

УДК 622.023.25:539.32

**С.В. Сукнёв****ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОКРУЖНЫХ И ДИАМЕТРАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ ДЕФОРМАЦИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ПРИ СЖАТИИ\***

Приведены результаты измерения поперечных деформаций эталонных образцов при сжатии с использованием современных окружных и диаметральных датчиков деформаций, и проанализирована возможность их использования для определения коэффициента Пуассона материала.

Ключевые слова: сжатие, датчик деформаций, модуль упругости, коэффициент Пуассона.

Согласно стандарту ASTM D7012-10 [1] модуль Юнга определяют по диаграмме деформирования образца, построенной в координатах «напряжение — осевая деформация». Осевую (продольную) деформацию рассчитывают по данным измерения перемещения образца вдоль оси нагружения с помощью установленного на нём датчика деформаций:

$$\varepsilon_a = \Delta L / L,$$

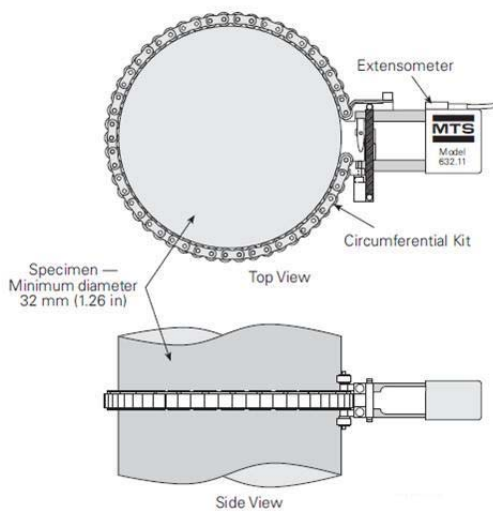
где  $L$  — начальная (недеформированная) база датчика;  $\Delta L$  — измеренное изменение базы датчика в результате деформирования. Аналогичным образом рассчитывают поперечную деформацию  $\varepsilon_t$ . Модуль Юнга определяют по наклону диаграммы деформирования. Для определения коэффициента Пуассона необходимо тем же способом вычислить наклон диаграммы поперечных деформаций и рассчитать (со знаком «минус») отношение наклона диаграммы продоль-

ных деформаций к наклону диаграммы поперечных деформаций.

Главная проблема при определении коэффициента Пуассона состоит в необходимости измерения с достаточной точностью малых перемещений в диапазоне 1...10 мкм. Для определения коэффициента Пуассона геоматериалов и горных пород фирмы-производители испытательного оборудования предлагают поперечные датчики нескольких типов. Так, фирмы MTS и Instron предлагают для измерения поперечных деформаций цилиндрических образцов окружные датчики, а фирма Toni Technik — диаметральные датчики. Наибольшее распространение получили датчики окружных деформаций цилиндрических образцов. На рис. 1 показан датчик 632.11 фирмы MTS.

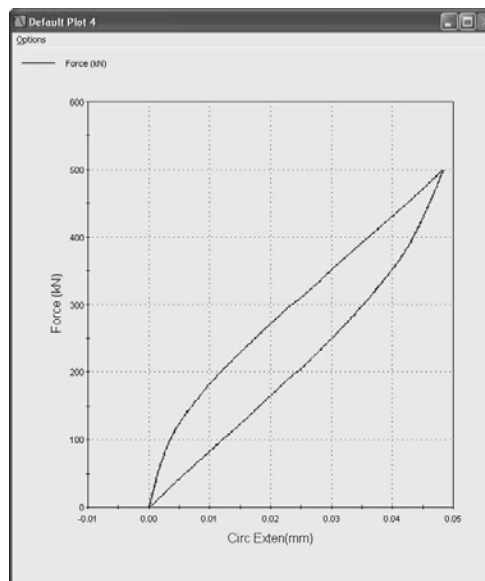
Датчик представляет собой цепочку, охватывающую образец, крайние звенья которой соединены с сенсором. Крепление датчика на образце

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 12-05-98503). Автор выражает благодарность А.И. Рукавишникову за помощь в проведении испытаний и В.А. Асанову за помощь в организации проведения испытаний в Горном институте УрО РАН.



