

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.47.46.005

УДК 622.272:516.02

© П.А. Шлапаков, 2022

**П.А. ШЛАПАКОВ**

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



## ОБНАРУЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ НА УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КУЗБАССА

*Рассмотрены геофизические методы диагностирования очагов самонагревания в выработанных пространствах на пологих и наклонных пластах угля шахт Кузбасса. Более подробно обсужден метод обнаружения подземных пожаров, реализованный на основе электромагнитного метода электроразведки — зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ), который, по мнению автора, является наиболее прогрессивным методом обнаружения и профилактики эндогенных пожаров. Проверка данного метода на шахтах Кузбасса показала его высокую эффективность.*

**Ключевые слова:** УГОЛЬНЫЕ ПЛАСТЫ, ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ, ВЫРАБОТАННОЕ ПРОСТРАНСТВО, ОЧАГИ САМОНАГРЕВАНИЯ УГЛЯ, ЭНДОГЕННЫЕ ПОЖАРЫ, МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ, ШАХТНАЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА, МЕТОД ЭКВАТОРИАЛЬНО-ДИПОЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРОСВЕЧИВАНИЯ, МЕТОД ЗОНДИРОВАНИЯ СТАНОВЛЕНИЕМ ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ.

В последние десятилетия добыча угля подземным способом характеризуется стабильным повышением технико-экономических показателей, что обусловлено использованием современного горношахтного оборудования и совершенствованием технологии очистных и подготовительных работ.

Однако существует ряд факторов, сдерживающих увеличение добычи угля подземным способом. Основным из них является 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 породугольных скоплений. Во-вторых, к на-

стоящему 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, а источники зажигания, возникающие от трения работающих частей машин, механизмов и инструментов, могут вызвать зажигание и горение ПГВС в горных выработках.

В этой связи борьба с эндогенными пожарами в шахтах приобрела особую значимость.

По данным статистики аварийности [1], на шахтах Кузбасса в период с 1992 по 2021 гг. произошло 312 аварий рода «Пожар», в том числе 220 эндогенных. В период с 2001 по 2010 гг. количество пожаров, по сравнению с

90-ми годами, снизилось в разы — 51 против 195, что свидетельствует о повышении уровня промышленной безопасности на шахтах Кузбасса. Однако в период с 2011 по 2021 гг. количество пожаров на шахтах Кузбасса вновь возросло до 78 случаев. Это можно объяснить значительным увеличением количества добытого угля и интенсификацией горных работ.

Следует отметить, что количество эндогенных пожаров в данной статистике остается очень высоким. Так, если в девяностые годы доля эндогенных пожаров составляла 67 % от общего количества возгораний, то в период с 2011 г. по настоящее время — 76 %.

Оценка эффективности применяемых способов тушения очагов самовозгорания показала, что ликвидация очага путем изоляции требует длительного времени, зависящего от температуры и размеров очага. По мере снижения температуры падает и скорость охлаждения скопления. Так, если для снижения температуры 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 1000 сут. Причем в случае наличия незначительного притока воздуха наступает термостабилизация очага с сохранением повышенной температуры в течение длительного времени [2].

Из вышесказанного следует, что для быстрой ликвидации очагов необходимо применение активных способов. Однако их эффективное использование невозможно без информации о местонахождении очага и его параметрах. Такая информация требуется и в ходе тушения очагов из-за их способности перемещаться и образовывать многоочаговые пожары.

Анализ работы действующей системы обнаружения эндогенных пожаров, возникающих в выработанном пространстве, показывает низкую эффективность существующих способов [3]. Как отмечено в данной работе, наиболее эффективным, в части точности обнаружения местоположения очага нагревания (самовозгорания), является метод геофизиче-

ский метод обнаружения и локации эндогенных пожаров в выработанных пространствах [3, 4]. Однако, как показывает практика, применение данного метода не всегда возможно. Это обусловлено тем, что для использования данного метода требуется непосредственное нахождение специалистов в горных выработках, в районе возникновения пожара, что зачастую не представляется возможным, ввиду высокой опасности развития аварии, или полной изоляции горных выработок, прилегающих к пожарному участку.

