© М.Н. Тавостин, Д.А. Нарышкин, 2008

УДК 622.831

М.Н. Тавостин, Д.А. Нарышкин

*ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД В КАМЕРАХ ВСЕСТОРОННЕГО СЖАТИЯ**

Семинар № 2

При испытании материалов с высоким модулем упругости, в том числе горных пород, приходится сталкиваться с небольшими деформациями образца [1], что приводит к необходимости увеличения точности проведения измерений. Измерения, осуществляемые с помощью компьютеризированных информационно-измерительных систем, позволяют записать ряд значений на участке определения искомых параметров. Это дает возможность рассчитать их как коэффициенты соответствующих статистических зависимостей, что приводит к более точному результату. Кроме того, при использовании компьютеризированных информационно-измерительных систем становится возможным автоматическое введение всех необходимых поправок на искажение полученных значений измеряемых величин в механической и электрической составляющих измерительной системы.

При испытании высокомодульных образцов целесообразно использовать камеру всестороннего сжатия (стабилометр) БВ-21 или аналогичные, которые обеспечивают плавность хода без бросков на участках увеличения и уменьшения нагрузки. При этом возникает ряд специфических погрешностей, часть из которых можно устранить, в частности систематические погрешности, связанные с неидеальностью испытательной установки.

Анализ погрешностей при измерениях в камерах всестороннего сжатия

Рассмотрим методику проведения измерений в камерах всестороннего сжатия [2].

Во время испытания образец размещается внутри камеры всестороннего сжатия. Измерение осевых деформаций осуществляется двумя преобразователями, размещаемыми снаружи камеры на противоположных сторонах для усреднения показаний, при этом основание каждого преобразователя укрепляется на подвижной части камеры, а движущийся шток упирается в неподвижную часть камеры. Таким образом, преобразователи измеряют перемещение подвижной части камеры относительно неподвижной. Подвижная часть камеры БВ-21 в свою очередь через динамометр передает нагрузку на образец. Измерительная схема представлена на рис. 1.

Таким образом, общие деформации x, измеряемые внешними преобразователями перемещений, складываются из деформаций образца $x_{об}$ и деформаций динамометра $x_д$. Для учета и исключе-

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 06-05-08020.

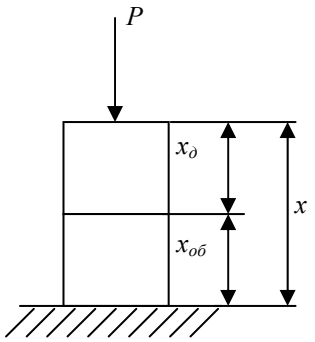


Рис. 1. Схема измерения при размещении образца внутри стабилометра

ния деформаций динамометра, а также других, связанных с торцевыми и контактными условиями, вводится поправка, вычитаемая из величины общей продольной деформации x. Такая поправка определяется экспериментально.

Для этого в камеру вместо образца устанавливается стальной цилиндр таких же размеров, что и образец. Производится нагружение и регистрация продольных деформаций. При этом модуль деформации стального цилиндра E_c = $20 \cdot 10^4$ МПа, а для большинства горных пород не превосходит $(1 \ldots 3) \cdot 10^4$ МПа. Поэтому, с определенной степенью допущения, можно считать цилиндр «несжимаемым», а продольные деформации при этом обусловленными полностью деформациями динамометра и испытательной установки, которые нужно вычитать из общих показаний.

График деформируемости динамометра показан на рис. 2.

При статистическом анализе экспериментальных данных была получена следующая зависимость деформаций от приложенных нагрузок для данного динамометра

$x_d = 0{,}001679 \cdot P^{1/1{,}61}$, мм

где P – нагрузка на образец, кгс; x_d – продольная деформация динамометра, мм.

При этом абсолютная осевая деформация образца будет рассчиты-ваться по формуле

$$x_{об} = x - 0{,}001679 \cdot P^{\frac{1}{1{,}61}}$$

Неучет этой поправки будет приводить к завышенным значениям осевой деформации и заниженным величинам модулей деформации и упругости.

Оценка влияния введения искомой поправки на значения деформационных характеристик высокомодульных горных пород

Для оценки влияния найденной систематической погрешности измерения данным методом, необходимо сравнить полученные значения деформационных характеристик горной породы с введением поправки и без нее.

Как известно, деформационные характеристики, снимаемые при нагружении или деформировании образца горной породы [2], следуют из полных диаграмм деформирования [3, 4, 5]. На рис. 3, *а, б* показаны диаграммы деформирования по экспериментальным данным, полученным при испытании образца горной породы с высоким модулем упругости, с введением поправки и без соответственно.

