

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.69.88.002

УДК 622.822.2

© П.А. Шлапаков, А.Ю. Ерастов, С.А. Хаймин,
К.С. Лебедев, В.В. Колыхалов, Е.А. Шлапаков, 2019



П.А. ШЛАПАКОВ

канд. техн. наук,
заведующий лабораторией
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: shlapak1978@mail.ru



К.С. ЛЕБЕДЕВ

научный сотрудник
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово



А.Ю. ЕРАСТОВ

старший научный сотрудник
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: erastov_a_y@mail.ru



В.В. КОЛЫХАЛОВ

старший научный сотрудник
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: X77kem@mail.ru



С.А. ХАЙМИН

старший научный сотрудник
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: hsa007@mail.ru



Е.А. ШЛАПАКОВ

научный сотрудник
АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово
e-mail: lairxx@yandex.ru

ЭНДОГЕННАЯ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ НА УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КУЗБАССА

В статье представлен анализ применения основных существующих методов обнаружения эндогенных пожаров в выработанных пространствах: газоаналитический метод и подпочвенная газовая съемка. Описан новый метод обнаружения эндогенных пожаров — геофизический, разработанный АО «НЦ ВостНИИ» совместно с Институтом нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН и основанный на применении шахтной электроразведки, позволяющий с высокой точностью определять местонахождение пожара.

Ключевые слова: САМОНАГРЕВАНИЕ УГЛЯ, САМОВОЗГОРАНИЕ УГЛЯ, ЭНДОГЕННЫЙ ПОЖАР, ЭНДОГЕННАЯ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МЕТОД ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ, ЗОНДИРОВАНИЕ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ (МЕТОД ЗСБ).

Введение

В последние годы наблюдаются качественные изменения в развитии угольной промышленности, что обусловлено ростом технико-экономических показателей за счет ввода новейшего горношахтного оборудования и улучшения технологии очистных и подготовительных работ. Несмотря на это, можно отметить факторы, снижающие темп роста добычи угля подземным способом. Главный из них — процесс самонагревания угля, обусловленный химической кинетикой протекания реакций окисления углеродосодержащих веществ и процессами тепломассопереноса. Опасность самонагревания угля состоит, во-первых, в том, что оно способно скачкообразно переходить в возгорание угольных целиков и породоугольных скоплений. Во-вторых, к настоящему времени еще не разработан универсальный и надежный способ определения положения очагов самонагревания. В-третьих, очаги самонагревания, характеризующиеся повышенной температурой, способны существенно увеличить температуру пылегазовоздушных смесей (ПГВС), а источники зажигания, возникающие от трения работающих частей машин, механизмов и инструментов, могут вызвать зажигание и горение ПГВС в горных выработках.

В связи с этим борьба с эндогенными пожарами в настоящее время имеет особую важность. Согласно данным по Кузбассу, из-

за увеличения суточных нагрузок возникает необходимость совершенствования имеющихся мер профилактики самовозгорания угля. Эндогенные пожары теперь отмечаются при скоростях подвигания 190 м/мес. и отсутствии потерь на тех пластах, которые ранее не были отнесены к склонным к самовозгоранию. В качестве примера укажем случай самовозгорания угольной пыли у газоотсасывающей скважины пласта Толмачевского в 2011 г. (шахта «Полысаевская»).

Согласно статистическим данным по аварийности на кузбасских шахтах, в период 1992–2018 гг. было зарегистрировано 312 пожаров, в числе которых 220 — эндогенные. За 2001–2010 гг. число пожаров в сравнении с 1990–2000 гг. снизилось со 195 случаев до 51. Данный факт говорит о значительном повышении уровня промышленной безопасности на кузбасских шахтах. Но за 2011–2018 гг. снова наблюдался рост пожаров — 76 случаев. Это можно объяснить значительным увеличением объема угледобычи и интенсификацией горных работ.

Следует отметить, что количество эндогенных пожаров в соответствии с указанной статистикой остается очень высоким. Так, если в 1990–2000 гг. доля эндогенных пожаров — 67 %, то в 2011–2018 гг. она составляет 76 %.