**Рис. 1. Датчик 632.11 фирмы MTS**

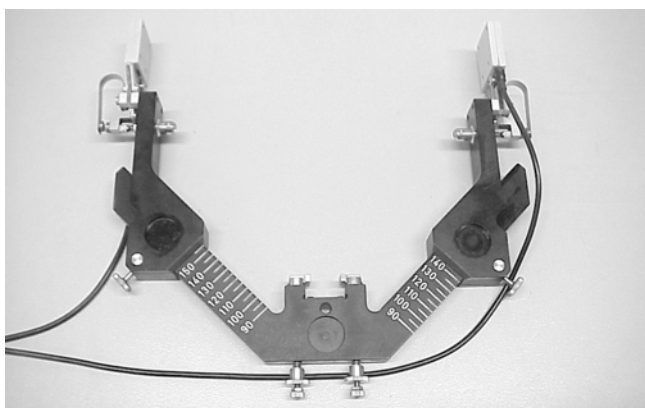
производится независимо от датчиков продольной деформации, путём натяжения цепочки пружинами. Перемещения образца передаются на сенсор через цепочку, состоящую из большого числа звеньев, каждое из которых представляет собой промежуточный элемент, характеризующийся свободным ходом (люфтом) и трением. Из-за конструктивных особенностей характеристика окружного датчика при малых перемещениях образца имеет нелинейный характер. По той же причине диаграмма деформирования при разгрузке демонстрирует выраженный гистерезис, никак не связанный с реальным поведением материала. На рис. 2 приведена диаграмма изменения окружности эталонного алюминиевого цилиндрического образца диаметром 90 мм при сжатии, полученная с помощью окружного датчика на испытательной машине MTS 815. Из рис. 2 видно, что диапазон работы окружного датчика начинается от 10 мкм, для измерения меньших перемещений он не может быть использован.



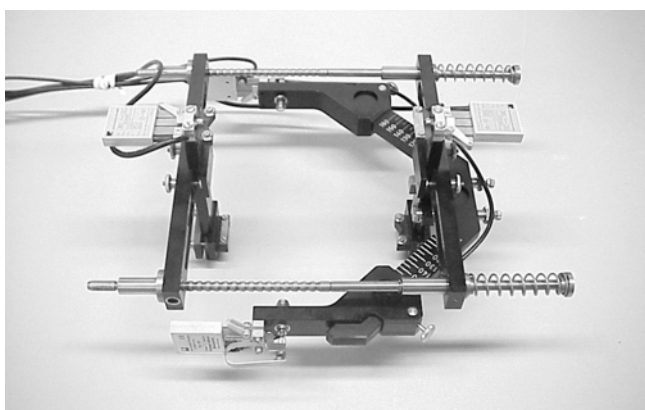
**Рис. 2. Диаграмма изменения окружности алюминиевого образца**

Рассмотрим особенности работы диаметральных датчиков. Так, фирма Topi Technik предлагает диаметральные датчики 0712.012 и 0712.013, которые имеют одинаковую конструкцию, но рассчитаны на испытания образцов различного диаметра: датчик 0712.012 — для испытания образцов диаметром 90...160 мм, а датчик 0712.013 — для испытания образцов диаметром 40...100 мм. Оба датчика могут использоваться только совместно с продольным датчиком 0712.001. На рис. 3, 4 приведены фотографии датчика 0712.012 отдельно и в сборе с датчиком 0712.001.

