

Проблемы тушения эндогенных пожаров и их влияние на последующую биорекультивацию

Дмитриева У.А. ¹

¹ Институт ядерных исследований РАН

E-mail: Uliana.Dmitrieva@bk.ru

Данная работа освещает проблемы в области угледобычи, связанные с возникновением и тушением эндогенных пожаров и последующей биорекультивацией отработанных месторождений после тушения.

Ключевые слова: эндогенные пожары, рекультивация

Введение

Истории угледобычи в России с момента открытия первых месторождений угля уже около трех столетий. В 30-40 гг. прошлого века угольная промышленность стала крупнейшей сырьевой отраслью в СССР, причем уголь был единственной энергетической базой промышленности и транспорта. На данный момент, уголь является самым распространенным топливно-энергетическим ресурсом в России: геологические ресурсы угля составляют больше 30% от общемировых. Для поддержания добычи угля на должном уровне требуется обеспечение рентабельности шахт. Большим потенциалом в решении данной задачи является повышение нагрузки на разрабатываемые ныне месторождения, что возможно только в случае значительного снижения аварийности угледобывающих предприятий и шахт.

Исторический опыт аварийных ситуаций, связанные с разработкой угольных месторождений

С момента становления угольной промышленности в СССР, разработка месторождений всегда сопровождалась разного рода авариями. Большая часть аварий была связана с подземными пожарами. С 1960-х годов начался стремительный рост эндогенных пожаров, вызванных самонагреванием угля. В целом, на разработках месторождений СССР в первой половине 1980-х годов произошло более 800 крупных подземных пожаров, 65 % которых вызвано самовозгоранием угля. Ликвидация подобных аварий и их последствий требовала значительных материальных затрат и человеческих ресурсов, при этом ущерб составлял миллионы, и включал в себя осложнения в работе предприятий, рост потерь угля, а

также потерь горнорабочих. Долгое время профилактика и борьба с эндогенными пожарами не приносила необходимого результата, в связи с тем, что очаги самовозгораний угля в массивах и скоплениях угля, как правило, выявлялись на стадии эндогенного пожара, а не на начальном этапе развития самонагревания угля. Кроме того, выбор способов, средств и сроков проведения профилактических работ осуществлялся без должной оценки опасности самонагревания угля, анализа эффективности планируемых мероприятий по их предупреждению. При этом, одним из методов повышения рентабельности подземной добычи угля в годы реструктуризации в Кузбассе была ликвидация наиболее аварийных шахт.

Эндогенные пожары

Как было сказано выше, эндогенные пожары – одна из причин, сдерживающих увеличение добычи угля подземным способом. Эндогенные пожары возникают в выработанных пространствах и приводят к длительным остановкам добывающих работ на данном участке, а зачастую и всей шахты. Последствиями пожаров являются не только длительные остановки горнодобывающих работ, но потери дорогостоящего оборудования, из-за необходимой полной изоляции аварийного участка. Эндогенные пожары приносят прямой экономический вред, но также вызывают потери угля, обусловленные невозможностью добычи в районе действующего пожара.

Ликвидация пожаров путем изоляции очага возгорания оказывается наименее эффективным методом по критерию временизатратности. Оценка эффективности применяемых способов тушения очагов самовозгорания показала, что ликвидация очага путем изоляции требует длительного времени, которое находится в прямой зависимости от температуры и размеров очага [1]. Скорость охлаждения скопления падает по мере снижения температуры. Полное остывание очага эндогенного пожара таким пассивным способом может занимать более 1000 суток. Кроме того, даже незначительный приток воздуха приводит к термостабилизации очага с сохранением повышенной температуры в течение еще более длительного времени.

Таким образом, эффективное тушение эндогенных пожаров возможно только с применением профилактических мер и тщательным мониторингом ситуации в угольных шахтах, для своевременного обнаружения очагов возможных возгораний.

