

Оценка эндогенной пожароопасности выемочных участков

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-7-56-59>

ПОПОВ В.Б.

Доктор техн. наук, профессор,
научный консультант АО «НЦ ВостНИИ»,
650002, г. Кемерово, Россия,
e-mail: 1860pwb@mail.ru

ЛИ ХИ УН

Доктор техн. наук, профессор,
ученый секретарь АО «НЦ ВостНИИ»,
650002, г. Кемерово, Россия,
e-mail: leeanatoly@mail.ru

ТАЙЛАКОВ О.В.

Доктор техн. наук, профессор,
генеральный директор АО «НЦ ВостНИИ»,
заведующий лабораторией
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: tailakov@nc-vostnii.ru

СОБОЛЕВ В.В.

Доктор техн. наук,
заместитель генерального директора
АО «НЦ ВостНИИ»,
650002, г. Кемерово, Россия,
e-mail: Sobolev567@gmail.com

КРАВЧЕНКО С.Н.

Генеральный директор АО «НИИГД»,
650517, д. Сухово, Кемеровская обл., Россия,
e-mail: ggo1959@mail.ru

В статье рассмотрены условия возникновения и развития процесса самовозгорания угля в выработанных пространствах выемочных участков шахт. Отмечено, что окислительные процессы могут происходить даже в небольших концентрированных массах (3-5 т) угля, практически всегда остающихся в отработанных зонах. Однако в указанных обстоятельствах эндогенные пожары возникают не повсеместно, а только в отдельных случаях. Это объясняется тем, что процесс самовозгорания может развиваться лишь при определенной скорости разогревания угля, зависящей от его химической активности, величины и продолжительности притока воздуха. Показано, что переход процесса из стадии интенсивного окисления в возгорание возможен лишь при определенном соотношении генерируемого тепла вследствие происходящей окислительной реакции к аккумулируемому в угольном скоплении. Интенсивность развития процесса самовозгорания угольного скопления указывает на уровень потенциальной опасности перехода его в стадию активного горения, в связи с чем эндогенную пожароопасность выемочных участков следует определять по параметрам, обуславливающим переход процесса из стадии интенсивного окисления в стадию возгорания угля.

На основании проведенных экспериментальных и аналитических исследований установлен комплексный показатель R и получена эмпирическая расчетная формула для определения его численных значений. Подсчитаны входящие в полученное уравнение константы для углей различной степени метаморфизма и химической активности.

С использованием указанных разработок предоставляется возможность своевременного выявления опасности возникновения очагов самовозгорания угля и принятия оперативных профилактических мер по предотвращению возникновения эндогенных пожаров.

Ключевые слова: уголь, пласт, метаморфизм, выемочный участок, окислительный процесс, самовозгорание, эндогенная пожароопасность.

Для цитирования: Оценка эндогенной пожароопасности выемочных участков / В.Б. Попов, Ли Хи Ун, О.В. Тайлаков и др. // Уголь. 2022. № 7. С. 56-59. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-7-56-59.

ВВЕДЕНИЕ

В скоплениях разрыхленных масс угля, оставляемых в выработанных пространствах и деформированных целиках, развитие процесса самовозгорания угля происходит отдельными очагами [1, 2, 3, 4].

Самовозгорание [2, 5, 6, 7, 8] может развиваться даже в небольших концентрированных массах (3-5 т) угля, практически всегда имеющих в выработанных пространствах при отработке пластов системами с обрушением кровли, получившими преобладающее применение. Однако в указанных обстоятельствах эндогенные пожары возникают не повсеместно, а только в отдельных случаях. Это объясняется тем, что процесс самовозгорания может развиваться лишь при определенной скорости

разогревания угля, зависящей от его химической активности, величины и продолжительности притока воздуха, содержания в нем кислорода.

Переход процесса из стадии интенсивного окисления в возгорание возможен лишь при определенном соотношении генерируемого тепла вследствие происходящей окислительной реакции к аккумулируемому в угольном скоплении [9, 10, 11, 12, 13, 14]. Поэтому эндогенную пожароопасность выемочных участков следует определять по параметрам, обуславливающим переход процесса из стадии интенсивного окисления в стадию возгорания угля.

ЭНДОГЕННАЯ ПОЖАРООПАСНОСТЬ ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ

Интенсивность развития процесса самонагревания угля является функцией показателя его активности к окислению S , температуры t , величины притока воздуха Δg и содержания в притекаемом воздухе кислорода p : $R = f(S, t, \Delta g, p)$, которая и принята в качестве показателя эндогенной пожароопасности.