Для установки на образец датчик 0712.012 жёстко крепится к датчику 0712.001. Понятно, что такой способ крепления не может обеспечить полной независимости работы продольного и поперечного датчиков. Но если влияние поперечного датчика на работу продольного датчика незначи-



**Рис. 3. Датчик 0712.012 фирмы Toni Technik**



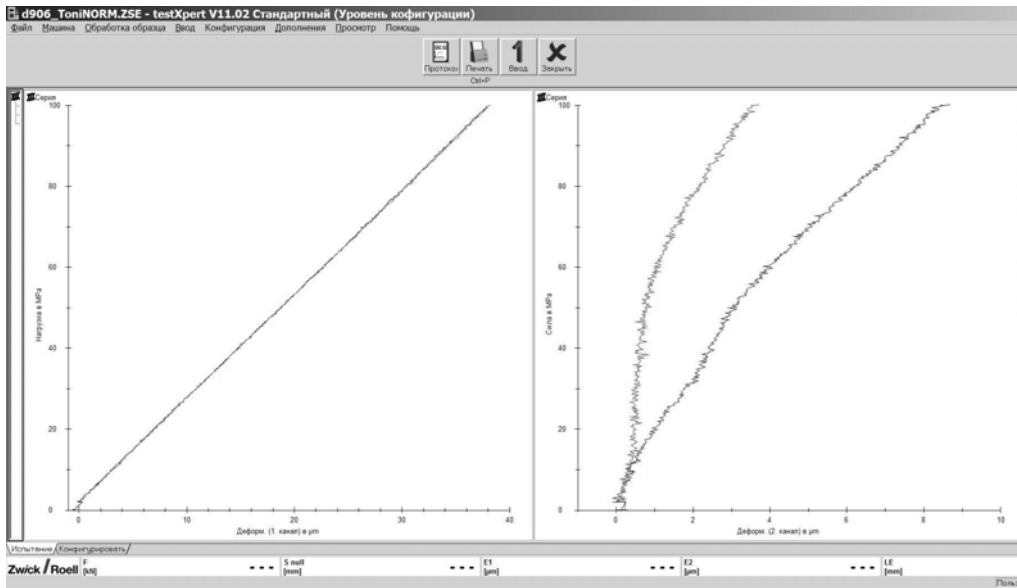
**Рис. 4. Датчик 0712.012 в сборе с датчиком 0712.001**

тельно, то обратное влияние может оказаться настолько существенным, что приведёт к серьёзному искажению диаграммы поперечных деформаций. Важную роль при этом играют два фактора: расположение поперечного датчика относительно неподвижной опоры продольного датчика и трение во втулке при перемещении штока, который деформацию образца передаёт на сенсор. При неблагоприятном сложении этих факторов диаграммы поперечных деформаций (перемещений) имеют вид, представленный на рис. 5 в виде скриншота программы testXpert с результатами испытаний

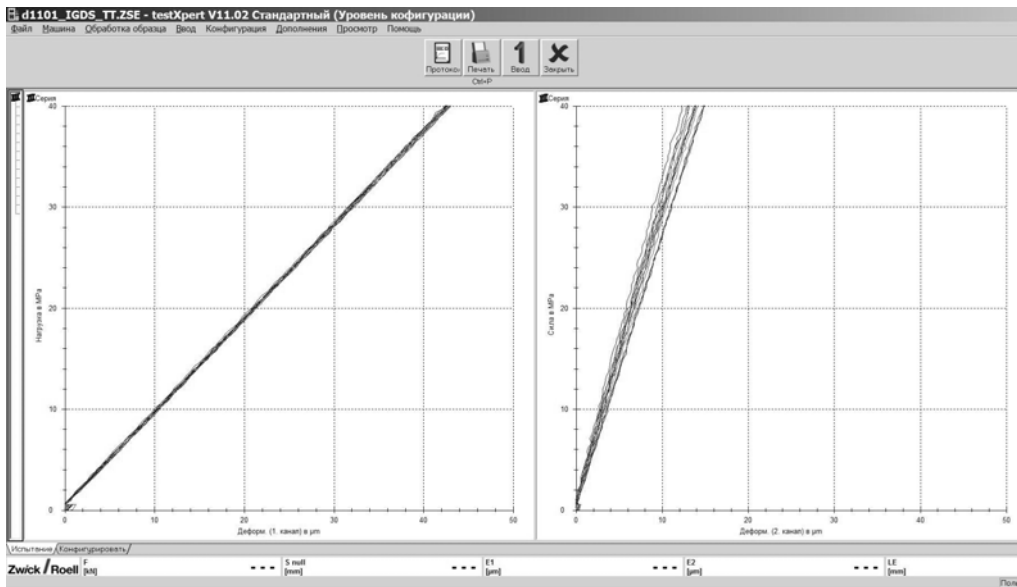
эталонного образца. Стальной образец два раза нагружали в упругой области и получили диаграммы поперечных перемещений, никоим образом не отражающие реальное линейно-упругое деформирование материала, о котором можно судить по диаграммам продольных перемещений, приведённых там же.

