

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Микрокапсулирование, как эффективное звено в цепочке профилактики тушения  
эндогенных пожаров.

Авторы: студент направления 20.03.01 «Техносферная безопасность» профиль  
«Защита в чрезвычайных ситуациях» Лигун Маргарита Олеговна

Научный руководитель: заведующий кафедрой «Пожарная и техносферная  
безопасность» к.т.н., доцент  
Беломутенко Д.В.

Волгоград 2019

## Содержание

Введение .....	3
1. Анализ аварийных ситуаций в шахтах и выявление причин самонагревания угля.....	3
2. Актуальность .....	7
проблемы.....	7
3. Предложения по решению этой проблемы.....	11
Список литературы .....	12

**Введение.** Технический прогресс в промышленности определяется созданием высокопроизводительных, экономически выгодных и экологически безопасных технологий. Особое место в этом ряду занимает угольная отрасль, как наиболее тяжелая, важная и небезопасная. Эндогенные пожары в шахтах являются одним из опасных производственных и экологических бедствий вызывающих: нарушение технологии добычи угля, выгорание энергетических ресурсов, уничтожение материальных ценностей, консервацию резервных выработок, экологические нарушения земной поверхности под заповаренными зонами, загазирование атмосферы, взрывы пыли, газа и массовую гибель людей.

## **1. Анализ аварийных ситуаций в шахтах и выявление причин самонагревания угля**

Согласно изученным мною данным, наибольшее число аварийных ситуаций в шахтах приходится на эндогенные пожары, которые в итоге могут быть причиной метановых взрывов (до 66 % всех аварий).

Как показали исследования, [самовозгорание](#) угля происходит в краевых частях выработок, граничащих с угольным массивом. В стадии интенсивного окисления (возгорания) уголь отличается снижением естественной влажности до 30 – 40 %. Именно поэтому гидравлический способ добычи угля наиболее приемлем в технологических процессах угледобычи, поскольку происходит конденсация влаги и седиментация водных частиц аэрозоля, которые образуются при контакте струи с массивом угля.

В процессе разрушения горной части пласта температура угля на 25 – 35 °С выше в сравнении с обрушенными породами и основным угольным массивом. Поэтому при поступлении воздуха происходит самонагревание угля, которое становится причиной формирования очага возгорания в области части пласта, подвергшейся механодеструкции. [Взрыв](#) метана является причиной последующего возгорания, поскольку [огонь](#) и метан попадают в угольную пыль, находящуюся в примыкающих выработках, что и обуславливает [воспламенение](#) массивов угля. Для прогнозирования вероятности возникновения эндогенного пожара стоит применить методы оценки содержания влаги, находящейся в воздухе, который проходит через пространство выработки.

## **2. Актуальность рассматриваемой проблемы**

На данный момент в угольной промышленности в связи с увеличением темпов добычи угля остается высокая вероятность возникновения эндогенных пожаров в выработанном пространстве шахт. Пожары являются наиболее опасными авариями,

случающимися на шахтах по причине сопровождения пожаров выделением большого количества токсичных газов, что в свою очередь приводит к образованию взрывоопасной газовой смеси и повышается вероятность взрыва. На востребованность данной разработки указывает множество аварий, возникающих на шахтах Кузбасса. В период с 2012 по 2018 года зафиксировано значительное число эндогенных пожаров, что объясняет необходимость разработки и внедрения новых способов их предотвращения.

Ознакомившись с данными, приведенными в таблице 1, можно сделать вывод, что

Таблица 1. Статистика действующих пожаров на шахтах Кузбасса на 10.12.2018г.

№ п/п	Наименование шахты	Дата возникновения	Примечание
1	АО «Угольной компании «Северный Кузбасс» Шахта «Первомайская» (Кем. обл., п. Разведчик)	10 декабря 2018 г.	В лаве №431 бис было допущено накопление газа метана горючей концентрации. При выемке угля стругом, в результате фрикционного искрения, произошло возгорание метана, горение которого распространилось в выработанное пространство лавы. Авария – экзогенный пожар, пострадавших нет.
2	«Шахтоуправление «Талдинское-Южное» (село Большая Талда, Прокопьевский район, Кем. обл.)	14 августа 2018 года	В отработанном пространстве выемочного участка лавы 48-8 пласта 48 произошел эндогенный пожар. Авария, пострадавших нет.
3	ООО «Шахта Грамотеинская» (Кем. обл., г. Белово, пгт. Грамотеино)	13 мая 2018 года	Произошло задымление горной выработки из выработанного пространства отработанной лавы № 825. Авария, эндогенный пожар, пострадавших нет.
4	им. В.И. Ленина ПАО «УК «Южный Кузбасс»	07 апреля 2018 года	В конвейерном штреке 0-5-1-13 бис у изоляционных перемычек зафиксировано превышение допустимой концентрации окиси углерода, эндогенный пожар в выработанном пространстве. Все люди были выведены из шахты. Авария, пострадавших нет.

