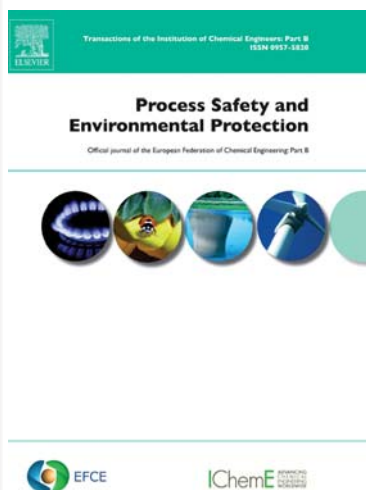


РЕФЕРАТИВНЫЙ ОБЗОР ЖУРНАЛА PROCESS SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION, № 153, 154 (2021)



**Vol. 153 (2021):
1-10**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ИНГИБИРОВАНИЯ СМЕСЕЙ CO_2/N_2 НА ВОСПЛАМЕНЕНИЕ ОБЛАКОВ УГЛЕРОДИСТОЙ ПЫЛИ

Вэньин Ву (Китай), Айжу Вэй (Китай), Вэйсин Хуан (Китай), Пэн Чжао (Германия), Мартин Шмидт (Германия), Ульрих Краузе (Германия), Децзянь Ву (Германия)

Газообразные ингибиторы используются во многих отраслях промышленности для предотвращения взрыва горючей пыли, что снижает потенциальную опасность для человека, имущества и окружающей среды. В данной работе экспериментально и теоретически исследовано инертное влияние газообразных ингибиторов на процесс воспламенения пылевых облаков в атмосферах $\text{O}_2/\text{N}_2/\text{CO}_2$ с особым вниманием к функции соотношения CO_2/N_2 . Были выбраны 10 различных горючих углеродистых пылей, в том числе зерновая, пыль биомассы и угольная пыль. Результаты экспериментов показали, что эффект ингибирования CO_2/N_2 тесно связан с механизмом воспламенения пылевых облаков. В частности, более высокое соотношение CO_2/N_2 оказывает более сильный ингибирующий эффект на процесс воспламенения образцов пыли с относительно низким содержанием летучих веществ, в котором преобладает гетерогенное воспламенение. Кроме того, для интерпретации экспериментальных наблюдений были разработаны две новые модели стационарного механизма воспламенения. Для описания диффузии в трехкомпонентных газовых смесях $\text{O}_2/\text{N}_2/\text{CO}_2$ использовались уравнения Максвелла – Стефана. Аналитические результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными по минимальной температуре воспламенения пылевого облака в обедненной кислородом атмосфере. Моделирование механизма воспламенения может быть использовано для оценки критической температуры воспламенения всех углеродистых пылевых облаков с широким диапазоном содержания летучих веществ в различных инертных атмосферах, что послужит ориентиром для оценки взрывоопасности пыли, образующейся на горячих поверхностях оборудования в перерабатывающей промышленности.

Ключевые слова: соотношение CO_2/N_2 , эффективности инертирования, содержание летучих веществ, минимальная температура воспламенения пылевого облака, модель механизма



Process Safety and Environmental Protection

Official journal of the European Federation of Chemical Engineering Part B



**Vol. 153 (2021):
159-166**

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ХАРАКТЕР ГОРЕНИЯ ПРОЛИВА ЭТАНОЛА В ЗАКРЫТОМ СОСУДЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Цзянь Чен, Янли Чжао, Юбо Би, Чанхай Ли, Депенг Конг, Шоусян Лу (Китай)

Опасность, связанная с сосудами под давлением, серьезно угрожает безопасности технологических процессов в химической промышленности. Относительно характеристик пожара в закрытых сосудах под давлением в литературе представлено мало данных, необходимых для управления пожарными рисками и проектирования систем безопасности. В данном исследовании изучалось влияние начального давления на характер горения пролива этанола из сосуда под давлением. С применением сосуда под давлением с внутренними размерами 0,6 м (высота) × 0,4 м (диаметр) была проведена серия пожаров проливов этанола диаметром

от 4 до 10 см, начальное давление варьировалось от 60 до 300 кПа. Результаты показывают, что при увеличении начального давления или времени горения структура пламени меняется от ламинарной к турбулентной, а цвет пламени – от желтого к синему, что может дать информацию о потоке пламени и химических характеристиках. Кроме того, с учетом влияния начального давления на средний поток пламени была разработана эмпирическая формула для прогнозирования времени самозатухания пожара пролива из закрытого сосуда под давлением, которая хорошо согласуется с экспериментальными данными нашего исследования и предыдущих испытаний. Наконец, было отмечено, что изменение давления со временем аналогично изменению массовой скорости горения и может быть разделено на три характерных стадии. Была введена зависимость для прогнозирования пика избыточного давления, которая была подтверждена экспериментальными данными.