Нормативная база по тушению эндогенных пожаров и ее влияние на ситуацию

Экономическая рентабельность горнодобывающих предприятий всегда являлась приоритетной задачей. Рассмотрим ситуацию на примере угледобывающих шахт Кузбасса. Первичной мерой по борьбе с возникновением эндогенных пожаров являлось закрытие наиболее аварийных шахт. После этого в Кузбассе с начала 2000х годов дальнейшее снижение числа пожаров обеспечивалось существовавшей в то время нормативной базой, научным обеспечением, технической оснащённостью и производственной дисциплиной, но даже такое снижение эндогенной пожароопасности было недостаточно для производства. Например, в 2012 году например, из-за самовозгорания угля были изолированы два комплексномеханизированных забоя с суммарной производительностью 9800 тонн/сутки. Такое положение дел требовало анализа и пересмотра основных положений защиты шахт от самовозгорания угля, и ее совершенствования с учетом негативного влияния факторов, сопутствующих работе шахт. Рассмотрим основные регламентирующие базы и их содержание.

Для определения потенциальных очагов эндогенных пожаров в «Положении об аэрогазовом контроле в угольных шахтах» [2], изданном в 2012 году, определены критические параметры атмосферы шахт, методика расчета воздуха и выделяемого оксида углерода и методика определения индикаторных газов.

Порядок закладка газоотводящих сбоек и скважин на расстоянии, равном $2/3$ планируемого подвигания линии очистного забоя за инкубационный период самовозгорания угля впервые была зафиксирована в «Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок» [3], вступившей в действие в 2012 году. Эти меры позволяют добиться снижения длительности отработки активно проветриваемой зоны в выработанном пространстве. В таких условиях минимизируется время поступления кислорода к граничным слоям угля, обладающим меньшей плотностью. При должном следовании инструкции повышает шансы предотвращения перехода от низкотемпературного окисления угля в к самонагреванию в связи с ограничением поступления кислорода к очагам окисления[4].

С 2013 года вступила в силу «Инструкция по определению инкубационного периода самовозгорания угля» [5]. Использование данной инструкции позволило регламентировать порядок определения склонности угля к самовозгоранию на всей территории России и исключить применение нелегитимных методик.

С 2015 года в горнодобывающей промышленности начала использоваться «Инструкция по изоляции неиспользуемых горных выработок и выработанных пространств в угольных шахтах» [6], ставшее заменой существовавшего с 1977 года «Руководства по изоляции

отработанных участков, временно остановленных и неиспользуемых горных выработок в шахтах», которое уже не соответствовало произошедшим изменениям геологических условий и технологии горных работ. Изоляция неиспользуемых шахт никак не была регламентирована до появления данного руководства, что вызывало сложности у органов Госгортехнадзора при контроле необходимости изоляции отработанных месторождений и контроле технических аспектов данного процесса. Отсутствие подобного регламентирующего документа негативно влияло на профилактику подземных пожаров. Одним из основных требований инструкции [6] предусматривается изоляция горных выработок на пластах угля, склонного к самовозгоранию, перемычками, устойчивыми ко взрывам, в связи взрывоопасностью образующейся смеси воздуха и метана в выработанных пространствах в местах очагов возникновения эндогенных пожаров. Технология производства ограничивающих перемычек строго определена и не приемлет никаких отступлений, при этом требуется осуществлять дальнейший контроль характеристик прочности барьеров [4]. Изменение взрывозащитных свойств возводимой перемычки может вызываться множеством факторов, например изменением пропорций воды и смеси или температуры производства, в связи с этим наблюдается брак перемычек с недостаточной расчетной прочностью. Одной из нерешенных проблем является отсутствие методики неразрушающего контроля взрывоустойчивых перемычек, хотя приборы контроля качества бетонных изделий внедрены в строительной области. Данные приборы после приведения их во взрывобезопасное исполнение и получения всех необходимых разрешительных документов в полной мере позволили бы решить указанную проблему. Для массового заказа приборов контроля прежде необходимо решить вопрос с финансовым обеспечением.

