

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОЙ ПИРОМЕТРИИ ДЛЯ ЗАДАЧИ БЫСТРОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗГОРАНИЯ В ПЫЛЕГАЗОВОЗДУШНЫХ СРЕДАХ

М.Н. Зырянова, Е.В. Сыпин, С.А. Лисаков

В статье описываются результаты экспериментов, направленных на исследование возможности применения метода спектральной пирометрии для обнаружения возгораний в пылегазовоздушных средах. Исследование проводилось в лабораторных условиях с применением идеального источника излучения. Установлено, что метод может быть применим для обнаружения возгораний в пылегазовоздушных средах.

Ключевые слова: пирометрия, спектр, источник излучения, очаг возгорания, методика.

ВВЕДЕНИЕ

В России функционирует около 8 тысяч пожаро- и взрывоопасных объектов. Большая часть этих объектов представляет потенциальную опасность для здоровья и жизни людей при возникновении аварий, а масштаб последствий может многократно усиливаться в случае возникновения катастрофических неблагоприятных явлений.

Взрывы газа и пыли в угольных шахтах относятся к авариям с наиболее тяжкими последствиями в экономическом и социальном плане. Несмотря на применяемый повсеместно комплекс нормативно-организационных требований к обеспечению безопасных атмосферных условий в выработках, наличие научно-методических руководств по проектированию шахтной вентиляции, попытки автоматизации управления вентиляцией, использование в шахтах взрывобезопасного электрооборудования, разветвленную систему автоматического и индивидуального контроля шахтной атмосферы на содержание метана, взрывы газа и пыли в шахтах не только не уменьшаются, но даже имеется тенденция некоторого роста их числа. Чаще всего они сопровождаются гибелью людей, и полным разрушениям конструкций отдельных блоков подземных выработок.

Существует множество способов предотвращения возгораний и взрывов, они дают хорошие результаты. Однако они не могут обеспечить защиту в 100 % случаев. Если возгорание произошло, важно обнаружить его на раннем этапе, чтобы не произошло дальнейшего взрыва, горения и задымления [1, 2].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для обнаружения возгораний в шахтах

используются оптико-электронные датчики обнаружения воспламенения того или иного вещества (газ, пыль) [1–5] или общей смеси в шахте. Фактическая запылённость воздуха в выработках зависит от эффективности применения на шахте способов и средств борьбы с пылью. При отсутствии таких средств запылённость воздуха в горных выработках может достигать очень больших значений (4000–5000 мг/м³) [5, 6].

Для обеспечения взрывобезопасности и успешного подавления взрыва в газодисперсных средах, необходимо обнаружить очаг его развития на максимально ранней стадии [5–7]. Время срабатывания датчика контроля взрывобезопасности в угольной шахте должно составлять не более 2,5–3 мс [5].

При сложных химических реакциях горения метана, взвешенной и отложившейся пыли, угля образуются в тех или иных количествах горючие газы – водород (H₂) и окись углерода (CO) [6]. Кроме того, в шахтной атмосфере всегда присутствует метан, причём в случаях аварий (при пожарах) в большей концентрации, чем в нормальном режиме работы шахты по причине снижения интенсивности проветривания выработок.

Эти три горючих газа – метан, водород, окись углерода – в определённых комбинациях обладают свойством взрывчатости, что представляет большую опасность для горноспасателей в ходе ликвидации аварий [7, 8].

В [9, 10] описан метод спектральной пирометрии, позволяющий с большой точностью определять температуру объекта, когда неизвестна его излучательная способность.

Однако метод имеет существенный недостаток: низкое быстродействие, поскольку необходимо регистрировать и обрабатывать оптический спектр в широком диапазоне длин

волн, включающий в себя более сотни точек контроля. Поэтому предлагается уменьшить количество точек контроля, которое будет необходимо и достаточно для обнаружения возгораний с заданной погрешностью.

В связи с этим целью данной работы является экспериментальное исследование применимости метода спектральной пирометрии для задачи обнаружения возгораний в условиях пылегазовоздушной среды. Для этого необходимо получить реальные экспериментальные данные: спектральную характеристику реального источника излучения, спектральную характеристику источника помехи и суммарную спектральную характеристику источника излучения и источника помехи. В соответствии с этим необходимо:

- разработать установку для проведения лабораторных испытаний;
- разработать методику проведения экспериментов;
- получить результаты измерений в соответствии с предложенным методом спектральной пирометрии;
- проанализировать полученные результаты экспериментов и оценить возможность применения метода спектральной пирометрии для задачи обнаружения возгорания в пылегазовоздушных средах.

