

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2021, №1, Том 13 / 2021, No 1, Vol 13 <https://esj.today/issue-1-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/19NZVN121.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Суксова С.А., Тимофеева Ю.В., Долкан А.А., Попов Е.В. Обзор методов идентификации процессов самовозгорания углей // Вестник Евразийской науки, 2021 №1, <https://esj.today/PDF/19NZVN121.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Suksova S.A., Timofeeva Yu.V., Dolkan A.A., Popov E.V. (2021). Review of methods for identifying spontaneous combustion of coal. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(13). Available at: <https://esj.today/PDF/19NZVN121.pdf> (in Russian)

Суксова Софья Алексеевна

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 5-го курса кафедры «Горного дела и освоения георесурсов»
Специалитет
E-mail: suksovas@gmail.com

Тимофеева Юлия Владимировна

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 5-го курса кафедры «Горного дела и освоения георесурсов»
Специалитет
E-mail: 23julechka02@mail.ru

Долкан Александр Алексеевич

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 5-го курса кафедры «Горного дела и освоения георесурсов»
Специалитет
E-mail: dolkan.aa@students.dvfu.ru

Попов Евгений Владимирович

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Научный руководитель
Преподаватель
E-mail: topovlc@yandex.ru

Обзор методов идентификации процессов самовозгорания углей

Аннотация. В данной работе было рассмотрено самовозгорание угля, что это такое и как оно происходит. Было сказано, что проблема с эндогенными пожарами активна по сей день, которую пытаются решить со времен построения шахт. В работе немного было рассказано почему нужен контроль самонагревания угля и какие газы может выделять горящий уголь. В статье выделяются две стадии протекания самовозгорания угля, которые в дальнейшем рассматриваются. Было приведено два вида инкубационного периода самонагревания угля. Далее в статье рассматриваются различные способы обнаружения самонагревания угля, которые предлагают свои методы изучения и контроля процессов самонагревания и возгорания. Так как было рассмотрено множество методов исследования эндогенного пожара, в статье привели разделения этих методов на четыре различные группы: физический метод, физиологический, минерально-геохимический и химико-аналитический. Физический метод предполагает изучение эндогенного пожара с помощью специальных приборов, например таких, как термометры для измерения температур и психрометры, которые измеряют

влажность воздуха. Далее применяется метод оконтуривания, чтобы наблюдать за самонагревающимися участками угля. Физиологический метод описывает то, как человек может почувствовать начальную стадию эндогенного пожара с помощью своих органов чувств. Минерально-геохимический метод обоснован на изучении вторичных минералов, которые разбиваются на более двадцати групп, для более точного определения эндогенного пожара. Химико-аналитический метод изучает на сколько увеличивается углекислый газ в шахтном воздухе, либо происходит наблюдение за углекислым газом, как за постоянной величиной в воздухе. В заключении было сказано о том, что нужно строго следить за пластами угля, которые имеют способность самовозгорания и проводить плотную профилактику к склонности самовозгоранию угольных пластов.

Ключевые слова: эндогенные пожары; уголь; самовозгорание; самонагревания; инкубационный период; метод исследования; углекислый газ

Введение

Источник загрязнения атмосферы горных карьеров являются пожары и пыль. Пожары оставляют за собой вредные газы на карьерах (СО, СО₂, SO₂ и др.), которые приводят к уменьшению работоспособности карьера, усложнению технологий работ и увеличению себестоимости угля. В большинстве случаев пожары возникают от оставленных в недрах потерей угля. Как правило, самовозгорание происходило не на начальной стадии самонагревания угля, а на эндогенном этапе. Оказалось, что малоэффективными действиями являлись большие траты на ликвидацию и профилактику эндогенных пожаров.

Под самовозгораемостью угля понимается накопление теплоты в следствии которой происходит воспламенение.

Требуется плотная профилактика к склонности самовозгоранию угля, потому что проблема самовозгорания появилась с началом построения первых угольных шахт и активна по сей день. Кроме того, многие предприятия относятся безалаберно к оценке опасности самовозгорания угля и проведение профилактических работ, выбор средств являются не эффективными.

