

**Актуальные
проблемы
современной науки®**

№ 5(102) 2018 г.

ISSN 1680-2721

Журнал официально включен в Перечень ВАК Узбекистана

Учредитель:
Издательство «Спутник +»

Компьютерный набор и верстка:
Т.В. Дёмина

*Ответственность за содержание статей несут авторы статей.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.*

Адрес редакции: Россия, 109428, Москва, Рязанский проспект, д. 8А
Телефон: (495) 730-47-74, 778-45-60, 730-48-71 (с 9 до 18, обед с 14 до 15)

<http://www.sputnikplus.ru>

E-mail: print@sputnikplus.ru

**Издание зарегистрировано
Министерством Российской Федерации по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций**

**Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-39977 от 20 мая 2010 г.**

Объем 34,75 печ. л.

Тираж 1000 экз. Заказ № 1974.

Подписано в печать 28.09.2018

Отпечатано в ООО «Издательство «Спутник +»

Науки о Земле

Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика

*Тажипбаев К.Т., доктор технических наук, зав. лабораторией, профессор
Акматалиева М.С., научный сотрудник
Тажипбаев Д.К., кандидат технических наук, заведующий лабораторией
(Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук, Кыргызстан)*

**МЕТОДИКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАКА
И УРОВНЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ**

В статье приводятся результаты определения акустических характеристик и параметра остаточных напряжений горных пород. Обоснована новая методика для предварительного определения знака и уровня остаточных напряжений в горных породах с помощью акустического параметра остаточных напряжений, определяемого по относительной величине скорости поляризованной поперечной ультразвуковой волны.

Ключевые слова: горная порода, остаточное напряжение, ультразвук, поляризованная волна, акустический параметр, деформация.

*Tazhibayev K. T.
Akmatalieva M.S.
Tazhibayev D.K.*

**METHOD OF PRELIMINARY DETERMINATION OF THE SIGN AND LEVEL
OF RESIDUAL STRESSES IN ROCKS**

The results of the determination of acoustic characteristics and the parameter of residual stresses of rocks are given in the article. A new method for the preliminary determination of the sign and the level of residual stresses in rocks with the help of an acoustic parameter of residual stresses, determined by the relative value of the velocity of a polarized transverse ultrasonic wave, is substantiated.

Key words: rock, residual stress, ultrasound, polarized wave, acoustic parameter, deformation.

В ряде случаев остаточные напряжения, особенно в зонах их высокой концентрации, могут приводить к аномальным, скачкообразным и знакопеременным изменениям деформации, после чего, как правило, происходит динамическое разрушение горных пород в достаточно больших объемах породного массива. В зависимости от масштаба динамического разрушения горных пород, данный процесс может рассматриваться как стрельба горных пород, горный удар, взрывоподобное разрушение горных пород в крупномасштабном очаге, следствием которого является землетрясение [1].

Для решения проблемы прогноза или предотвращения вышеуказанных нежелательных разрушений горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых весьма важно установить зоны концентрации остаточных напряжений. Для эффективной и безопасной раз-

работки полезных ископаемых возникает необходимость предварительного определения знака и уровня напряжений в участках шахтного поля на стадии проектирования шахты, рудника, карьера или угольного разреза.

Для определения компонент действующих или остаточных напряжений в ортогональных направлениях нами была получена формула, отражающая закономерность изменения относительной величины скорости поперечной (сдвиговой) поляризованной волны в зависимости от знака и уровня механического напряжения в твердых материалах (закон Кушбакали) [2,3]:

$$\sigma_X = \left(\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1\right)K_Z; \quad \sigma_Y = \left(\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1\right)K_X; \quad \sigma_Z = \left(\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1\right)K_Y \quad (1)$$

где $\sigma_X, \sigma_Y, \sigma_Z$ - нормальные напряжения по X, Y, Z соответственно;

K_X, K_Y, K_Z - волновой модуль напряжения по направлениям X, Y, Z соответственно (для квазиизотропных горных пород $K_X = K_Y = K_Z = K$);

V_{SX}, V_{SY}, V_{SZ} - скорости прохождения через определенную базу напряженного материала сдвиговой поляризованной ультразвуковой волны по направлениям X, Y, Z соответственно;

$V_{SOX}, V_{SOY}, V_{SOZ}$ - скорости прохождения сдвиговой поляризованной ультразвуковой волны по направлениям X, Y, Z соответственно при отсутствии напряжения (не нагруженное состояние, без остаточных напряжений).