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА

Для получения спектральных характеристик источника излучения и помехи была разработана структурная схема лабораторной установки (рисунок 1).



- БУии – блок управления источником излучения; ИИ – источник излучения; ИП – источник помех; ФУ – фотоприёмное устройство; БС – блок согласования с персональным компьютером (ПК); ПО – программное обеспечение

Рисунок 1 – Структурная схема лабораторной установки

В качестве источника излучения использовался излучатель в виде модели абсолютно чёрного тела (АЧТ). Для выделения оптического сигнала в узкой полосе длин волн использовался монохроматор МДР-206. Сигнал с мо-

нохроматора передаётся в фотоприёмное устройство, состоящее из арсенид-индиевого фотодиода и усилителя-преобразователя. Блок согласования обеспечивает аналого-цифровое преобразование сигнала, идущего на ПК. Специализированное программное обеспечение, идущее в комплекте с монохроматором, позволяет получать данные, представленные как в графическом виде, так и в виде массива численных данных.

На рисунке 2 показана фотография лабораторной установки.

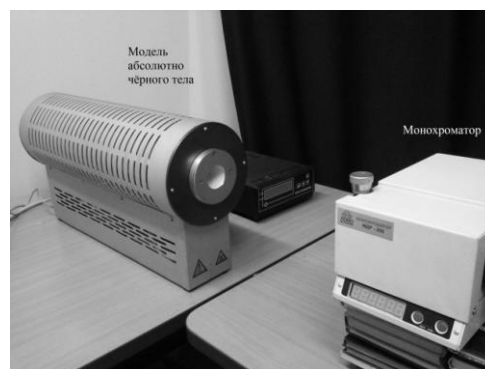


Рисунок 2 – Фотография лабораторной установки

На рабочую поверхность устанавливается АЧТ с блоком управления; монохроматор с помощью соединительных кабелей подключён к персональному компьютеру, на котором установлено соответствующее программное обеспечение для монохроматора.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Лабораторные испытания проводились в два этапа в соответствии с методикой описанной далее. Сначала была получена спектральная характеристика идеального источника излучения, затем получена спектральная характеристика возможной оптической помехи, источник которой не представляет потенциальной опасности. Предложена следующая методика проведения лабораторных испытаний:

1. Включить АЧТ в соответствии с руководством по эксплуатации, установить температуру 550 °С.

2. Установить в монохроматор дифракционную решётку и фотоприёмник.

Из имеющихся дифракционных решёток выбрана решётка с наименьшим числом штрихов на мм, поскольку её рабочая область подходит для того диапазона длин волн, на которых производится экспериментальное исследование. В качестве фотоприёмника в монохрома-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОЙ ПИРОМЕТРИИ ДЛЯ ЗАДАЧИ БЫСТРОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗГОРАНИЯ В ПЫЛЕГАЗОВОЗДУШНЫХ СРЕДАХ

тор установлен арсенид-индиевый фотодиод с нужным диапазоном чувствительности [11].

3. Установить связь монохроматора и ПК.

4. Получить спектральную характеристику АЧТ.

5. Получить суммарную спектральную характеристику АЧТ и лампы накаливания, установленной на расстоянии 0,05 м от АЧТ.

6. Выключить АЧТ и после его остывания получить спектральную характеристику лампы накаливания.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рисунке 3 показан спектр излучения АЧТ при температуре 550 °С, полученный экспериментальным путём.

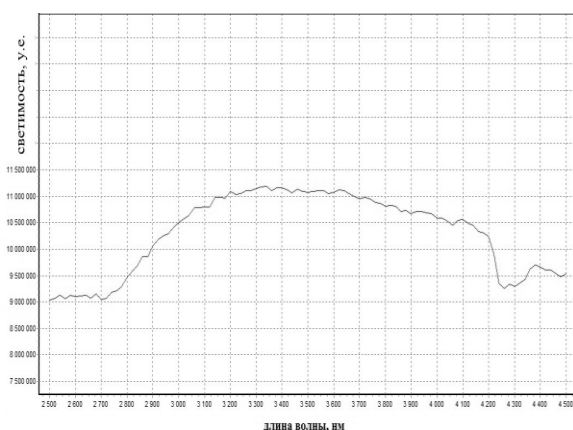


Рисунок 3 – Спектр излучения АЧТ при температуре 550 °С, полученный экспериментальным путём

На рисунке 4 показан спектр излучения лампы мощностью 60 Вт. Температура нити накала лампы 2640 °С [12].

