

© Авторы 2023 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Authors 2023. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 550.34.016; 550.34.035

<https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.2.175-179>
<https://www.elibrary.ru/jbujuu>

Оптическая система регистрации прогиба образца в испытаниях на изгиб

М. А. Мищенко*, И. А. Ларионов, В. А. Васькин

*E-mail: micle@ikir.ru

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
Камчатский край, с. Паратунка, Россия

Резюме. При проведении работ по трехточечному изгибу и разрушению образца различных геоматериалов используются специальные средства регистрации его прогиба. Для решения данной задачи авторами на базе доступного оптического сенсора создана бесконтактная система регистрации. Тестирование системы проведено в экспериментах по изгибу различных материалов. Полученная система регистрации обладает достаточной чувствительностью и является недорогим аналогом подобных систем на рынке.

Ключевые слова: система регистрации, оптический сенсор, изгиб образца

Optical system for recording specimen deflection in bending tests

Mikhail A. Mishchenko*, Igor A. Larionov, Vasilij A. Vas'kin

*E-mail: vict-k@mail.ru

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, FEB RAS,
Kamchatkskiy kray, Paratunka, Russia

Abstract. Special systems for recording deflections are used, when carrying out the works on three-point bending and destruction of specimens made of different geomaterials. The authors developed an off-contact recording system based on an available optical sensor in order to resolve this problem. The system was tested during the bending tests of various materials. The obtained system is sensitive enough and is an inexpensive analogue of such systems in the market.

Keywords: recording system, optical sensor, specimen deflection

Для цитирования: Мищенко М.А., Ларионов И.А., Васькин В.А. Оптическая система регистрации прогиба образца в испытаниях на изгиб. *Геосистемы переходных зон*, 2023, т. 7, № 2, с. 175–179. <https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.2.175-179>; <https://www.elibrary.ru/jbujuu>

For citation: Mishchenko M.A., Larionov I.A., Vas'kin V.A. Optical system for recording specimen deflection in bending tests. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2023, vol. 7, no. 2, pp. 175–179. (In Russ. & Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.2.175-179>; <https://www.elibrary.ru/jbujuu>

Благодарности

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН (№ АААА-А21-121011290003-0).

Acknowledgements

The work was carried out within the framework of realization of the State Task of the Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, FEB RAS (No. АААА-А21-121011290003-0).

Введение. На сегодняшний день изучение процесса деформации приповерхностных пород и его следствий на разных стадиях подготовки землетрясений в рамках исследования сейсмотектонического процесса актуально не только в региональном, но и глобальном мас-

штабе. Результаты многолетних исследований различных геофизических полей в условиях постоянно протекающего сейсмотектонического процесса [1, 2] указывают на необходимость проведения лабораторных экспериментов по изучению различных свойств горных

пород при деформировании их образцов [3, 4], что требует серьезной оснащённости точными современными средствами измерения физических величин. Испытания образцов на изгиб являются одними из наиболее часто проводимых на практике. Для измерения прогиба образца в процессе испытаний применяются современные бесконтактные экстензометры, которые при широких функциональных возможностях имеют внушительную стоимость. Авторы предлагают бесконтактную систему регистрации прогиба образца, реализованную на базе доступного оптического сенсора.

Принцип работы оптического сенсора.

В целом конструкция блока оптического сенсора ADNS-2610 (рис. 1) помимо микросхемы сенсора включает еще несколько базовых элементов. Это держатель, в который устанавливается светодиод, и непосредственно сама микросхема сенсора. Эта система элементов крепится на печатную плату, между ней и нижней поверхностью крепится пластиковый элемент, содержащий две линзы.