В табл. 1 указанны упругие характеристики горной породы, рассчитанные на программе, написанной в среде MathCAD для данных с введенной поправкой.

В табл. 2 указанны упругие характеристики горной породы, рассчитанные на программе, написанной в среде MathCAD для данных без введения поправки.

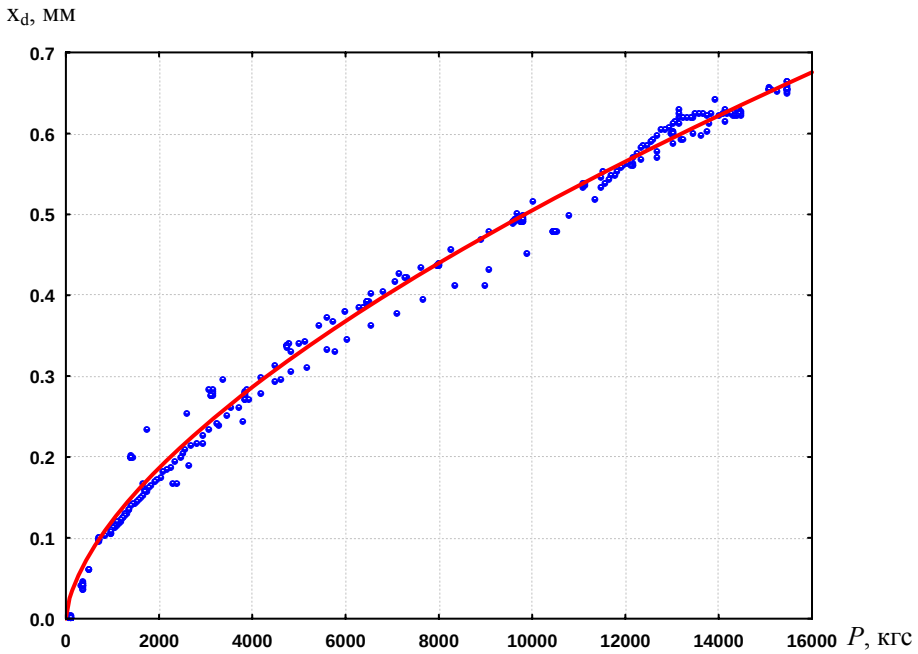


Рис. 2. Аппроксимация полученных экспериментальных значений деформаций динамометра от приложенных нагрузок

Таблица 1

Упругие характеристики по диаграмме

Участок определения	**I** ($\sigma_{нI}$-$\sigma_{кI}$)		**II** ($\sigma_{нI}$-$\sigma_{кI}$)	
Характеристика	$E_д$, МПа	ν	$E_у$, МПа	μ
По коэфф.	17260	0.087	25600	0.053
По точкам	16397	0.093	24884	0.052