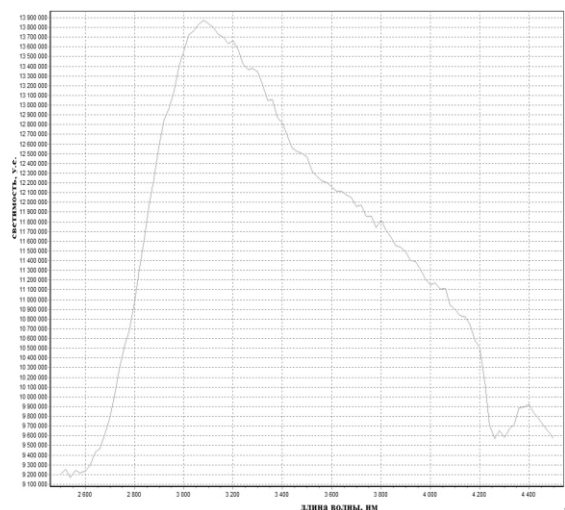


Рисунок 4 – Спектр излучения лампы накаливания мощностью 60 Вт
ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2016

На рисунке 5 показан суммарный спектр излучения АЧТ и лампы.

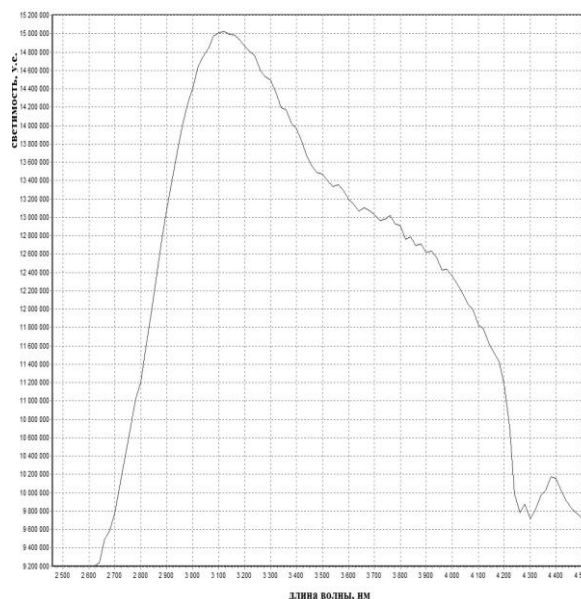


Рисунок 5 – Суммарная спектральная характеристика АЧТ и лампы

Построив экспериментальный спектр в области Вина, можно определить температуру объекта без привлечения гипотез о величине коэффициента излучения [9].

После преобразования формулы Планка [12] получаем для области Вина:

$$\ln(\lambda \cdot I) - \ln(\varepsilon \cdot c_1) = -\frac{c_2}{\lambda \cdot T}, \quad (1)$$

где λ – длина волны, м; I – интенсивность Вт/м²; ε – коэффициент излучения серого тела; c_1 , c_2 – постоянные Планка; T – температура, К.

В случае серого тела, когда $\varepsilon(\lambda) = \text{const}$, выражение (1) описывает прямую $y = k \cdot x + b$, где $k = tg(\alpha)$ в координатах $x = c_1 / \lambda$ и $y = \ln(\lambda^5 \cdot I)$.

На рисунке 6 показан спектр излучения АЧТ (сплошная линия), построенный в координатах Вина по полученным экспериментальным данным. Штриховой линией обозначена линейная аппроксимация спектральной характеристики в координатах Вина.

На рисунке 7 показан спектр лампы накаливания мощностью 60 Вт, установленной на расстоянии 0,2 м от приёмника излучения (сплошная линия).

На рисунке 8 показан спектр АЧТ с лампой накаливания (как возможной оптической помехой в помещениях с пылегазовоздушным содержанием среды), установленной на расстоянии 0,05 м от АЧТ (сплошная линия).

