

УДК 622.822

Портола В.А., д.т.н., профессор

Руднева А.А., аспирант

Серегин Е.А., аспирант

Шваков И.А., аспирант

Киренберг Е.А., студент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Portola V.A., Doctor of Technical Sciences, Professor

Rudneva A.A., graduate student

Seregin E.A., graduate student

Shvakov I.A., graduate student

Kirenberg E.A., student T.F.

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

**ОБНАРУЖЕНИЕ ОПАСНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ
АНОМАЛИЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗОРОВ ПРИ ДОБЫЧЕ
УГЛЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ****DETECTION OF DANGEROUS TEMPERATURE ANOMALIES
USING THERMAL IMAGERS IN OPEN-PIT COAL MINING**

Добыча угля открытым способом сопровождается возникновением ряда процессов, негативно сказывающихся на безопасности труда рабочих угледобывающих предприятий и окружающей природной среде. Так, из разрушаемого угля и вмещающих пород выделяется метан [1, 2], способный гореть и взрываться в смеси с воздухом, а также способствующий разрушению озонового слоя. Образующаяся при разрушении пластов угольная пыль также способна взрываться [3, 4], самовозгораться [5, 6] и приводит к развитию профессиональных заболеваний у горнорабочих. Добываемый уголь при контакте с атмосферным воздухом начинает сорбировать кислород и при длительном хранении начинает самовозгораться [7, 8], что приводит к возникновению эндогенных пожаров [9].

Перечисленные виды аварий на горнодобывающих предприятиях сопровождаются нагревом скоплений угля, угольной пыли и воспламенением взрывоопасных смесей метана и угольной пыли с воздухом. Работа оборудования, предназначенного для добычи и транспортирования угля, также может происходить с выделением тепла, что может сопровождаться повышением температуры до опасных значений. Нагретое оборудование способно спровоцировать развитие аварийных ситуаций (взрыв, пожар, разрушение), а также вызывать ожоги у сотрудников предприятий.

Для снижения уровня аварийности и травматизма на горнодобывающих предприятиях необходимо проводить контроль за температурой поверхности горючих и взрывоопасных материалов. При ведении горных работ открытым способом, прежде всего, необходимо наблюдение за скоплениями добываемого полезного ископаемого, склонного к самовозгоранию. Кроме угля, самовозгораются и сульфидные руды, и горные породы, содержащие серу [10]. Требуется контроль за машинами, агрегатами, выделяющими тепло в процессе эксплуатации или нагревающимися при нарушении нормального режима работы. Так, шины карьерных самосвалов способны нагреваться в процессе эксплуатации за счет трения и деформации [11]. Перегрев шин может закончиться их разрушением с образованием ударной волны, опасной для жизни и здоровья сотрудников предприятий. Открытые горные работы наносят ущерб и окружающей природной среде [12, 13].

Контроль температуры горных пород разрезов для обнаружения очагов самовозгорания осуществляют, например, георадиолокационным методом [14], замером температуры [15], электроразведкой [16]. Наиболее эффективным в настоящее время является применение тепловизоров, позволяющих получить изображение снимаемой поверхности в инфракрасном диапазоне. Тепловизоры можно использовать для бесконтактного поиска температурных аномалий на расстоянии нескольких метров. Так, на рис. 1 показаны снимки поверхности откоса породного отвала с расстояния около 1 м, сделанные тепловизором.