Еще одним нормативным документов являются изданные в 2015 году новые «Правила безопасности в угольных шахтах» [7]. В «Правилах» представлены изменения в части вскрытия и подготовки склонных к самовозгоранию угольных пластов. Ранее существовал запрет на вскрытие на практике в многих шахтах не выполнялся. Кроме того, данный запрет не имел под собой серьезных оснований, так как с начала 2000х годов в Кузбассе произошло только два случая самовозгорания угля во вскрываемых выработках. Расследование произошедших аварий дало четкое понимание, что причинами данных эндогенных пожаров были отступления от проектных решений и невыполнения мер по предупреждению самовозгорания угля.

Последней вехой в создании новой нормативной базы стал выпуск «Инструкции по предупреждению эндогенных пожаров и безопасному ведению горных работ на склонных к самовозгоранию пластах угля» [8]. Классификация пластов по склонности к самовозгоранию была скорректирована, исходя из зафиксированных в инструкции требований.

Пластыкклассифицированы на две категории склонных и несклонных к самовозгоранию. Данная инструкция также регламентировала разрешение вскрывать склонные к самовозгоранию шахтопласты.

Важным моментом является то, что в угольной отрасли впервые инструкции [8] был присвоен общероссийский статус. До 2016 года в шахтах России действовали периодически перерабатываемые бассейновые инструкции. Данные инструкции для предотвращения эндогенных пожаров не были унифицированы и часто составлялись с учетом технического и финансового обеспечения шахт. Введение в действие новой единой инструкции, как и всей нормативной базы, делает возможным формирование комплекса мер, эффективных при реализации в любых горно-геологических и горнотехнических условиях. Кроме того, контролирующие органы получил возможность осуществлять надзор и проверки с учетом нормативных требований, гармонично связывающих отдельные этапы борьбы с эндогенными пожарами: прогноз, профилактику, обнаружение, локацию и тушение.

Таким образом, разработанные в 2012-2016 годах нормативные документы, регламентирующие ведение горных работ на склонных к самовозгоранию пластах, базируются на современных достижениях науки и практики и при эффективном контроле в состоянии обеспечить снижение эндогенной пожароопасности шахт до приемлемого уровня.

Проблема определения физико-химические принципы самонагревания угля

Прежде чем рассмотреть способы диагностики угольных шахт на риски возникновения очагов эндогенных пожаров, обратимся к процессам, вызывающим самонагревание угля в шахтах.

Общепринятым фактом является то, процессы теплосамообмена в угля оказывают лидирующее влияние на сонагревание, начиная с некоторой температуры [9], но среди исследователей нет единого мнения о том, как инициируется самонагревание, то есть что является первопричиной, запускающей самонагревание угля. Рассмотрение данного вопроса представляется интересным, как с научной, так и с методической точки зрения, так как найденное решение должно определить превентивные меры по предупреждению эндогенных пожаров при разработке угольных месторождений. Инициирование угля разными исследователями объясняется по-разному. Большинство исследователей и практиков придерживаются мнения о решающей роли взаимодействия угля с кислородом воздуха в зарождении процесса, высказывая, однако, при этом самые разные суждения о механизме этого взаимодействия. Однако немалое число авторов отстаивают принципиально иные точки зрения на природу самонагревания, объясняя его возникновение чисто химическими,

биохимическими и другими процессами, протекающими в породугольном массиве или скоплении. Исследователи не могут прийти к общей точке зрения на природу самонагревания из-за ошибки в методическом подходе к решению вопроса. Она состоит в том, что экспериментальные факты, устанавливаемые сторонниками одного направления, не принимаются во внимание их коллегами – исследователями, придерживающимися других точек зрения.

В работе [10] впервые рассмотрены существующие альтернативные мнения разных исследователей по данной проблеме не с позиций их противопоставления, а с точки зрения различных проявлений единого химического процесса. В рамках данного методического подхода были объединены экспериментально установленные факты и известные из практики закономерности низкотемпературного окисления и самонагревания угля и обобщено многообразие фактов.