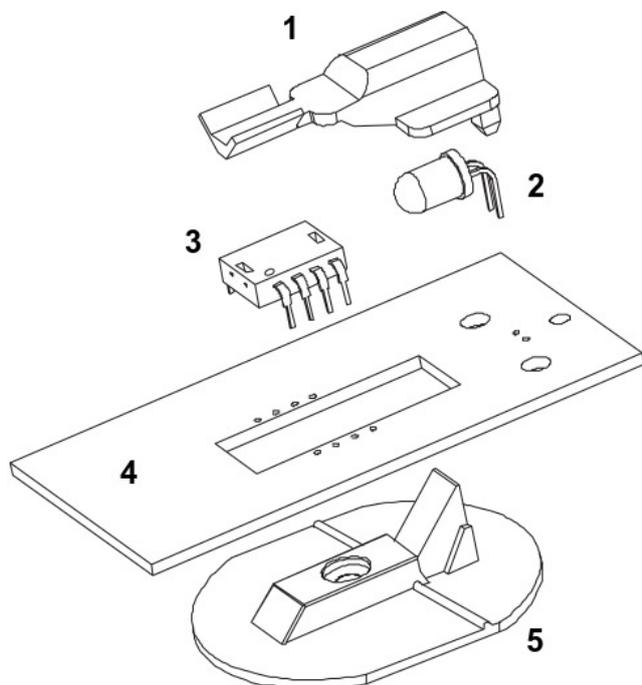


Рис. 1. Базовые элементы оптической схемы сенсора в сборе: 1 – держатель, 2 – светодиод, 3 – оптический сенсор ADNS-2610, 4 – печатная плата, 5 – система линз.

Fig. 1. Basic elements of the assembled sensor optical circuit: 1 – holder, 2 – light emitting diode, 3 – ADNS-2610 optical sensor, 4 – printed circuit board, 5 – lens system.

С помощью светодиода и системы фокусирующих его свет линз под сенсором подсвечивается участок поверхности. Отраженный от этой поверхности свет собирается другой линзой и попадает на оптический сенсор (рис. 2). Микросхема ADNS-2610 в своем составе имеет подсистему получения изображения и интегрированный процессор обработки снимков. Изображение рабочей поверхности сканируется, а затем на основе анализа последовательных снимков, представляющих собой квадратную матрицу пикселей разной яркости, интегрированный процессор вычисляет смещение сенсора вдоль осей X и Y.

Размер матрицы оптического сенсора составляет 18×18 пикселей. Для первичной оценки размера области сканируемой поверхности использовалась прозрачная дифракционная решетка с периодом 0.2 мм. Изображение, полученное с оптического сенсора, охватывает 4.5 периода, что соответствует 0.9 мм. Таким образом, сохраняемое квадратное изображение имеет рабочую поверхность размером $\sim 0.9 \times 0.9$ мм². А значит, линейное смещение сенсора на 1 пиксель соответствует сдвигу на ~ 0.05 мм.

В состав оптической системы регистрации входят: блок оптического сенсора в сборе (ADNS-2610 – оптический сенсор, который выполнен в корпусе DIP-8 и применяется в комплекте со светодиодным источником под-

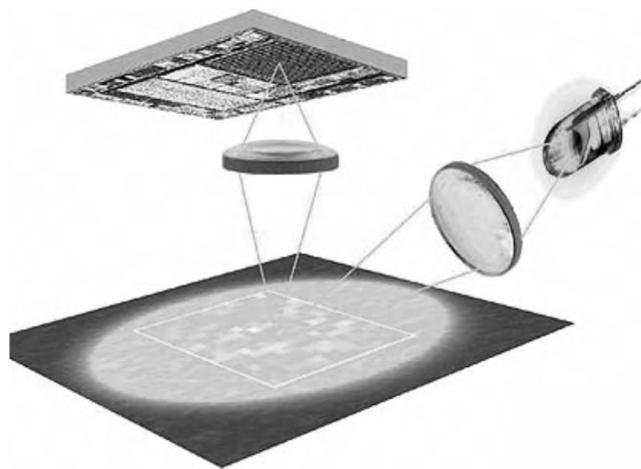


Рис. 2. Схема подсветки рабочей поверхности и проецирование ее изображения на оптический сенсор.

Fig. 2. Scheme of work surface additional illumination and work surface projection on the optical sensor.