Как видно из формулы 1, знак напряжения зависит от величины $(V_{SO}/V_S - 1)$ и эту величину мы обозначили как ω и назвали акустическим параметром напряжения, так как величина и знак напряжения, в том числе остаточного, определяется и зависит главным образом от этого параметра. Например, при $(V_{SO}/V_S > 1)$ знак напряжения положительный, то есть напряжение растягивающее, а при меньшем значении данного отношения чем единица, знак напряжения отрицательный, то есть напряжение сжимающее.

Для предварительного определения знака и уровня остаточных напряжений сначала необходимо определить акустический параметр остаточных напряжений ω , а затем, после определения волнового модуля напряжения K определяется величины остаточных напряжений по разным направлениям. Следует отметить, что для определения акустического параметра напряжения важно более точно определить скорость поляризованной сдвиговой волны для ненагруженного состояния V_{SO} (для направления, где остаточное напряжение отсутствует, или близко к нулю). Экспериментальные исследования показали, что по признаку равенства скорости во взаимно перпендикулярных направлениях при постоянной базе измерения сдвиговых поляризованных волн (один из признаков отсутствия остаточных напряжений, когда $V_{SP} = V_{SN}$) можно определить скорость прохождения сдвиговой волны (V_{SO}) для случая отсутствия остаточных напряжений. Для нахождения направлений, где остаточное напряжение отсутствует или близко к нулю, прозвучивание проводится по разным направлениям, синхронно поворачивая направление вектора поляризации преобразователей через 1 или 100 от нуля до 360 градусов. Для исследований можно применять образцы кубической или цилиндрической формы. Для определения компонент остаточных напряжений по трем взаимно перпендикулярным направлениям применяются образцы кубической формы с размерами, обеспечивающими представительность изучаемой горной породы (рис. 1).

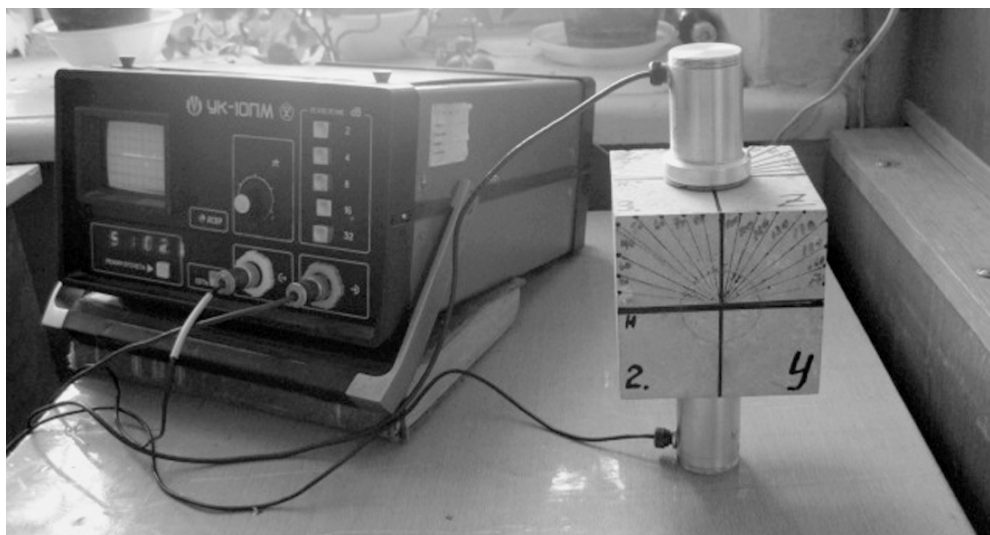


Рис. 1. Определение скорости поляризованной сдвиговой волны в разных направлениях кубического образца через 10 градусов по X, Y, Z.

В таблицах 1 и 2 в качестве примера представлены результаты определения параметра остаточных напряжений в цилиндрических образцах горных пород разных месторождений.

Таблица 1

**Акустические характеристики и параметр остаточных напряжений
(гранит, месторождение Восточный-Коунрад)**

Гранит (Восточный-Коунрад, обр.2, инт. 22-24 м, $l = 108$ мм, $V_{SO} = 2654,54$ м/с, $V_p = 4829$ м/с)								
Направление, угол поворота, градус	Единичные значения времени прохождения ультразвуковой поперечной поляризованной волны, мкс					Средн. знач., мкс	Средн. знач. скорости, м/с	Параметр остаточного напряжения, ω
0	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	40,66	2656,17	-0,00061
30	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	40,64	2657,48	-0,0011
60	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	40,68	2654,87	-0,00012
90	40,7	40,7	40,6	40,6	40,6	40,69	2654,21	0,00012
120	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	40,68	2654,87	-0,00012
150	40,7	40,7	40,7	40,7	40,7	40,75	2650,31	0,0016
180	40,7	40,7	40,7	40,7	40,7	40,75	2650,31	0,0016
210	40,7	40,6	40,6	40,6	40,6	40,69	2654,21	0,00012
240	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	40,65	2656,83	-0,00086
270	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	40,58	2661,41	-0,0026
300	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	40,58	2661,41	-0,0026
330	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5	40,57	2662,06	-0,0028
360	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	40,61	2659,44	-0,0018
Среднее значение							2656,43	