Пожароопасность на горных предприятиях можно разделить на 2 фактора: природную и техническую. Горно-технические факторы, которые включают в себя способ управления кровлей, скорость отработки и многое другое, не создают обобщенную модель развития данного процесса, потому что для каждого месторождения число таких факторов различны, как и степень влияния на эндогенную пожароопасность [1].

Ученые продолжают исследовать самовозгораемость угля из-за отсутствия единого подхода.

Стадии самовозгорания

Выделяют 2 стадии протекания процесса самовозгорания, с точки термодинамики:

- самонагревание;
- самовозгорание.

В стадии самонагревания происходит процесс медленного поднятия температуры угля за счет окисления угля кислородом. Эта стадия является самой ранней стадией эндогенного пожара. Далее окисление кислородом происходит с большей скоростью, и температура

достигает критической температуры самонагрева (КТС). Критическая температура самонагрева угля (КТС) – это переход с этапа самонагрева в возгорание [2].

Способы обнаружения процессов самовозгорания

Существуют 2 метода для определения продолжительности инкубационного периода:

- экспериментальный метод;
- аналитический метод.

Важной задачей в модели [3] по выявлению самовозгоранию угля, является точное прогнозирование инкубационного периода. В данной работе происходит расчет константы скорости сорбции кислорода углем. Относительная влажность, температура, размер частиц – это основные параметры данного исследования. На рисунке 1 представлен график по предложенной модели.

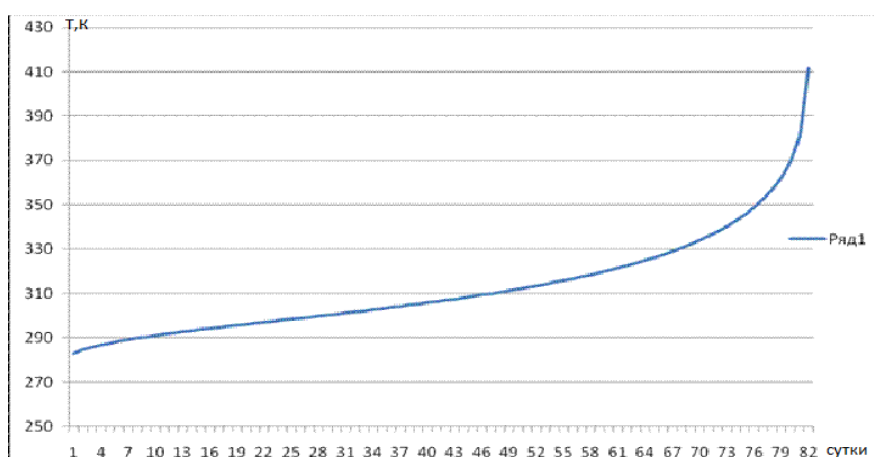


Рисунок 1. График расчета инкубационного периода при влажности подаваемого воздуха 100 % [3]

Такая модель является достаточно простой. Можно отметить, что при критической влажности происходит повышение константы скорости сорбции углем.

В ходе разработки данной модели, был получен вывод: «Анализируя расчетных данных помогают предположить, что достижение критической влажности и есть конец инкубационного периода, где константа скорости сорбции угля начинает резко увеличиваться и, рост температуры тоже увеличивается с быстрым темпом».

В документах Ростехнадзора №680 описывается подобная работа по определению инкубационного периода. Здесь приведены формулы, которые помогают это выявить:

$$\tau_{\text{инк}} = \sum \frac{\Delta T}{Q_{\text{ген}} - Q_{\text{вып}} - Q_{\text{исп}}}, \text{ сут.} \quad (1)$$

где ΔT – изменение температуры скопления угля за единичный отрезок времени, К; $Q_{\text{ген}}$ – скорость генерации тепла при взаимодействии кислорода с углем, град/с; $Q_{\text{вып}}$ – скорость выноса тепла воздухом, град/с; $Q_{\text{исп}}$ – скорость выноса тепла за счет испарения, град/с¹.