Оценка эффективности применяемых способов тушения очагов самовозгорания показала, что ликвидация очага путем изоля-

ции требует длительного времени, зависящего от температуры и размеров очага. По мере снижения температуры падает и скорость охлаждения скопления. Так, если для снижения температуры очага самонагревания с 573 до 493 К (остывания очага) потребовалось 20 сут, то спад температуры от 383 до 303 К продолжался 930 сут. Для полной ликвидации очага эндогенного пожара таким пассивным способом необходимо более 1 000 сут. Причем в случае наличия незначительного притока воздуха наступает термостабилизация очага с сохранением повышенной температуры в течение длительного времени [1].

Активным способом ликвидации очага самовозгорания является подача в очаг азота со скоростью $2,8 \cdot 10^{-4}$ м/с, который интенсифицирует процесс остывания угля и уменьшает срок до 260 сут. В общем случае время охлаждения зависит от скорости движения инертного газа, температуры очага, размеров прогретой зоны. Более эффективным охлаждающим действием обладает пена. Моделирование хода тушения пожара показало, что для ликвидации очага с температурой 453 К необходимо 50 ч непрерывной подачи пены кратностью 10 со скоростью $1,22 \cdot 10^{-4}$ м/с [1].

Таким образом, результаты исследований показывают, что ликвидация эндогенных пожаров требует активных способов. Но для эффективного применения данных способов требуется информация о местонахождении и параметрах очага. Указанная информация необходима и при тушении очагов самовозгорания вследствие их способности к перемещению и образованию многоочаговых пожаров [1].

Методы обнаружения эндогенных пожаров в выработанных пространствах

Существующие методы обнаружения очагов самовозгорания в выработанном пространстве не всегда являются эффективными. Представим основные методы обнаружения эндогенных пожаров, возникающих в выработанных пространствах.

1. Газоаналитический метод

Данный метод основан на анализе проб воздуха, отобранных в контрольных точках, либо при непосредственном замере содержания контрольных газов переносными или стационарными приборами как эпизодического, так и непрерывного действия.

Назовем главный недостаток газоаналитического метода.

Пожарные индикаторные газы оксид углерода, водород, этилен, ацетилен легче воздуха. При выделении их в выработанном пространстве действующей лавы за пределами призабойной активно проветриваемой зоны происходит их накопление в куполах обрушения и в деформированных до образования трещиноватости слоях вмещающих пород. При разработке мощных пологих и наклонных пластов высота зоны обрушения, как известно, принимается около 5 вынимаемых мощностей. Отбор проб воздуха из этих зон возможен только через контрольные скважины, пробуренные, как правило, с земной поверхности в купол обрушения. Таких специальных контрольных скважин в пределах действующего выемочного участка бурится не более одной. Как известно, очаг самовозгорания угля формируется в небольшой по своим размерам зоне, приуроченной к оптимальным для этого аэротермодинамическим условиям. Т. е. в этой зоне имеется скопление разрыхленного угля (2-3 т), достаточное для наличия развитой химически активной поверхности; скорость воздуха достаточно велика для подвода необходимого количества кислорода, но не превышает верхней границы интервала пожароопасных скоростей, при которых вынос тепла утечками воздуха преобладает над выделением его в процессе окисления угля [2].

В связи с тем, что окись углерода и водород «всплывают» в купола обрушения и трещины в зоне, расположенной непосредственно над формирующимся очагом, значительная часть их не попадает в утечки воздуха, перемещающиеся к контрольным точкам, в том числе и контрольным скважинам, в которых отбираются пробы. Они обнаруживаются периодически при резком падении атмосферного

давления на земной поверхности, когда вследствие расширения воздуха скопившиеся в куполах обрушения газы CO и H₂ попадают в поток утечек воздуха. Однако зачастую в этом случае они искажают картину в том смысле, что их высокое содержание может быть обусловлено, например, длительностью процесса их накопления при низкотемпературном окислении потерь угля [2].

В качестве примера можно привести результаты измерений концентраций оксида углерода на пласте Безымянном шахты «Разрез Инской». Выемочный участок № 607 обрабатывался системой ДСО (длинными столбами по простиранию с обрушением пород кровли). В процессе планового отбора проб воздуха было зафиксировано повышение содержания оксида углерода до 0,0103 %. Между тем повышения температуры угля и воздуха в выработанном пространстве выемочного участка не обнаружено. Впоследствии выемочный участок был доработан.

