

УДК 622.822.22

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭНДОГЕННОЙ ПОЖАРООПАСНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ**

П. А. Шлапаков (соискатель, инженер, заведующий лабораторией ОАО «НЦ ВостНИИ»)

А. И. Фомин (д-р техн. наук, профессор кафедры АОТиП ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»)

С. В. Черданцев (д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник ОАО «НЦ ВостНИИ»)

А. Ю. Ерастов (соискатель, инженер, старший научный сотрудник ОАО «НЦ ВостНИИ»)

Выполняя Долгосрочную программу развития угольной промышленности России на период до 2030 года, утвержденную распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 января 2012 года № 14-р, предприятия угольной отрасли ежегодно увеличивают объем добычи угля.

Так, если в 2010 году в России было добыто 322,9 млн. тонн, то уже в 2016 году добыча угля составила 385,4 млн. тонн.

Кузбасс в свою очередь увеличил объем добычи угля по сравнению с 2010 годом с 185,5 млн. тонн до 227,4 млн. тонн в 2016 году.

Несмотря на улучшение технико-экономических показателей, увеличение объемов добычи угля, значительное снижение уровня травматизма на предприятиях угольной отрасли в то же время существует ряд причин, сдерживающих увеличение добычи угля, особенно подземным способом, одной из которых являются эндогенные пожары, возникающие в выработанных пространствах выемочных столбов действующих и отработанных лав.

Подземные пожары на угольных шахтах относятся к наиболее опасным техногенным явлениям. Опасное проявление данных пожаров возникает даже в тех местах, где в настоящее время даже не ведутся подземные горные работы. Опасение вызывает то, что впоследствии возникновения подземных пожаров производится консервация значительных запасов угля, который впоследствии выгорает. Из-за значительных затрат на предупреждение и локализацию подземных пожаров собственники шахт не всегда проводят комплекс исчерпывающих мероприятий по надлежащей консервации неиспользуемых горных выработок, что приводит к распространению подземных пожаров.

На шахтах Кузнецкого бассейна находится в работе значительное количество шахтопластов, уголь которых склонен к самовозгоранию. С расширением объема горных работ их становится все больше, а добыча из них сопровождается ростом эндогенных пожаров.

Безусловно, пожары являясь бедствием, наносящим материальный ущерб, загрязняющим окружающую среду и представляющим опасность для жизни людей. Поражающими факторами пожаров являются огонь, высокая температура, задымление, загрязнение атмосферного воздуха продуктами горения и обеднение его кислородом, расходуемым в качестве окислителя при горении.

Эндогенные пожары могут возникать в выработанных пространствах, целиках, породных отвалах угольных шахт, на складах, а также в природных условиях при естественном залегании пластов углей. Подземные пожары могут продолжаться длительное время – месяцы, годы, десятилетия, т. е. пока не истощится тлеющий пласт.

Возникновение эндогенного пожара приводит к длительным остановкам очистных работ на данном участке, а зачастую и всей шахты. Кроме прямого экономического ущерба, эндогенные пожары приводят к возникновению потерь угля, обусловленных невозможностью ведения горных работ в районе действующего пожара.

Возникновению эндогенного пожара предшествует стадия самонагревания угля, продолжительность которой зависит от многочисленных параметров атмосферы выработанного пространства и непосредственно от свойств угля. Раннее обнаружение очага самонагревания позволит разработать и принять меры по его локализации и предотвращению возникновения эндогенного пожара.