Ранее, в ходе проведенных на шахтах Кузбасса исследований, было установлено, что участки повышенной температуры породно-угольного массива, вызванные очагами горения, выделяются на картах распределения удельного электрического сопротивления (УЭС) аномалиями низкого электрического сопротивления. Петрофизическими предпосылками для выделения очагов горения по УЭС является низкое (около 5 Ом·м) электрическое сопротивление воды при температуре близкой к температуре кипения [5]. При разработке метода обнаружения подземного пожара был использован зарубежный опыт обнаружения очагов возгорания на незначительных глубинах (10–15 м от поверхности земли) [6].

Также было установлено, что вблизи очагов горения на кривых ЗСБ проявляется влияние трёхмерной геологической неоднородности, выраженное в появлении ложного проводящего слоя в геоэлектрической модели. Это приводило к тому, что на геоэлектрическом разрезе в области горения нарушалась горизонтально-слоистая структура разреза, что тоже использовалось в качестве интерпретационного критерия для выделения области пожара.

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) [7].

Предложенный способ обнаружения подземных пожаров реализуется на основе элек-

тромагнитного метода электроразведки — зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ). На поверхности шахтного поля в пределах участка исследований разбивается сетка и растягивается квадратная генераторная петля размером 200 × 200 м. Внутри генераторного контура располагают приёмную петлю размером 50 × 50 м. В генераторную петлю подают ток. При этом в ней создаётся электромагнитное поле.

Импульсным переключением тока в источнике возбуждают поле переходных процессов. В качестве источника могут использоваться как горизонтальный электрический диполь (заземлённая электрическая линия), так и вертикальный магнитный диполь (незаземлённая токовая петля). В роли приёмника при этом также может выступать и заземлённая электрическая линия, и незаземлённая токовая петля. При мгновенном отключении электрического тока в генераторной линии (петле) измеряемое напряжение в приёмной линии (петле) спадает до нуля не мгновенно, а постепенно, изменяясь достаточно сложным образом. Это объясняется тем, что в момент отключения тока в проводящих областях разреза индуцируются вторичные токи. Переменное магнитное поле вторичных токов индуцирует в приёмной петле ЭДС, пропорциональное скорости магнитного потока. В начальный момент времени (на малых временах измерения) вторичные токи распределяются в приповерхностном слое разреза. Затем, с течением времени, (на больших временах измерения) токи начинают проникать в более глубокие слои, постепенно затухая по мере удаления от источника.

Таким образом, глубина проникновения поля переходных процессов в землю, определяется временем, прошедшим с момента переключения тока в генераторной линии (петле). Это свойство, известное ранее, позволяет проводить зондирования, изучая зависимость компонент измеряемого электромагнитного поля от времени задержки.

В результате промышленных испытаний было обнаружено местоположение очагов возгорания на ряде угольных шахт Кузбасса: шахта «Алардинская», шахта «Колмогоров-

ская-2», шахта «Талдинская-Западная», шахта им. А.Д. Рубана.

В настоящей статье более подробно рассмотрим результативность применения данного способа на примере обнаружения и ликвидации подземного пожара на шахте «Талдинская-Западная».

07.02.2015 г. в первую смену (14.00) заместитель начальника участка ВТБ зафиксировал выход теплой воды с перемычки № 141, теплое состояние замерной трубы в теле перемычки № 122 и превышение предельно допустимой концентрации оксида углерода.

Проведенный анализ состояния горных выработок позволил определить очаг возможного самонагревания угля, связанный с технологией отработки лавы 68-04 в ноябре 1999 года. При завершении очистных работ в месте останова лавы 6804 предположительно произошло отслоение и разрушение разрыхленного угля, отжатого от краевых частей целиков у демонтажной камеры под воздействием опорного давления выработанного пространства лавы 6804.

В связи с большим сроком поддержания горных выработок (демонтажный ствол пл. 68) произошло образование деформации трещин в целиковой части массива, за счет подрботки демонтажной камеры 68-04 лавой 67-03, что привело к вторичной просадке и подсушению выработанного пространства лавы 6804 и началу процесса самонагревания.

В связи с тем, что отсутствовала возможность провести геофизические исследования выработанного пространства пласта 68 из горных выработок, было принято решение провести опытно-промышленное испытание нового метода обнаружения подземных пожаров с дневной поверхности. Данные работы были выполнены силами ОАО «НЦ ВостНИИ» и ИНГТ СО РАН.

Геофизические исследования выполнялись методом зондирования становления поля (ЗСБ). ЗСБ — метод электромагнитного зондирования, основанный на изучении поля переходных процессов, которое возбуждается в земле при импульсном переключении тока в источнике.