2. Подпочвенная газовая съемка

При проведении подпочвенной газовой съемки фиксируется выделение индикаторного газа радона на земную поверхность со всех пластов свиты на исследуемом участке. Погрешности в результаты данного метода вносятся вследствие того, что радон имеет плотность более 9 кг/м³, т. е. в 7 раз тяжелее газозооной смеси рудничной атмосферы. В связи с этим он может выноситься на поверхность за счет диффузии и спутных фильтрационных потоков других газов, движение последних не всегда направлено «вертикально вверх», т. е. при локации очагов эндогенных пожаров допускается существенное отклонение от их фактического местоположения. Кроме этого в результате газовыделения с под- и надработанных пластов всей свиты может быть допущена погрешность в количественной оценке и классификации возникшей ситуации [2].

Данные исследований [3] показывают, что всплеск выделения радона из угля и вмещающих пород начинается с 30–40 °С и достигает максимума при 90–120 °С. Объемная активность радона в воздухе увеличивается в 2–3

раза. Дальнейшее повышение температуры приводит к снижению объемной активности радона (см. рис. 1).

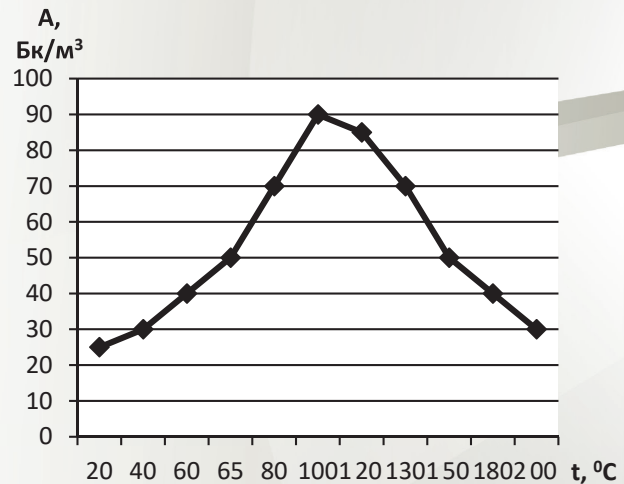


Рис. 1. График зависимости объемной активности радона от температуры очага возгорания

Указанное свойство радона не позволяет точно определять местоположение очага возгорания, что обусловлено превышением температуры 120 °С в очаге возгорания, в то время как температура вмещающих пород на значительном удалении может находиться в указанных интервалах.

Доказано, что размеры и концентрации газовых аномалий в приповерхностном слое в наибольшей степени зависят от глубины очага. Увеличение его глубины в исследованных пределах приводит к возрастанию диаметра газовой аномалии в приповерхностном слое земной поверхности. Одновременно с этим снижается максимальная относительная концентрация газа в эпицентре аномалии. Функциональную зависимость диаметра газовой аномалии и относительной концентрации выделяющегося газа от глубины можно описать формулами [3]

$$D = \exp(0,6751n(H) - 0,162);$$

$$C_m / C_0 = 1 / (41,91^{-6} \times (H)^2 + 0,2661n(H)),$$

где D — диаметр газовой аномалии, м;

H — глубина залегания источника газовыделения, м; C_m — максимальная относительная концентрация выделяющегося газа в аномалии; C₀ — относительная концентрация выделяющегося газа в источнике.

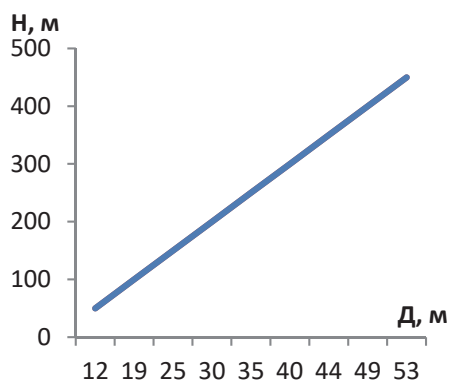


Рис. 2. График зависимости диаметра газовой аномалии от глубины расположения очага нагревания