В настоящее время при ведении подземных горных работ применяются способы и методы контроля эндогенной пожароопасности на основе газоаналитического анализа проб рудничной атмосферы, подпочвенной радоновой съемки и изменению влажности внутренних утечек воздуха [1]. Данные методы имеют ряд недостатков, не позволяющих своевременно обнаружить очаг нагревания и предотвратить развитие эндогенного пожара. К этим недостаткам относится следующее:

- применение газоаналитического метода: применяемые комбинированные схемы проветривания в большинстве случаев обуславливают прохождение через выработанное пространство значительных объемов воздуха, что, в свою очередь, при появлении очага нагревания не значительного объема, приводит к тому, что выделяющиеся при нагреве индикаторные газы разбавляются до величин, не позволяющих обнаружить их данными методами. Также применение газоаналитического метода затрудняется наличием в угле природного оксида углерода и водорода, выделяющегося в выработанное пространство при разрушении угля во время добычи и под воздействием опорного горного давления;

- подпочвенная радоновая съемка: недостатком является невозможность проведения в зимний период и значительное снижение плотности потока радона в приповерхностном слое при увеличении температуры в очаге нагревания выше 100<sup>0</sup>С;

- контроль по изменению влагосодержания внутренних утечек воздуха достаточно информативен только для активно проветриваемой зоны призабойного пространства, которая имеет весьма ограниченные размеры (30-100 м от линии очистного забоя), а вся остальная часть выработанного пространства действующего выемочного участка остается без контроля. К недостаткам способа следует также отнести то, что процесс интенсивного выпаривания влаги происходит при достаточно высокой температуре очага самонагрева угля 35-45 °С

Известен способ оценки эндогенной пожароопасности действующих выемочных участков [2]. Данный способ включает измерение из прилегающих выработок естественного электромагнитного излучения с выделением аномальных зон и последующим изучением их посредством геофизических методов электроразведки с определением текущей и фоновой разности потенциалов. При помощи геофизических методов электроразведки определяют естественную температуру вмещающих пород в аномальной зоне, а в качестве показателя оценки эндогенной пожароопасности принимают температуру угля в ней, которая определяется по зависимости:

$$t = t_0 + N_1 \times Q \times \ln U_{\text{отн}} / k(N_2 \times C - N_3 \times \ln U_{\text{отн}}), ^\circ \text{C} \quad (1)$$

где  $U_{\text{отн}} = \Delta U / \Delta U_{\text{фон}}$ ,  $\Delta U$  и  $\Delta U_{\text{фон}}$  – текущая и фоновая разности потенциалов на аномальном участке;  $t_0$  – естественная температура вмещающих пласт угля пород на аномальном участке, °С;  $C$  – эмпирический коэффициент, зависящий от диэлектрических свойств угля; для углей Кузбасса  $C=490 - 520$ ;  $Q$  – значение запрещенной зоны, характеризующейся количеством энергии, необходимой для перевода электрона в зону проводимости или выравнивания иона из кристаллической решетки, для углей Кузбасса  $Q=13 \times 10^{-19}$  Дж;  $k$  – постоянная Больцмана ( $K=1,38 \times 10^{-23}$  Дж/град);  $N_1, N_2, N_3$  – константы, зависящие от электросопротивления среды, для угольных массивов Кузбасса  $N_1=0,120-0,140$ ,  $N_2=1$  и  $N_3=4,50-4,55$ ; для рыхлых скоплений в сухом состоянии  $N_2=2(1-P)/(2+P)$ ,

где  $P$  – пористость скопления, для выработанного пространства на пологом и наклонном падении  $P=0,4$ .

Следует отметить, что электрическое сопротивление минералов, из которых состоит грунт или порода, значительно выше, чем сопротивление насыщенных вод, поэтому общее их сопротивление определяется, в первую очередь, влажностью грунта или пород, а также пористостью, трещиноватостью или разрыхленностью массива [3]. При этом именно влажность пород и их трещиноватость чаще всего изменяют сопротивление в противоположных направлениях: влажность снижает сопротивление, а трещиноватость его повышает. В природных условиях литологические разности пород представляют собой многокомпонентные среды, разной влажности и пористости. Следовательно, использование значения константы  $N_2$  при расчете  $t$  не всегда оправдано и может дать погрешность в вычислениях.

Предложен способ оценки эндогенной пожароопасности при подземной разработке угольных пластов, включающий: измерение из прилегающих выработок естественного электромагнитного излучения с выделением аномальных зон; использование методов электроразведки с определением текущей и фоновой разности потенциалов; определение температуры угля  $t$  в аномальной зоне [4].

