

Қазақстан Республикасы Тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары – 17: «Қазіргі аграрлық ғылым: цифрлық трансформация» атты халықаралық ғылыми – тәжірибелік конференцияға материалдар = Материалы международной научно – теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 17: «Современная аграрная наука: цифровая трансформация», посвященной 30 – летию Независимости Республики Казахстан.- 2021.- Т.1, Ч.3 - С. 92 - 95

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ СМЕЩЕНИЯ

*Мади¹ П.Ш., аспирант 3 курса,
Национальный исследовательский Томский политехнический университет¹,
г. Томск*

*Алькина² А.Д., старший преподаватель,
Карагандинский технический университет², г. Караганда*

*Мехтиев^{1,3} А.Д., к.т.н., профессор,
Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина³,
Национальный исследовательский Томский политехнический университет¹,
г. Томск*

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 контроль и мониторинг состояния устойчивости бортов и бермы на карьере является актуальной научной и практической проблемой. Анализ в работах [1-3] 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 работе [4] взят основной принцип постановки экспериментов обработки данных и построение математической модели и аппаратов. А авторы в работе [5] провели ряд экспериментов по моделированию волоконно-оптических сенсоров и использование их для диагностика напряженного деформированного состояния подъемных машин. 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 [6], где приведены эксперименты по исследованию дополнительных потерь при механическом воздействии на оптическое волокно. В работе [7] описаны исследования разработки физических основ создания датчиков и физико-математическая модель

системы управления параметров оптического сигнала. Также авторы [8] представляет собой пробу для изучения всего процесса деформации и смещения горного массива. В конечном итоге результаты исследования помогут при работах на карьере оптимизировать работы на карьере и предотвратить аварии. Чтобы обеспечить безопасность и постоянный мониторинг при работах на карьере используют точеные волоконно-оптические датчики. Волоконно-оптические датчики и контрольные кабели линии связи выполнены на основе одномодовых оптических волокон, что позволяет с высокой точностью измерять деформации и смещения горного массива на расстояниях 30-50 км. Для создания волоконно-оптических датчиков (ВОД) давления используется оптическое волокно стандарта ITU-T G.652.D. Кроме того, выполнен научный анализ аналогичных работ зарубежных авторов, которые работают с оптическим волокном и разрабатывают волоконно-оптические датчики. Ученые Х.-Н. Лю, К.Ван, Т.-Ю. Лю, Ю.В. Вэй изготовили новый датчик давления воды на основе волоконной брэгговской решетки, где были подтверждены применимость датчика для мониторинга давления воды [9]. В 2011 году учеными Atul Kumar, Dheeraj Kumar, U.K. Singh, P.S. Gupta and Gauri Shankar проиллюстрирована разработка 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 [10]. Работа авторов Мадждабади, Б, Долина Б, Дюссо МБ, Kaiser РК привлекает внимание в области измерения деформаций в подземной инфраструктуре, включая горнодобывающую промышленность [11], 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 Имин Чжао, Нонг Чжан и Гуньяо Си в своей работе [12] 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 Тао Ху, Гуньюй Хоу, Цзысян Ли в своей работе 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

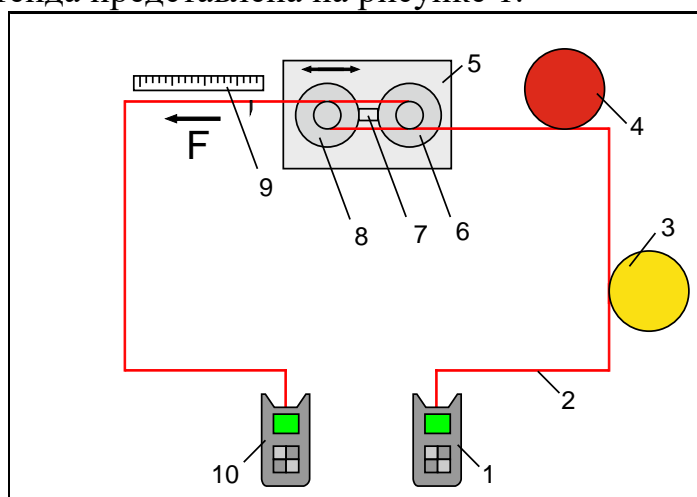
пластов [13]. В последствии, другие ученые Кьяра Ланчано и Риккардо Сальвини в своей работе [14] занимались вопросом безопасности на работе, проверяя и отслеживая условия устойчивости горного массива, где показаны результаты инновационного метода анализа, основанный на сочетании распределенных оптоволоконных 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.

Измерения производятся на основе метода определения дополнительных потерь в оптическом волокне при механическом воздействии. В качестве измерительного прибора используется измеритель оптической мощности VIAVI (JDSU) SmartPocket OLP-38, работающий в динамическом диапазоне от -60 до +26 дБ, с диапазоном длины волны 780-1650 нм. В качестве источника оптического излучения использовался SmartPocket OLS-34/35/36. Подключение к оптическому волокну производилось через универсальный UPP 2.5 мм адаптер и оптические 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). Оптоволокно имеет первичное покрытие 245 мкм. Установлены катушки с ОВ длиной 2,00 км выполнен при помощи стандартного патч-корда длиной 20 метров, окантованного с обеих сторон коннекторами SC. Все эксперименты проводились в лабораторных условиях при температуре воздуха от 22 до 23 °С при относительной влажности в пределах 60% [].

Основой метода измерений является оценка возникающих дополнительных потерь в оптическом волокне при его изгибе. 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.

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 1.



- 1 – источник света, 2 – оптическое волокно, 3 – патч-корд, 4 – катушка, 5 – корпус датчика, 6 – неподвижный ролик, 7 – упругий элемент, 8 – подвижный ролик, 9 – измерительная система, 10 – оптический ваттметр.

Рисунок 1. Схема имитационного лабораторного стенда.

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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.1134/S1062739118055011)
3. Sannikova A.P, Bazykina L.R, Ozhigin D.S 2017 Methodology for effective determination of rock jointing in calculation of open pit edges *Journal of Industrial Pollution Control* 33(1) pp.852- 855
4. V.A. Kalytka, M.V. Korovkin, A.D. Mekhtiyev, A.V. Yurchenko. Nonlinear polarization effects in dielectrics with Hydrogen bonds. *Russian Physics Journal*, 61(2018) №4, 757-769. DOI [10.1007/s11182-018-1457-8](https://doi.org/10.1007/s11182-018-1457-8)
5. A.V. Yurchenko, A.D. Mekhtiyev, F.N. Bulatbaev, E.G. Neshina, A.D. Al'kina. The Model of a Fiber-Optic Sensor for Monitoring Mechanical Stresses in Mine Workings. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 54 (2018) №7, 528–533. DOI: [10.1134/S1061830918070094](https://doi.org/10.1134/S1061830918070094)
6. Мехтиев А.Д, Юрченко А.В, Нешина Е.Г, Алькина А.Д, Мадии 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](https://doi.org/10.17223/00213411/63/2/129)
7. 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](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1327/1/012036)
8. Madi P.Sh, Gorokhov D.A, Mekhtiev R.A and Nurmaganbetova M.T. Research of fiber-optic displacement sensors – 2021, X International Scientific and Practical Conference Information and Measuring Equipment and Technologies (IMET) , Tomsk, *IOP Conf. Series: J. Phys.: Conf. Ser.* 1843 (2021) 012016doi:[10.1088/1742-6596/1843/1/012016](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1843/1/012016)
9. 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
10. 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

11. 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
12. 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
13. 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
14. 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