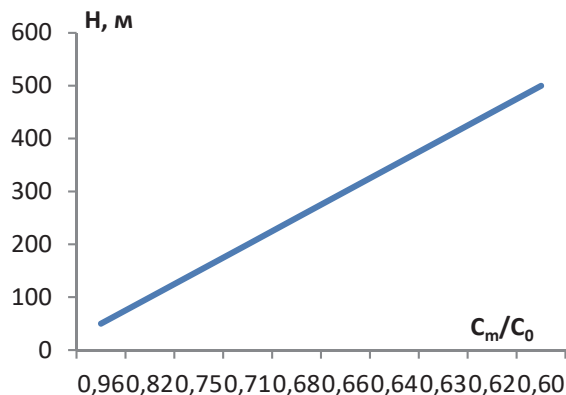


Рис. 3. График зависимости снижения концентрации газа на поверхности (по отношению к источнику) в зависимости от глубины расположения очага нагревания

На графиках (см. рис. 2, 3) приведена зависимость диаметра газовой аномалии и концентрации газов на поверхности от глубины расположения источника самонагревания. Как показывают графики, с увеличением глубины до 300 м диаметр газовой аномалии увеличивается до 40 м, а концентрация газа на поверхности снижается на 40 % по отношению к концентрации возле источника [3].

Рекомендуется во время проведения поверхностной газовой съемки изменять размеры сетки в зависимости от предполагаемой глубины залегания очага, что подтверждается результатами замеров. При глубине залегания угольных пластов до 100 м целесообразно проводить поиск газовых аномалий по сетке с шагом 10 м, а при глубине 100–200 м можно делать замеры через 20 м. Это расстояние следует увеличить до 30 м при глубине очага 200–300 м. Сгущать сетку необходимо около точек с повышенным содержанием газа для уточнения параметров аномалии [3].

Применение приповерхностной газовой съемки демонстрирует возможность случаев отклонения газовых аномалий относительно вертикальной проекции подземного очага. В ходе построения математической модели было установлено, что газовая аномалия в почве под действием горизонтальных перепадов давления воздуха становится вытянутой, и происходит ее смещение относительно вертикальной проекции очага.

Увеличение глубины залегания источника вначале приводит к росту размеров газовой аномалии на поверхности до сотен метров. Однако, достигая при некоторой критической глубине максимальной величины, протяженность аномалии начинает уменьшаться. Смещение аномалии на всем исследуемом диапазоне увеличивается, доходя до десятков метров. Максимальная концентрация газа в эпицентре снижается с увеличением глубины источника.

Изменение вентиляционных режимов в шахте, особенно при большой глубине очагов, способствует отклонению выходов газов на поверхность на десятки и даже сотни метров от проекции очага. Резкое смещение газовых аномалий может быть при реверсии вентиляторов. Данный фактор следует учитывать в ходе установления степени опасности источников выделения токсичных и горючих газов на шахтах и рудниках для располагающихся на поверхности жилых и административных зданий.

С ростом проницаемости горных пород над источником газовой выделения наблюдается увеличение размера газовой аномалии на поверхности и концентрации выделяющегося газа в эпицентре, но величина смещения эпицентра от проекции очага практически не изменяется.

Учитывая сказанное, можно сделать вывод, что проведение подпочвенной радоно-

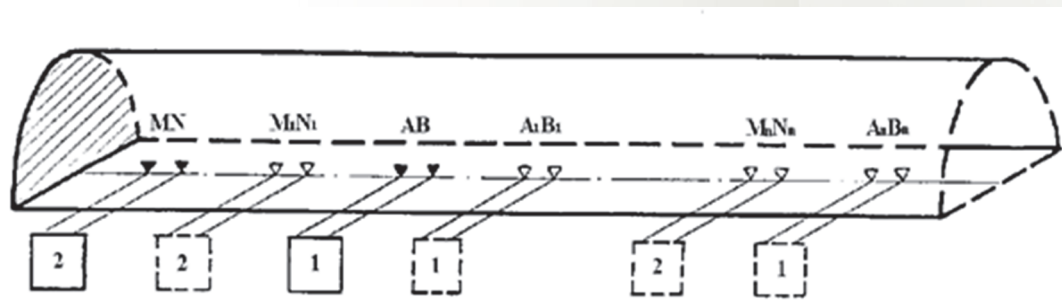
вой съемки не дает возможности установить локацию очага самонагрева (самовозгорания) и локально воздействовать на него.

3. Геофизический метод

В настоящее время начинает активно применяться геофизический метод обнаружения очагов эндогенных пожаров в выработанных пространствах [4]. В ходе применения данного метода определяется электросопротивление горных пород, изменяющееся в зоне нагрева.

