

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА СМЕЩЕНИЯ

*Мадди Перизат Шаймуратовна*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск*

E-mail: perizat1@tpu.ru

*Ожигина Светлана Борисовна, Алькина Алия Даулетхановна*

*Карагандинский технический университет, г. Караганда*

E-mail: osb66@mail.ru, alika\_1308@mail.ru

*Мехтиев Руслан Алиевич*

*Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, г. Нур-Султан*

E-mail: ruslanmekhtiyev@gmail.com

## INVESTIGATION OF FIBER-OPTIC DISPLACEMENT SENSOR

*Madi Perizat Shaimuratovna*

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

*Ozhigina Svetlana Borisovna, Alkina Aliya Daulet Khanovna*

*Karaganda Technical University, Karaganda*

*Mekhtiyev Ruslan Alievich*

*Kazakh Agrotechnical University named after S.Seifullin, Nursultan*

**Аннотация:** статья посвящена исследованию волоконно-оптических датчиков смещения, для обеспечения безопасности и постоянного мониторинга при работах на карьере. Проведенное исследование позволяет утверждать, что волоконно-оптические датчики и контрольные кабели линии связи, выполненные на основе одномодовых оптических волокон, позволяют с высокой точностью измерять деформации и смещения горного массива на расстояниях 30-50 км. Статья представляет собой образец для изучения всего процесса деформации и смещения горного массива с оптимизацией работы на карьере и предотвращения аварии.

**Abstract:** the article is devoted to the study of fiber-optic displacement sensors to ensure safety and constant monitoring during work at the quarry. The conducted research suggests that fiber-optic sensors and control cables of the communication line, made on the basis of single-mode optical fibers, make it possible to measure deformations and displacements of the mountain range at distances of 30-50 km with high accuracy. The article is a sample for studying the entire process of deformation and displacement of the mountain range with optimization of work at the quarry and accident prevention.

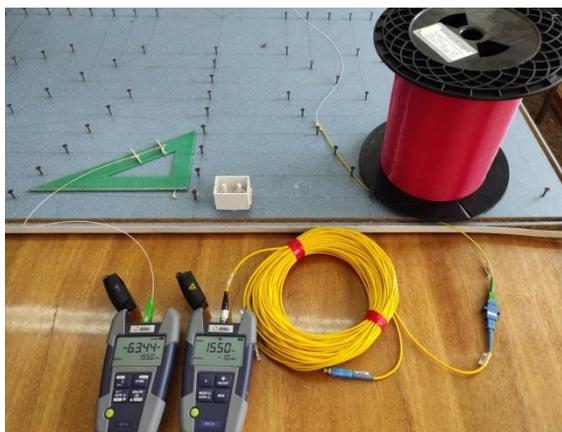
**Ключевые слова:** деформация; смещение; борт; безопасность; мониторинг; потери.

**Keywords:** deformation; displacement; board; safety; monitoring; losses.

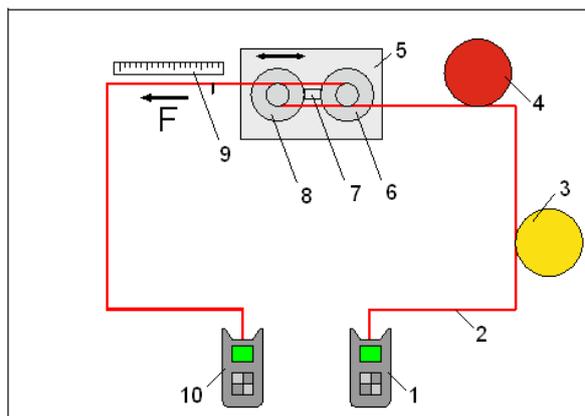
Открытая добыча угля характеризуется увеличением мощности и глубины угольных разрезов, модернизацией технологических процессов, учитывая особенности соответствующих мероприятий, являющихся одним из основных больших вопросов при эксплуатационных работах на карьере. В связи с этим мониторинг и контроль состояния устойчивости прибортового массива на карьере является актуальной проблемой. Анализ в работах [1,2] показывает, что проблема есть и к решению данного вопроса нельзя подходить односторонне, необходимо использование различных методов. Для этого необходима технология, направленная на разработку датчиков с использованием оптического волокна. Работа направлена на разработку датчиков, так как существует проблема с устойчивостью бортов, бермы карьера. В настоящее время используются различные методы, которые в свою очередь тоже эффективны, но возникает вопрос разработки нового способа, основанный на волоконно-оптической технологии, которая обладает преимуществами ранее описанные в