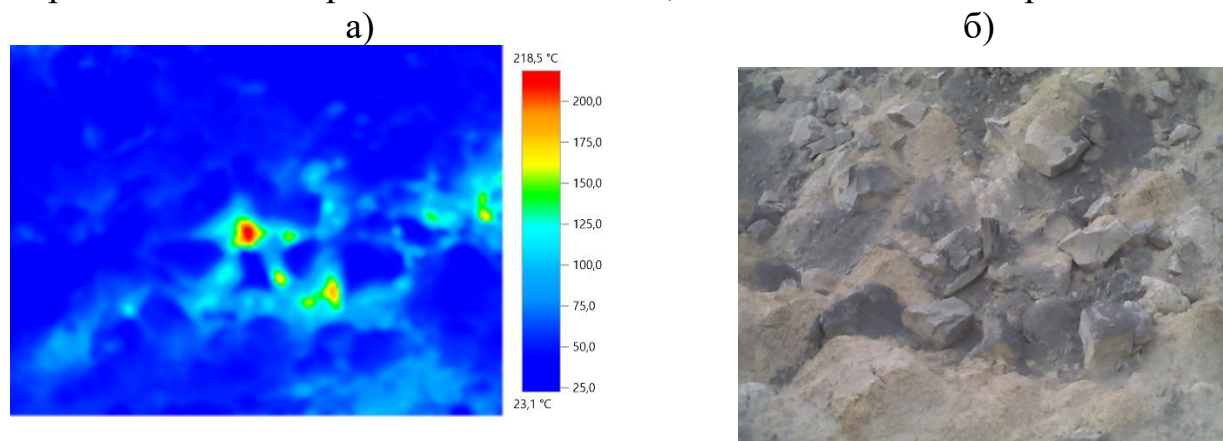


Рис. 1. Поверхность откоса отвала в инфракрасном (а) и видимом (б) диапазонах

Приведенные снимки показывают, что визуально на поверхности не видно признаков нагрева породы, а инфракрасный снимок свидетельствует, что температура отдельных точек достигает 218°C.

Тепловизор позволяет определить температуру только верхнего слоя пород, прогрев нижележащих слоев можно оценить только в трещинах и

углублениях на поверхности. Например, на рис 2. Представлена съемка трещины, образовавшейся по поверхности породного отвала.

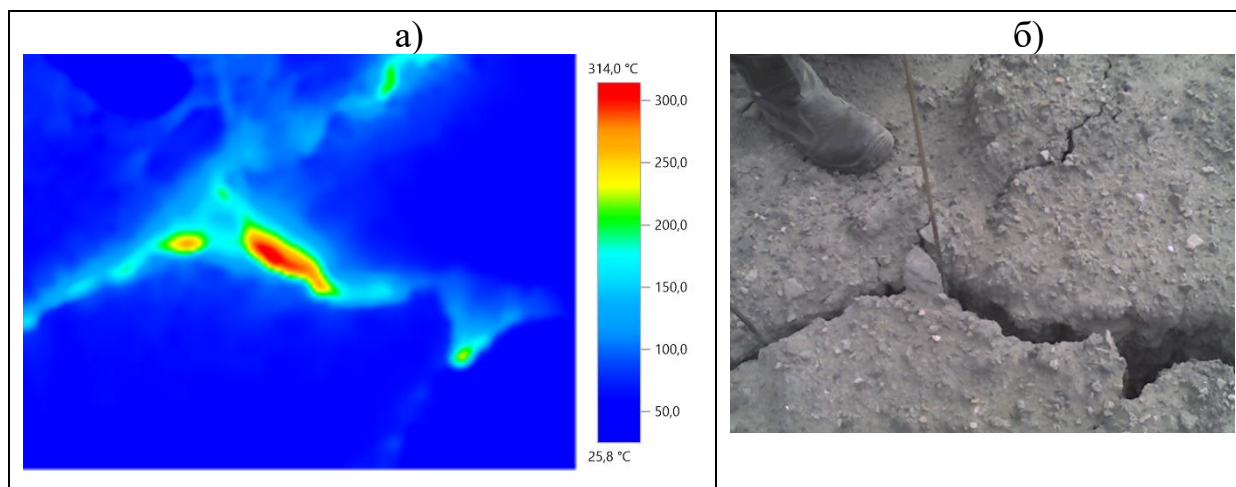


Рис. 2. Снимки трещины на поверхности отвала в инфракрасном (а) и видимом (б) диапазонах

На представленных снимках видно, что под действием процесса самовозгорания углесодержащих пород поверхность отвала прогрета до 50-100°C, а в трещине температура пород составляет 314°C.

Одним из объектов применения тепловизоров также является техника, отдельные части которой могут нагреваться при эксплуатации. На рис. 3 показан снимок в инфракрасном диапазоне шин карьерного самосвала во время работы.