Карта распределения УЭС по глубине 95–100 м  
Масштаб 1: 2500

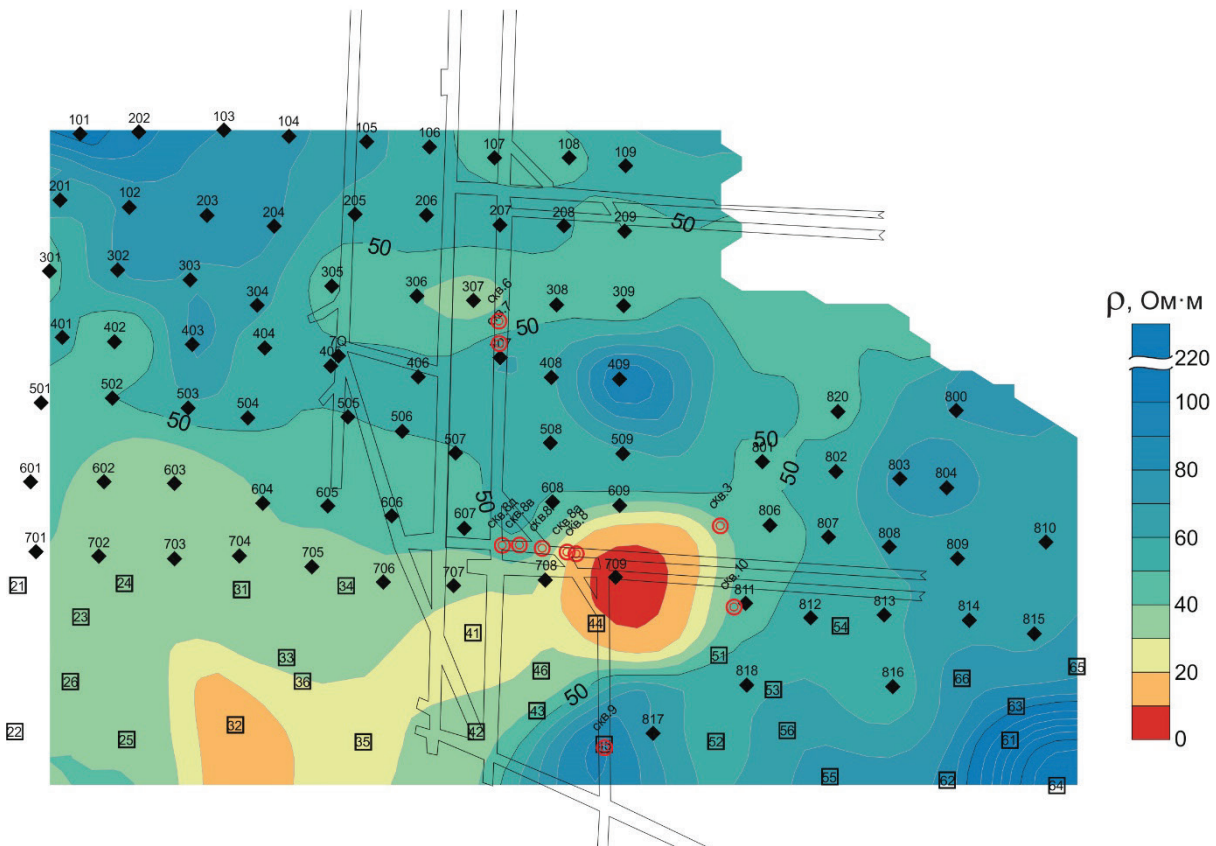


Рис. 1. Карта изоОм на глубине 95–100 м

По результатам проведенных исследований было установлено месторасположение очага самовозгорания на глубине порядка 100 м.

В результате выполнения мероприятий по ликвидации очага самовозгорания (после выполнения мероприятий по подтоплению очага возгорания) в контрольных точках выработанного пространства пласта 68 индикаторные пожарные газы оксид углерода и во-

дород в период после 25.03.15 эпизодически фиксировались на уровне  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  %. Непредельные углеводороды: этилен, ацетилен и пропилен не обнаружены.

По результатам проведенного анализа проб воздуха рудничной атмосферы из аварийного участка было принято решение о проведении повторных геофизических исследований, в результате которых была подтверждена ликвидация очага возгорания рис. 2.