Ключевые слова: пожар пролива, начальное давление, закрытый сосуд, характер горения



Vol. 153 (2021):
225-238

ХАРАКТЕРИСТИКИ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ, ВОСПЛАМЕНЯЮЩЕЙСЯ ОТ ГОРЯЧЕЙ ЧАСТИЦЫ

Сюэцян Ши, Ютао Чжан, Сяокунь Чэнь, Юанбо Чжан, Цянь Ма (Китай)

Воспламенение угольной пыли от горячих частиц (ВУПГЧ) приводит к серьезному возгоранию или взрыву. В данной работе были установлены элементы связи между мультифизическими полями ВУПГЧ. Для понимания механизма и процесса ВУПГЧ были определены две различные химические реакции – пламенное горение летучих веществ и тление угольной пыли. Исследована динамика температуры, молярной концентрации летучих веществ и характеристик тепловыделения при различных температурах частиц и условиях контакта между раскаленной частицей и угольной пылью. Полученные результаты свидетельствуют о том, что

существует два пути развития ВУПГЧ – воспламенение летучих веществ и воспламенение тлеющего угля. Время задержки воспламенения (ВЗВ) экспоненциально увеличивается с уменьшением температуры горячей частицы. При температуре горячей частицы 1100 К происходит неуправляемый нагрев при тлеющем воспламенении угля. При температуре горячей частицы выше 1100 К происходит неуправляемый нагрев при воспламенении летучих веществ. Кроме того, обнаружено, что ВЗВ экспоненциально уменьшается с увеличением глубины залегания (l_p) горячей частицы в угольную пыль при температуре горячей частицы 1186 К. ВЗВ имеет тенденцию к зависимости уменьшение – увеличение – уменьшение с увеличением параметра l_p при температурах горячей частицы 1271 К и 1369 К. Если горячая частица полностью заглублена в угольную пыль, то наблюдается тлеющее горение угольной пыли. Кроме того, летучие вещества в первую очередь реагируют при контакте с горячей частицей, а в месте, где концентрация и температура летучих веществ достаточно высоки, происходит неуправляемый нагрев.

Ключевые слова: воспламенение, угольная пыль, летучие вещества, численное моделирование, горячая частица



Process Safety and
Environmental Protection

Official journal of the European Federation of Chemical Engineering Part B



IChemE

**Vol. 153 (2021):
278-288**

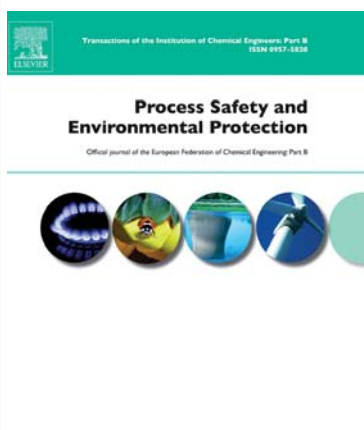
СНИЖЕНИЕ РИСКА ПОЖАРОВ И ВЗРЫВОВ, СВЯЗАННЫХ С КИСЛОРОДОМ, В БОЛЬНИЦАХ, ГДЕ ЛЕЧАТСЯ ПАЦИЕНТЫ С COVID-19

Морин Герати Вуд (Италия), Марк Хейлвуд (Германия), Константинос Кутелос (Италия)

24 апреля 2021 года катастрофический пожар в одной из иракских больниц унес жизни 82 человек. С момента начала пандемии в марте 2020 года случаи пожаров в больницах, связанных с использованием кислорода, в разных странах мира привели к гибели более 200 человек, большинство из которых были пациентами с тяжелой формой заболевания, вызванного новым коронавирусом. Пожары, связанные с медицинским кислородом, – явление не новое, но чаще всего они происходят в операционных, где кислород подается постоянно. В таких условиях обычно соблюдаются

строгие протоколы безопасности, а хирургический персонал хорошо обучен действиям в условиях опасности взрыва кислорода. По всей видимости, некоторые больницы не были полностью готовы к повышенному риску возникновения пожаров, связанных с кислородом, в отделениях интенсивной терапии из-за высокой потребности в кислородной терапии у тяжелобольных пациентов, заболевших Covid-19. Действительно, производители газа и органы здравоохранения также не сразу распознали и предупредили больницы о потенциальной опасности. Кислород необходим для жизни и обычно составляет около 21 % газов, содержащихся в воздухе, которым мы дышим. Чистый кислород вступает в реакцию с обычными материалами, такими как масло и жир, и при выбросе под высоким давлением провоцирует пожары и даже взрывы. Негерметичный клапан или шланг, а также отверстия на стыках масок и трубок при нахождении в замкнутом пространстве или при слабой циркуляции воздуха могут быстро повысить концентрацию кислорода до опасного уровня. Даже небольшое повышение концентрации кислорода в воздухе до 24 % может создать пожароопасную ситуацию. В среде, обогащенной кислородом, материалы легче воспламеняются, и огонь горит жарче и сильнее, чем в обычном воздухе. Кроме того, существует повышенный риск при использовании органических растворителей на основе этанола в качестве чистящих средств в атмосфере, богатой кислородом. В данной статье представлен обзор сценариев аварий, связанных с кислородом, которые могут быть актуальны для больничных отделений интенсивной терапии, с особым упором на недавние события и аналогичные аварии, имевшие место в прошлом. В статье даются рекомендации больницам признать свои химические риски как часть ответственности за управление рисками и отвести управлению химическими рисками заметную роль в общем менеджменте. Для выявления возможностей предотвращения опасных событий, а также реагирования на чрезвычайные, должно быть проведено расследование с целью выявления причин аварий.

