

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Тажибаев Д.К.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

В основе ультразвукового метода определения напряжений в массиве горных пород лежит взаимосвязь величин действующих напряжений с параметрами упругих волн в породах – скоростью их распространения, амплитудой и частотой.

Волна, как известно, представляет собой явление распространения колебаний в среде, которое обусловлено наличием связи между смежными частицами среды. Характер связей, реализуемых в колебательном процессе, определяет тип распространяющихся в среде волн. Упругая волна обусловлена силами упругости, возникающими вследствие упругой деформации среды при ее колебаниях /1/.

Основные характеристики волнового процесса – скорость распространения волны v в среде, ее амплитуда A , длина волны λ и частота колебаний f . Между длиной волны λ , скоростью ее распространения v и частотой колебания f существует соотношение $v = \lambda f$.

При распространении колебаний частицы среды не перемещаются с распространяющейся волной, а колеблются около своих положений равновесия. Колебания частиц вдоль направления, по которому распространяется возмущение среды, создают продольную волну P ; колебания частиц перпендикулярно к направлению распространения возмущения в среде создают поперечную волну S . Продольные волны

суть последовательные деформации сжатия и растяжения, которые распространяются в направлении движения волны. Поперечные волны суть деформации сдвига, распространяющиеся перпендикулярно к движению волны /1/.

Все существующие методы измерений скорости ультразвука с точки зрения физики, происходящих при этом процессов можно разделить на три группы /2/:

а) оптические методы, основанные на взаимодействии светового и ультразвукового полей;

б) интерферометрические методы, основанные на интерференции ультразвуковых волн в исследуемом веществе;

в) импульсные методы, основанные на измерении промежутка времени, в течении которого ультразвуковая волна проходит известное расстояние.

Среди вышеуказанных методов в настоящее время наиболее полно разработан импульсный сейсмический (ультразвуковой) метод определения напряжений, основанный на взаимосвязи с напряженным состоянием горных пород акустических (сейсмических) характеристик - скорости и затухания упругих волн, возбуждаемых в массиве. Для количественной оценки напряжений в породном массиве используют эффект скоростной анизотропии пород при их нагружении. Сущность этого эффекта состоит в том, что для многих пород с возрастанием давления увеличивается скорость продольных упругих волн. При этом рост скорости происходит по тому же направлению, что и увеличение нагрузки, тогда как в других направлениях эти изменения незначительны /3/.

Для различных пород рост скоростей продольных волн с увеличением давления неодинаков: от нескольких процентов до 50% и более. Рост скоростей начинается сразу же с увеличением давления и прекращается при напряжениях, составляющих для различных пород

30 - 70% разрушающего напряжения сжатия. При неравномерном нагружении, т. е. когда напряжения по одному из направлений превышают таковые по другим направлениям, в массиве пород появляется скоростная анизотропия /4/.

С помощью ультразвукового метода можно определять упругие свойства горных пород, а также провести оценку трещиноватости и напряженного состояния массива горных пород. Комплекс современной аппаратуры для выполнения исследований ультразвуковым методом позволяет проводить необходимые измерения в шпурах и скважинах в условиях как подземных, так и открытых горных работ. В частности ультразвуковой метод широко используется для оценки удароопасности. Физические принципы решения указанных задач основаны на применении инвариантных физических величин – скоростей упругих волн, реагирующих как на вариации напряженного состояния, так и на структурные особенности (трещины) массива пород.

Ультразвуковой метод широко используется для изучения поля напряжений и его вариаций при разработке крупнейших апатито-нефелиновых месторождений уникального Хибинского щелочного массива.

Хибинские апатито-нефелиновые месторождения Кукисвумчорр (Кировский рудник) и Расвумчорр-цирк (Расвумчоррский рудник) расположены в юго-западной части Хибинского массива в центре Кольского полуострова. Они относятся к одной рудной линзе, прослеженной по простиранию на расстояние более 11 км, а по падению – до 2 км.

По мере развития горных работ на рудниках Хибинского массива вредные проявления горного давления все более активизируются, что особенно ощутимо при переходе к разработке глубинных горизонтов. Уже на глубинах 70 м в некоторых выработках были отмечены призна-

ки «стреляния» пород (породных взрывов), на глубинах же 100-150 м этот процесс проявляется весьма отчетливо /1/.

Необходимость выявления причин и механизма наблюдаемых проявлений горного давления, прогнозирования их форм и параметров во взаимосвязи с развитием и совершенствованием систем разработки, создания эффективных мер по управлению горным давлением послужила основанием для детального изучения напряженного состояния пород, как в нетронутом массиве, так и в отдельных элементах системы разработки, а также для изучения изменений напряженного состояния и деформирования пород по мере развития разработки /1/.

Внешний вид комплекса «Ультразвук» для ультразвуковых исследований массива горных пород, который был разработан Горным институтом Кольского научного центра РАН и активно используется при натурных исследованиях на рудниках Хибинского массива показан на рис.1.



Рис.1. Внешний вид комплекса «Ультразвук»

В состав комплекса «Ультразвук» входят: пневматические зонды, регистрирующий прибор, вспомогательное оборудование (досылочные штанги, кабели и пневмошланги). В качестве выходных парамет-

ров ультразвуковых измерений используют пространственные распределения и временные изменения скоростей продольных и поперечных волн V_P , V_S , км/с и амплитуд сигналов $A_{отн}$, $A_б$, скоростей V_{po} , V_{so} в образцах, а также их статистическое распределение.