5	АО ХК «СДС-Уголь» ООО «Шахта Листвяжная»	12 июля 2015 года	Произошло возгорание в монтажной камере № 1103. Авария – экзогенный пожар. Пострадавших нет.
6	им. А.Д. Рубана ОАО «СУЭК-Кузбасс»	11 апреля 2015 года	Системой аэрогазового контроля было зафиксировано увеличение концентрации окиси углерода в исходящей струе воздуха лавы 1212. Авария - экзогенный пожар.
7	им. А.Д. Рубана ОАО «СУЭК-Кузбасс»	11 апреля 2015 года	Системой аэрогазового контроля было зафиксировано увеличение концентрации окиси углерода в исходящей струе воздуха лавы 1212. Авария - экзогенный пожар.
8	ООО «Зиминка»	13 декабря 2014г	На пульт дежурного по шахте поступил сигнал об увеличении концентрации оксида углерода с датчика аэрогазового контроля. При обследовании горных выработок горизонтов +40м и +133м в скате пласта Двойного промежуточного был обнаружен открытый огонь. Авария - эндогенный пожар.
9	Первомайская ОАО «УК «Северный Кузбасс»	31 октября 2014г.	На сопряжении насосной камеры №72 с основным штреком пл. XXVII «юг» возник пожар, была дана команда на вывод людей из шахты. Авария – экзогенный пожар.
10	Первомайская ОАО «УК «Северный Кузбасс»	31 октября 2014г.	На сопряжении насосной камеры №72 с основным штреком пл. XXVII «юг» возник пожар, была дана команда на вывод людей из шахты. Авария – экзогенный пожар.
11	«Шахта Колмогоровская-2» ООО «УК Промуглесбыт»	23 сентября 2013г.	В конвейерном штреке №6 обнаружен очаг самонагревания угля. Авария - эндогенный пожар.
12	ООО «Шахта «Киселевская»» ОАО ХК «СДС-Уголь»	05 июня 2013г.	В вентиляционном штреке пл. Прокопьевского с квершлага №66 обнаружен открытый огонь со стороны лежачего борта пласта – Авария, эндогенный пожар.
13	ОАО «Распадская»	06 мая 2013г	В лаве 4-9-23 зафиксировано изменение вентиляционного режима и газового состава рудничного воздуха в районе камеры смешивания лавы 4-9-23.

			В ходе обследования обнаружен эндогенный пожар в выработанном пространстве лавы 4-9-23 – Авария.
14	ООО «Шахта «Алардинская» ОАО ОУК «Южкузбассуголь»	28 марта 2013г.	В групповом конвейерном штреке пл. 6 было обнаружено задымление в районе хвостовой части ленточного конвейера, очагом возгорания явилось горение угольного штыба и ленточного полотна конвейера. Авария - экзогенный пожар. Пострадавших нет.
15	ООО «Шахта «Алардинская» ОАО ОУК «Южкузбассуголь»	28 марта 2013г.	На групповом конвейерном штреке пл. 6 было обнаружено задымление в районе хвостовой части ленточного конвейера, очагом возгорания явилось горение угольного штыба и ленточного полотна конвейера. Авария - экзогенный пожар. Пострадавших нет.
16	ООО «Шахта Колмогоровская-2»	07 ноября 2012г.	Демонтажной камере лавы №4 горным мастером участка №5 был выявлен очаг открытого огня, об обнаружении очага самовозгорания немедленно сообщено горному диспетчеру и задействован План ликвидации аварии. 73 работника шахты вышли самостоятельно на поверхность. Авария - эндогенный пожар.
17	ОАО «СУЭК-Кузбасс» ПЕ шахта «Комсомолец»	26 июля 2012г.	Обнаружено задымление и огонь из под железобетонной перетяжки кровли над приводной станцией ленточного конвейера 1Л-120, установленного по концентрационному конвейерному уклону № 18-3 пласта Толмачевского. Задействован ПЛА по позиции «Пожар». Все работники были выведены на поверхность, пострадавших нет. Авария - экзогенный пожар.
18	ОАО «СУЭК-Кузбасс» ПЕ шахта «Комсомолец»	26 июля 2012г.	Обнаружено задымление и огонь из под железобетонной перетяжки кровли над приводной станцией ленточного конвейера 1Л-120, установленного по концентрационному конвейерному