¹ Приказ Ростехнадзора от 01.12.2011 №680 (ред. от 08.08.2017) "Об утверждении Инструкции по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок" (Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2011 N 22815) [Электронный ресурс] // ИПС «Консультант-Плюс» (дата обращения 09.11.2017).

В этой работе рассматривается уголь разных фракций, который помещается в сорбционные сосуды при температуре 18–20 °С. Далее при температуре 10–20 °С сосуды герметично закрываются и термостатируются. Пробы отбираются спустя 1, 3, 5 суток и определяется убыль кислорода в них.

Формула константы скорости:

$$K_c = -\frac{V}{H} \cdot \ln \frac{(100-C_0) \cdot C_k}{C_0 \cdot (100-C_k)} \quad (2)$$

где V – объем воздуха в сосуде, м³; H – масса навески угля, кг; C_0 – начальная концентрация кислорода, %; C_k – конечная концентрация кислорода, %¹.

Экспериментируя с моделями различных типов угля, начали разделять на 4 метода определения эндогенных пожаров [5]:

- Физический. Данный метод включает в себя применение приборов, которые определяют физические параметры на горных выработках (влажность, температура, состояние вод на карьерах, горные породы);
- Физиологический – это метод, при котором не используются приборы, а только внешние признаки и человеческие органы чувств;
- Минерально-геохимический – это метод, основанный на изучении вторичных минералов;
- Химико-аналитический – это установление химических параметров шахтного воздуха, горных пород.

Физический метод

Есть определенный набор приборов, которые помогают выявить признаки самовозгорания угля. Например, термометры, которые помогают произвести замеры воды, воздуха и контроль в горных выработках. Также применяют психрометры для измерения влажности воздуха и его количества в горных выработках. Зная все эти параметры, начинают строить план оконтуривания очагов самовозгорания, определять скорость самонагревания и процесс затухания в недрах. Этот метод называют методом оконтуривания, с помощью разрезов участков в геоизотермах, помогает наблюдать повышение температуры в определенных зонах, скорость возгорания в выработках, процесс усиления или ослабления пожара.

Имея параметры влажности, можно выстроить график теплосодержания относительно времени и определить количество тепла в объеме воздуха.

Физиологический метод

Основными признаками возгорания угля являются туман и определенные запахи в шахтах. Туман может образовываться не только от столкновения кислорода с углем, где прореагирующий кислород перейдет в воду при 50 °С, но и при встрече двух потоков воздуха разных температур.

Туман можно определить на глаз и понять, что увеличение влажности происходит из-за возгорания угля. Влажность появляется из-за окисления угля, где в холодном воздухе идет процесс конденсации паров и оседает на холодных поверхностях.

Если определять самовозгорание угля по запаху, то в нем будут присутствовать запахи керосина, бензина или в целом нефтяных продуктов. Если возгорание угля будет только расти, то это можно понять по запаху смолы (скипидара). Масляной запах и вкус в горных выработках происходит из-за содержания пентана (C_5H_{12}), гексана (C_6H_{14}) и еще множества смесей с непредельным бензолом, этиленом, которые находятся в пожарных газах.

В рудниках запахом возбуждающего пожара является запах сернистого ангидрида (SO_2), который появляется из-за повышения температур у сульфидов и самородной серы. Сернистый ангидрид даже при малых долях процентах начинает раздражать слизистую носа и рта. Такой запах может чувствоваться при взрывании горных пород и при бурении шпуров в них.

Когда в рудниках начинает разгораться пожар, то запах сменяется на запах дегтя или на горящую каменноугольную смолу. Появляется густой дым, но не всегда может появиться огонь. До появления дыма может чувствоваться CO_2 – один из удушливых газов, и его процентное содержание постепенно возрастает.

К внешним признакам еще относится повышение температуры воздуха, которую может почувствовать человек на отдельных участках горных пород.