Рис. 3. Съёмка тепловизором шины самосвала во время эксплуатации

Из приведенных на рис. 3 данных видно, что шины прогреваются неравномерно. Как правило – внутренние шины в спарках наиболее термонагружены и требуют повышенного внимания, поскольку избыточное теплообразование ослабляет и разрушает связи между элементами конструкции шины, а также вызывает реструктуризацию резины. Максимальная температура поверхности шины достигает $72,7^{\circ}\text{C}$, что приводит к увеличению давления воздуха внутри шины и опасности разрушения шин.

Однако площадь разрезов и формируемых породных отвалов может достигать больших значений. В этом случае обнаруживать прогретые зоны на поверхности лучше тепловизором, установленном на беспилотном летательном аппарате (БПЛА). Для поиска очагов самовозгорания на разрезе использовалась платформа DJI Matrice 200, на которой установлен тепловизор Zenmuse XT2 (ZXT2A13SR). Применение такого устройства (тепловизор + БПЛА), объединенного в единый комплекс и имеющего единую систему управления, позволяет выполнять тепловизионную съемку больших по площади, в том числе труднодоступных участков поверхности отвала. На рис. 4 показан снятый с БПЛА снимок поверхности разреза в видимом диапазоне.



Рис. 4. Фотография участка борта разреза в видимом диапазоне

Полученный снимок не позволяет выявить очаги самовозгорания. На рис. 5 показан этот же участок, снятый в инфракрасном диапазоне.