Схемы измерений ультразвуковым методом могут быть различными в зависимости от решаемых задач (методика Горного института Кольского научного центра РАН):

- а) комбинированная «прозвучивание–каротаж» по трехточечной схеме на продольных и поперечных волнах (рис.2.а);
- б) акустический каротаж по одиночным скважинам на продольных и поперечных волнах (рис.2.а, б);
- в) низкочастотное прозвучивание на больших базах до 15 м на продольных и поперечных волнах (рис. 2. в);
- г) многопрофильный акустический каротаж по одиночным скважинам на продольных и поперечных волнах на высоких частотах и малых базах (до 0,1м) (рис.2.г);

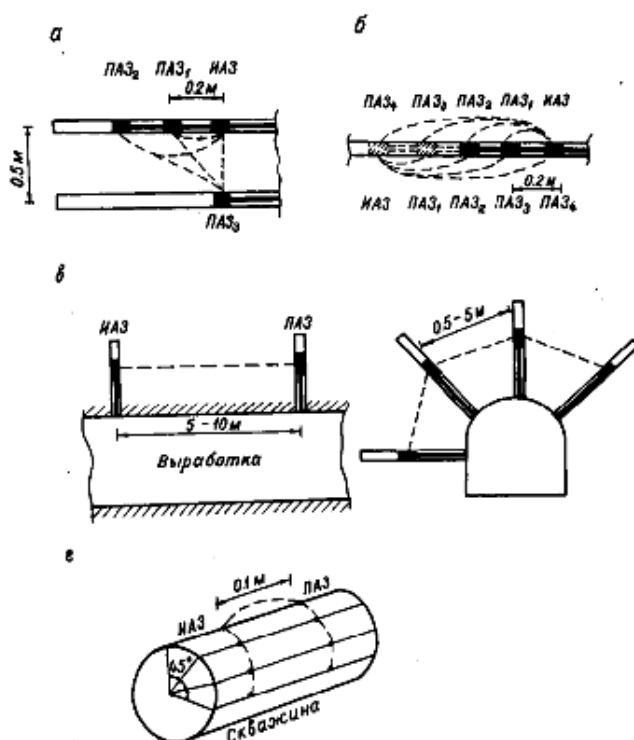


Рис. 2.Основные схемы измерений комплексом «Ультразвук».

Ниже на рис.3 приведен график распределения скорости продольной волны с использованием трехточечной схемы акустического каротажа в одиночной скважине (результаты исследований Горного института КЦН РАН).

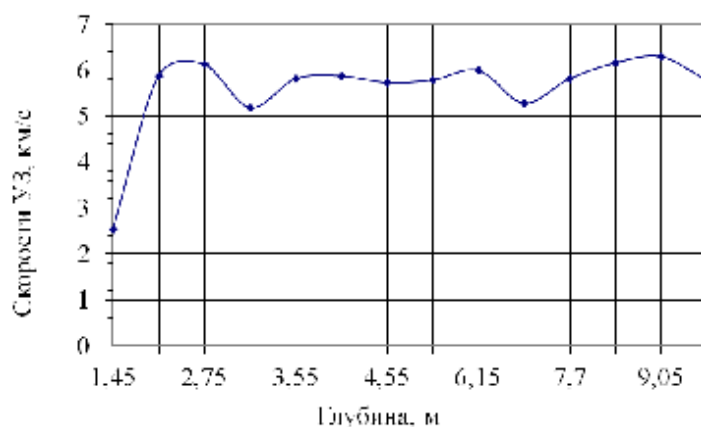


Рис.3. График прохождения скорости продольной волны в исследовательской скважине в карьере рудника «Железный», ОАО «Ковдорский ГОК».

Также при исследованиях массива ультразвуковым методом применяют следующие приборы: УК-14П, УК-СПЕКТР, УК-МАЯК, УК-ПРОГНОЗ (рис.4.). Они предназначены для оценки структуры, свойств и состояния горных пород в массиве и блоках и отличаются возможностью проведения многопараметровых ультразвуковых измерений в геоматериалах с повышенным затуханием в условиях помех.



Рис.4. Ультразвуковые приборы для геоконтроля.

В частности ультразвуковой прибор УК-ПРОГНОЗ, разработанный специалистами научного центра Московского Государственного Горного Университета, предназначен для оценки свойств и состояния горных пород.

Прибор УК-ПРОГНОЗ позволяет проводить:

- определение физико-механических свойств;
- оценку напряженно-деформированного состояния массива горных пород и трещиноватости горных пород в окрестностях выработок;
- дефектоскопию блоков облицовочного камня в цеховых и полевых условиях.

Область применения прибора УК-ПРОГНОЗ: шахты и рудники, не опасные по пыли и газу; предприятия по добыче и переработке природного камня; строящиеся и эксплуатируемые подземные сооружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Турчанинов И.А., Панин В.И. Геофизические методы определения и контроля напряжений в массиве.— М.: Наука, 1976.- 164 с.
2. Колесников А.Е. Ультразвуковые измерения. — М.: Издательство стандартов, 1970.
3. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях.— М.: Недра, 1987.- 278 с.
4. Ржевский В.В., Ямщиков В.С. Акустические методы исследования и контроля горных пород в массиве. — М.: Наука, 1973.- 224 с.