работе [3], где приведены эксперименты по исследованию дополнительных потерь при механическом воздействии на оптическое волокно. В работе [4] описаны исследования разработки физических основ создания датчиков и физико-математическая модель системы управления параметрами оптического сигнала. Выполнен научный анализ аналогичных работ зарубежных авторов, которые работают с оптическим волокном и разрабатывают волоконно-оптические датчики. Ученые в работе [5] изготовили новый датчик давления воды на основе волоконной Брэгговской решетки, где были подтверждены применимость датчика для мониторинга давления воды. В 2011 году учеными в работе [6] проиллюстрировали разработку системы непрерывного контроля кровельного давления и замыкания крепи с прогрессивным продвижением забоя в лавовых выработках. Проиллюстрирован пример работы длинного забоя для оценки эффективности системы мониторинга при оценке эксплуатационных характеристик крепи для обеспечения более безопасной и бесперебойной работы крепей кровли в этих выработках в различных геолого-горных условиях. Работа авторов [7] привлекает внимание в области измерения деформаций в подземной инфраструктуре, включая горнодобывающую промышленность, где измерение деформации на практически неограниченной длине дает возможность зафиксировать поле деформации, вызванное подземными выработками за пределами зоны повреждения выемки. Потенциальная выгода от такого мониторинга поля деформации является деформацией континуума при растяжении, сжатии или сдвиге, или как деформация разрыва из-за локального сдвига или расширения неоднородностей. В 2016 году ученые Китая в своей работе [8] показали разработку и проведенные эксперименты по новой системе мониторинга безопасности на карьере на основе материала волоконной брэгговской решетки. По сравнению с традиционным оборудованием для мониторинга разработанная новая система мониторинга имеет преимущества обеспечения точного, надежного и непрерывного онлайн-мониторинга деятельности карьера. Ученые в своей работе [9] делились с результатами испытаний, где высокопрочное оптическое волокно из нержавеющей стали обладает высокими характеристиками передачи деформации, что позволяет соединять его с бетонным анкером с равномерной деформацией. Это демонстрирует возможность использования волокна для теоретического и экспериментального мониторинга движения пластов. Другие ученые в своей работе [10] занимались вопросом безопасности на работе, проверяя и отслеживая условия устойчивости горного массива, где показаны результаты инновационного метода анализа, основанного на сочетании распределенных оптоволоконных датчиков, цифровой фотограмметрии с помощью беспилотных летательных аппаратов, топографических и геотехнических систем мониторинга. И целью работы является создание датчиков контроля, измерений и мониторинга устойчивости бортов, бермы карьера с помощью волоконно-оптических датчиков.

Для проверки выдвинутой научной гипотезы об использовании оптического волокна для построения системы измерения смещений бортов был разработан лабораторный имитационный стенд, который показан на рисунке, а). Измерения производятся на основе метода определения дополнительных потерь в оптическом волокне при механическом воздействии. В качестве измерительного прибора использован измеритель оптической мощности VIAVI (JDSU) SmartPocket OLP-38. Источником оптического излучения служил SmartPocket OLS-34/35/36. Оптическое волокно подключено через универсальный адаптер (UPP 2.5мм) и коннекторы (типа SC). Измерительным органом является датчик на основе двух роликов, расположенных в корпусе отдаленных друг от друга упругим элементом. В качестве сенсора волоконно-оптического датчика использовано кварцевое одномодовое оптическое волокно (Corning SMF 9/125 мкм стандарт ITU-T G.652.D). Первичное покрытие оптического волокна 245мкм. Катушки оптического волокна длиной 2.00км соединены с помощью патч-кордов длиной 20м., оконтованных с обеих сторон коннекторами. Эксперименты все проводились в лаборатории, где температура воздуха составляет 22-23<sup>0</sup>С при относительной влажности воздуха 60%.



а) Общий вид лабораторного стенда



б) Схема лабораторного стенда

Рисунок – Лабораторный имитационный стенд

С источника когерентного излучения оптического диапазона с длиной волны 1310 или 1550 нм генерируется световая волна. В качестве источника света используется полупроводниковый лазер, который соединяется со стандартным телекоммуникационным патч-кордом и катушкой. Волоконно-оптический датчик имеет корпус, в котором размещены два ролика. Один из роликов неподвижный, а другой ролик подвижный. Между роликами находится упругий элемент. На выходе из корпуса световые волны проходят через измерительную систему, после чего световая волна попадает в оптический ваттметр. Методика измерения, заключается в том, что было натяжение волокна, отсчет произведен по всей длине измерительной системы (линейка). В зависимости от удлинения изменялись потери, т.е. задачей датчика является измерение дополнительных потерь в оптическом волокне при механическом воздействии на него. Источник излучения генерирует световую волну 1310 нм, измеритель оптической мощности фиксирует затухание сигнала дополнительных потерь. По этим значениям произведен пересчет, связанный со смещением. Схема измерений имитационного лабораторного стенда представлена на рисунке, б).