Минерально-геохимический метод

Выделяют специальную генетическую группу минералов, которая способствует образованию особых минеральных групп при протекании определенных реакций, которые активизируют окислительные процессы. Было описано больше 20 таких групп минералов ученым Вертушковым Г.Н. Эти группы были подразделены по таким параметрам как: химический состав руд, возраст пожара и изменение фаз при самовозгорании.

Химико-аналитические методы

Такие методы описывают плохое проветривание в шахтах, выделение газов из горных пород из-за увеличения углекислого газа и уменьшения кислорода в воздухе. Но такие признаки не дают 100 % гарантии, без учета определенных условий и признаков, что происходит процесс самовозгорания.

Точным признаком пожара является постоянное наличие окиси углерода в воздухе или ее увеличивающаяся примесь, но такая смесь, в небольших количествах на некоторых пластах угля, может выделяться при отсутствии пожара. Также можно считать очевидным признаком возгорания постоянное присутствие сернистого ангидрида в воздухе, который не обуславливается нормальными производственными процессами. В большинстве случаев о сернистом ангидриде узнают по наличию специфического запаха, нежели аналитическим путем. Аналитически определяют количество метана, кислорода, углекислоты, окислов азота. Определение водорода, этана и этилена обычно происходит при эндогенном пожаре.

Колориметрический способ придуман для определения оксида серы и оксида углерода в воздухе. Он основан на окрасе реактивов после взаимодействия их с газами. Такой способ работает с высокой точностью 0,1–1 %. Таким методом можно определять концентрацию вещества до 10–8 моль/л.

В данном методе прогнозирования самовозгорания [6] подвергают окислению атмосферным воздухом угли и анализируют, как влияет влажность на рост температурного окисления. В этой работе пришли к выводу, что во влажной атмосфере степень окисления, при продолжительном действии кислородом, значительно меньше, чем в сухой.

Скорость температуры также можно рассмотреть в работе [5]. Здесь представлена модель и интервал температуры от 40 до 70 °С, где оценивается средняя скорость самонагрева.

Изучая эту работу, мы можем увидеть вывод в виде графика (рисунок 2) зависимости температуры угля от времени. В данном графике представлено 2 вида угля.

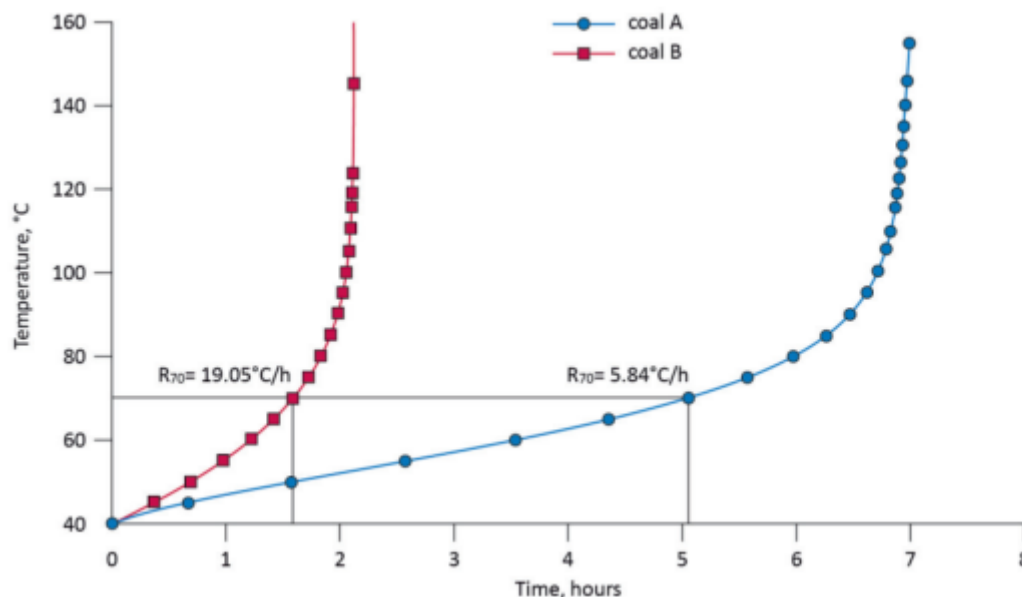


Рисунок 2. Кривая самонагрева двух видов угля по модели R70 [5]

