

НИКОЛАЕВСКИЙ ЛАЗЕРНЫЙ ДЕФОРМОМЕТР

**Цой Д.И.², Луговой В.А.², Рассказов И.Ю.¹, Терешкин А.А.²,
Рассказов М.И.²**

*¹ Хабаровский Федеральный Исследовательский центр Дальневосточного
отделения РАН, г. Хабаровск*

*² Институт горного дела – обособленное подразделение Хабаровского
Исследовательского Федерального центра Дальневосточного отделения РАН,
г. Хабаровск*

АО «Горно-металлургический комплекс Дальполиметалл» (АО «ГМК «Дальполиметалл») отрабатывает подземным способом ряд месторождений, характеризующихся сложными геомеханическими и удароопасными условиями. К настоящему времени на рудниках предприятия (преимущественно на месторождении «Николаевское») зарегистрирован весь спектр динамических проявлений горного давления, вплоть до сильных и разрушительных горных ударов, и с понижением горных работ, прогнозируется рост количества и интенсивности этих опасных явлений.

В таких условиях необходимы углубленные геомеханические исследования, в том числе с применением различных методов (сейсмического, деформационного, геоакустического, геодезического, тектонофизического и других) и измерительных комплексов с интеграцией данных в единую наблюдательную сеть [1–3]. Организация комплексных наблюдений позволит выделять региональные и локальные предвестники динамических явлений разного энергетического уровня в горных массивах и обосновать комплекс эффективных мер по снижению геодинамического риска и обеспечению допустимого уровня безопасности при ведении горных работ на участках, опасных по горным ударам [4–6].

Разработка и внедрение деформационной системы «Prognoz-D» (далее – система или Лазерный деформометр) с большой базой измерения позволит создать условия для более надежной оценки геомеханических и геодинамических процессов в зоне влияния горных работ [7–9].

В III квартале 2022 г. были проведены работы по вводу в эксплуатацию лазерного деформометра в районе действующего Николаевского рудника АО «ГМК «Дальполиметалл».

При обосновании места размещения павильона и организации режимных наблюдений принимался во внимание комплекс горнотехнических и технологических факторов. В результате изыскательских работ по выбору оптимального места для размещения павильона установки «Ла-

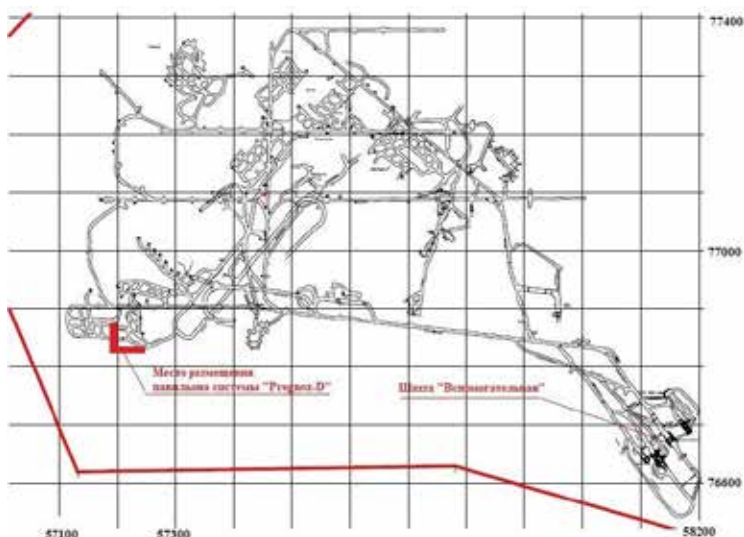


Рис. 1. Ситуационный план размещения системы «Prognoz-D»

зерный деформометр» было проработано несколько вариантов и принято решение, разместить его на горизонте -320 м Николаевского рудника в районе рудной залежи «Жерловая» по горной выработке штрек Разведочный 3 на отметке -323 м (рис. 1).

Выработка пройдена в прочных вмещающих породах, пересечена малоощной дайкой диоритов и находится вне зоны непосредственного влияния горных работ.

Важным является то, что, используя для установки системы штрек Разведочный 3 и примыкающую к нему перпендикулярную выработку, ориентированную под прямым углом к основным геодинамически активным разломам Николаевского месторождения (ближайшему ТН1, а также к ТН2 и ТН3).

