

УДК 614.849

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ
РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ ПРИ
ХРАНЕНИИ РЕАКЦИОННО-СПОСОБНЫХ УГЛЕРОДНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Аксенов С.Г.

*д-р э.н., профессор,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
РФ, г. Уфа*

Янбеков Б.Р.

*студент,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
РФ, г. Уфа*

Аннотация.

В статье анализируется проблема эндогенной пожароопасности, возникающей в процессе хранения малометаморфизированного каменного угля и полукокса. Рассмотрены физико-химические основы процесса самовозгорания данных материалов, включая влияние степени метаморфизма, химической активности, фракционного состава и технологических добавок. На основе анализа научных исследований и нормативной базы систематизированы методы прогнозирования критических условий самонагревания, такие как калориметрирование и экспресс-определение кинетических параметров. В работе изложены основные принципы и конкретные технические решения для снижения пожароопасности, включая регламентированные способы складирования, конструктивные разработки бункерных устройств и активные методы контроля температурного режима.

Ключевые слова: самовозгорание угля, эндогенная пожароопасность, малометаморфизированный уголь.

PHYSICAL AND CHEMICAL FOUNDATIONS AND PRACTICAL SOLUTIONS FOR PREVENTING ENDOGENOUS FIRES DURING THE STORAGE OF REACTIVE CARBON MATERIALS

Aksyonov S.G.

Doctor of Economics, Professor,

Ufa University of Science and Technology,

Ufa, Russian Federation

Yanbekov B.R.

Student,

Ufa University of Science and Technology,

Ufa, Russian Federation

Annotation.

The article analyzes the problem of endogenous fire hazard that occurs during the storage of low-metamorphosed coal and semi-coke. The physicochemical foundations of the spontaneous combustion process of these materials are considered, including the influence of the degree of metamorphism, chemical activity, fractional composition and technological additives. Based on the analysis of scientific research and the regulatory framework, methods for predicting critical self-heating conditions, such as calorimetry and express determination of kinetic parameters, are systematized. The paper outlines the basic principles and specific technical solutions for reducing fire risk, including regulated storage methods, design developments of bunker devices and active methods of temperature control.

Keywords: spontaneous combustion of coal, endogenous fire hazard, low-metamorphosed coal.

Проблема самовозгорания углеродных материалов, к которым относятся каменные угли и продукты их термохимической переработки, такие как полукокс, представляет собой серьезную угрозу для промышленной и пожарной безопасности. Эндогенные пожары, возникающие в штабелях на складах, в бункерах и в процессе транспортировки, наносят значительный экономический ущерб, приводят к потере материальных ресурсов и создают опасные условия для персонала. Особую актуальность данная проблема приобретает в отношении малометаморфизированных каменных углей, обладающих повышенной химической активностью, и произведенных из них полукоксов. Процессы самонагрева и самовозгорания этих материалов при хранении изучены в меньшей степени, чем аналогичные процессы для бурых углей или антрацитов, что затрудняет разработку универсальных и эффективных профилактических мер. В связи с этим комплексный анализ факторов пожароопасности, механизмов самонагрева и современных методов защиты является необходимым основанием для создания научно обоснованных систем предотвращения аварийных ситуаций. Актуальность разработки мероприятий по снижению эндогенной пожароопасности подчеркивается статистикой, согласно которой на объектах хранения угля и полукокса может происходить до половины всех регистрируемых загораний на производстве.

Физико-химическая природа склонности малометаморфизированного угля и полукокса к самовозгоранию имеет сложный характер и определяется совокупностью факторов. Ключевым процессом выступает низкотемпературное окисление кислородом воздуха, сопровождающееся выделением тепла. Интенсивность данного процесса зависит от реакционной способности материала, которая, в свою очередь, связана со степенью метаморфизма угля, его петрографическим составом, наличием развитой

внутренней поверхности и содержанием активных функциональных групп. Малометаморфизированные угли, к которым относится, например, марка Д Кузнецкого бассейна, изначально обладают высокой склонностью к окислению. Примечательно, что высокотемпературная обработка такого угля в интервале 550–750 °С в инертной атмосфере с получением полукокса не снижает, а в некоторых случаях даже может повышать его пожароопасность. Это объясняется образованием в процессе полукоксования новой, химически активной реакционной поверхности и высокой остаточной температурой продукта, создающей предпосылки для самоускорения окислительных реакций при последующем хранении. Важную роль играют также технологические добавки, используемые в производственном цикле. Например, установлено, что обработка полукокса в пульпе, содержащей водный раствор крахмала и углекислого бария, приводит к увеличению его химической активности. Таким образом, для оценки пожароопасности необходимо рассматривать не только исходные свойства угля, но и всю историю его технологических превращений.

Методология исследования и прогнозирования условий самовозгорания основывается на определении кинетических параметров процесса окисления. К числу таких параметров относятся эффективная энергия активации и предэкспонент адиабатической скорости самонагревания. Для их установления применяются лабораторные методы, среди которых центральное место занимает калориметрирование. Данный метод позволяет моделировать процесс самонагревания в контролируемых условиях и регистрировать тепловыделение. Проведенные исследования показывают, что эффективная энергия активации для полукокса может находиться в тех же пределах, что и для исходного каменного угля марки Д, однако предэкспонент адиабатической скорости самовозгорания может снижаться на порядок, что указывает на изменение кинетического режима

процесса. Для практических нужд производства критически важным является разработка экспресс-методов, позволяющих оперативно определять кинетические параметры поступающих на переработку углей. Один из таких методов основан на использовании компенсационной зависимости между кинетическими параметрами, что дает возможность с приемлемой точностью прогнозировать критические условия хранения непосредственно в производственной обстановке. Полученные данные используются для построения номограмм безопасности, которые наглядно определяют допустимые размеры штабеля, сроки хранения и температурные режимы в зависимости от свойств конкретной партии материала.