Комплекс исследований состоит из дипольных методов электроразведки — дипольного электропрофилирования (ДЭП) и экваториально-дипольного электропросвечивания (ЭДЭП) [5].

Сущность метода ДЭП заключается в том, что электрическое поле в массиве горных пород создается и изучается в одной и той же выработке с помощью питающего (АВ) и приемного (МN) диполей, расположенных друг за другом (рис. 4) [1].



1 — генератор; 2 — приемник; А, В — питающие электроды; М, N — приемные электроды

Рис. 4. Схема метода дипольного электропрофилирования

Сущность метода ЭДЭП заключается в том, что электрическое поле создавалось и регистрировалось синхронно перемещаемыми питающим и измерительным диполями,

расположенными в разных выработках и ориентированными по высоте выработки. Шаг перемещения при наблюдениях составлял 5-10 м (рис. 5) [1].

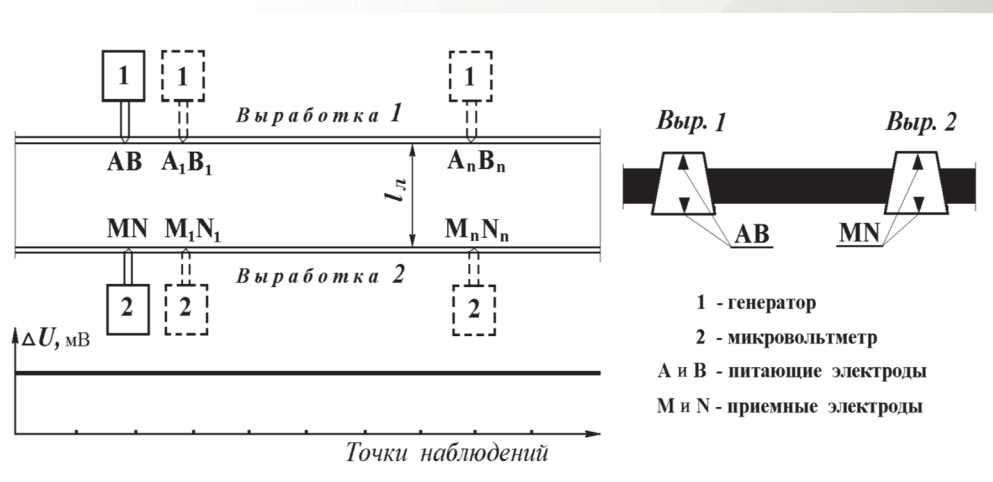


Рис. 5. Схема метода экваториально-дипольного электропросвечивания

В настоящее время специалистами АО «НЦ ВостНИИ» совместно с «Институтом нефтегазовой геологии и геофизики» СО РАН разработан инновационный метод обнаружения подземных пожаров с поверхности

шахтного поля (патент РФ на изобретение № 2631516) [6].

Предложенный способ обнаружения подземных пожаров реализуется на основе электромагнитного метода электроразведки —

зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ). Для этого на земной поверхности импульсным переключением тока в источнике возбуждают поле переходных процессов.

В результате промышленных испытаний было обнаружено местоположение очагов возгорания на ряде угольных шахт Кузбасса: шахта «Алардинская», шахта «Колмогоровская-2», шахта «Талдинская-Западная», шахта им. А.Д. Рубана.

Выводы

1. Проведен анализ статистики возникновения пожаров на угольных шахтах Кузбасса в период с 1992 г. по настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубицын А.А., Шлапаков П.А., Аксенов В.В., Прокопенко С.А. Применение геофизических методов для борьбы с эндогенными пожарами // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2012. № 1. С. 84–88.
2. Каминский А.Я., Потапов П.В., Макаров Н.В., Шлапаков П.А., Колыхалов В.В., Ерастов А.Ю., Хаймин С.А. Мониторинг эндогенной пожароопасности выработанного пространства отработанных и действующих выемочных участков на пологих и наклонных пластах угля // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2011. № 1. С. 53–60.
3. Портола В.А. Обоснование и разработка способов обнаружения, локализации и контроля за ходом тушения очагов самовозгорания угля в шахтах: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Кемерово, 2002. 39 с.
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по предупреждению эндогенных пожаров и безопасному ведению горных работ на склонных к самовозгоранию пластах угля». Сер. 05. Вып. 46. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016. 56 с.
5. Ли Хи Ун, Черданцев С.В., Попов В.Б., Шлапаков П.А., Ерастов А.Ю. Опыт применения шахтной электроразведки для обнаружения очага самонагревания угля на шахте «Ольжераская-Новая» // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 1. С. 182–188.
6. Пат. 2631516 Российская Федерация: МПК E21F 5/00. Способ обнаружения подземных пожаров / Шлапаков П.А., Ерастов А.Ю., Хаймин С.А., Оленченко В.В. № 2016126243/03; заявл. 29.06.2016; опубл. 25.09.2017. Бюл. № 27.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.69.88.002

