

**УДК 622.822**

Серегин Е.А., аспирант  
Протасов С.И., профессор  
Портола В.А., д.т.н., профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Skudarnov DE, Candidate  
Protasov S.I., Prof.  
Portola VA, Dr. Sci. (Eng.), Prof.  
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВИЗОРОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОЧАГОВ САМОВОЗГОРАНИЯ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ**

### **APPLICATION OF THERMAL IMAGING CAMERAS FOR DE- TECTION OF SPONTANEOUS COMBUSTION OF WASTE ROCK DUMPS**

Добыча угля открытым способом сопровождается потерей угля, размещаемого в породных отвалах. Окисление теряемого угля кислородом воздуха приводит к развитию процессов самовозгорания [1-4]. Способствовать развитию очагов самовозгорания на отвалах могут и различные технологические процессы [5,6]. Неравномерность распределения угля в породных отвалах приводит к развитию многоочаговых пожаров [7]. Возникающие на отвалах эндогенные пожары наносят большой ущерб окружающей среде из-за выделения токсичных продуктов в воду, почву и атмосферный воздух [8-10].

Проведенные исследования показали, температура очагов самовозгорания может превышать 700 °C, а глубина прогретой зоны зачастую превышает 3 м [11]. Для ликвидации существующих и развивающихся очагов самовозгорания необходимо применять способы обнаружения разогретых зон породных отвалов.

Применяемый на предприятиях способ предполагает бурение скважин с периодическим замером температуры. Порядок работ регламентирован «Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 ноября 2020 г. № Пр-469). Точки замера температуры должны располагаться на всей поверхности отвала через каждые 20 м. Предусматривается определять температуру горных пород на глубине 0,5, 1,5 и 2,5 м от поверхности отвала.

В соответствии с "Инструкцией..." такие температурные съемки проводятся:

- на действующих не горящих отвалах 3 раза в год (май, июль и сентябрь);

- на действующих горящих отвалах 2 раза в год (май и сентябрь);

- на недействующих горящих отвалах – 1 раз в год (сентябрь).

Недостатком метода является существенная трудоемкость и высокая стоимость работ [11].

Существующий метод обнаружения подземных пожаров по выделению радона [12] также занимает много времени и требует специального оборудования. Метод электрического зондирования [13] пока находится на стадии исследования и широко не применяется. Известно также использование георадиолокации для обнаружения очагов самовозгорания на породных отвалах [14]. Однако способ не вышел из стадии исследования.

Известны случаи применения для обнаружения и локации очагов самовозгорания, возникших в угольных шахтах, тепловизоров [15]. Преимуществом способа является существенное сокращение времени поиска очагов и трудоемкости проводимых работ.

Для поиска очагов использовалась платформа DJI Matrice 200, на которой установлен тепловизор Zenmuse XT2 (ZXT2A13SR) (рис. 1). Оба прибора объединены в единый комплекс и имеют единую систему управления. Применение такого комплекса (тепловизор + БПЛА) позволяет выполнять тепловизионную съемку больших по площади, труднодоступных участков поверхности отвала, и в результате чего получить трехмерную модель объекта, в каждой точке которой содержится информация о температуре поверхности.



**Рис. 1. Платформа DJI Matrice 200 с тепловизором Zenmuse XT2  
 (ZXT2A13SR)**

Технические характеристики тепловизора представлены в табл. 1.

**Таблица 1**  
**Технические характеристики тепловизора Zenmuse XT2**

Характеристика	Значение
Размер оборудования	118,02 x 111,6 x 125,5 мм
<b>Подвес</b>	
Рабочий диапазон углов вращения	Наклон: +45° до -130°; Поворот: ±330°
Совместимость	Matrice 200, 210, 210 RTK, 600 PRO
Крепление	Съемное
<b>Камера</b>	
Число эффективных пикселей	12 Мп
Датчик	1/1,7" CMOS
Объектив	С фиксированным фокусным расстоянием
Режимы видеосъемки	4K Ultra HD: 3840×2160 при 29.97 к/с FHD: 1920×1080 при 29.97 к/с
Режимы фотосъемки	Одиночный кадр, серийная съемка (3/5 кадров),
Поддерживаемые форматы файлов	JPEG, MOV, MP4, FAT 32 ( $\leq$ 32GB), exFAT ( $>$ 32GB)
Поддержка карт памяти	MicroSD Максимальный объем: 128 ГБ, UHS-3
<b>Тепловизор</b>	
Тепловизор	Неохлаждаемый VOx микроболометр
Разрешение	640×512
Цифровое увеличение	1x, 2x, 4x, 8x
Шаг пикселя	17 мкм
Спектральная полоса	7,5 ÷ 13,5 мкм
Частота кадров	9 Гц
Экспортируемая частота кадров	<9 Гц
Чувствительность (NEdT)	<50 mk при f/1.0
Диапазон температур	-25°...+135°C
Диапазон сцен	-40°...+550°C
Файловое хранилище	Карта MicroSD
Формат фото	JPEG, TIFF, R-JPEG

В качестве примера на рис. 2 показана тепловая аномалия, образованная на хвостохранилище в результате процесса самовозгорания углесодержащих пород. Снимки сделаны с высоты 100 м.