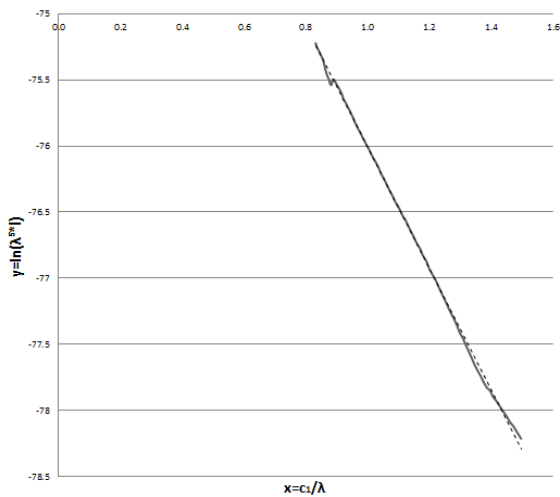


Рисунок 6 – Спектр АЧТ в координатах Вина

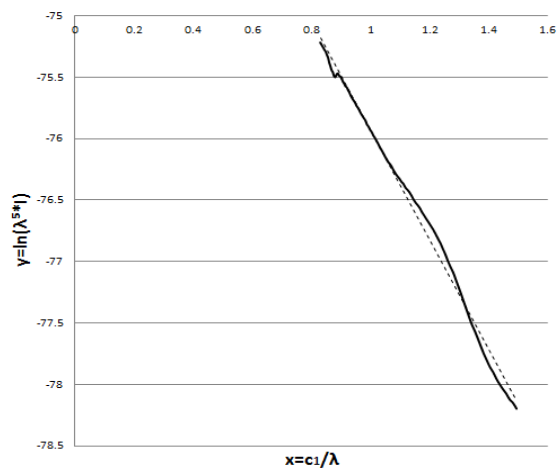


Рисунок 7 – Спектр лампы накаливания

Из рисунков 6–8 видно, что лампа накаливания вносит существенные отклонения от прямой, построенной в координатах Вина. Соответственно можно судить о величине и характере оптической помехи в условиях обнаружения возгорания в пылегазовоздушных средах.

Используя геометрические соотношения, можно найти величину угла наклона прямой. Найденное значение и будет определять искомую температуру [7].

Для построения спектров в координатах Вина диапазон рабочих длин волн был условно разделён на 100 равных интервалов. Соответственно были получены значения для 100 контрольных точек. Данное количество обусловлено возможностями применяемого в ходе экспериментального исследования оборудования, а также идеей о том, что с уменьшением количества точек повысится быстродействие расчётов при определении температуры. Но для повышения быстродействия

следует не учитывать при расчётах все интервалы, поскольку на спектральных характеристиках есть участки, на которых заведомо известен характер изменения характеристики, т.е. они мало информативны для построения спектров в координатах Вина.

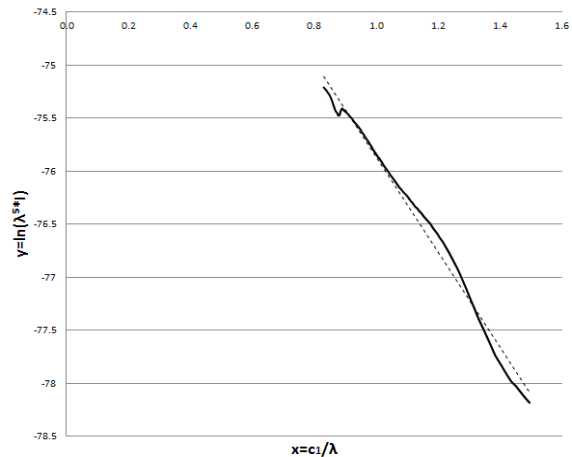


Рисунок 8 – Спектр АЧТ и лампы накаливания

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большинство методов определения температуры в пылевоздушных средах предполагают, что коэффициент излучения объекта заведомо известен, однако на практике коэффициент излучения известен лишь у небольшой доли природных веществ и материалов.

Предложенный метод позволяет определять температуру объектов, когда неизвестен коэффициент излучения объекта или среды. Однако предложенная практическая реализация метода имеет недостаток – низкое быстродействие, поскольку необходимо регистрировать и обрабатывать оптический спектр в широком диапазоне длин волн, включающий в себя более сотни точек контроля.

Следовательно, чем меньше число точек контроля, тем выше быстродействие. Поэтому следует уменьшать количество точек контроля. Однако, это повлечёт за собой уменьшение точности результатов измерения, но в данных условиях важен лишь факт, что температура превысила пороговое значение 550 °С и попала в заданный диапазон температур 500–600 °С.