Функциональная зависимость в аналитическом выражении имеет вид:

$$R = Ce^{bt}, \quad (1)$$

где C – переменная величина, зависящая от скорости воздушной струи [$C = f(v)$]; b – постоянная величина для каждого пласта; t – время воздействия воздушного потока.

На основании обработки экспериментальных данных получена эмпирическая формула для определения C :

$$C = A\Delta ge^{-d\Delta g}, \quad (2)$$

где A – коэффициент, зависящий от содержания кислорода в рудничной атмосфере; Δg – удельный приток воздуха; d – постоянный коэффициент, равный 0,1.

Коэффициент A изменяется по зависимости:

$$A = nP_1^m, \quad (3)$$

где n – значения соотношения S_i/S , характеризующего степень химической активности угля; для обрабатываемых угольных пластов, на которых зафиксированы случаи возникновения эндогенных пожаров, $n = 2,43$, для всех осталь-

ных $n = 1,2$. Для вновь обрабатываемых пластов в первые шесть месяцев n принимается по максимальной величине, затем, в случае отсутствия очагов самонагревания и самовозгорания, подлежит корректировке в меньшую сторону; P_1 – отношение содержания кислорода в рудничной атмосфере в зоне местонахождения угольного скопления к содержанию кислорода в поступающей вентиляционной струе; m – коэффициент, зависящий от степени метаморфизма угля, изменяется в пределах 1,2-1,7.

Подставляя значение коэффициента A в уравнение (2), получим:

$$C = n P_1^m \Delta g^2 e^{-d\Delta g}. \quad (4)$$

После подстановки в выражение (1) полученного значения C :

$$R = n P_1^m \Delta g^2 e^{bt-d\Delta g}. \quad (5)$$

Из уравнения (5) следует, что химическая активность угля, величина притока воздуха и содержание в последнем кислорода определяют интенсивность развития процесса самовозгорания угольного скопления, что позволяет судить об уровне эндогенной пожароопасности.

Для определения количественных значений показателя эндогенной пожароопасности R были подсчитаны входящие в полученное уравнение константы для углей различной степени метаморфизма и химической активности (табл. 1).

Из табл. 1 следует, что входящие в формулу (5) коэффициенты m и b_1 изменяются в зависимости от степени метаморфизма угля – с ее увеличением уменьшаются, d остается практически постоянным.

В пределах одного класса степени метаморфизма угля коэффициенты m и b_1 зависят от его химической активности. Чем выше активность, тем больше величины указанных коэффициентов. Например, для углей III класса I группы $m = 1,7$, $b_1 = 4$, а для углей этого же класса II группы $m = 1,2$, $b_1 = 3$.

Зависимость коэффициентов m и b_1 от класса метаморфизма, а в его пределах от химической активности угля вызывает необходимость определять показатель R для каждого класса, что обуславливает повышенную трудо-

Таблица 1

Показатели эндогенной пожароопасности

| Класс степени метаморфизма угля | Группа химической активности угля | Максимальные значения показателя R | Коэффициенты | | | $N = S_i/S$ |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------|------|-----|-------------|
| | | | b_1 | d | m | |
| I | I | 127 | 5 | 0,1 | 1,8 | 0,5 |
| | II | 30,7 | 4 | 0,1 | 1,3 | 1,0 |
| II | I | 93,5 | 5 | 0,1 | 1,8 | 1,1 |
| | II | 30,5 | 4 | 0,1 | 1,3 | 1,0 |
| III | I | 43,7 | 4 | 0,1 | 1,7 | 1,4 |
| | II | 11,9 | 3 | 0,09 | 1,2 | 1,0 |
| IV | I | 22,8 | 3 | 0,1 | 1,6 | 2,0 |
| | II | 4,0 | 2 | 0,1 | 1,1 | 1,0 |
| V | I | 43,7 | 4 | 0,1 | 1,7 | 1,4 |
| | II | 11,9 | 3 | 0,1 | 1,2 | 1,0 |
| VI | I | 20,4 | 3 | 0,1 | 1,5 | 1,8 |
| | II | 4,1 | 2 | 0,1 | 1,1 | 1,0 |
| VII | I | 6,1 | 2 | 0,1 | 1,1 | 1,5 |