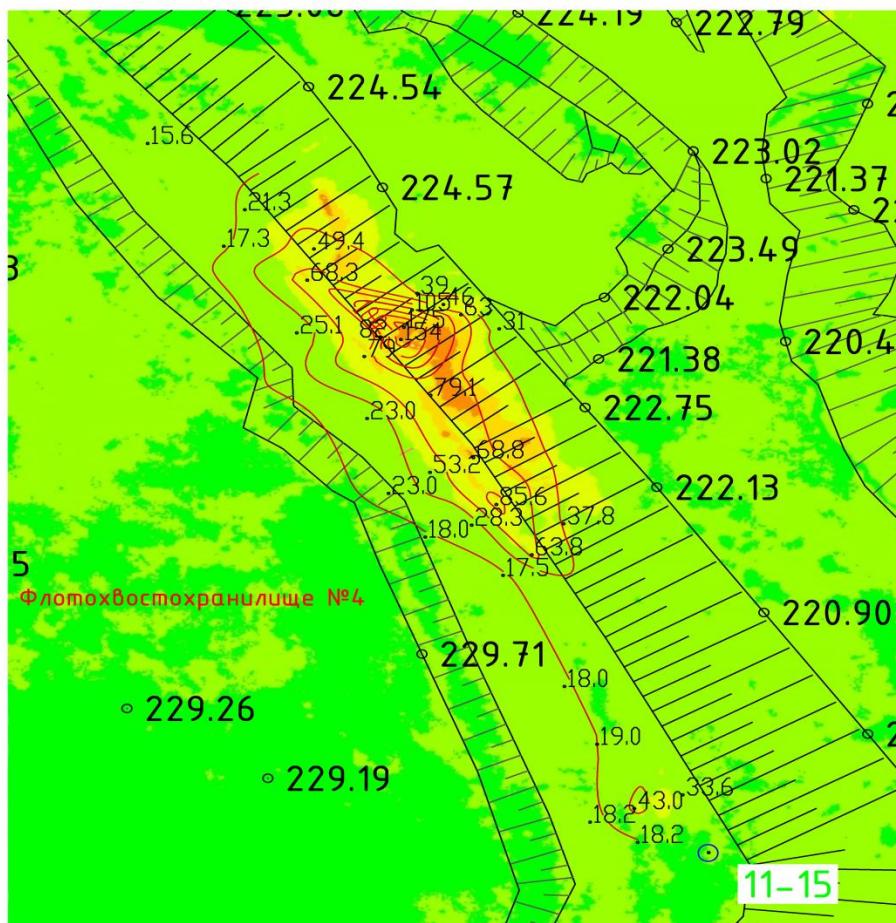


Рис. 2. Очаг самовозгорания на хвостохранилище обогатительной фабрики

Из полученных результатов видно, что за время существования очаг распространился по поверхности хвостохранилища. Протяженность температурной аномалии около 50 м. Можно отметить неравномерность прогрева пород. Максимальная температура пород, замеренная контактным термометром на глубине 0,5 м, достигала 150 °С. Контактные замеры температуры поверхности подтвердила результаты съемки тепловизором.

#### Список литературы:

1. Скочинский А.А., Огиевский В.М. Рудничные пожары.- М.: Углехимиздат, 1954.- 387 с.

2. Физические основы самовозгорания угля и руд / В.С.Веселовский, Л.Н.Виноградова, Г.Н.Орлеанская и др. – М.: Наука, 1972. – 148 с.
3. Глузберг Е.И. Теоретические основы прогноза и профилактики шахтных эндогенных пожаров. – М.: Недра, 1986. – 161 с.
4. Игишев В.Г. Борьба с самовозгоранием угля в шахтах. – М.: Недра, 1987. – 176 с.
5. Проблемы и пути снижения пожароопасности при добыче угля открытым способом / В.А. Портола, С.И. Протасов, С.Н. Подображин //Безопасность труда в промышленности. – 2004, № 11. – С.41-43.
6. Портола В.А., Скударнов Д.Е., Протасов С.И., Подображин С.Н. Оценка параметров очагов самовозгорания породных отвалов угольных карьеров и способов их тушения. Безопасность труда в промышленности. – 2017. – № 11. – С. 42–47.
7. Портола В.А., Бобровникова А.А., Протасов С.И., Серегин Е.А., Еременко А.А. Оценка склонности к самовозгоранию и газовыделения углесодержащих пород отвалов и шламов угольных предприятий. Безопасность труда в промышленности. – 2021. – № 3. – С. 74–80.
8. Левкин, Н.Д. Влияние породных отвалов угольных шахт на состояние окружающей среды / Н.Д.Левкин, Н.Е. Мухина // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2011, № 5. – С. 277-279.
9. Шестакова, И.И. Оценка экологической опасности самовозгорающихся бурых углей И.И. Шестакова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012, № 4 (63). – С. 77-80.
10. Качурин, Н.М. Процессы тепломассообмена на породных отвалах шахт Кузбасса / Н.М. Качурин, С.А. Воробьев, Л.Л. Рыбак, Р.П. Сидоров // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2015, № 2. – С. 48-56.
11. Протасов С.И., Серегин Е.А., Портола В.А., Бобровникова А.А. Исследование очагов эндогенных пожаров на породных отвалах угольных предприятий// Безопасность труда в промышленности. — 2021 — № 8 — С. 65–70.
12. Портола В.А., Тайлаков О.В., Ли Хи Ун, Соболев В.В., Бобровникова А.А. Обнаружение, локация и оценка состояния очагов подземных пожаров по аномалиям радона на земной поверхности. Уголь. 2021. № 5. С. 47-52.
13. Нарский В.А., Портола В.А., Разумов Е.А., Венгер В.Г. Обнаружение и локация подземных очагов самовозгорания методом электрического зондирования. Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности – 2021. – № 3 – С. 52-58.
14. Кузин, Е.Г. Опыт применения георадиолокации для выявления очагов возгорания на горных отводах ликвидированных горных предприятий / Е. Г. Кузин, Е. Ю. Пудов, В.Н. Шахманов, В. А. Нарский, В. А. Портола В. А. // Повышение качества образования, современные иннова-