В результате выполнения работы было проведено исследование возможности применения метода спектральной пирометрии для задачи быстрого определения возгорания в пылегазовоздушных средах.

В дальнейшем планируется уменьшить количество точек контроля до 3–5, провести

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОЙ ПИРОМЕТРИИ ДЛЯ ЗАДАЧИ БЫСТРОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗГОРАНИЯ В ПЫЛЕГАЗОВОЗДУШНЫХ СРЕДАХ

оценку быстродействия обнаружения возгорания и на основании этого анализа сделать вывод о возможности применения предложенного алгоритма обнаружения возгораний в пылегазовоздушных средах (шахты).

Работу планируется реализовать в лаборатории оптико-электронных приборов и систем Бийского технологического института.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нецепляев, М. И. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / М. И. Нецепляев [и др.]. – М. : Недра, 1992. – 298 с.
2. Янкина, О. Ю. Экспериментальное исследование обратного рассеяния в газодисперсной системе «угольная пыль-воздух» / О. Ю. Янкина, А. Н. Павлов, Е. В. Сыпин // Ползуновский вестник. – 2014. – № 2. – С. 126–130.
3. Пат. 2109345 Российская Федерация, МПК G 08 В 17/12. Пирометрический датчик пожарной сигнализации / Леонов Г. В., Станкевич Ю. Л., Каширин С. И.; заявитель и патентообладатель Бийский технологический ин-т Алтайского гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова. – № 95117261/12; заявл. 10.10.1995; опубл. 20.04.1998, Бюл. № 11. – 4 с.
4. Сыпин, Е. В. Оптико-электронный прибор обнаружения начальной стадии развития взрыва в газодисперсных системах: дис. ... канд. техн. наук / Е. В. Сыпин. – Бийск, 2007. – 144 с.
5. Павлов, А. Н. Оптико-электронная система определения трехмерных координат очага взрыва в газодисперсных системах на начальной стадии: дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Павлов. – Бийск, 2010. – 134 с.
6. Зельдович, Я. Б. Математическая теория горения и взрыва / Я. Б. Зельдович, Г. И. Барен-Блатт, В. Б. Либрович, Г. М. Махвиладзе. – М. : Наука, 1980. – 478 с.
7. Айруни, А. Т. Взрывоопасность угольных шахт / А. Т. Айруни, Ф. С. Клебанов, О. В. Смирнов. – М. : Изд-во «Горное дело ООО Киммерийский центр», 2011. – 264 с.
8. Tupikina, N. Y. Sources of ignition of methane-air mixture and the amount of impact when building a multi-channel device of detection of the fire at an early stage / N. Y. Tupikina, D. V. Gerasimov, A. N. Pavlov, I. A. Uskova, E. V. Sypin // Ten interna-

tional workshop and tutorials on electron devices and materials EDM'2009: workshop processing, NSTU, Novosibirsk. – 2009. – P. 350–355.

9. Магунов, А. Н. Спектральная пирометрия объектов с неоднородной температурой / А. Н. Магунов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 248 с.

10. Zyryanova, M. N. Adapting the method of spectral pyrometry to building a high-speed fire detection device / M. N. Zyryanova, E. V. Sypin // 16th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices EDM'2015: workshop processing, NSTU, Novosibirsk. – 2015. – P. 365–368.

11. Повернов, Е. С. Определение основных критериев, влияющих на алгоритм выбора диапазонов измерения в оптико-электронных приборах определения начальной стадии взрыва в газодисперсных системах / Е. С. Повернов, Е. В. Сыпин, Е. В. Берестова, Д. В. Герасимов, А. Н. Павлов // Десятая международная конференция-семинар EDM'2009: сборник трудов, НГТУ. – 2009. – С. 339–341.

12. Maclsaac, D. Basic Physics of the Incandescent Lamp / D. Maclsaac, G. Kanner, G. Anderson // The physics teacher. – 1999. – Vol. 37. – P. 520–525.

Зырянова М.Н., аспирант кафедры методов и средств измерений и автоматизации Бийского технологического института (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел.: (3854)43-24-50, e-mail: зуруанова.мн@bti.secna.ru.

Сыпин Е.В., профессор, к.т.н., доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации Бийского технологического института (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел.: (3854)43-24-50, e-mail: sev@bti.secna.ru.

Лисаков С.А., инженер кафедры методов и средств измерений и автоматизации Бийского технологического института (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел.: (3854)43-24-50, e-mail: foxlsa@mail.ru.