В нескольких работах [7-9] были использованы коэффициенты Юнга $\left(\frac{CO_2}{O_{def}}\right)$, Морриса $\left(\frac{N_{excess}}{CO_2+CO}\right)$ и Грэхема $\left(\frac{100 \cdot CO}{O_{def}}\right)$, где O_{def} уменьшение концентрации кислорода в воздухе, %; N_{excess} – прирост концентрации азота по сравнению с фоновыми значениями, % [7]. Они служат для оценки концентрации газа и кислорода в зависимости от температуры самовозгорания угля.

По выполненной работе, были получены следующие результаты (таблица 1) газометрического анализа.

Таблица 1

Значение индикаторных коэффициентов [8]

Температура °С	47,8	65,4	85,2	105,8	129,6	154,7	173,5	211
Дефицит кислорода	0,18	0,34	0,96	3,16	6,79	13,79	19,42	20,47
Коэффициент Грэхема	1,1	1,5	1,78	2,2	3,13	4,23	6,27	9,11
Коэффициент Морриса	5,34	11,6	18	24,04	23,23	19,66	14,08	9,46
Соотношение CO/O ₂	0,03	0,06	0,08	0,13	0,19	0,22	0,24	0,25
Коэффициент Юнга	0,27	0,23	0,2	0,16	0,16	0,18	0,25	0,36

В Австралии активно используют данную модель расчета роста концентрации угарного газа для контроля газовых станков и определения температуры очага. Также используют хроматографы для наблюдения за концентрацией газов.

В нашей стране следят за концентрацией газов в основном на подземных горных работах, чтобы предотвратить эндогенные пожары. Это методы, которые были изучены в работах [3; 10]. В них описываются значения параметров газового состава от температуры, а это метан, угарный газ, влажность и аэрозоль. Выводы оказались неприемлемыми из-за

незначительного изменения концентрации газов при температуре ниже КТС. В дальнейших исследованиях было предложено определять концентрацию радона.

Исследования [11] с применением геофизических методов считаются перспективными. Суть заключается в применении идеализированной системы, которая создается более сложными системами зарядов в паре с электропросвечиванием и электропрофилированием пластов угля.

Другие физические методы рассматриваются в работе [12]. Сущность данного метода заключается в выявлении распространения колебательных волн (акустических волн) при нагреве образца. В ходе результатов было предложено классифицировать уголь по его нагреву при коэффициенте термального разрушения молекул.

Заключение

Процесс самовозгорания угля зависит от природных условий, свойств угля и производственных воздействий на них. Устанавливается контроль за угольными пластами, которые склонны к самовозгоранию, где смотрят изменение отношений этилена к ацетилену и концентраций оксида углерода к водороду. Если объемные доли оксида углерода к водороду превышает значение 10, то это стадия самонагрева, а стадией самовозгорания является значение меньше 10. Отношение этилена к ацетилену дают определения температуры самонагрева, которую делят в зависимости от марки угля.

