



**СКВАЖИННЫЙ ОДНООСНЫЙ ПРЕССИОМЕТР
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УПРУГИХ СВОЙСТВ СКАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД**

С. В. Сердюков, А. Н. Дробчик

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
E-mail: ss3032@yandex.ru, пр. Красный 54, г. Новосибирск 630091, Россия*

Рассмотрено экспериментальное скважинное оборудование для измерения упругих свойств скальных горных пород, обеспечивающее регулируемое одноосное нагружение стенок необсаженной скважины перпендикулярно ее оси и измерение деформаций в широком диапазоне нагрузок с автоматической регистрацией получаемых данных.

Скважинные измерения, горные породы, упругие свойства, прибор, одноосное нагружение, контур скважины, деформация

**UNIAXIAL PRESSUREMETER FOR BOREHOLE MEASUREMENTS
OF ELASTIC PROPERTIES OF HARD ROCKS**

S. V. Serdyukov and A. N. Drobchik

*Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
E-mail: ss3032@yandex.ru, Krasny pr. 54, Novosibirsk 630091, Russia*

The experimentally tested borehole equipment for measuring elastic properties of hard rocks, which also provides for controlled uniaxial loading of open hole walls perpendicular to its axis, and for strain measurements in a wide range of loads with automatic data recording is considered.

Well measurements, rocks, elastic properties, downhole tool, uniaxial loading, well contour, deformation

Прессиометрические исследования в скважинах применяют для определения упругих свойств горных пород *in situ*, ориентации трещин, пересекающих скважину, и их сжатия вмещающими породами. Искомые параметры находят по зависимости деформации контура необсаженной скважины от нагружения, пропорционального давлению в гидравлической системе устройства силового воздействия [1, 2]. В одних системах реализовано радиально-симметричное нагружение (дилатометры, гидродатчики) [3, 4], в других — одноосное, по нормали к оси скважины [5].

В настоящей работе рассмотрен разработанный в ИГД СО РАН одноосный прессиометр, предназначенный для работы в шахтных условиях. Оборудование состоит из скважинного прибора, включающего гидравлический силовой узел и измеритель деформации в направлении силового воздействия, а также из регистратора данных, насоса и датчика высокого давления, размещаемых в горной выработке.

Общий вид скважинного прибора показан на рис. 1. Силовой узел прессиометра выполнен по известной схеме [6, 7] и представляет собой раздвижную металлическую оболочку, состоящую из пуансонов 9 и контактных элементов 7, стянутых между собой упругими клипсами 14. Внутри раздвижной оболочки расположена расширяемая резиновая трубка 6. По центру трубки проходит стальной стержень 8, соединяющий торцевые узлы прибора: защитный кожух 10 и цилиндр 4 с упругим элементом 5. К цилиндру 4 прикреплен измерительный узел с элементами 12, 13

в защитном корпусе 3. Измерительный узел связан с контактными элементами 7 планками 11. С насосом и регистратором скважинный прибор связан рукавом высокого давления 1 и сигнальным электрическим кабелем 2. Для установки и поворота прибора в скважине используется секционный трубчатый толкатель.

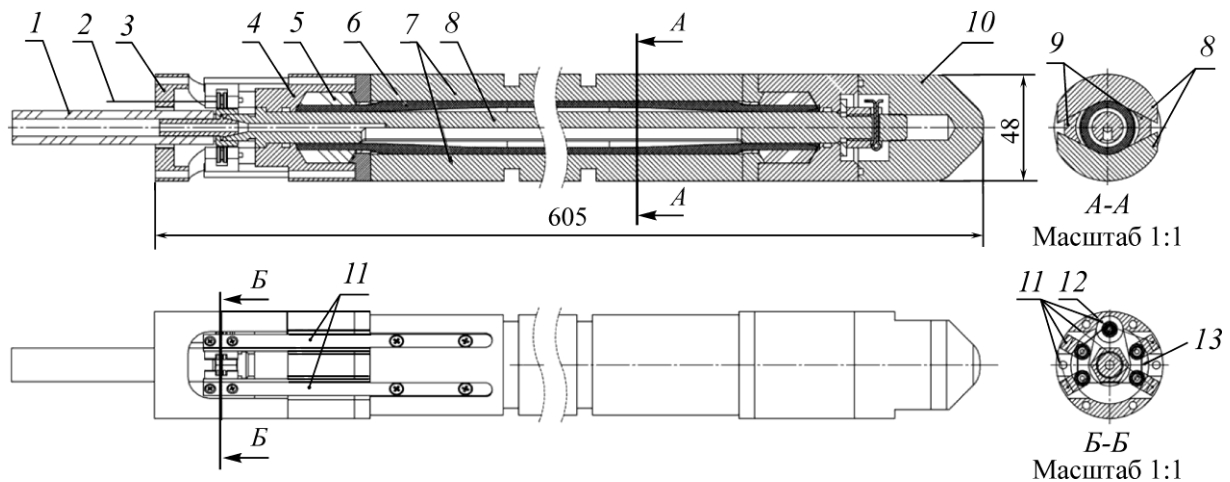


Рис. 1. Общий вид скважинного прибора: 1 — рукав высокого давления; 2 — сигнальный электрический кабель; 3 — корпус измерительного узла; 4 — цилиндр; 5 — упругий элемент; 6 — резиновая трубка; 7 — контактный элемент; 8 — стержень; 9 — пуансон; 10 — защитный кожух; 11 — планка; 12 — энкодер (датчик угла поворота); 13 — лента; 14 — клипса