			уклону № 18-3 пласта Толмачевского. Задействован ПЛА по позиции «Пожар». Все работники были выведены на поверхность, пострадавших нет. Авария - экзогенный пожар.
19	ООО «Шахта Грамотеинская» ОАО ОУК «Южкузбассуголь»	14 апреля 2012г.	При обследовании горных выработок на сопряжении бремсберга 802 по пласту Сычевский -4 был обнаружен дым, в кровле в районе отработанной лавы 809 – открытый огонь. Произведено тушение открытых очагов огня. Авария – эндогенный пожар.
20	ОАО «Шахтоуправление Анжерское»	04 апреля 2012г.	Исходящей струе воздуха выемочного участка лавы №1 пласта Румянцевского выявлено превышение концентрации окиси углерода – эндогенный пожар, авария.
21	Ольжерасская-Новая ОАО «Южный Кузбасс»	02 марта 2012г.	В выработанном пространстве выемочного участка лавы 21-1-7 пласта 21 были зарегистрированы признаки самонагревания угля - авария эндогенный пожар

на 10.12.2018г. обнаружен 21 пожар, из которых 11 эндогенных и 10 экзогенных. Эти данные подтверждают значимость применения инновационных методов по борьбе с эндогенными пожарами и позволяют говорить о малоэффективности применяемых способов их тушения. Некоторые эндогенные пожары горят на протяжении десятков лет, достаточно часто возникают рецидивы потушенных эндогенных пожаров. Потери угольных компаний от простоя, повреждения дорогостоящего оборудования и расходы на тушение пожаров постоянно возрастают, что позволяет говорить о значительном финансовом ущербе, наносимом эндогенными пожарами, и необходимости поиска новых способов борьбы с ними. Эндогенные пожары представляют опасность для жизни и здоровья шахтеров и угрозу для работы угледобывающих предприятий. Развитие пожаров обесценивает недра, уничтожает оборудование, ведет к огромному экономическому ущербу и снижает эффективность работы угледобывающих предприятий.

### **3. Предложения по решению этой проблемы**

Большая часть самовозгораний угля фиксируется в недоступных для людей и контрольной аппаратуры местах, а именно в выработанных пространствах действующих и

отработанных полей. Именно поэтому обнаружение пожаров затруднено. Борьба с эндогенными пожарами усложняется в связи с зависимостью процесса самонагревания угля от огромного количества факторов, влияющих на его склонность к самовозгоранию. К таким факторам принято относить способность угля к окислению, содержание кислорода в рудничном воздухе и физические свойства угля, а также горно-геологические факторы. Затруднение поиска очага эндогенного пожара и его развитие в выработанных пространствах шахт повышает актуальность разработки методов по предупреждению и предотвращению возгорания. Для снижения негативного воздействия эндогенных пожаров на угольные предприятия требуется разработка способов, позволяющих предотвратить возгорание угля на начальных стадиях.

Одним из инновационных способов борьбы с эндогенными пожарами можно считать профилактику образования пожара, путем обработки поверхности угля микрокапсулами и содержащегося внутри капсулы ингибитора в газообразном или жидком состоянии. Оболочкой капсулы могут служить любые вещества, обладающие пленкообразующими свойствами. Использование микрокапсул обеспечивает надежное, долгое хранение капсулируемого материала в оболочке до момента разрушения материала капсулы, при этом потери капсулируемого материала на протяжении времени.