ции в науке и производстве: Сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Экибастуз: филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, 2020. С. 4 – 8.

15. Нарский В.А., Портола, В.А. Применение тепловизоров для обнаружения и локации очагов самовозгорания, возникших в шахте. Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности – 2021. – № 2 – С. 13-18.

### References

1. Skochinsky A.A., Ogievsky V.M. Mine fires - M.: Ugletekhizdat, 1954 - 387 p.
2. Physical Bases of Spontaneous Combustion of Coal and Ore / V.S. Veselovsky, L.N. Vinogradova, G.N. Orleanskaya, et al. - Moscow: Nauka, 1972. - 148 c.
3. Gluzberg E.I. Theoretical Bases of Forecasting and Prevention of Mine Endogenous Fires. - Moscow: Nedra, 1986. - 161 c.
4. Igishev V.G. Combat with Spontaneous Combustion of Coal in Mines. - Moscow: Nedra, 1987. - 176 c.
5. Problems and Ways of Reducing Fire Hazard in Coal Mining by Open Pit / V.A. Portola, S.I. Protasov, S.N. Podobrazhin // Labor Safety in Industry. - 2004, № 11. - C.41-43.
6. Portola V.A., Skudarnov D.E., Protasov S.I., Podobrazhin S.N. Estimation of the parameters of selfignition of rock dumps in coal pits and extinguishing methods. Labor safety in industry. - 2017. - № 11. - C. 42-47.
7. Portola V.A., Bobrovnikova A.A., Protasov S.I., Seregin E.A., Eremenko A.A. Evaluation of tendency to spontaneous combustion and gas emission of coal-bearing rocks of dumps and slimes of coal enterprises. Labor Safety in Industry. - 2021. - № 3. - C. 74-80.
8. Levkin, N.D. Influence of rock dumps of coal mines on the environment / N.D. Levkin, N.E. Mukhina // Actual problems of humanities and natural sciences. - 2011, № 5. - C. 277-279.
9. Shestakova, I.I. Assessment of the environmental hazards of self-ignited brown coals I.I. Shestakova // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. - 2012, № 4 (63). - C. 77-80.
10. Kachurin N.M., Vorobiev S.A., Rybak L.L., Sidorov R.P. Heat and Mass Transfer Processes at the Kuzbass Mine Dumps / N.M. Kachurin, S.A. Vorobiev, L.L. Rybak, R.P. Sidorov // Proceedings of Tula State University. Earth Sciences. - 2015, № 2. - C. 48-56.
11. Protasov S.I., Seregin E.A., Portola V.A., Bobrovnikova A.A. Study of endogenous fires in the rock dumps of coal enterprises // Safety in Industry. - 2021 - № 8 - C. 65-70.

12. Portola V.A., Tailakov O.V., Lee Hee Un, Sobolev V.V., Bobrovnikova A.A. Detection, location and assessment of underground fires by radon anomalies on the ground surface. *Ugol.* 2021. № 5. С. 47-52.
13. Narskii V.A., Portola V.A., Razumov E.A., Venger V.G. Detection and location of underground self-ignition by electrical sensing. *Bulletin of the Scientific Center for Work Safety in the Coal Industry* - 2021. - № 3 - С. 52-58.
14. Kuzin, E.G. Experience of using georadiolocation to identify ignition sources on the mining allotments of liquidated mining enterprises / E.G. Kuzin, E.Yu. Pudov, V.N. Shakhmanov, V.A. Narski, V.A. Portola VA // Education Quality Improvement, Modern Innovations in Science and Production: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. - Ekibastuz: branch of the KuzSTU in Prokopyevsk, 2020. С. 4 - 8.
15. Narski V.A., Portola V.A. Application of thermal imagers for the detection and location of self-combustion, arisen in the mine. *Bulletin of the Scientific Center for Work Safety in the Coal Industry* - 2021. - № 2 - С. 13-18.