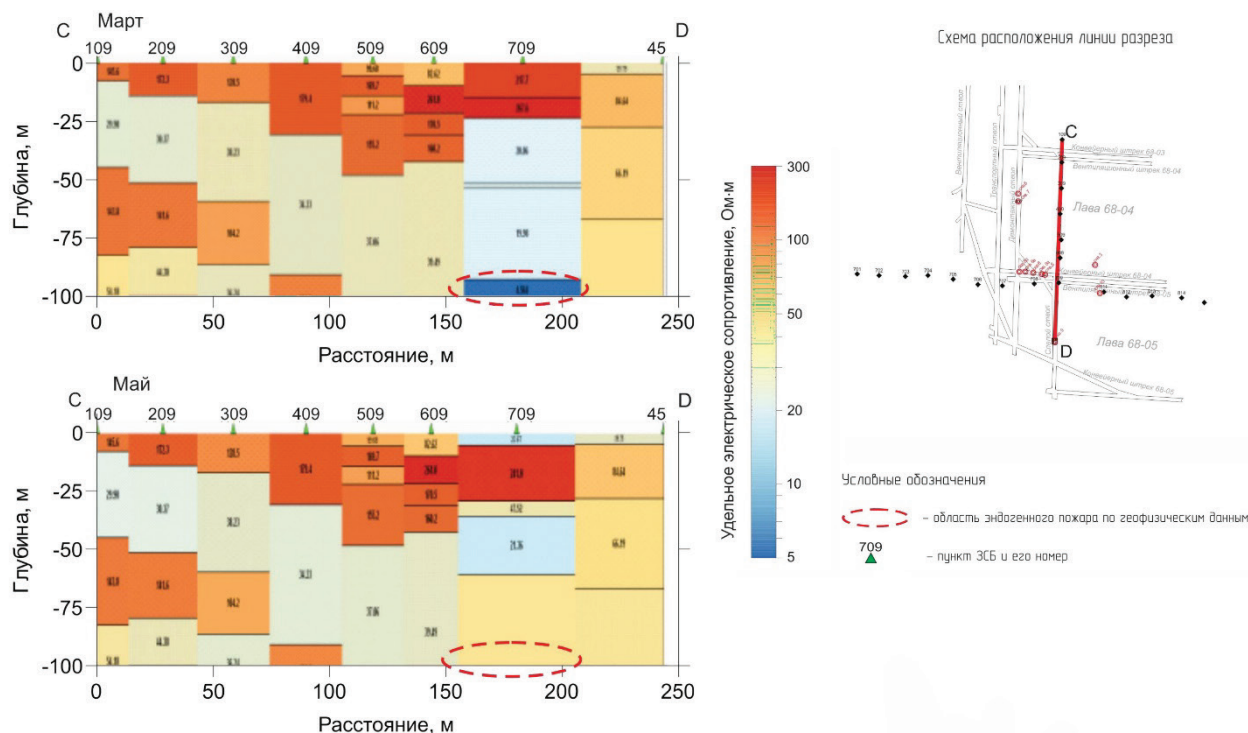


Рис. 2. Сравнение результатов исследований, выполненных в марте и мае 2015 г.

В заключении хотелось бы отметить, что своевременное и точное определение местоположения очага возгорания позволило ликвидировать его в кратчайшие сроки и снизить экономический ущерб от аварии. Таким образом, применение современных геофизи-

ческих методов исследований позволяет обнаруживать и устанавливать местоположение подземных пожаров с высокой точностью, что положительно сказывается на процессе ликвидации данных пожаров.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шлапаков П.А., Ерастов А.Ю., Хаймин С.А., Лебедев К.С., Колыхалов В.В., Шлапаков Е.А. Эндегенная пожаробезопасность на угольных предприятиях Кузбасса // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2019. № 1. С. 14–21.
2. Портола В.А. О перемещении очага эндогенного пожара в условиях сокращения утечек воздуха // Локализация и тушение подземных пожаров. 1983. Вып. 10. С. 76–79.
3. 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 «Ольжераскская-Новая» // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 1. С. 182–188.
4. Патент 2514017 Российская Федерация, МПК E21F 5/00 Способ оценки эндогенной пожароопасности при подземной разработке угольных пластов / Шлапаков П.А., Ерастов А.Ю., Сороковых С.В., Рыков А.М.; патентообладатель: Шлапаков Павел Александрович — № 2013102323/03; заявл. 17.01.2013; опубл. 27.04.2014. Электронный бюллетень № 12.
5. Вахромеев Г.С., Ерофеев Л.Я., Зинченко В.С., Номоконова Г.Г. Петрофизика. Учебник для вузов. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1997. 462 с.
6. Karaoulis M., Revil A., Mao D. Localization of a coal seam fire using combined self-potential and resistivity data // International Journal of Coal Geology. 2014. No. 128–129. P. 109–118.
7. Патент 2631516 Российская Федерация, МПК E21F 5/00. Способ обнаружения подземных пожаров / Шлапаков П.А., Ерастов А.Ю., Хаймин С.А., Оленченко В.В.; патентообладатель: АО «Научный центр ВостНИИ по безопасности работ в горной промышленности»