В работе [10] установлено, что аутоокисление угля является первопричиной самонагревания. Аутоокисление – это окисление органических веществ кислородом воздуха, протекающее по радикальноцепному механизму через образование перекисных соединений. Хотя закономерности твердофазного окисления не до конца исследованы, молекулярная и надмолекулярная структура угля оказывается неспособной быть расшифрованной, а структура угля и примесей абсолютно неоднородна, что делает теоретический анализ довольно сложным, аутоокисление может быть доказано двумя фактами. Во-первых, инкубационный период в процессе окисления углей протекает с участием радикалов, а так в процессе образуются и затем распадаются перекиси. Во-вторых, процесс аутоокисления провоцируется примесями, радиацией, легко диссоциирующими веществами и тормозится ингибиторами.

Известно, что уголь в процессе аутоокисления представляет собой многокомпонентную окислительно-восстановительную систему. В процессе окисления угля наблюдается некоторое количество параллельно и последовательно протекающих реакций. Реакции, реализующие вырожденный радикально цепной механизм, приводят к зарождению очагов самонагревания. Последующие химические, электрохимические, биохимические реакции и внешние воздействия приводят к инициации самовозгорания.

Процесс низкотемпературного окисления угля может идти по нескольким различным путям. представляет собой совокупность конкурирующих реакций, приоритетность и направление которых непредсказуемы и определяются составом и структурой угля, температурой, поступлением кислорода, давлением и другими факторы. То есть, процесс самонагревания строго не детерминирован и характеризуется разнообразием физико-химических проявлений, а вероятность самовозгорания угля не определима по одному

признаку или свойству, отражающему какой-либо из этапов этого многоступенчатого процесса в связи с его случайным характером.

Технологические и геологические условия значительно определяют характер развития самонагревания. Например, уголь может нагреваться до 100-150 °С в условиях малого притока кислорода в шахту. Другими определяющими факторами дальнейшего поведения очагов самонагревания являются местоположение и размер самого очага – данные условия необходимо учитывать при анализе возможностей дальнейшей динамики очагов самонагревания угля.

Возникновение эндогенного пожара на месте очага самонагревания не может быть предсказано с высокой точностью из-за случайного характера данного процесса. Прогнозирование эндогенной пожароопасности объекта оказывается возможным и определяется внешними факторами. В такой ситуации управление угледобывающими шахтами должно проводиться в соответствии с постоянной оценкой критических факторов, приводящих к самовозгоранию угля. Обеспечение противопожарной безопасности складывается из нескольких ступеней теоретической оценки рисков [9]: 1) математическое моделирование дальнейшего поведения очага самонагревания для анализа возможности смены процесса самонагревания самовозгоранием; 2) при негативных прогнозах для данного очага самонагревания просчет допустимых вариаций параметров, чтобы не допустить переход ситуации в критическую; 3) проведение вычислительных экспериментов на основе математической модели развития локального очага самонагревания при изменении параметров ведения горных работ в установленных пределах до тех пор, пока не будет идентифицирована пожаробезопасная ситуация; 4) если пожаробезопасная ситуация оказывается недостижимой, получается информация о том, что в выбранном диапазоне варьирования параметров технология проведения работ является пожароопасной.

Таким образом, анализ приведенных выше фактов о природе самовозгорания угля говорит о том, что можно сделать лишь относительные оценки о влиянии свойств угля, природных условий и техногенного влияния на инициирование самовозгорания угля. Моделирование процессов самовозгорания должно включать на начальном этапе все возможные начальные условия и учитывать закономерности процесса на этапе его формализации. Замечено [10], что инициирование самонагревания угля происходит на уровне взаимодействия отдельных функциональных групп, что определяет необходимые для решения задачи данные о свойствах углей. Многие процессы, связанные самовозгоранием не формализованы и определяются только на качественном уровне, что вносит в процесс создания математического аппарата отдельные сложности.

Методы обнаружения возможных очагов возгорания

Большинство разработанных для эффективного тушения эндогенных пожаров способов невозможно без своевременного обнаружения очагов самовозгорания. Важным требованием к методам обнаружения возможных очагов самовозгорания является – обнаружение на стадии самонагрева, для предупреждения возникновения подземного пожара. Рассмотрим имеющиеся методы.