Отличие заключается в том, что дополнительно определяют относительное сопротивление влагонасыщенной породы  $P_n$ , общую пористость угля  $K_n$ , структурный показатель смачиваемости угля  $m$  и расчет температуры производят с учетом текстурных особенностей и состава горной породы с применением коэффициента  $A_n$  по математической формуле

$$t = t_0 + N_1 \times Q \times \ln U_{\text{омн}} / [k \times (P_n \times \frac{A_n}{K_n^m} \times C - N_3 \times \ln U_{\text{омн}})], \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

где  $t_0$  – естественная температура вмещающих пласт угля пород в аномальной зоне,  $^\circ\text{C}$ ;  $N_1, N_3$  – константы, зависящие от электросопротивления среды ( $N_1=0,120-0,140$ ,  $N_3=4,5-4,55$ );  $Q$  – ширина запрещенной зоны для углей Кузбасса принимается  $Q=13 \times 10^{-19}$  Дж;  $U_{\text{омн}}$  – относительная разность потенциалов;  $k$  – постоянная Больцмана  $k = 1,38 \times 10^{-23}$  Дж/град;  $P_n$  – относительное сопротивление влагонасыщенной породы (изменяется в пределах 0,07-2,4);  $A_n$  – постоянный коэффициент, зависящий от состава породы и текстурных особенностей (изменяется в пределах 0,4-1,6);  $K_n$  – общая пористость породы в долях единиц для выработанного пространства на пологом и наклонном падении принимается от 0,3 до 0,4;  $M$  – структурный показатель смачиваемости, зависящий от литологического состава пород (изменяется от 1,3 до 3,2);  $C$  – эмпирический коэффициент, зависящий от диэлектрических свойств угля (для углей Кузбасса 490 – 520).

Предложенный способ оценки эндогенной пожароопасности при подземной разработке угольных пластов позволяет более точно определить расчетным путем температуру угля с учетом состояния горной породы. Коэффициент  $A_n$  позволяет учесть структурно-текстурные особенности исследуемого угольного пласта, коэффициент пористости породы  $K_n$  показывает трещинную пористость угля, Структурный показатель смачиваемости  $m$  зависит от литологического состава породы и учитывает поровую влагу, которая является обязательным компонентом горных пород. Она при определенных условиях может оказать значительное влияние на величину удельного электрического сопротивления. Понижающее воздействие влаги на электрическое сопротивление горных пород обусловлено тем, что ее сопротивление много меньше сопротивления большинства горных пород. Пористость и влажность горных пород связаны между собой. При увеличении пористости угля может и увеличиваться содержание влаги в макро и микропорах. Даже небольшие изменения в содержании влаги приводят к резкому снижению величины удельного электрического

сопротивления. Как показали эксперименты, использование в расчетах температуры угля  $t$  указанных выше показателей позволяет на 15-20% увеличить точность прогноза очага возгорания.

Рассмотрим применение данной формулы на примере пожара в Управлении по подземной добычи угля ОАО Угольная компания «Южный Кузбасс» (г. Междуреченск) шахта «Ольжерасская-Новая».

При отработке лавы 1 выемочного участка проветривание осуществлялось по комбинированной схеме проветривания с частичным отводом метановоздушной смеси газоотсасывающим вентилятором через все выработанное пространство. При снижении темпов подвигания очистного забоя произошло самовозгорание угля в выработанном пространстве, что было зафиксировано в результате анализа проб воздуха рудничной атмосферы.

С целью уточнения местоположения самовозгорания угля была произведена оценка эндогенной пожароопасности выемочного участка.