UDC 622.822.2

**© P.A. Shlapakov, A.Yu. Erastov, S.A. Khaymin,
K.S. Lebedev, V.V. Kolikhalov, E.A. Shlapakov, 2019**

P.A. SHLAPAKOV

Candidate of Engineering Sciences,
Laboratory Head
JSC «NC VostNII», Kemerovo
e-mail: shlapak1978@mail.ru

K.S. LEBEDEV

Researcher
JSC «NC VostNII», Kemerovo
e-mail: shlapak1978@mail.ru

A.YU. ERASTOV

Senior Researcher
JSC «NC VostNII», Kemerovo
e-mail: erastov_a_y@mail.ru

V.V. KOLIKHALOV

Senior Researcher
JSC «NC VostNII», Kemerovo
e-mail: X77kem@mail.ru

S.A. KHAYMIN

Senior Researcher
JSC «NC VostNII», Kemerovo
e-mail: hsa007@mail.ru

E.A. SHLAPAKOV

Senior Researcher
JSC «NC VostNII», Kemerovo
e-mail: lairxx@yandex.ru

ENDOGENOUS FIRE SAFETY IN KUZBASS COAL ENTERPRISES

The article presents the analysis of the application of the main existing methods for detecting endogenous fires in workings: the gas analytical method and the gas measuring. A new method of detecting endogenous fires is described. This method is developed by JSC «NC VostNII» and Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. This geophysical method is based on the use of mine electrical prospecting and allows determining the fire location with high accuracy.

Keywords: COAL SPONTANEOUS HEATING, COAL IGNITION, ENDOGENOUS FIRE, ENDOGENOUS FIRE SAFETY, ELECTRIC PROSPECTING METHOD, NEAR-FIELD TRANSIENT ELECTROMAGNETIC SOUNDING.

REFERENCES

1. Trubitsyn A.A., Shlapakov P.A., Aksenov V.V., Prokopenko S.A. Application of geophysical methods for endogenous fires suppression. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti [Industrial Safety]. 2012. № 1. pp. 84–88. (In Russ.).
2. Kaminsky A.Y., Potapov P.V., Makarov N.V., Shlapakov P.A., Kolykhalov V.V., Yerastov A.Y., Khaymin S.A. Monitoring of endogenous fire hazard of gob areas in the worked out and acting coal extraction sections at flat and steep coal seams. Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti [Industrial Safety]. 2011. № 1. C. 53–60. (In Russ.).
3. Portola V.A. Substantiation and development of coal spontaneous ignition detection, location, and monitoring in coal mines: thesis... Dr. Eng. Sci. diss. Kemerovo. 2002. 39 p. (In Russ.).
4. Instruction on the prevention of the endogenous fires and safe conducting mining operations in coal seams prone to self-combustion: Federal Norms and Regulations in the Field of Industrial Safety. Vol 05. Iss. 46. Moscow: ZAO NTTs PB Publ. 2016. 22 p. (In Russ.).
5. Lee Khi Un, Cherdantsev S.V., Popov V.B., Shlapakov P.A., Erastov A.Yu. Journal of Mining Science. Electrical Prospecting to Detect Places of Spontaneous Heating in Olzherasskaya-Novaya Coal Mine: Case Study. Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh [Journal of Mining Sciences]. 2017. № 1. pp. 182–188. (In Russ.).
6. Shlapakov P.A., Erastov A.Yu., Khaymin S.A., Olenchenko V.V. The method for underground fire detection. Patent RF № 2631516. Applied: June 29, 2016. Published: August 25, 2017. Bulletin № 27. (In Russ.).