Оптические элементы лазерного деформометра смонтированы на отдельных бетонных блоках. На рисунке 2 представлена основная оптическая часть интерферометра Майкельсона: частотно-стабилизированный лазер, система экстремального регулирования и вспомогательная аппаратура. Для устранения влияния вариаций показателя преломления в световоде из-за перепадов атмосферного давления на результаты измерений и обеспечения устойчивой интерференционной картины, в световоде обеспечен вакуум на уровне 90 кПа.

После установки лазерного деформометра на геодинамическом полигоне на участке рудничного поля Николаевского рудника, начиная с

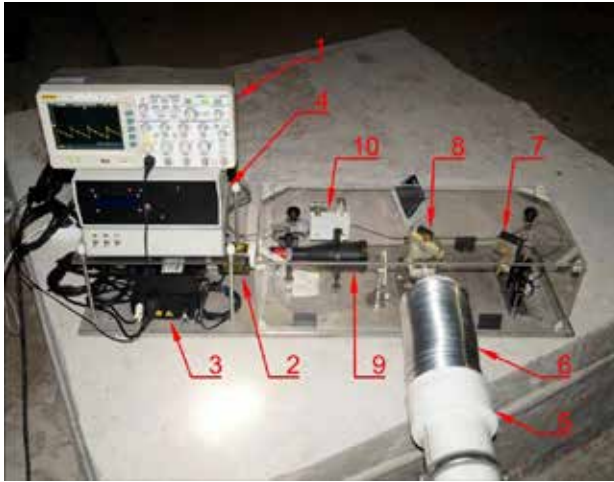


Рис. 2. Оптико-электронная часть деформометра

Интерференционный узел: 1 – осциллограф; 2 – лазер; 3 – блок питания лазера; 4 – система регистрации; 5 – лучевод; 6 – переходная гофра; 7 – пьезокерамические узлы; 8 – светоделительный кубик; 9 – коллиматор; 10 – резонансный усилитель.

сентября 2022 года, выполнялись опытно-промышленные испытания и тестовые измерения вариаций уровня микродеформаций земной коры в зоне расположения деформометра. При проведении измерений все данные записывались в виде часовых файлов с частотой 500 Гц, что позволило исследовать сигналы с частотой до 250 Гц. В дальнейшем проводилась их обработка на основе современных методов спектрального и статистического оценивания. Выполненная обработка позволила выявить некоторые особенности деформаций земной коры в зоне расположения лазерного деформометра.

Важной особенностью обладает спектр лазерного деформометра в высокочастотном диапазоне, в котором выделяется несколько постоянных источников с различной частотой. На рис. 3 показана динамическая спектрограмма, зарегистрированная за несколько суток, анализ которой свидетельствует о наличии источников с частотами 49, 98 и 132 Гц. Дан-

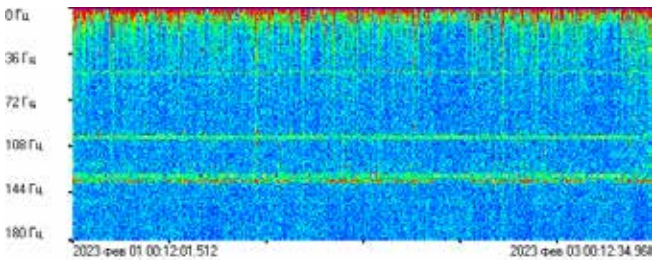


Рис. 3. Динамическая спектрограмма записи лазерного деформометра

ные колебания имеют, скорее всего, искусственное (техногенное) происхождение и связаны с работой горного оборудования в руднике, вентилированием горных выработок и т.д.

Кроме рассмотренных выше искусственных колебаний (техногенного шума) в высокочастотной области спектра выделены «резонансы» на частотах около 150 и 199 Гц, которые, вероятно, связаны с собственными частотами рудничного поля или минигеоблоков горных пород. Для более детального изучения источников техногенного шума собственных частот отдельных участков рудничного поля, а также собственных частот геоблоков необходимо выполнение дополнительных работ, связанных с искусственным возбуждением массива. Кроме того, необходимо выполнение модельных работ по точной идентификации выделенных колебаний и их связи с конкретными геоблоками на основе проведённых экспериментальных работ на лазерном деформометре и выполненных ранее геологических изысканиях.