Для изучения возможности использования диаметральных датчиков был изготовлен эталонный алюминиевый цилиндрический образец диаметром 90 мм и проведены его испытания в лабораториях Института горного дела Севера СО РАН (г. Якутск) и Горного института УрО РАН (г. Пермь) на аналогичном оборудовании фирмы Toni Technik.

Испытания в ИГДС СО РАН проводили на прессе ToniNORM 600 с максимальным усилием 600 кН. Для регистрации деформаций использовали датчик 0712.013 в сборе с датчиком 0712.001. База продольного датчика составляла 80 мм. Для уменьшения влияния продольного сжатия образца на диаграмму поперечных перемещений диаметральный датчик располагали максимально близко (насколько позволяла конструкция) к неподвижной опоре продольного датчика. Образец несколько раз нагружали в упругой области с последующей разгрузкой. Скриншот программы testXpert с результатами испытаний приведён на рис. 6.



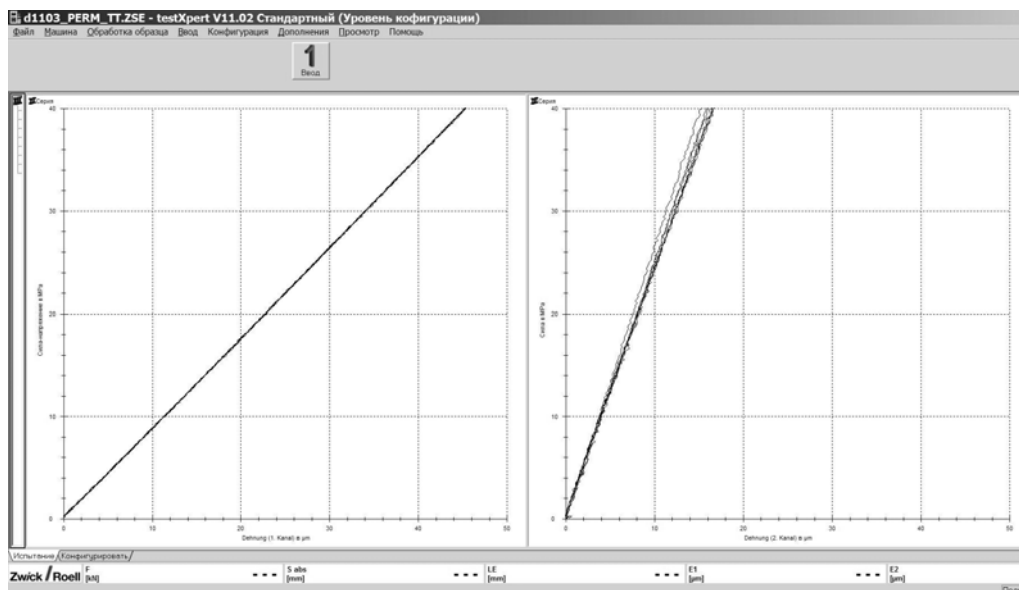
**Рис. 5. Диаграммы продольных (слева) и поперечных (справа) перемещений стального образца**



**Рис. 6. Диаграммы продольных (слева) и поперечных (справа) перемещений алюминиевого образца (испытания в ИГДС СО РАН)**

Если диаграммы продольных перемещений (и, соответственно, деформаций) достаточно хорошо ложатся одна на другую, подтверждая

обратимый линейный характер деформирования образца, то диаграммы поперечных перемещений образуют веер относительно прямых ли-



**Рис. 7. Диаграммы продольных (слева) и поперечных (справа) перемещений алюминиевого образца (испытания в ГИ УрО РАН)**

ний. По ним можно судить о разбросе измеренных перемещений и определённых значений коэффициента Пуассона. Определённая по результатам испытаний величина модуля Юнга составила 74 ГПа, среднее значение коэффициента Пуассона — 0,29 с разбросом значений от 0,26 до 0,31.