Значения показателя R

| Техническая характеристика угля | | Утечка воздуха, м ³ /с м ² | | | | | | | |
|---------------------------------|------------------------------|--|------|-------|-------|------|------|------|------|
| Класс степени метаморфизма | Группа химической активности | 1,0 | 1,7 | 3,3 | 6,7 | 10,0 | 13,3 | 16,7 | 20,0 |
| I | I | 21,60 | 47,2 | 103,6 | 125,2 | 83,5 | 44,5 | 23,2 | 8,3 |
| | II | 5,1 | 11,4 | 24,8 | 29,7 | 20,4 | 9,7 | 3,8 | 2,1 |
| II | I | 15,8 | 34,6 | 75,9 | 91,7 | 61,2 | 32,6 | 17,0 | 6,1 |
| | II | 5,2 | 11,4 | 24,8 | 29,7 | 20,4 | 9,7 | 3,8 | 2,1 |
| III | I | 7,4 | 16,2 | 35,3 | 42,2 | 29,2 | 13,8 | 5,4 | 3,1 |
| | II | 1,9 | 4,1 | 9,9 | 10,8 | 6,8 | 4,8 | 1,9 | 0,5 |
| IV | I | 3,7 | 8,4 | 18,4 | 22,1 | 14,9 | 8,6 | 3,8 | 1,1 |
| | II | 0,7 | 1,5 | 3,3 | 4,2 | 2,7 | 1,4 | 0,7 | 0,3 |
| V | I | 7,4 | 16,2 | 35,3 | 42,2 | 29,2 | 13,8 | 5,4 | 3,1 |
| | II | 1,9 | 4,1 | 9,0 | 10,8 | 6,8 | 4,8 | 1,9 | 0,5 |
| VI | I | 3,4 | 7,6 | 16,5 | 19,8 | 12,4 | 8,8 | 3,4 | 1,0 |
| | II | 0,7 | 1,5 | 3,3 | 4,2 | 2,7 | 1,4 | 0,7 | 0,3 |
| VII | I | 1,0 | 2,3 | 5,0 | 6,3 | 4,1 | 2,2 | 1,1 | 0,4 |
| | II | 0,23 | 0,47 | 1,34 | 1,41 | 1,2 | 0,44 | 0,38 | 0,14 |

Таблица 3

Значения показателя R в зависимости от степени эндогенной пожароопасности

| Класс степени метаморфизма | Уровень эндогенной пожароопасности | | |
|----------------------------|------------------------------------|--------|------------|
| | Весьма опасно | Опасно | Малоопасно |
| Значения показателя R | | | |
| I | > 47 | 47-31 | < 31 |
| II | > 35 | 35-31 | < 31 |
| III-IV | > 16 | 16-12 | < 12 |
| V-VI | > 8 | 8-4 | < 4 |
| VII | > 6 | – | < 6 |

емкость проводимой оценки. Для исключения этого недостатка необходимо при определении n полученные значения параметра S , характеризующего химическую активность угля, привести к одному классу метаморфизма.

Тогда величины m и b_1 принимаются в соответствии с классом метаморфизма, к которому приведены значения S . Например, уголь разрабатываемого пласта относится ко II классу I группы ($S = 22$). После приведения величины S к III классу метаморфизма получим $S_{\text{пр}} = 11$, и в соответствии с этим $n = S_{\text{пр}}/S_{\text{III}} = 1,56$; $m = 1,4$, $b_1 = 4,0$.

В табл. 2 приведены значения показателя R для углей различной степени метаморфизма и химической активности в диапазоне утечек воздуха от 1×10^{-3} до 20×10^{-3} м³/с м² и при содержании кислорода 20%.

Из табл. 2 следует, что при утечках воздуха через выработанное пространство менее $1,0 \times 10^{-3}$ м³/с м² и более 20×10^{-3} м³/с м² показатель R имеет минимальные значения. Оптимальными по созданию условий, способствующих развитию процесса самовозгорания, являются утечки воздуха $5,0 \times 10^{-3} - 10 \times 10^{-3}$ м³/с м².

В табл. 3 приведена градация значений показателя R в зависимости от степени эндогенной пожароопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по величине R предоставляется возможность оценивать степень эндогенной пожароопасности выемочных участков.

Систематическое осуществление такой оценки при изменяющихся горнотехнических условиях ведения горных работ позволяет своевременно выявлять опасность возникновения очагов самовозгорания угля и принимать оперативные профилактические меры по предотвращению возникновения эндогенных пожаров.