Также на записях наблюдается уверенная регистрация суточных и полусуточных колебаний. Это говорит о том, что устои, на которых установлена оптическая скамья и уголковый отражатель стабилизировались, что позволяет регистрировать длиннопериодные колебания.

На рисунке 4 приведён спектр записи лазерного деформометра. Как видно из спектра, уровень шума находится на уровне около 31 пм, а деформация на базе прибора равна $0,69 \times 10^{-12}$, что является существенно лучше заявленной чувствительности деформометра.

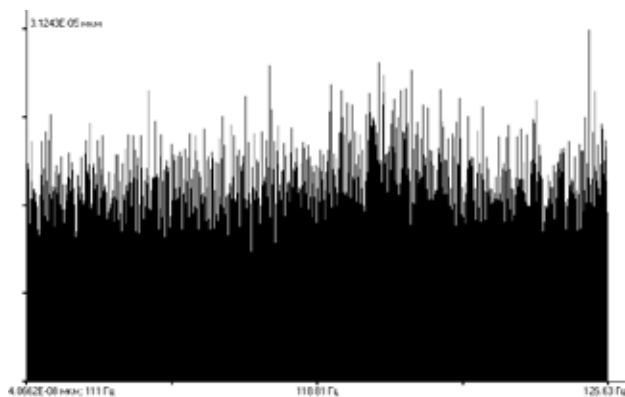


Рис. 4. Спектр записи лазерного деформометра

Дальнейшие работы по интерпретации результатов измерений планируется провести с целью:

- выявления блочного строения зоны контроля;

- определения резонансных характеристик блоков и регистрации изменений этих характеристик;
- определения первоисточников колебаний с разделением их на местные и удаленные - с дальнейшим отслеживанием изменений их параметров;
- выделения планетарных процессов, которые на резонансной основе могут действовать на выделенные блоки;
- определения степени влияния планетарных колебаний на региональные колебательные процессы.

Литература

1. Кочарян Г.Г., Костюченко В.Н., Павлов Д.В. Иницирование деформационных процессов в земной коре слабыми возмущениями // Физическая мезомеханика. 2004. Т. 7. № 1. С. 5–22.
2. Опарин В.Н. и др. Методы и системы сейсмодеформационного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов. Т.1,2. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2009.
3. Орлов В.А., Панов С.В., Парушкин М.Д., Фомин Ю.Н. Особенности деформаций земной коры накануне близкого сильного землетрясения по данным высокочувствительных лазерных измерений // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: сборник трудов Всероссийской конференции с участием иностранных ученых (Новосибирск, 6-10 июля 2009 г.). Новосибирск. 2010. С. 30–37.
4. Луговой В.А., Рассказов И.Ю., Цой Д.И., Рассказов М.И., Сидляр А. В. / Исследование влияния удаленных землетрясений на интенсивность геомеханических процессов в удароопасном массиве горных пород // VII Международная научная конференция «Проблемы комплексного освоения георесурсов» (ПКОГ, 2018), 25–27 сентября, Хабаровск.
5. Vladimir Lugovoy, Grigoriy Dolgikh, Denis Tsoy, Andrey Gladyr and Maksim Rasskazov. A study of the trigger effect in a rock burst-hazard rock massif by laser interferometry // The 5th International Conference, Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences, Moscow. 2019. P. 357–366.
6. Paige E. Snelling, Laurent Godin, Stephen D. McKinnon. The role of geologic structure and stress in triggering remote seismicity in Creighton Mine, Sudbury, Canada // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Vol. 58. February 2013. P. 166–179.
7. Цой Д.И., Рассказов М.И., Терешкин А.А. / Технические возможности лазерного деформографа при размещении в подземной горной выработке // Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. 2018. С. 136–139.
8. Takemoto Shuzo, Momose Hideo, Araya Akito, etc. A 100 m laser strainmeter system in the Kamioka Mine, Japan, for precise observations of tidal strains, Journal of Geodynamics. 2006. Vol. 41. P. 23–29.
9. Долгих Г.И., Привалов В.Е. Лазеры. Лазерные системы. Владивосток: Дальнаука. 2009. 202 с.