Испытания в Горном институте УрО РАН проводили на прессе TonI-NORM 300 с максимальным усилием 300 кН. Для регистрации деформаций использовали датчик 0712.012 в сборе с датчиком 0712.001. База продольного датчика составляла 80 мм. Для уменьшения влияния продольного сжатия образца на диаграмму поперечных перемещений диаметральный датчик также располагали максимально близко к неподвижной опоре продольного датчика. Образец несколько раз нагружали в упругой области с последующей разгрузкой. Скриншот программы testXpert с ре-

зультатами испытаний приведён на рис. 7.

Вид диаграмм имеет тот же характер, что и на рис. 6. Можно отметить несколько меньший разброс поперечных перемещений при увеличении их среднего значения, что может быть связано с более качественным изготовлением узлов датчика, которые передают деформацию образца на сенсор. Определённая по результатам испытаний величина модуля Юнга составила 71 ГПа, среднее значение коэффициента Пуассона — 0,32 с разбросом значений от 0,30 до 0,33.

По результатам проведённых испытаний можно сделать следующие выводы.

1. Из-за конструктивных особенностей окружные датчики деформаций отличаются нелинейной характеристикой в диапазоне малых перемещений 1...10 мкм, что существенно ограничивает область их применения для ре-

гистрации поперечных перемещений образца и определения коэффициента Пуассона материала при сжатии.

2. Конструкцией диаметрального датчика деформаций фирмы Toni Technik предусмотрено жёсткое крепление к продольному датчику и установка пары датчиков в сборе на образец. Этим нарушается независимость работы датчиков, что может привести к серьёзному искажению полученных диаграмм деформирования и невозможности использования результатов измерений для определения коэффициента Пуассона материала.

3. Для минимизации взаимного влияния продольного и диаметрального датчиков последний датчик необходимо устанавливать максимально близко к неподвижной опоре про-

дольного датчика. Но и при выполнении этого условия разброс значений коэффициента Пуассона в нескольких сериях испытаний на сжатие эталонного алюминиевого образца диаметром 90 мм составил до 20 %. При этом среднее значение коэффициента Пуассона эталонного образца, полученное при использовании двух пар однотипных датчиков Toni Technik, отличалось на 10 %.

4. Полученную на эталонном образце величину разброса можно рассматривать в качестве нижней оценки погрешности определения коэффициента Пуассона реальных горных пород и геоматериалов при использовании диаметральных датчиков деформаций фирмы Toni Technik.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ASTM D7012-10. Standard test method for compressive strength and elastic moduli of intact rock core specimens under

varying states of stress and temperatures. — West Conshohocken: ASTM International, 2010. **IVAS**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Сукнёв Сергей Викторович — доктор технических наук, зав. лабораторией [suknyov@igds.ysn.ru](mailto:suknyov@igds.ysn.ru),  
Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН.



---

#### ГОРНАЯ КНИГА-2012



#### Прогнозирование землетрясений с помощью измерений концентраций и потока радона на земной поверхности

Е.Н. Камнев, А.О. Сизова, А.В. Касаткин, Т.С. Самородова

2012 год

36 с.

ISBN: 978-5-98672-329-7

UDK: 550.34:539.1

Описывается один из методов прогнозирования землетрясений, а именно — прогноз путем измерения слабых потоков радона на земной поверхности. Обосновывается идея взаимосвязи «внезапного» увеличения концентрации радона в пробах почвенного воздуха и усиления потока этого газа с «готовящимся» землетрясением в недрах земли. Приводится статистика этой взаимосвязи на примере зарегистрированных землетрясений.

Для специалистов, работающих в области горных наук и обеспечения сейсмобезопасности.