Создали специальный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, который контролирует склонность угля к самовозгоранию путем специальных проб и исследований при проведении геологических работ. Военнослужащие спасательные части и Госгорпромнадзор ежегодно согласовывают с местным производством, которые перепроверяют списки пластов угля, склонных к самовозгоранию. Данные списки утверждает директор производства и отправляет органам, которые должны следить за правильностью выполнения работ, чтобы не привести к последствиям чрезвычайных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерастов А.Ю. Влияние горного давления на возникновение очагов самовозгорания угля в выработанных пространствах выемочных участков. // Вестник. Промышленная безопасность и геомеханика, № 1. 2013, 5–8 с.
2. Игишев В.Г. Выделение индикаторных пожарных газов при окислении угля на стадиях самонагрева и беспламенного горения // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности № 4. 2015, 55–59 с.
3. Ворошилов А.С. Моделирование самонагрева угля с учетом дезактивации и влияния изменения влажности угля // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности № 1. 2011, 123–130 с.
4. Dr L.L. Sloss. Assessing and managing spontaneous combustion of coal. UK: IEA Clean Coal Centre, 2015. – 55 с.
5. Патраков Ю.Ф. Изменение химического состава и поверхностных свойств при атмосферном окислении угля / Ю.Ф. Патраков, С.А. Семенова, А.С. Усанина // Вестник Кузбасского государственного технического университета № 2. 2017. 131–139 с.
6. Греков С.П. Определение температуры самонагрева угля по соотношению оксида углерода и убыли кислорода на аварийном участке / С.П. Греков, П.С. Пашковский, В.П. Орликова // BEZPIECZENSTWO I TECHNIKA POZARNICZA № 3. 2015. 119–127 с.
7. Moria R., Balusu R., Tanguturi K., Khanal M. Prediction and control of spontaneous combustion in thick coal seams // 13th Coal Operators' Conference, University of Wollongong, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy & Mine Managers Association of Australia. 2013. 232–239 с.
8. Tao Xu. Heat effect of the oxygen-containing functional groups in coal during spontaneous combustion processes // Advanced Powder Technology Vol. 28 (8). 2017. 1841–1848 с.
9. Портола В.А. Обнаружение процесса самонагрева угля по содержанию жидкого аэрозоля / В.А. Портола, С.Н. Лабукин // Известия высших учебных заведений. Горный журнал № 2. 2010. 14–19 с.
10. А.Ю. Ерастов Опыт применения геофизической съемки и тепловизионного контроля для выявления очагов самонагрева на угольных складах и выбора способа их тушения // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности № 2. 2012. 152–156 с.
11. Нестерова В.Г. Об использовании оптического и термоакустоэмиссионного методов для оценки окисленности ископаемых углей / В.Г. Нестерова, К.Е. Пономарев, Ю.С. Бахтина // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал) № 4. 2011. 180–187 с.

Suksova Sofya Alekseevna

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: suksovas@gmail.com

Dolkan Aleksandr Alekseevich

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: dolkan.aa@students.dvfu.ru

Timofeeva Yulia Vladimirovna

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: 23julechka02@mail.ru

Popov Evgeniy Vladimirovich

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: topovlc@yandex.ru

Review of methods for identifying spontaneous combustion of coal

Abstract. In this paper, the spontaneous combustion of coal was considered, what it is and how it occurs. It was said that the problem with endogenous fires is active to this day, which they have been trying to solve since the days of building the mines. In the work, a little was told why control of self-heating of coal is needed and what gases can be emitted by burning coal. The article identifies two stages of the spontaneous combustion of coal, which are further considered. Two types of self-heating incubation period of coal were given. Further in the article, various methods of detecting self-heating of coal are considered, which offer their own methods for studying and monitoring self-heating and ignition processes. Since many methods for studying endogenous fire were considered, the article resulted in the division of these methods into four different groups: physical method, physiological, mineral-geochemical and chemical-analytical. The physical method involves the study of endogenous fire using special instruments, such as thermometers to measure temperatures and psychrometers, which measure air humidity. Next, the contouring method is applied to observe the self-heating areas of the coal. The physiological method describes how a person can feel the initial stage of endogenous fire with the help of their senses. The mineral-geochemical method is based on the study of secondary minerals, which are divided into more than twenty groups, for a more accurate determination of endogenous fire. The chemical-analytical method studies how much carbon dioxide in the mine air increases, or the carbon dioxide is monitored as a constant value in the air. In conclusion, it was said that it is necessary to strictly monitor the coal seams, which have the ability to spontaneously ignite and carry out dense prevention of the tendency to spontaneous combustion of coal seams.

Keywords: endogenous fires; coal; spontaneous combustion; self-heating; incubation period; research method; carbon dioxide