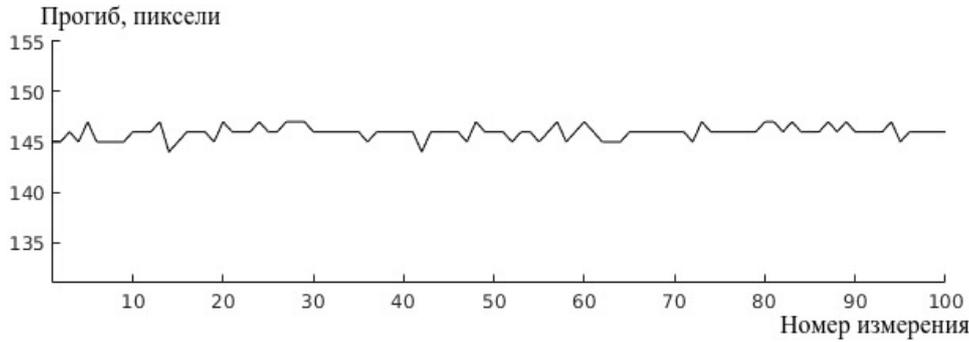


Рис. 3. Результаты калибровки оптической системы регистрации. По оси абсцисс – номер измерения, по оси ординат – величина смещения в пикселях.

Fig. 3. Results of optical recording system calibration. Measurement number is along the X-axis, displacement magnitude in pixels is along the Y-axis.

светки HLMP-ED80, держателем светодиода HDNS-2200 и линзой HDNS-2100); микроконтроллер с прошивкой; компьютер с программой сбора данных.

Методика калибровки системы. Калибровка оптической системы регистрации проводилась при помощи концевой меры длиной 8 мм из набора № 3 концевых мер класса точности 2. Была проведена серия из 100 измерений, результаты приведены на рис. 3.

Суммарная погрешность измерений вычисляется по формуле

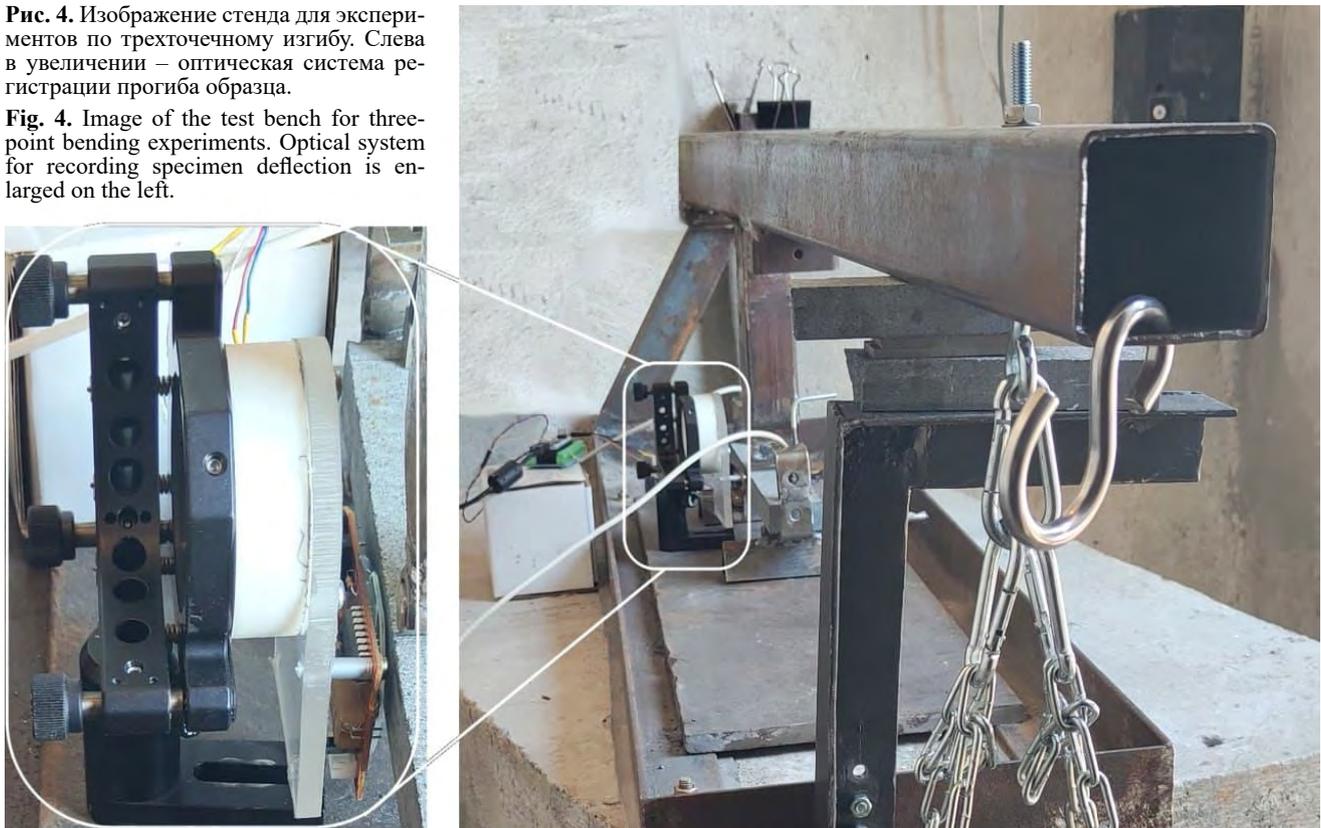
$$\Delta_{\Sigma}x = \sqrt{\delta x^2 + \Delta x^2}, \quad (1)$$