В данный момент на шахтах и разрезах используются различные методы обнаружения очагов эндогенных пожаров – по профилю теплового излучения на поверхности обнажения, по соотношению концентраций выделяющихся продуктов окисления, по изменению ЕЭП и т.д.

Как было описано выше, самовозгорание угля является сложным физико-химическим процессом с выделением тепла и образованием различных соединений, способствующих изменению свойств и состава угля, фильтрующегося воздуха и воды, а также окружающих горных пород. Иницирование очагов самовозгорания можно обнаружить с помощью прямого замеры температуры самого угля, воды или воздуха. Косвенными признаками самовозгорания служат процессы окисления, возникающие за счет повышения температуры. Измерение температуры нагревающегося угля и окружающей его среды можно осуществлять как с помощью простых контактных датчиков, таких как термометры, термодары и др., так и с помощью устройств дистанционного контроля температуры [12, 13]. Современные технологии позволяют проводить тепловую съемку на земной поверхности для определения местонахождения подземных пожаров [14], что оказывается крайне полезным.

Методы обнаружения возможных очагов эндогенных пожаров на начальных стадиях самонагрева и самовозгорания имеют сравнительно низкую эффективность [15]. Оценка рисков самовозгорания проводится на основе измерений концентрации индикаторного газа в атмосфере шахт. Ошибки измерения обуславливаются колебаниями концентрации оксида углерода, используемого в качестве индикатора [16]. В настоящее время разработан и начинает применяться на практике геофизический метод обнаружения и локализации эндогенных пожаров в выработанных пространствах [17, 18]. Данный метод заключается в применении двух дипольных методов электроразведки – дипольного электропрофилирования (ДЭП) и экваториальнодипольного электропросвечивания (ЭДЭП).

Еще один возможный способ обнаружения вероятных очагов эндогенных пожаров – поиск с помощью радиолокации [19]. В данном методе радиоволны проникают в горные породы, а характер их отражения зависит от электрического сопротивления на границе очага самовозгорания, которое меняется при самовозгорании. В реальности данный метод не

используется из-за сложностей, связанных с определением сигналов от очагов возгорания и от границ пород с различным электрическим сопротивлением.

Способы ликвидации очага самовозгорания

Одним из распространенных способов предупреждения и тушения очагов самовозгорания угля в шахтах является инертнизация рудничной атмосферы в выработанном пространстве. Важным моментом как для превентивных мер по возникновению очагов самовозгорания, так и при тушении уже возникших эндогенных пожаров является ограничение поступления кислорода к аварийно-опасным участкам и понижение концентрации кислорода в атмосфере шахты. Уменьшения концентрации кислорода может быть достигнуто путем впрыскивания инертного газа – азота – в выработанное пространство шахт. Для получения азота часто используют охлаждение воздуха до жидкого состояния или же азот получают с помощью молекулярных сит. Отметим, что применение автономных воздуходелительных установок мембранного типа почти на порядок снижают стоимость азота[9]. В связи с тем, что получение азота в современных реалиях возможно с различными долями кислорода в примеси, что делает необходимым изучить воздействие азота различной чистоты на каждую стадию самовозгорания угля. Скорость впрыскивания азота также представляет собой важный фактор, влияющий на эффективность превентивных мер, поэтому ее важно уметь оценивать. Исследование влияния азота на сорбционную активность угля проводились на различных пробах угля. Таким образом, проведенные опыты показали некоторое активирующее воздействия азота на сорбционную активность угля в первое время после продувки. Нагнетение азота в потенциально опасные места приводит к дегазации образцов угля, что и объясняет описанный выше факт. Уголь оказывается в состоянии увеличенной свободной поверхности при подаче азота, за счет чего его способность поглощать кислород при взаимодействии с воздухом также повышается. Применение воды приводит к заполнению пустот угля водой, что повлияет на уменьшение его сорбционной активности, в связи с ограничением поступления кислорода. Изложенные выше факты говорят о том, что для профилактики эндогенных пожаров с помощью впрыскивания азота в возможные очаги самовозгорания необходимо обеспечивать длительную подачу газа. В этих же экспериментах была исследована способность разогретого угля поглощать кислород. Серия экспериментов показала, что на предварительно разогретый уголь газообразный азот воздействует как антипироген. Эксперимент длился 1748 часов, и в течение всего эксперимента было зафиксировано сохранение дезактивирующего действия азота, в то время как аналогичное влияние воды сохранялось только 24 часа. В течение