Список литературы

1. Скочинский А.А., Огиевский В.М. Рудничные пожары. М., 1954. 378 с.
2. Каталог углей СССР, склонных к самовозгоранию / Н.И. Линденану, В.М. Маевская, Е.С. Вахрушева и др. М.: Недра, 1982.
3. Rock burst monitoring by integrated microseismic and electromagnetic radiation methods / L.I.X.L, E.Y. Wand, L.I.Z.H. et al. // Rock Mechanics Rock Engineering. 2016. No. 49. P. 4393-4406.
4. Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: velocity range with possibility of selfignition / Q. Lin, S. Wang, S. Song et al. // Fuel Processing Technology. 2017. No. 159. P. 38-46.
5. Защита угольных шахт от самовозгорания угля / В.А. Горбатов, В.Г. Игишев, В.Б. Попов и др. Кемерово, 2001. 132 с.
6. Zhang L., Qin B. Rheological characteristics of foamed gel for mine fire control // Fire and Materials. 2016. No. 40. P. 246-260.
7. Портола В.А., Храмов В.И. Влияние применяемых в шахтах составов на склонность угля к самовозгоранию // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 2. С. 56-59.
8. Анализ причин возникновения эндогенных пожаров в отработанных и изолированных пространствах на пологих и наклонных пластах угля / А.Я. Каминский, А.И. Кравченко, П.А. Шлапаков и др. // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2011. № 2. С. 73-77.
9. Попов В.Б. Об аэродинамике выработанного пространства при отработке угольного пласта // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1990. № 6. С. 77-80.
10. Пучков Л.А. Аэродинамика выработанных пространств. М.: МГГУ, 1993. 267 с.
11. Thermal behavior and micro characterization analysis of second-oxidized coal / J. Deng, J.Y. Zhao, Y.N. Zhang et al. // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2017. No. 127. P. 439-448.

12. Инструкция по предупреждению экзогенной и эндогенной пожароопасности на объектах ведения горных работ угольной промышленности: Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности (утверждены приказом Ростехнадзора от 27.11.2020 № ПР-469, зарегистрированы в Минюсте 15.12.2020 № 61466).
13. Ледякин Е.С., Трошков Н.Ю., Ярош А.С. О нагревании изоляционных взрывоустойчивых перемычек // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2016. № 4. С. 56-61.
14. Бинеев Э.А. Угольный пласт как природная потенциально опасная система / Материалы Юбилейной научно-практической конференции МАНЭБ «Белые ночи-13». Санкт-Петербург, 2013.

SAFETY

Original Paper

UDC 622.271 © V.B. Popov, Lee Hee Un, O.V. Tailakov, V.V. Sobolev, S.N. Kravchenko, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 7, pp. 56-59
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-7-56-59>

Title

ASSESSMENT OF ENDOGENOUS FIRE HAZARD OF EXCAVATION AREAS

Authors

Popov V.B.¹, Lee Hee Un¹, Tailakov O.V.^{1,2}, Sobolev V.V.¹, Kravchenko S.N.³

¹ "Scientific Centre "VostNII" JSC, Kemerovo, 650002, Russian Federation

² Institute of Coal of SB RAS Kemerovo Science Center, Kemerovo, 650065, Russian Federation

³ "Scientific Research Institute of Mine Rescue" JSC, Sukhovo village, 650517, Russian Federation

Authors Information

Popov V.B., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Scientific consultant, e-mail: 1860pwb@mail.ru

Lee Hee Un, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Scientific secretary, e-mail: leeanatoly@mail.ru

Tailakov O.V., Doctor of Engineering Sciences, Professor, General Director, Head of the laboratory, e-mail: tailakov@nc-vostnii.ru

Sobolev V.V., Doctor of Engineering Sciences, Deputy General Director, e-mail: Sobolev567@gmail.com

Kravchenko S.N., General Director, e-mail: ggo1959@mail.ru

Abstract

The article considers the conditions for the emergence and development of the process of self-combustion of coal in the worked-out spaces of mining sections of mines. It is noted that oxidative processes can occur even in small concentrated masses of 3-5 tons of coal, almost always remaining in spent zones. However, in these circumstances, endogenous fires do not occur everywhere, but only in certain cases. This is due to the fact that the process of spontaneous combustion can develop only at a certain rate of heating of coal, depending on its chemical activity, the magnitude and duration of air inflow. It is shown that the transition of the process from the stage of intensive oxidation to ignition is possible only with a certain ratio of heat generated due to the oxidative reaction occurring to the accumulated in the coal cluster. The intensity of the development of the process of self-combustion of the coal cluster indicates the level of potential danger of its transition to the stage of active combustion, and therefore the endogenous fire hazard of the excavation areas should be determined by the parameters that cause the transition of the process from the stage of intensive oxidation to the stage of coal ignition.