где δx – систематическая погрешность, а Δx – случайная погрешность.

Согласно ГОСТ 9038-90*, систематическая погрешность δx соответствует допуску отклонению длины концевой меры от номинального значения, она равна 0.4 мкм.

Рис. 4. Изображение стенда для экспериментов по трехточечному изгибу. Слева в увеличении – оптическая система регистрации прогиба образца.

Fig. 4. Image of the test bench for three-point bending experiments. Optical system for recording specimen deflection is enlarged on the left.



*ГОСТ 9038-90. Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 25.01.91 № 86; дата введения 1991-07-01 [GOST 9038-90. Gauge blocks. Specifications: approved and put into operation by the Decree no. 86 of the USSR State Committee for Product Quality Management and Standards dated 25.01.91; date of introduction 1991-07-01]. URL: <https://meganorm.ru/Data/283/28341.pdf>

Расчет случайной погрешности измерений проводится по формуле

$$\Delta x = \pm t_{\alpha,n} * S_{\bar{x}}, \quad (2)$$

где $t_{\alpha,n}$ – коэффициент Стьюдента, α – доверительная вероятность, n – число измерений, $S_{\bar{x}}$ – средняя квадратическая ошибка среднего арифметического (3):

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (3)$$

где x_i – результат i -го измерения, \bar{x} – среднее арифметическое измерений.

Результаты расчета суммарной погрешности серии измерений смещения следующие:

Доверительная вероятность α	0.68	0.95	0.99
Суммарная погрешность измерений $\Delta_{\Sigma}x$, мм	± 0.0036595	± 0.0072326	± 0.0095671

Тестирование системы. Тестирование системы регистрации проводилось на стенде, разработанном для экспериментов по трехточечному изгибу образцов горных пород и искусственных материалов. Изображение стенда и его упрощенная схема представлены на рисунках 4 и 5 соответственно. Оптическая система установлена на основании стенда с помощью держателя, применяемого в оптических схемах, с возможностью двухосевого регулирования.

Тестовые эксперименты на трехточечный изгиб проводились в первом случае на образце строительного керамогранита с размерами $8 \times 40 \times 250$ мм, а во втором – на образце природного гранита с размерами $20 \times 40 \times 250$ мм. Результаты регистрации прогиба образца в обоих экспериментах представлены на рисунках 6 а и 6 б соответственно.

В первом эксперименте – с изгибом образца керамогранита – нагрузка линейно увеличивалась на протяжении приблизительно 1 ч. При достижении критического прогиба (0.548 ± 0.01 мм) произошел слом образца (рис. 6 а).