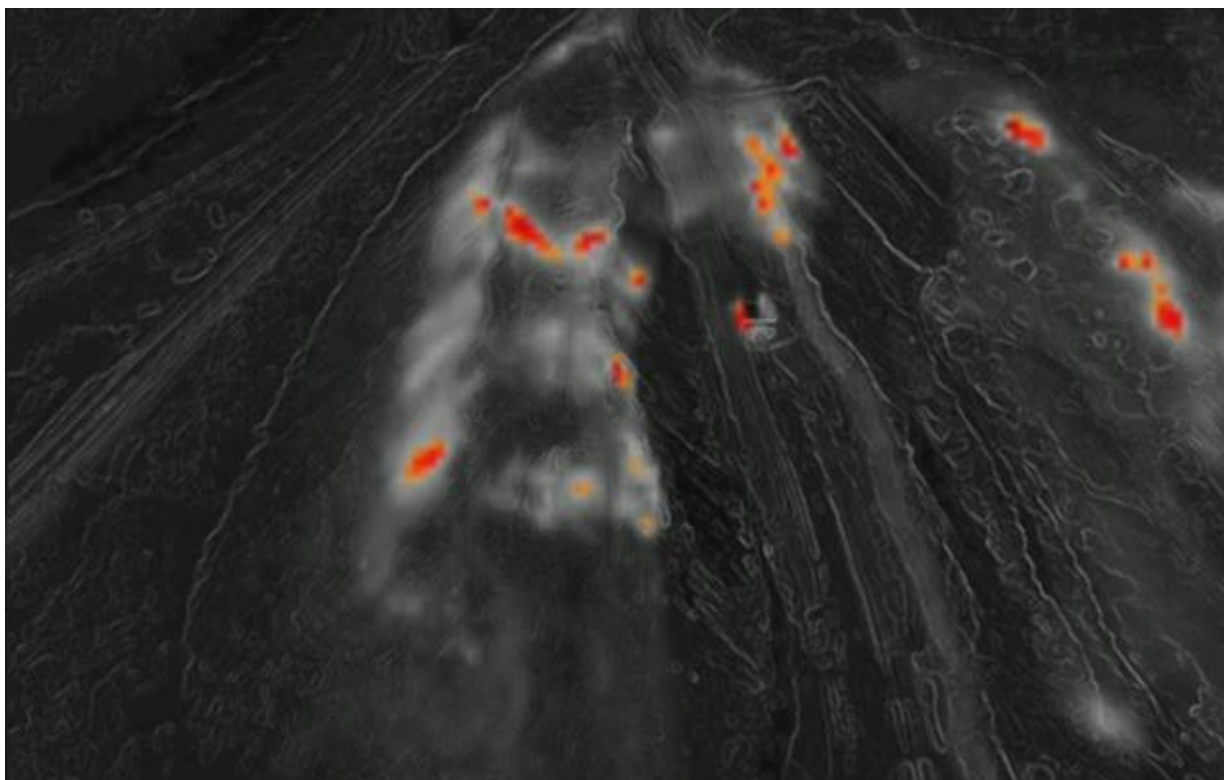


Рис. 5. Фотография участка разреза в инфракрасном диапазоне

Приведенные снимки показывают, что на поверхности разреза могут быть множественные очаги самовозгорания скоплений угля и углесодержащих пород. Причем зоны нагрева распространяются и на технологическую дорогу, по которой транспортируют уголь и породу. На снимке также видно, что кузов самосвала прогреет выхлопными газами, что может привести к нагреву углесодержащих пород и стимулировать развитие новых очагов эндогенных пожаров.

Благодарности

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кемеровской области-Кузбасса № 22-27-20004, <https://rscf.ru/project/22-27-20004/>

Список литературы:

- 1 Induced structuring of rock mass under coal mining / Polevshchikov, G.Ya., Kozyreva, E.N., Shinkevich, M.V., Leontyeva, E.V. // Gornyi Zhurnal. Issue 4, 2017, Pages 19 –23.
- 2 Козырева, Е.Н. Влияние температуры на сорбционную метаноемкость коксующихся углей Кузбасса / Е.Н. Козырева, Е.С. Непейна, М.В. Шинкевич // Кокс и химия. 2018, № 3. С. 38-42.

3. Зависимость температуры воспламенения угольной пыли от выхода летучих веществ. Калякин С.А., Головченко Е.А., Белокобыльский М.А. Научный вестник НИИГД Респиратор. 2023. № 1 (60). С. 35-42.
4. Портола В.А. Оценка концентрационных пределов взрывчатости угольной пыли. Вестник КузГТУ. 2016. № 5. С. 16–21.
5. Родионов В.А., Турсенев С.А., Скрипник И.Л., Ксенофонтов Ю.Г. Результаты исследования кинетических параметров самовозгорания каменноугольной пыли. Записки Горного института. 2020. т. 246. С. 617-622.
6. Портола В.А. Опасность самовозгорания угольной пыли. Безопасность труда в промышленности. 2015. № 6. С. 36–39.
7. Динамика адсорбции кислорода углем в зонах геологических нарушений и температура его самонагрева. Греков С.П., Головченко Е.А. Научный вестник НИИГД Респиратор. 2023. № 2 (60). С. 33-40.
8. Определение температуры самовозгорания угольных скоплений в шахтах. Агеев В.Г., Греков С.П., Головченко Е.А. Научный вестник НИИГД Респиратор. 2023. № 2 (60). С. 50-57.
9. Скочинский А.А., Огиевский В.М. Рудничные пожары.- М.: Углетехиздат, 1954.- 387 с.
10. Портола В.А., Бобровникова А.А., Палеев Д.Ю., Еременко А.А., Шапошник Ю.Н. Исследование скорости сорбции кислорода самовозгорающимися сульфидными рудами. Безопасность труда в промышленности. 2020. № 1. С. 57–62.
11. Руднева А.А., Портола В.А. О проблеме безопасной эксплуатации крупногабаритных шин. Безопасность труда в промышленности. 2023. № 9. С. 39–44.
12. Левкин, Н.Д., Мухина Н.Е. Влияние породных отвалов угольных шахт на состояние окружающей среды. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2011, № 5. С. 277-279.
13. Шестакова, И.И. Оценка экологической опасности самовозгорающихся бурых углей. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012, № 4 (63). С. 77-80.
14. Мониторинг зоны самовозгорания породугольного массива георадиолокационным методом. Калайгорода В.В., Никулин Н.Ю., Простов С.М., Шабанов Е.А., Крупина Н.В. Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2022. № 3. С. 95-103.
15. Инструментальный мониторинг при локации очагов эндогенных пожаров в борту угольного разреза Калайгорода В.В., Простов С.М., Шабанов Е.А. Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023. № 2. С. 124-135.
16. Ли Хи Ун, Черданцев С. В., Попов В. Б., Шлапаков П. А., Ерастов А. Ю. Опыт применения шахтной электроразведки для обнаружения очага

самонагрева угля на шахте «Ольжерасская-Новая» // ФТПРПИ. 2017. № 1. С. 182-188.