Под термином «микрокапсулирование» принято понимать процесс заключения мелких частиц материала в любом агрегатном состоянии в оболочку. В результате этого процесса получается материал, заключенный в микрокапсулы с необходимыми характеристиками. В случае применения микрокапсул для борьбы с эндогенными пожарами основное требование к материалу оболочки капсул – водостойкость и не жаропрочность. Для этого подбирают материал оболочки таким образом, чтобы происходило разрушение оболочки при определенной температуре. Вещество, находящееся в микрокапсуле, принято называть «ядро микрокапсулы», а материал, составляющий оболочку, – «капсулирующий материал». Содержание капсулируемого вещества в составе капсулы может достигать до 95-98% от общей массы капсул. Содержимое микрокапсул может высвобождаться в результате: механического воздействия на оболочку; температурного воздействия на оболочку; ультразвукового воздействия; разрушения оболочки изнутри под действием пара или газа в результате изменения внешних условий; плавления; взаимодействия материала оболочки и внешней среды. Микрокапсулы, в которые заключены вещества в жидком или газообразном состоянии, имеют преимущественно сферическую форму. В зависимости от ее назначения оболочки микрокапсул могут иметь однослойную или многослойную структуру. Использование микрокапсул обеспечивает надежное, долгое хранение капсулируемого



материала в оболочке до момента разрушения материала капсулы. Потери капсулируемого материала на протяжении времени не значительны. Микрокапсулы следует наносить на поверхность угля, предварительно обработанную клеевым составом. Клей и микрокапсулы с ингибитором рекомендуется наносить при помощи распыления или любыми другими доступными способами. Клеевой состав должен обеспечивать надежный контакт поверхности угля с поверхностью капсул в течение всего срока эксплуатации.

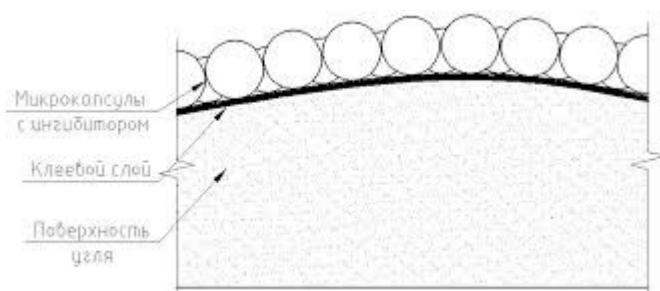


Рисунок 1 - Способ закрепления микрокапсул на поверхности угля

На рисунке 1 наглядно показан способ закрепления микрокапсул с ингибитором на поверхности угля. Данная технология нанесения микрокапсул на поверхность угля является оптимальной, так как не требует использования дорогостоящего оборудования, и сам процесс нанесения не является трудоёмким.

Существует три основных метода получения микрокапсул: физико-химические методы; химические методы; физические методы. Но на практике данные методы применяются комбинированно, в зависимости от необходимых требований, предъявляемых к конечному продукту. К физико-химическим методам можно отнести коацервацию, осаждение нерастворителем, образование новой фазы при изменении температуры, упаривание летучего растворителя, отверждение расплава в жидких средах, экстракционное замещение, высушивание распылением, физическую адсорбцию. К химическим методам можно отнести образование новой фазы путем сшивания полимеров, поликонденсацию и полимеризацию, аэрозольное микро-капсулирование. К физическим методам можно отнести напыление в псевдооживленном слое, экструзия и конденсация паров.

Примерами такой микрокапсулы можно считать следующие составы:

Материалами для оболочки капсулы могут служить органические полимеры (желатин, воски и т.д.) и различные полимерные соединения. В качестве ингибитора

рекомендуется использовать любой из применяющихся ингибиторов горения, разрешенный к использованию в шахте. Из современных материалов следует уделить особое внимание Хладону 227 ea (HFC-227ea, FM-200, гептафторпропан) — газ без цвета, вкуса и запаха. Огнетушащее вещество ГОТВ Хладон 227 ea (HFC-227ea, FM-200): применяется для защиты помещений с постоянным пребыванием людей; озонобезопасен, не разрушает озоновый слой, так как озоноразрушающий потенциал (ODP) равен 0; остаточная концентрация кислорода после выпуска ГОТВ составляет 18 — 19%, что обеспечивает свободное дыхание человека; эффективно обеспечивает объемное пожаротушение; не проводит электричество; не вызывает коррозии металлов и деструкции органических соединений, что позволяет отнести его к группе так называемых «чистых газов»; химически инертен; время выпуска 10 секунд; для обеспечения транспортировки по трубам требуется газ-вытеснитель; контроль давления в модуле осуществляется по манометру; высокий показатель отношения качество/цена; входит в перечень газов, рекомендованных к применению на территории РФ — по Своду правил СП 5.13130.2009 и НПБ 88-2001. Хладон 227 ea – негорючий, невзрывоопасный и малотоксичный газ, при нормальных условиях является стабильным веществом. Хладон 227ea хранится в модулях высокого давления в сжиженном состоянии.