Во втором эксперименте – с изгибом образца природного гранита – нагрузка изменялась ступенчато: периоды линейного увеличения (длительностью приблизительно 1.5 ч) сменялись периодами отстаивания (величина нагрузки оставалась постоянной в течение нескольких часов). Как видно на графике

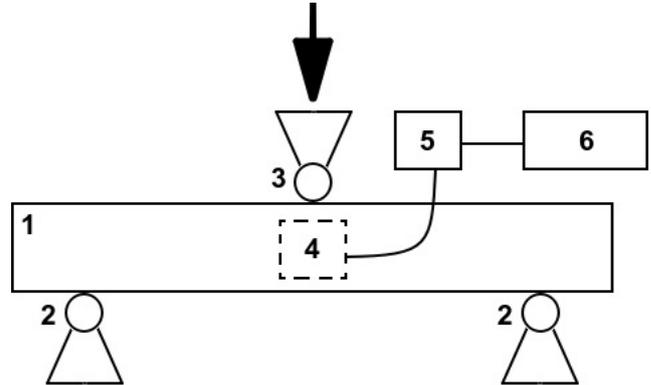


Рис. 5. Упрощенная схема стенда для проведения эксперимента на трехточечный изгиб. 1 – образец, 2 – точки опоры, 3 – точка приложения нагрузки, 4 – место установки блока оптического сенсора, 5 – микроконтроллер, 6 – компьютер.

Fig. 5. Simplified scheme of the test bench for three-point bending experiments. 1 – specimen, 2 – support points, 3 – load application point, 4 – position of the optical sensor block, 5 – microcontroller, 6 – PC.

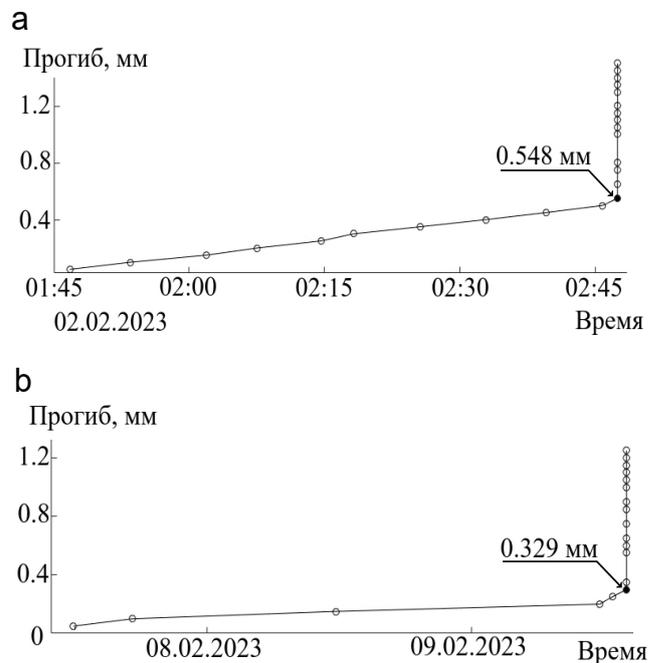


Рис. 6. Графики изменения прогиба образца строительного керамогранита (а) и природного гранита (б) в экспериментах по его трехточечному изгибу.

Fig. 6. Graphs of deflection change of construction ceramic granite (a) and of natural granite (b) specimen during the experiments on its three-point bending.

рис. 6 б, при достижении критического прогиба (0.329 ± 0.01 мм) произошел слом образца. Максимальная величина прогиба, полученная в нашем эксперименте с изгибом образца природного гранита, немного больше его величины в работе [4]. Это можно объяснить большей длиной образца в нашем случае.

Заключение. Представленная система показала достаточную чувствительность для измерения прогиба образцов разных материалов в экспериментах по трехточечному изгибу. Значения регистрируемого прогиба образцов сопоставимы с результатами в аналогичных экспериментах других авторов. В перспективе возможно увеличение чувствительности системы при использовании оптического сенсора большего разрешения. Представленную систему планируется использовать в лабораторных экспериментах при моделировании процессов деформирования приповерхностных пород перед землетрясением.