Полученные результаты проведенных экспериментов по определению дополнительных потерь мощности оптического излучения, проходящего по волоконно-оптическому датчику при различном смещении обработаны. Измерение значений перемещений осуществлялось многократно с последующей обработкой данных эксперимента и усреднением полученных значений при помощи линейки. Результаты экспериментов обработаны с учетом наименьшего значения информационного критерия Акаике, выбран лучший вариант аппроксимацией второй степени, при которой коэффициент детерминации  $R^2=0,9683$ . В результате лабораторный образец волоконно-оптического датчика показал довольно высокую линейность, изменение параметров. Кроме того, результаты позволяют утверждать, что определенно может являться датчиком высокой точностью измерений. В последующем возможно на основе лабораторного датчика отработать датчик для контроля смещения бортов карьера. По результатам измерений посчитана абсолютная погрешность 2,486, относительная погрешность 9,702 и коэффициент Стьюдента 2,228, доверительный интервал 0,95.

Результаты экспериментов лабораторных исследований доказали, что оптическое волокно может быть использована в качестве датчика, обладает хорошей линейностью и может быть использована для контроля устойчивости бортов карьера. Лабораторные исследования направлены на разработку датчиков с использованием волоконно-оптических датчиков позволяют в режиме реального времени дистанционно контролировать устойчивость бортов карьеров. Результаты, полученные при проведении лабораторных исследований, позволяют утверждать, что разработанный волоконно-оптический датчик имеет достаточно хорошую линейность характеристик и низкое энергопотребление на расстоянии в 30-50 км по сравнению с электрическими измерительными системами.

### Список литературы

1. Ozhigin S, Ozhigina S, Ozhigin D 2018 Method of Computing Open Pit Slopes Stability of Complicated-Structure Deposits *Journal of the Polish Mineral Engineering Society. Inzynieria Mineralna* 41(1) pp. 203-207 doi: 10.29227/IM-2018-01-32
2. Dorokhov D V, Nizametdinov F K, Ozhigin S G, Ozhigina S B 2018 A Technique for Surveying of Ground Surface Deformations in Mine Field *Journal of Mining Science*, Vol.54(5) pp.874-882 doi: 10.1134/S1062739118055011
3. Мехтиев А Д, Юрченко А В, Нешина Е Г, Алькина А Д, Мади П 2020 Физические основы создания датчиков давления на основе изменения коэффициента преломления света при микроизгибе оптического волокна. *Известия высших учебных заведений: Физика №2* DOI: 10.17223/00213411/63/2/129
4. Madi P Sh, Kalytka V A, Alkina A D and Nurmaganbetova M T 2019 Development of a model fiber-optic sensor of the external action on the basis of diffraction gratings with variable parameters of the system. *V International Conference on Innovations in Non-Destructive Testing SibTest. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1327 012036 doi: 10.1088/1742-6596/1327/1/012036
5. Liu X, Wang C, Liu T, Wei Y, Lv J 2009 Fiber Grating Water pressure sensor and system for mine. *ACTA Photonica Sinica* V.38 pp.112–114
6. Kumar Atul, Kumar Dheeraj, Singh U., Gupta P S., Shankar Gauri 2011 Optimizing fibre optics for coal mine automation *International Journal of Control and Automation* V.3 pp.63–70
7. Naruse H, Uehara H, Deguchi T, Fujihashi K, Onishi M, Espinoza R, Pinto M 2007 Application of a distributed fibre optic strain sensing system to monitoring changes in the state of an underground mine *Measurement Science and Technology* V.18(10) pp. 3202–3210. doi: 10.1088/0957-0233/18/10/S23
8. Yiming Zhao, Nong Zhang and Guangyao Si 2016 A Fiber Bragg Grating-Based Monitoring System for Roof Safety Control in Underground Coal Mining *Journal List Sensors (Basel)* V16(10) 1759 doi: 10.3390/s16101759
9. Tao Hu, Gongyu Hou and Zixiang Li 2020 The Field Monitoring Experiment of the Roof Strata Movement in Coal Mining Based on DFOS Sensors 20(5) 1318 (This article belongs to the Special Issue Optical Fiber Sensors and Photonic Devices) doi: 10.3390/s20051318
10. Chiara Of Lanciano, Riccardo Salvini 2020 Monitoring of deformation and temperature in a career with the help of distributed fiber-optic Brillouin sensors *Earth and physical Sciences and CGT Geotechnology Center, Department of environment, University of Siena, Via Vetri Vecchi 34, 52027 San Giovanni Valdarno (AR), Italy* 20 (7), 1924; doi.org/10.3390/s20071924