Стоит отметить действие газовой смеси для пожаротушения – Инергену. Инерген – это инертный газ, в котором содержится азот, аргон и двуокись углерода. Основным преимуществом данного газа является его низкая стоимость. Газовая смесь Инерген состоит из трех газов, находящихся в следующей пропорции: азот (N<sub>2</sub>) - 52%, аргон (Ar) - 40%, двуокись углерода (CO<sub>2</sub>) - 8%. Поскольку газ Инерген состоит из газов, образующих атмосферу земли, он абсолютно безопасен в экологическом отношении и одобрен экологическими организациями. Газ Инерген успешно применяется в системах пожаротушения зданий и сооружений. Инерген снижает концентрацию кислорода в зоне горения до 15%, что вызывает снижение скорости горения до полного затухания очага пожара. Выработка способов по предотвращению возгорания на сегодняшний день является наиболее рентабельной с экономической точки зрения, чем борьба с уже начавшимся пожаром, что указывает на эффективность использования ингибиторов для данных целей. Важной особенностью использования микрокапсул для предотвращения пожара является сохранение свойств используемого ингибитора внутри капсулы до момента его использования в момент разрушения капсулы при температурном воздействии. В результате повышения температуры угля, происходит разрушение материала капсулы и высвобождение ингибитора, действующего на очаг пожара. Количество тепла, выделяющегося в процессе

самовозгорания, пропорционально химической активности углей, которая оценивается по скорости поглощения ими кислорода

Это обуславливает эффективность использования данной технологии на стадии самонагрева угля.

Для наихудшего варианта событий эффективным методом предотвращения пожара, на мой взгляд, будет являться технологическая цепочка:

Построение цеха сгущения для производства обезвоженного закладочного материала из хвостов обогатительной фабрики комбината. Закладочный материал - инертная порода, пригодная для заполнения отработанной выработки угольного разреза. Суглинок станет своеобразным закладочным материалом и запечатает полости подземных выработок. Это перекроет кислород к очагам, и регион будет избавлен от эндогенных пожаров. Кроме того, данный метод можно использовать и в прерывании оползневых процессов в разрезе.

Закладочный материал при помощи специальных насосов перекачивать в разрез по пульпопроводам. Их построить из стальных труб. Для транспортировки закладочного материала построить три пульпонасосные станции и две резервные ёмкости (для сбора закладочного материала в период остановки пульпопроводов на обслуживание). Проект исключает нарушение технологии транспортировки закладочного материала в связи с человеческими, техногенными или климатическими факторами.

На всех этапах реализации проекта предусмотреть мониторинг состояния бортов и прибортового массива угольного разреза, чтобы не допустить развития оползней.

## Список литературы

1. Портола, В.А. Обнаружение ранней стадии процесса самовозгорания угля в шахтах [Текст]: учебник / В.А. Портола, С.Н. Лабукин. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 133 с.
2. Портал о пожарной безопасности POJARUNET [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <http://pojarunet.ru/endogennye-pozhary-v-shakhtakh-i-ikh-profilaktika>.
3. Научная электронная библиотека КиберЛенинка [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tehnologii-mikrokapsulirovaniya-dlya-predotvrashcheniya-endogennykh-pozharov>.
4. Солодовник, В.Д. Микрокапсулирование [Текст]: учебник / В.Д. Солодовник. - М.: Химия, 1980. – 216 с.
5. Электронная библиотека диссертаций disserCat [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/profilaktika-endogennykh-pozharov-pri-otrabotke-barenykh-vyemochnykh-stolbov-shakht>.
6. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору РОСТЕХНАДЗОР Сибирское управление [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <http://usib.gosnadzor.ru/info/>.
7. Методика прогноза эндогенной пожароопасности выемочных полей шахт Кузбасса для выбора достаточного объема пожарно-профилактических мероприятий [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <https://lektsii.org/5-13744.html>.
8. Балтайтис, В.Я. Тушение пожаров в угольных шахтах [Текст]: учебник / В.Я. Балтайтис. - М.: Госгортехиздат. 1961. – 283 с.
9. Линденау, Н.Н. Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров в угольных шахтах [Текст]: учебник / Н.И. Линденау, В.М. Маевская, В.Ф. Крылов; под.ред. Н.Н. Линденау. - М.: Недра, 1977. – 32 с.
10. Электронная библиотека диссертаций disserCat [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/preventivnye-mery-endogennogo-samovozgoraniya-uglya-na-shakhtakh-kitaya>.