Ключевые слова: Covid-19, атмосфера, обогащенная кислородом, пожар в больнице, интенсивная терапия, пожарная безопасность + профилактика, опасности, связанные с применением кислорода



**Vol. 153 (2021):
354-362**

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАМЕНИ В ТРУБАХ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ И БЕЗ НИХ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ВОДОРОДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Пин Ли, Цянь Цзэн, Цянлин Дуань, Цзиньхуа Сунь (Китай)

В данной работе исследуется влияние треугольных препятствий внутри трубы на механизм воспламенения и последующее развитие пламени в полузамкнутом пространстве при внезапном выбросе водорода высокого давления. В рамках исследования были сконструированы гладкая труба и труба с препятствиями в виде оптических стекол, в которые контролируемо выпускается водород высокого давления. Для получения изображения развития пламени используется ускоренная фотосъемка, в то время как датчики давления применяются для получения следов давления – времени

как внутри трубы, так и в выхлопной камере. Проводятся испытания с участием струй водорода с различным давлением, поступающих в гладкие и закупоренные трубки. Установлено, что в гладкой трубе самовоспламенение происходит в пограничном слое трубы, а при распространении пламени в области смешения достигается полное возгорание, охватывающее поперечное сечение. Установлено, что появление препятствий оказывает существенное влияние на механизм воспламенения и структуру пламени. Формируется двустороннее распространение отраженной ударной волны, и вокруг препятствий возникают три возможные области воспламенения. Распространение пламени ограничено между ведущей ударной волной и струей водорода. Пламя расщепляется, передний фронт пламени вблизи препятствия постепенно затухает, а задний продолжает распространяться в области смешения. Развитие пламени и изменение давления в выхлопной камере показывают, что препятствия внутри трубы не усугубляют катастрофу в полузамкнутой камере.

Ключевые слова: водород высокого давления, треугольное препятствие, самовоспламенение, характеристики пламени



Process Safety and
Environmental Protection

Official journal of the European Federation of Chemical Engineering Part B



**Vol. 154 (2021):
60-71**

его опасность. Представляется важным понять механизм инициирования взрыва газотвердой смеси при самовозгорании угля в завале. Полученные результаты показывают, что давление взрыва (P_{gd}), температура взрыва (T_{gd}), скорость нарастания давления ($(dP/dt)_{gd}$) и индекс взрыва (K) смесей CH_4 /угольная пыль тесно связаны с температурой высокотемпературного источника и содержанием летучих веществ. Выявлена роль летучих веществ угольной пыли в гомогенных и негомогенных реакциях. В сочетании с тремя параметрами взрыва (P_{gd} , T_{gd} , K) наиболее опасная концентрация взрывоопасного сочетания выбранной смеси CH_4 /угольная пыль составляет 9,5 %, 500 г/м³, 9,5 %, 400 г/м³ и 8,5 %, 500 г/м³ при температуре воспламенения 1073 К. Наличие угольной пыли приводит к снижению предела взрываемости смеси CH_4 /воздух. Модель Цзяна больше применима для прогнозирования нижних пределов взрываемости смесей CH_4 /угольная пыль, индуцированных высокотемпературной поверхностью источника.

Ключевые слова: смесь CH_4 /угольная пыль, высокотемпературный источник, завал, характеристики взрыва, газ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОЦЕНКИ ВЗРЫВООПАСНОСТИ ПЫЛЕВЫХ СМЕСЕЙ CH_4 /УГОЛЬ, ИНДУЦИРОВАННЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ИСТОЧНИКА

Лэй Чжан, Хайян Ван, Чэнь Чэнь, Пэйпей Ван, Лянвэй Сюй (Китай)

Авария со взрывом, вызванная самопроизвольным возгоранием поверхности угля после того, как угольная пыль окатывается газом, вырывающимся из целика, серьезно угрожает безопасности угледобычи. С целью исследования этой опасности, для детонации смеси CH_4 /угольная пыль с помощью высокотемпературного источника используется самостоятельно разработанное газовое взрывное оборудование. Смоделированы процесс и механизм взрыва газа/угольной пыли, вызванного самовозгоранием угля в пласте, и оценена

**Материал (поступил в редакцию 10.11.2023 г.)
подготовили:**

Ю.В. МЕЛЬНИКОВА, науч. сотр.;
Н.В. САЙГИНА, ст. науч. сотр.;
О.Г. КАСПИНА, нач. сектора;
Н.В. БОРОДИНА, ст. науч. сотр.
(ФГБУ ВНИИПО МЧС России)