Список литературы

1. Марапулец Ю.В., Шевцов Б.М., Ларионов И.А., Мищенко М.А., Щербина А.О., Солодчук А.А. **2012**. Отклик геоакустической эмиссии на активизацию деформационных процессов при подготовке землетрясений. *Тихоокеанская геология*, 31(6): 59–67. EDN: PVYCVV
2. Руленко О.П., Марапулец Ю.В., Кузьмин Ю.Д., Солодчук А.А. **2016**. Совместное возмущение геоакустического, эманационного и атмосферного электрического полей у границы земная кора – атмосфера перед землетрясением. *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*, 3(14): 72–78. EDN: XBARKD

Об авторах

Сотрудники лаборатории акустических исследований, Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Камчатский край, с. Паратунка:

Мищенко Михаил Александрович (<https://orcid.org/0000-0003-1958-5830>), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией, micle@ikir.ru

Ларионов Игорь Александрович (<https://orcid.org/0000-0002-9369-7497>), кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, igor@ikir.ru

Васькин Василий Александрович (<https://orcid.org/0009-0005-9032-6059>), ведущий инженер, vaskin@ikir.ru

Поступила 19.04.2023

Принята к публикации 10.05.2023

3. Мубассарова В.А., Богомолов Л.М., Закупин А.С., Пантелеев И.А., Наймарк О.Б. **2014**. Особенности локализации деформации и распределения очагов акустической эмиссии в образцах горных пород под воздействием одноосного сжатия и электрических импульсов. *Геодинамика и тектонофизика*, 5(4): 919–938. doi:10.5800/GT-2014-5-4-0163; EDN: TDMROT
4. Пантелеев И.А. **2020**. Анализ тензора сейсмического момента акустической эмиссии: микромеханизмы разрушения гранита при трехточечном изгибе. *Акустический журнал*, 66(6): 654–668. DOI: 10.31857/S0320791920060076; EDN: TZZPPC

References

1. Marapulets Y.V., Shevtsov B.M., Larionov I.A., Mishchenko M.A., Shcherbina A.O., Solodchuk A.A. **2012**. Geoacoustic emission response to deformation processes activation during earthquake preparation. *Russian J. of Pacific Geology*, 6(6): 457–464. <https://doi.org/10.1134/s1819714012060048>
2. Rulenko O.P., Marapulets Yu.V., Kuzmin Yu.D., Solodchuk A.A. **2016**. Joint perturbation of geoacoustic, emanation and atmospheric electric fields at the boundary of the earth's crust and the atmosphere before the earthquake. *Vestnik KRAUNTs. Fiziko-matematicheskie nauki = Bulletin KRASEC. Physical and Mathematical Sciences*, 3(14): 72–78. (In Russ.). EDN: XBARKD
3. Mubassarova V.A., Bogomolov L.M., Zakupin A.S., Panteleev I.A., Naimark O.B. **2014**. Strain localization peculiarities and distribution of acoustic emission sources in rock samples tested by uniaxial compression and exposed to electric pulses. *Geodynamics & Tectonophysics*, 5(4): 919–938. (In Russ.). doi:10.5800/GT-2014-5-4-0163
4. Panteleev I.A. **2020**. Analysis of the seismic moment tensor of acoustic emission: granite fracture micro-mechanisms during three-point bending. *Acoustical Physics*, 66(6): 653–665. <https://doi.org/10.1134/s106377102006007x>

About the Authors

Employees of the Laboratory of acoustic research, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation of FEB RAS, Kamchatkskiy kray, Paratunka:

Mishchenko, Mikhail A. (<https://orcid.org/0000-0003-1958-5830>), Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), Senior Researcher, micle@ikir.ru

Larionov, Igor A. (<https://orcid.org/0000-0002-9369-7497>), Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), Leading Researcher, igor@ikir.ru

Vas'kin, Vasily A. (<https://orcid.org/0009-0005-9032-6059>), Leading Engineer, vaskin@ikir.ru

Received 19 April 2023

Accepted 10 May 2023