И.А. Современные методы комплексного определения физических свойств горных пород / И.А. Турчанинов, Р.В. Медведев, В.И. Панин. – М. : Недра, 1967. – 199 с.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М. : Советское радио, 1972. – 306 с.