**Акустические характеристики и параметр остаточных напряжений
(метасамотит, месторождение Кумтор)**

Метасамотит (Кумтор, обр.1, рудная зона, $l = 118,5$ мм, $V_{so} = 2791,2$ м/с, $V_p = 4870$ м/с)								
Направление, угол поворота по часовой стрелке, градус	Единичные значения времени прохождения ультразвуковой поперечной поляризованной волны, мкс					Средн. знач., мкс	Средн. знач. скорости, м/с	Параметр остаточного напряжения, ω
0 (север)	43,4	43,4	43,4	43,4	43,4	43,42	2729,15	0,0227
30	43,4	43,4	43,4	43,4	43,4	43,48	2725,39	0,0241
60	43,3	43,3	43,3	43,3	43,2	43,30	2736,72	0,020
90	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,07	2751,34	0,0145
120	42,7	42,6	42,6	42,6	42,6	42,68	2776,48	0,0053
150	42,4	42,4	42,4	42,4	42,4	42,48	2789,55	0,0006
180	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,54	2785,61	0,002
210	42,4	42,5	42,4	42,4	42,4	42,49	2788,89	0,00083
240	42,4	42,4	42,4	42,4	42,4	42,43	2792,84	-0,00058
270	42,2	42,2	42,3	42,3	42,3	42,30	2801,42	-0,0036
300	43,1	43,1	43,1	43,1	43,1	43,11	2748,78	0,0154
330	43,3	43,3	43,3	43,3	43,3	43,34	2734,19	0,0208
360	43,4	43,4	43,4	43,4	43,4	43,40	2730,41	0,0223

На рисунках 2 и 3 представлены графики параметра остаточных напряжений разных горных пород. Для сравнения представлены совмещенные графики образцов горных пород имеющих существенные и незначительные остаточные напряжения. Исследованию подвергались образцы цилиндрической формы с диаметром 57 мм и высотой равной двум диаметрам.



Рис. 2. Графики параметра остаточных напряжений в объеме образца метасамотита – 1 (Кумтор, 00 совпадает с направлением севера) и мраморизованного известняка - 2 (Ингичке) для разных направлений



Рис. 3. Графики параметра остаточных напряжений в объеме образца метасамотита - 1 (Кумтор, 00 совпадает с направлением севера) и крупнозернистого гранита - 2 (глубина 24 м) для разных направлений

Из рисунка 2 видно, что в метасамотите Кумторского месторождения в субширотном направлении имеются существенные сжимающие остаточные напряжения (зависимость 1), тогда как в мраморизованном известняке месторождения Ингичке остаточные напряжения практически отсутствуют во всех направлениях, о чем свидетельствует практическое равенство скорости поперечной поляризованной волны по всем направлениям (зависимость 2).

Как видно из рисунка 3, в непосредственной рудной зоне, в метасамотите Кумторского месторождения в субмеридианальном направлении имеются существенные растягивающие остаточные напряжения, а в крупнозернистом граните, отобранном из небольшой глубины остаточные напряжения весьма незначительны (глубина отбора 24 м, зависимость 2). Таким образом можно отметить, что для предварительного определения знака и уровня остаточных напряжений в горных породах достаточно определить акустический параметр остаточных напряжений по относительной величине скорости прохождения поляризованной поперечной ультразвуковой волны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. В двух томах. Т.1 – Бишкек: Издательство “Алтын Принт”, 2016. - 352 с.
2. Тажибаев К.Т. Закон изменения скорости прохождения поляризованной поперечной ультразвуковой волны от напряжения в твердых материалах и его применение // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2011г., том 11, №11, г. Бишкек. – С. 151-156.
3. Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К., Акматалиева М.С. Закономерность изменения относительной величины скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от механического напряжения в твердых материалах (закон Кушбакали) /Диплом № 453 на научное открытие от 3 октября 2013 года, г. Москва. Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Российская академия естественных наук. //Научные открытия -2013. Сборник кратких описаний. – М.РАЕН, 2014 г. – С. 48-50.