References

1 Induced structuring of rock mass under coal mining / Polevshchikov, G.Ya., Kozyreva, E.N., Shinkevich, M.V., Leontyeva, E.V. // Gornyi Zhurnal. Issue 4, 2017, Pages 19 –23.

2 Kozyreva, E.N. The influence of temperature on the sorption methane capacity of Kuzbass coking coals / E.N. Kozyreva, E.S. Nepeina, M.V. Shinkevich // Coke and chemistry. 2018, no. 3. pp. 38-42.

3. Dependence of the ignition temperature of coal dust on the release of volatile substances. Kalyakin S.A., Golovchenko E.A., Belokobylsky M.A. Scientific bulletin of NIIGD Respirator. 2023. No. 1 (60). pp. 35-42.

4. Portola V.A. Estimation of concentration limits of coal dust explosiveness. Bulletin of KuzGTU. 2016. No. 5. pp. 16–21.

5. Rodionov V.A., Tursenev S.A., Skripnik I.L., Ksenofontov Yu.G. Results of a study of the kinetic parameters of spontaneous combustion of coal dust. Notes of the Mining Institute. 2020. v. 246. pp. 617-622.

6. Portola V.A. Danger of spontaneous combustion of coal dust. Occupational safety in industry. 2015. No. 6. pp. 36–39.

7. Dynamics of oxygen adsorption by coal in zones of geological disturbances and its self-heating temperature. Grekov S.P., Golovchenko E.A. Scientific bulletin of NIIGD Respirator. 2023. No. 2 (60). pp. 33-40.

8. Determination of the temperature of spontaneous combustion of coal accumulations in mines. Ageev V.G., Grekov S.P., Golovchenko E.A. Scientific bulletin of NIIGD Respirator. 2023. No. 2 (60). pp. 50-57.

9. Skochinsky A.A., Ogievsky V.M. Mine fires. - M.: Ugletekhizdat, 1954. - 387 p.

10. Portola V.A., Bobrovnikova A.A., Paleev D.Yu., Eremenko A.A., Shaposhnik Yu.N. Study of the rate of oxygen sorption by spontaneously igniting sulfide ores. Occupational safety in industry. 2020. No. 1. P. 57–62.

11. Rudneva A.A., Portola V.A. On the problem of safe operation of large tires. Occupational safety in industry. 2023. No. 9. pp. 39–44.

12. Levkin, N.D., Mukhina N.E. The influence of coal mine waste dumps on the environment. Current problems in the humanities and natural sciences. 2011, no. 5. pp. 277-279.

13. Shestakova, I.I. Assessment of the environmental hazard of spontaneously combusting brown coals. Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2012, No. 4 (63). pp. 77-80.

14. Monitoring the spontaneous combustion zone of a rock-coal massif using the georadar method. Kalaigorod V.V., Nikulin N.Yu., Prostov S.M.,

Shabanov E.A., Krupina N.V. News of higher educational institutions. Mining magazine. 2022. No. 3. P. 95-103.

15. Instrumental monitoring for locating endogenous fires on the side of the Kalaigorod coal mine V.V., Prostov S.M., Shabanov E.A. News of higher educational institutions. Mining magazine. 2023. No. 2. P. 124-135.

16. Lee Hee Un, Cherdantsev S.V., Popov V.B., Shlapakov P.A., Erastov A.Yu. Experience in using mine electrical prospecting to detect a source of self-heating of coal at the Olzherasskaya-Novaya mine // FTPRPI. 2017. No. 1. P. 182-188.