(АО «НЦ ВостНИИ») — № 2016126243; заявл. 29.06.2016; опубл. 25.09.2017. Электронный бюллетень № 27.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.47.46.005

UDC 622.272:516.02

© P.A. Shlapakov, 2022

**P.A. SHLAPAKOV**

Candidate of Engineering Sciences,

Head of Laboratory

JSC «NC VostNII», Kemerovo

e-mail: shlapak1978@mail.ru

### DETECTION OF UNDERGROUND FIRES AT KUZBASS COAL PLANTS

*The geophysical methods of diagnosing the foci of self-heating in the developed spaces on the shallow and inclined coal seams of the Kuzbass mines are considered. The method of detecting underground fires is discussed in more detail, implemented on the basis of the electromagnetic method of electrical exploration — probing by the formation of a field in the near zone (ZSB), which, according to the author, is the most progressive method of detecting and preventing endogenous fires. The implementation of this method at the Kuzbass mines has shown its high efficiency.*

Keywords: COAL SEAMS, MINE WORKINGS, EXCAVATED SPACE, COAL SELF-HEATING CENTERS, ENDOGENOUS FIRES, UNDERGROUND FIRE DETECTION METHODS, MINE ELECTRIC EXPLORATION, EQUATORIAL-DIPOLE ELECTRIC ILLUMINATION METHOD, PROBING METHOD NEAR FIELD FORMATION.

### REFERENCES

1. Shlapakov P.A., Erastov A.Yu., Khaimin S.A., Lebedev K.S., Kolykhalov V.V., Shlapakov E.A. Endogenous fire safety at Kuzbass coal enterprises // Bulletin of the VostNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety [Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoj bezopasnosti]. 2019. No. 1. P. 14–21. [In Russ.].
2. Portola V.A. On the displacement of the endogenous fire hearth in conditions of reducing air leaks // Localization and extinguishing of underground fires [Lokalizaciya i tushenie podzemnyh pozharov]. 1983. Issue 10. P. 76–79. [In Russ.].
3. Li Hee Un, Cherdantsev S.V., Popov V.B., Shlapakov P.A., Erastov A.Yu. The experience of using mine electrical exploration to detect a coal self-heating hearth at the Olzherasskaya-Novaya mine // Physico-technical problems of mineral development [Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh]. 2017. No. 1. P. 182–188. [In Russ.].
4. Patent 2514017 Russian Federation, IPC E21F 5/00 Method for assessing endogenous fire hazard in underground mining of coal seams / Shlapakov P.A., Erastov A.Yu., Sorokovyh S.V., Rykov A.M.; patent holder: Pavel Aleksandrovich Shlapakov — No. 2013102323/03; application 17.01.2013; publ. 27.04.2014. Electronic bulletin No. 12. [In Russ.].
5. Vakhromeev G.S., Erofeev L.Ya., Zinchenko V.S., Nomokonova G.D. Petrophysics. Textbook for universities. Tomsk: Tomsk University Publishing House, 1997. 462 p. [In Russ.].
6. Karaoulis M., Revil A., Mao D. Localization of a coal seam fire using combined self-potential and resistivity data // International Journal of Coal Geology. 2014. No. 128–129. P. 109–118.
7. Patent 2631516 Russian Federation, IPC E21F 5/00. Method of detecting underground fires / Shlapakov P.A., Erastov A.Yu., Khaimin S.A., Olenchenko V.V.; patent holder: JSC «Scientific Center of VostNII for safety of work in mining industry» (JSC «NC VostNII») — No. 2016126243; application 29.06.2016; publ. 25.09.2017. Electronic Bulletin No. 27. [In Russ.].