Обследование методом ЭДЗ показало, что температура вмещающих пород ( $t_0$ ) составляет  $11^{\circ}\text{C}$ , а относительная разность потенциалов ( $U_{\text{отн}}=6,5$ , при  $\Delta U=6,5$  мВ и  $\Delta U_{\text{фон}}=1,0$  мВ). Определенные ранее эмпирические константы для углей Кузбасса составляли:  $C=500$ ;  $N_1=0,13$ ;  $N_3=4,5$ ; для данного пласта угля:  $P_{\text{П}}=0,083$ ;  $A_{\text{П}}=0,7$ ;  $m=2$ ,  $K_{\text{П}}=0,35$ . При значении запрещенной зоны  $Q=13 \cdot 10^{-19}$  Дж и постоянной Больцмана  $K=1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/град прогнозируемое значение температуры угля в скоплении составляет:

$$t = t_0 + N_1 \times Q \times \ln U_{\text{отн}} / [k \times (P_{\text{П}} \times \frac{A_{\text{П}}}{K_{\text{П}}^m} \times C - N_3 \times \ln U_{\text{отн}})] = 11 + 0,12 \times 13 \times 10^{-19} \times \ln 6,5 /$$
$$[1,38 \times 10^{-23} \times (500 \times 0,083 \times 0,7 / 0,35^2 - 4,5 \times \ln 6,5)] = 104^{\circ}\text{C}$$

По результатам исследования своевременно определено местоположение угольного скопления с повышенной температурой, что позволило в короткие сроки предотвратить его возгорание и обеспечить безопасные условия работы шахтеров по дальнейшему ведению горных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров в шахтах Кузбасса. - Кемерово, 2007. - 66 с.

2 Патент 2365759 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> E21F 5/00. Способ прогноза эндогенной пожароопасности при подземной разработке пластов угля, склонных к самовозгоранию / Каминский А.Я., Потапов П.В., Славолубов В.В.; заявители и патентообладатели Каминский А.Я., Потапов П.В. - № 2007110006/03; заявл. 19.03.07; опубл. 10.12.08. - Бюл. № 34.

3 Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород / Ржевский В.В., Новик Г.Я. - М.: Недра, 1967. - 284 с.

4 Патент № 2514017 Российская Федерация, МПК E21F 5/00 Способ оценки эндогенной пожароопасности при подземной разработке угольных пластов / П.А. Шлапаков, А.Ю. Ерастов, С.В. Сороковых, А.М. Рыков - заявл. №2013102323/03, 17.01.2013; опубл. 27.04.2014. - Бюл. № 12.

Представлен метод оценки эндогенной пожароопасности при разработке угольных пластов способом определения температуры угольного скопления в отработанных и изолированных пространствах на пологих и наклонных пластах угля, склонных к самовозгоранию.

*Ключевые слова:* УГОЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, ЭНДОГЕННАЯ ПОЖАРООПАСНОСТЬ, ЭНДОГЕННЫЙ ПОЖАР, ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ СЪЕМКА, КОМПЛЕКС ИССЛЕДОВАНИЙ, ТЕМПЕРАТУРА УГОЛЬНОГО СКОПЛЕНИЯ, ВЫРАБОТАННОЕ ПРОСТРАНСТВО, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, БЕЗОПАСНЫЕ УСЛОВИЯ ТРУДА.

UDC 622.822.22

P. A. Shlapakov (engineer, head of laboratory of the OJSC "NTS VostNII")

A. I. Fomin (d-R tekhn. Sciences, Professor of ATIP of the "Kuzbass state technical University named after T. F. Gorbachev")

S. V. Cherdantsev (d-R tekhn. Sciences, leading scientific employee of OJSC "NTS VostNII")

A. Y. Erastov (engineer, senior researcher of OJSC "NTS VostNII")

#### IMPROVEMENT OF THE METHOD TO ASSESS ENDOGENOUS FIRE RISK DURING THE DEVELOPMENT OF COAL SEAMS BY UNDERGROUND METHOD

A method is presented for evaluating endogenous fire hazard in coal mines the method of determining the temperature of the coal accumulations in the exhaust and isolated spaces on steep and inclined coal seams prone to spontaneous combustion.

Key words: COAL INDUSTRY, ENDOGENOUS FIRE ENDOGENOUS FIRE, a GEOPHYSICAL SURVEY, a set of STUDIES, the TEMPERATURE of the COAL ACCUMULATIONS, the mined-out SPACE, EFFICIENCY, SAFE working CONDITIONS.