Основным направлением снижения эндогенной пожароопасности является строгое соблюдение регламентированных правил складирования и хранения. Нормативные документы, такие как Типовая инструкция по хранению углей на открытых складах электростанций, предписывают комплекс организационно-технических мероприятий. Для углей, склонных к самовозгоранию, к которым относятся малометаморфизированные разности, обязательным является послойное уплотнение при формировании штабеля. Уплотнение уменьшает пористость массы, ограничивает доступ кислорода внутрь штабеля и замедляет процесс окисления. Предельные сроки безопасного хранения для таких углей, отнесенных к III и IV группам склонности к окислению, составляют от одного до трех лет, что требует строгого контроля ротации запасов. Штабели должны укладываться на подготовленные, негорючие основания, иметь строго регламентированную высоту и конфигурацию откосов для минимизации поверхности контакта с воздухом. Между отдельными штабелями необходимо соблюдение противопожарных разрывов. В климатических условиях, например, Севера, эффективным оказывается использование естественного холода: предлагаются такие методы, как формирование защитной прослойки изо льда

или траншейный способ хранения в вечномёрзлых грунтах, что значительно удлиняет инкубационный период до возможного самовозгорания.

Для условий внутризаводского хранения, особенно горячего полукокса, поступающего с технологической установки, требуются специальные инженерные решения. Одним из таких решений является разработка бункерных устройств, предназначенных для накопления и временного хранения дисперсных углеродных материалов. Конструкция подобного бункера должна обеспечивать не только функциональность, но и активное управление пожарной безопасностью. Научные исследования обосновали принцип торможения развития самонагревания в бункере путем принудительной подачи воздуха с определенной, пожаробезопасной скоростью фильтрации. Установлено, что скорость потока воздуха более 0,01 м/с способствует эффективному отводу тепла от массы нагретого полукокса, предотвращая переход процесса в термически неуправляемую стадию. Данный подход представляет собой пример активной профилактики, когда технологический параметр (скорость вентиляции) используется в качестве превентивной меры. Кроме того, системы бункеров должны оснащаться надежными средствами температурного контроля, например, термопарами, погруженными в толщу материала, для непрерывного мониторинга теплового состояния и своевременного обнаружения очагов самонагревания.

Наряду с профилактическими мерами, важнейшей составляющей общей системы безопасности является раннее обнаружение и ликвидация начавшихся очагов самонагревания. Традиционный метод контроля предполагает регулярные замеры температуры в штабеле с помощью термометрических щупов или стационарных датчиков. При обнаружении локального перегрева выше критического уровня (обычно 60–80 °С) необходимо принимать немедленные меры. Наиболее радикальным и эффективным способом является извлечение нагретой части угля или

полукокса из штабеля с последующим рассредоточением, охлаждением и быстрой утилизацией. Для тушения начавшихся загораний могут применяться методы флегматизации, например, подача инертных газов (азот, углекислый газ) или обработка специальными ингибирующими составами, подавляющими окислительные реакции. Сложность тушения уже возникшего пожара в массе полукокса, сопряженная с огромными затратами и риском взрыва пылегазовых смесей, многократно превышает затраты на организацию систематической профилактики. Поэтому экономический анализ однозначно свидетельствует в пользу приоритета превентивных мер, основанных на глубоком понимании кинетики процессов и строгом соблюдении технологических регламентов хранения.

Таким образом, снижение эндогенной пожароопасности малометаморфизированного каменного угля и полукокса при хранении представляет собой комплексную научно-техническую задачу. Ее успешное решение лежит на пути интеграции фундаментальных знаний о механизмах самоокисления, развитых методов экспериментальной диагностики кинетических параметров, строгих нормативных требований к организации складских операций и внедрения специального инженерного оборудования, позволяющего активно управлять условиями хранения. Последовательная реализация данного комплексного подхода позволяет перевести процесс хранения высокореакционных углеродных материалов из области постоянного пожарного риска в режим управляемой и контролируемой безопасности, обеспечивая сохранность материальных ценностей и защиту людей.

Библиографический список

1. Аксенов С.Г., Овчинникова М.Н. Автозаправочная станция как сложный пожаровзрывоопасный объект // Прикладные экономические исследования. 2024. № 3. С. 155-161.

2. Аксенов С.Г., Вагапова А.М., Синагатуллин Ф.К. Анализ и оценка пожарной опасности объекта хранения нефтепродуктов // Экономика строительства. 2023. № 5. С. 52-55.

3. Портола В.А. Обнаружение ранней стадии процесса самовозгорания угля в шахтах / В.А. Пор-тола, С.Н. Лабукин. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011. - 133с.

4. Ребятников К. О. Применение технологии микрокапсулирования для предотвращения эндогенных пожаров // Вестник Научного центра. 2016. №3. С. 122-127.

5. Солодовник В.Д. Микрокапсулирование. / В.Д. Солодовник. - М.: Химия, 1980. - 216с.