Прибор работает следующим образом. После установки в заданный интервал скважины прибор разворачивают в требуемом направлении и по рукаву высокого давления 1 в резиновую трубку 6 ручным насосом нагнетают гидравлическое масло, давление которого измеряют датчиком и манометром. По мере заполнения маслом резиновая трубка 6 расширяется, раздвигая пуансоны 9 и контактные элементы 7 до соприкосновения последних со стенками скважины. Дальнейшая подача масла ведет к повышению давления внутри силового узла, которое через резиновую трубку 6, пуансоны 9 и контактные элементы 7 обеспечивает распорное одноосное нагружение контура скважины. Одновременно давление масла через часть резиновой трубки 6, расположенной по оси цилиндра 4, передается на расположенный в нем упругий элемент 5. При этом он деформируется и создает осевую нагрузку на торцевые крышки, примыкающие к торцам контактных элементов 7 и пуансонов 9, замыкая тем самым раздвижную металлическую оболочку силового узла по краям.

Планки 11, закрепленные на контактных элементах 7, перемещаются вместе с ними. Концы планок через специальные пазы выведены в корпус измерительного узла 3 (рис. 1). На планках закреплены ролики, по которым проходит стальная лента 13, связывающая между собой планки 11 и абсолютный энкодер 12 так, что раздвижение контактных элементов 7 на 20 мм линейно преобразуется во вращение вала датчика 12 на 2–3 оборота, обеспечивая тем самым чувствительность измерительной системы 0.5 мкм. На рис. 2 приведено схематическое изображение измерительного узла, поясняющее его конструкцию. Энкодер через согласующую электронную плату, входящую в состав измерительного узла прибора, связан сигнальным кабелем 2 с автономным регистратором на базе микроконтроллера ANmega8A по стандарту интерфейса RS-485. По другому каналу в регистратор записываются показания датчика давления на выходе насоса, обеспечивая тем самым получение требуемых зависимостей деформации контура скважины от силового нагружения.

Основные характеристики двух модификаций прессиометра, отличающихся диаметром, приведены в таблице.

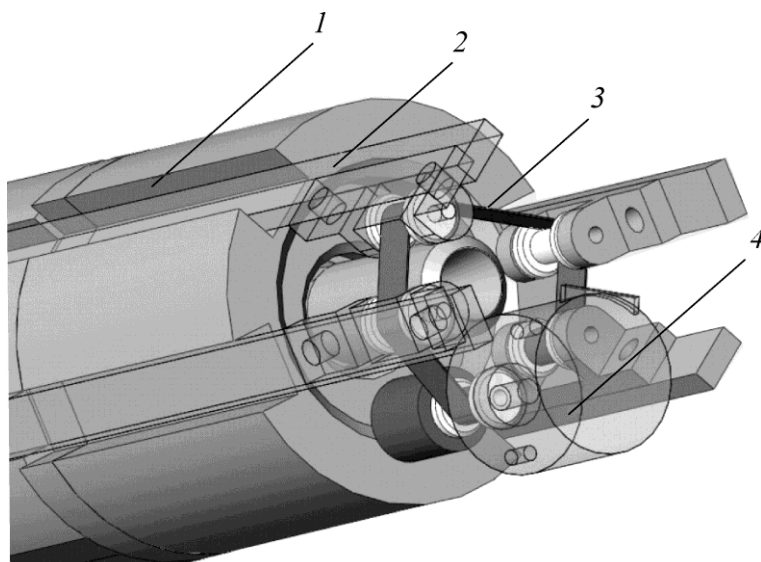


Рис. 2. Схема установки энкодера и его соединения с планками: 1 — паз под планку; 2 — планка с роликом; 3 — струна; 4 — энкодер

Значения основных характеристик прессиометра

| Характеристика | Значение |
|---|------------------------------|
| Диаметр прибора D , мм | 48 (67) |
| Длина прибора, мм | 605 |
| Масса, кг: | |
| прибора | 8 (12 для $D = 67$ мм) |
| регистратора | 0.4 |
| насоса (с манометром и датчиком давления) | 3 |
| Давление в гидросистеме, МПа | 0 – 75 |
| Нагрузка на стенки скважины, МН | до 1.1 (1.5 для $D = 67$ мм) |
| Рабочий ход в направлении воздействия, мм | до 20 |
| Чувствительность по деформации, мкм | 0.5 (0.1) |
| Чувствительность по давлению, МПа | 0.01 |
| Напряжение питания прибора и регистратора, В | 12 |
| Длительность автономной записи (работы регистратора), сут | 7 |
| Длина, м: | |
| рукава высокого давления | 12 – 32 |
| сигнального электрического кабеля | 12 – 32 |
| секционного толкателя | 10.5 – 30 |
| секции толкателя | 1.5 |

Использование в приборе абсолютного датчика угла поворота позволяет проводить измерения эллиптичности поперечного сечения скважин. Разработанный прессиометр может применяться как отдельный прибор для реализации стандартных методик определения модуля сдвига горных пород *in situ*, так и в комплексе с устройством гидроразрыва для определения давления открытия и ориентации следа созданной трещины на стенке скважины [8], а также модуля Юнга и коэффициента Пуассона по методике, представленной в работе [9].