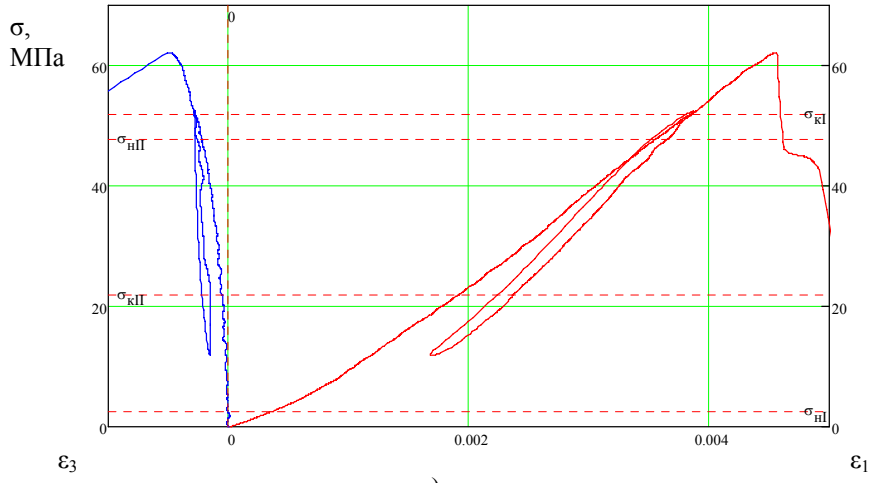
Таблица 2

Упругие характеристики

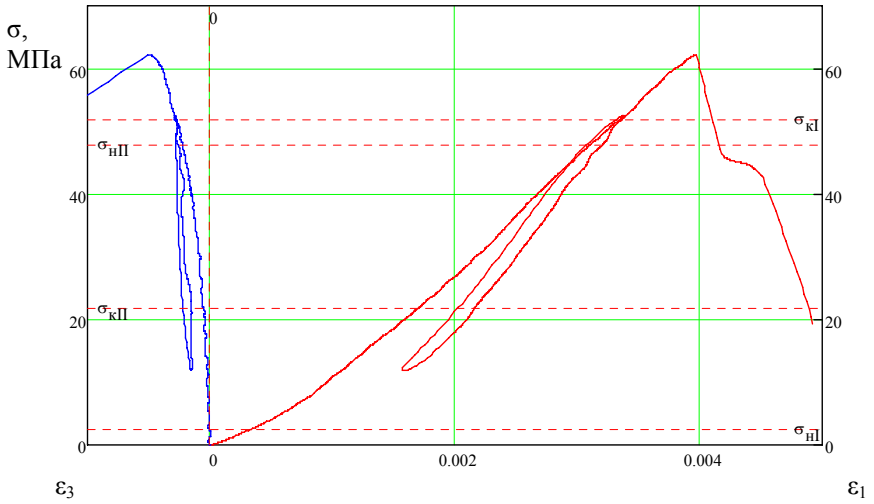
Участок определения	**I** ($\sigma_{нI}$-$\sigma_{кI}$)		**II** ($\sigma_{нI}$-$\sigma_{кI}$)	
Характеристика	$E_д$, МПа	ν	$E_у$, МПа	μ
По коэфф.	14840	0.075	20602	0.042
По точкам	14192	0.08	20134	0.042

Для оценки необходимости введения поправки на деформирование динамометра при испытании высокомодульных материалов, в том числе горных пород, приведем расчет относительных и абсолютных погрешностей определения деформационных характеристик испытанного образца. За истинное значение рассчитываемого параметра примем значение с введенной поправкой.

Абсолютная погрешность определения деформационных характеристик по коэффициентам:



а)



б)

Рис. 3. Диаграммы деформирования: *а*) без введения поправки; *б*) с введением поправки

$$E_d = 17260 - 14840 = 2420$$

$$E_y = 25600 - 20602 = 4998$$

$$\nu = 0.087 - 0.075 = 0.012$$

$$\mu = 0.053 - 0.042 = 0.011$$

Относительная погрешность определения деформационных характеристик по коэффициентам:

$$E_d = \frac{2420}{17260} \cdot 100\% = 14\%$$

$$E_y = \frac{4998}{25600} \cdot 100\% = 19.5\%$$

$$\nu = \frac{0.012}{0.087} \cdot 100\% = 13.8\%$$

$$\mu = \frac{0.011}{0.053} \cdot 100\% = 20.7\%$$

Таким образом, при введении искомой поправки измеренных значений деформаций точность получаемых результатов деформационных характеристик повышается на 14-20 %.

Выводы

При испытании высокомодульных материалов, в том числе горных пород, с использованием камер всестороннего сжатия и информационно-измерительных систем была обоснована необходимость введения поправки на деформируемость самой измерительной системы, что привело к увеличению точности получаемых значений деформационных характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 21153.0-75. Породы горные. Отбор проб и общие требования к методам испытаний. – М.: Изд-во стандартов. 1975.

2. ГОСТ 28985-91 Породы горные. Метод определения деформационных характе-ристик при одноосном сжатии. – М.: Изд-во стандартов. 1991.

3. *Баклашов И. В.* Геомеханика: Учебник для вузов. В 2 т. - М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. - Т. 1. Основы геомеханики, 208 с.

4. *Прочность* и деформируемость горных пород/ Ю. М. Карташов, Б. В. Матвеев, Г. В. Михеев, А. Б. Фадеев // – М.: Недра, 1979, 269 с.

5. *Ставрогин А.Н., Тарасов Б.Г.* Экспериментальная физика и механика горных пород // – СПб.: Наука, 2001, 343 с. ГИАБ

Коротко об авторах

Тавостин М.Н. – кандидат технических наук, зав. лабораторией изучения механических свойств горных пород отдела «Геомеханика» ООО «Подземгазпром»,

Нарышкин Д.А. – аспирант кафедры «Физико-технический контроль процессов горного производства» ГОУ-ВПО «Московский государственный горный университет».

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 2 симпозиума «Неделя горняка-2008».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *В.Л. Шкуратник.*