эксперимента было обнаружено, что всего через 72 часа к наличие воды приводит к увеличению сорбционной активности угля 1,3 раза по сравнению с чистыми образцами [9], чего не наблюдается для образцов, обработанных азотом. Таким образом, из проведенных экспериментов следует, что газообразный азот, используемый для тушения очагов самовозгорания угля, не вызывает повышения сорбционной активности угля. С учетом описанных выше фактов, можно сказать, что после охлаждения разогретых скоплений вероятность возникновения рецидива пожара снижается.

Биорекультивация

Проблема загрязнения окружающей среды возникла в связи с развитием промышленного производства. Особую остроту эта проблема приобрела во второй половине 20-го века, в период широкого развития угледобывающей промышленности. По негативному влиянию на окружающую среду горнодобывающая промышленность находится на втором месте из всех отраслей промышленности, в связи с чем ей должно быть уделено большое внимание. Влияние горнодобывающих предприятий заключается в распространении их на значительные территории, негативном воздействии на ландшафты и среду обитания человека. Находящиеся в непосредственной близости от густонаселенных городов и районов угольные разработки являются постоянным источником газопылевых выбросов. Кроме того, используемые для угольных разработок территории оказываются недоступными для сельского хозяйства, а для возвращения данных земель в целевое обращение необходимо провести длительную процедуру рекультивации – комплекса мероприятий, направленных на восстановление продуктивности и хозяйственной ценности нарушенных земель.

Процессу рекультивации всегда уделялось большое внимание и еще со времен СССР составлялись методические указания по проектированию рекультивации нарушенных земель на действующих и проектируемых предприятиях угольной промышленности.

Нужно учитывать, что пожароопасные отвалы рекультивируются только после работ по тушению и проведения работ по предупреждению их самовозгорания, выполненных в соответствии с отраслевыми инструкциями по безопасной эксплуатации породных отвалов. Основные рекультивационные меры пожароопасных разработок на данный момент – это обработка поверхности отвалов, предназначенных для биологической рекультивации, антипирогенами и веществами, повышающими эффективность тушения. При этом, антипирогены, обладающие токсичными для растений свойствами, разрешается инъектированием на глубину не менее 2,5-3,0 м.

Озеленение породных отвалов шахт как один из основных этапов рекультивации породных отвалов

История угледобывающей промышленности в России измеряется десятками лет, за которые было отдано под разработки угледобычи огромное количество земель. После ликвидации шахт все территории подлежат восстановлению, в связи с чем объем работ по биорекультивации оказывается масштабным.

Процесс рекультивации имеет определенную методику: изучение состава почвы, разработка проекта, согласно которому начинается восстановление слоев породы, глины, щебня и т.д.. Затем начинается биологический этап, заключающийся в посеве растений: травы, деревьев и т.д.

Озеленение породных отвалов шахт это одна из составляющих рекультивации. Озеленение относится к биологическому этапу рекультивации. Озеленение должно осуществляться с помощью экологически устойчивых видов местной флоры. Такие виды хорошо известны для любого региона, так как в данном направлении много лет проводятся научные эксперименты и исследования.

Отработанные шахты подвергаются рекультивации после очищения от угля и полного закрытия предприятия. При этом работы по восстановлению шахт, чаще всего, проводятся и в течение их разработок. Например, рекультивируются участки, подвергшиеся оседанию почвы в процессе выемки угля. Рекультивация в таких случаях состоит в засыпке просевших участков и засева травяным покровом, то есть происходит минимальное восстановление ландшафта.

Насаждения деревьев, кустарников и травы обладают свойствами задерживать пыль, служить звукоизоляцией и очищать воздух. Любое промышленное предприятие имеет в обязательном порядке мероприятия по озеленению своих территорий для экологического назначения. Деревья являются естественной преградой для распространения шума и пыли в сторону населенных пунктов для защиты населения от так называемых издержек производства.