ВЫВОДЫ

Разработан одноосный прессиометр, обеспечивающий проведение деформационных измерений в шахтных условиях с чувствительностью ≥ 0.5 мкм при распорных нагрузках стенок скважины в интервале длиной 500 мм $\geq 1.1 - 1.5$ МН.

Измерение деформации реализовано за счет преобразования линейных перемещений нагруженных элементов во вращение оси абсолютного датчика угла поворота, применение которого обеспечивает возможность выполнения прибором точечных замеров эллиптичности поперечного сечения скважин.

Автономность работы прибора составляет не менее 7 сут, что позволяет использовать его в качестве измерительной станции при мониторинге геодинамических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Zalesky M., Bühler Ch., Burger U., and John. M.** Dilatometer tests in deep boreholes in investigation for brenner base tunnel, in Proceedings of World Tunnelling Congress 2007 in Prague, Rotterdam: A. Balkema, 2006.
2. **Amadei B., Valverde M, Jernigan R., Touseull J., and Cappelle J. F.** The directional dilatometer: a new option to determine rock mass deformability, in The Pressuremeter and Its New Avenues: Proceedings of 4th international symposium, Sherbrooke, Québec, 17 – 19 May 1995.
3. **Serdyukov S. V., Degtyareva N. V., Patutin A. V., and Shilova T. V.** Open-hole multistage hydraulic fracturing system, Journal of Mining Science, 2016, vol. 52, no. 6, pp. 1210–1215 [**Сердюков С. В., Дегтярева Н. В., Патутин А. В., Рыбалкин Л. А.** Скважинный прецизионный дилатометр с интегрированной системой транспортирования вдоль ствола скважины // ФТПРПИ. — 2015. — № 4. — С. 198–204.]
4. **Kurlenya M. V. and Aksenov V. K.** Measurement of stresses in the rock mass with downhole hydraulic sensors, Mining, Novosibirsk, Publishing House of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1969, pp. 30–37 (in Russian) [**Курленя М. В., Аксенов В. К.** Измерение напряжений в массиве горных пород скважинными гидравлическими датчиками / Горное дело. — Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1969. — С. 30–37.]
5. **Kurlenya M. V., Oparin V. N., Akinin A. A., Sidenko G. G., and Yushkin V. F.** Longitudinal multichannel optoelectronic deformometer, Journal of Mining Science, 1997, vol. 33, no. 3, pp. 281–293 [**Курленя М. В., Опарин В. Н., Акинин А. А., Сиденко Г. Г., Юшкин В. Ф.** Многоканальный оптоэлектронный деформометр продольного типа // ФТПРПИ. — 1997. — № 3. — С. 105–119.]
6. **Author Certificate 1040147 USSR.** Device for determining the deformation properties and natural stresses of a rock massif, G. S. Klezel, M. V. Kurlenya, Yu. A. Lebedev, Yu. A. Fishman, Byull. Izobret., 1983, no. 33 (in Russian) [**А. с. 1040147 СССР.** Устройство для определения деформационных свойств и естественных напряжений массива горных пород / Г. С. Клецель, М. В. Курленя, Ю. А. Лебедев, Ю. А. Фишман // Опубл. в БИ. — 1983. — № 33.]
7. **Author Certificate 1033819 USSR.** Device for the destruction of monolithic objects, A. S. Kanygin, Byull. Izobret., 1983, no. 29 (in Russian) [**А. с. 1033819 СССР.** Устройство для разрушения монолитных объектов / А. С. Каныгин // Опубл. в БИ. — 1983. — № 29.]
8. **Pavlov V. A. and Serdyukov S. V.** The development of directional hydraulic fracturing technique for in-situ stress state rock mass measuring, Geo-Siberia, 2010, vol. 2, no. 2, pp. 142–146 (in Russian) [**Павлов В. А., Сердюков С. В.** Совершенствование технологии направленного гидроразрыва применительно к измерению напряженного состояния массива горных пород // Гео-Сибирь. — 2010. — Т. 2. — № 2. — С. 142–146.]
9. **Kurlenya M. V., Serdyukov S. V., and Patutin A. V.** Assessment of deformation properties of rocks by pressuremeter testing in hydrofractured interval, Journal of Mining Science, 2015, vol. 51, no. 4, pp. 718–723. [**Курленя М. В., Сердюков С. В., Патутин А. В.** Определение деформационных свойств горных пород по данным прессиометрических испытаний в интервале гидроразрыва скважины // ФТПРПИ. — 2015. — № 4. — С. 96–102.]