Based on the conducted experimental and analytical studies, a complex indicator «R» was established and an empirical calculation formula was obtained to determine its numerical values. The constants included in the obtained equation for coals of different degrees of metamorphism and chemical activity are calculated.

With the use of these developments, it is possible to timely identify the danger of the occurrence of centers of spontaneous coal combustion and take prompt preventive measures to prevent the occurrence of endogenous fires.

Keywords

Coal, formation, Metamorphism, Extraction area, Oxidizing process, Spontaneous combustion, Endogenous fire hazard.

References

- Skochinsky A.A., Ogievsky V.M. Mine fires. Moscow, 1954, 378 p. (In Russ.).
- Lindenau N.I., Mayevskaya V.M., Vakhrusheva E.S. et al. Catalog of USSR coals prone to spontaneous combustion. Moscow, Nedra Publ., 1982. (In Russ.).

- LI.X.L., Wand E.Y., LI.Z.H. et al. Rock burst monitoring by integrated microseismic and electromagnetic radiation methods. *Rock Mechanics Rock Engineering*, 2016, (49), pp. 4393-4406.
- Lin Q., Wang S., Song S., Liang Y. & Ren T. Analytical prediction of coal spontaneous combustion tendency: velocity range with possibility of selfignition. *Fuel Processing Technology*, 2017, (159), pp. 38-46.
- Gorbatov V.A., Igishev V.G., Popov V.B. et al. Protection of coal mines from spontaneous combustion of coal. Kemerovo, 2001, 132 p. (In Russ.).
- Zhang L. & Qin B. Rheological characteristics of foamed gel for mine fire control. *Fire and Materials*, 2016, (40), pp. 246-260.
- Portola V.A. & Khrantsov V.I. The influence of compositions used in mines on the propensity of coal to spontaneous combustion. *Industrial safety*, 2017, (2), pp. 56-59. (In Russ.).
- Kaminsky A.Ya., Kravchenko A.I., Shlapakov P.A. & Kolykhalov V.V. Analysis of the causes of endogenous fires in spent and isolated spaces on gentle and inclined coal beds. *Bulletin of the Scientific Center for Safety of Works in the Coal Industry*, 2011, (2), pp. 73-77. (In Russ.).
- Popov V.B. On the aerodynamics of the worked-out space during the mining of a coal seam. *Physical and technical problems of mining*, 1990, (6), pp. 77-80. (In Russ.).
- Puchkov L.A. Aerodynamics of developed spaces. Moscow, MGSU Publ., 1993, 267 p. (In Russ.).
- Deng J., Zhao J.Y., Zhang Y.N., Wang C.R., Huang A.C. & Chu C.M. Thermal behavior and micro characterization analysis of second-oxidized coal. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2017, (127), pp. 439-448.
- Instructions for the prevention of exogenous and endogenous fire hazards at mining facilities of the coal industry: Federal norms and rules in the field of industrial safety (approved by Rostekhnadzor Order No. PR-469 dated 11/27/2020, registered with the Ministry of Justice on 15.12.2020 No. 61466). (In Russ.).
- Ledyakin E.S., Troshkov N.Yu. & Yarosh A.S. On heating of insulating explosion-proof jumpers. *Bulletin of the Scientific Center for Safety of Works in the Coal Industry*, 2016, (4), pp. 56-61. (In Russ.).
- Bineev E.A. Coal seam as a natural potentially dangerous system. Materials of the Anniversary Scientific and Practical Conference of MANEB «White Nights-13». St. Petersburg, 2013. (In Russ.).

For citation

Popov V.B., Lee Hee Un, Tailakov O.V., Sobolev V.V. & Kravchenko S.N. Assessment of endogenous fire hazard of excavation areas. *Ugol'*, 2022, (7), pp. 56-59. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2022-7-56-59](http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-7-56-59).

Paper info

Received April 7, 2022

Reviewed May 11, 2022

Accepted June 23, 2022