Выводы

Данная работа посвящена проблемам обнаружения и тушения эндогенных пожаров на угледобывающих шахтах, а также последующей биорекультивации ликвидируемых шахт. Анализ доступных методов для мониторинга рисков возникновения очагов возгорания угля показывает, что точность методов невысока, а моделирование возникновения аварийных ситуаций требует большого объема начальных данных и сложного математического аппарата.

Также данная работа представляет имеющиеся методы тушения эндогенных пожаров, в том числе метод нагнетения азота, который обладает хорошей эффективностью и при определенных условиях снижает риск возникновения рецидива пожара. При этом, данный метод не имеет пагубного влияния на экологическую ситуацию и дальнейшую биорекультивацию ликвидируемых шахт.

Список литературы

1. Трубицын А. А., Применение геофизических методов для борьбы с эндогенными пожарами, Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности
2. Положение об аэрогазовом контроле в угольных шахтах. Сер. 05. Вып. 23. М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» (ЗАО НТЦ ПБ), 2012. 110 с.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок». Сер. 05. Вып. 21. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2011. 126 с.
4. Филатов Ю.М., Игишев В.Г., Шлапаков П.А., Ширяев С.Н., Шлапаков Е.А. , О новой нормативной базе проблем борьбы с эндогенными пожарами в шахтах, Уголь, 2018
5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по определению инкубационного периода самовозгорания угля». Сер. 05. Вып. 38. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2013. 22 с.
6. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по изоляции неиспользуемых горных выработок и выработанных пространств в угольных шахтах». Сер. 05. Вып. 43. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015. 54 с.
7. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Сер. 05. Вып. 40. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2015. 196 с.
8. 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
9. Захаров Е.И., Качурин Н. М., Малахова Д. Д., Механизм процесса самонагрева угля и перехода его в самовозгорании, Известия Тульского государственного университета. Науки о земле, 2013
10. Природа самонагрева углей. Анализ проблемы /Е.И. Захаров [и др]. Ростов на/Д: Изд-во «Высшая школа», 1994. 22 с.

11. Захаров Е.И., Качурин Н.М. Самовозгорание углей: монография. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. 318 с.
12. Metody indikace samovzniceni uhli ve sloji // Nemes J., Medek J., Weishauptovaz / Acta montana.-1988.- No 76.- С. 55-62.
13. Moznosti pouziti infracervenyh bezdotykozych teplomeru v dolech // Medek J., Weishauptovaz / Uhli.-1988, 36.- No 1.- С. 8-13.
14. Lokalizacja ogniska pożaru w wyrobisku gorniczym na podstawie pomiarow temperatury / Cianamara B., Marcak H. / Arch. gorn.- 1987.-32, No 2.- 243-265.
15. Портола В.А., Лабукин С.Н., Шеломенцев А.Ю., Проблемы обнаружения очагов самовозгорания угля в выработанном пространстве шахт, Вестник Кузбасского Государственного Технического Университета
16. Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров в шахтах Кузбасса. - Кемерово, 2007. - 66 с.
17. Методика прогнозирования с использованием геофизических методов исследований и выбора мер по снижению эндогенной пожароопасности наклонных вскрывающих выработок, проводимых по угольному пласту. – Кемерово: НЦ ВостНИИ, 2007. – 33 с.
18. Патент 2340776 Российская Федерация, МПК7 E21F 5/00. Способ прогноза эндогенной пожароопасности при подземной разработке пластов угля, склонных к самовозгоранию / Каминский А.Я., Потапов П.В., Славолюбов В.В.; заявители и патентообладатели Каминский А.Я., Потапов П.В. -No 2007110006/03; заявл. 19.03.07; опубл. 10.12.08. - Бюл.№ 34.
19. Овчаренко И.Р., Малярчук А.М. Обнаружение очагов самовозгорания в угольных целиках радиолокационным методом // Изв. вузов. Горный журнал.- 1975.- No 11.- С. 8-10.