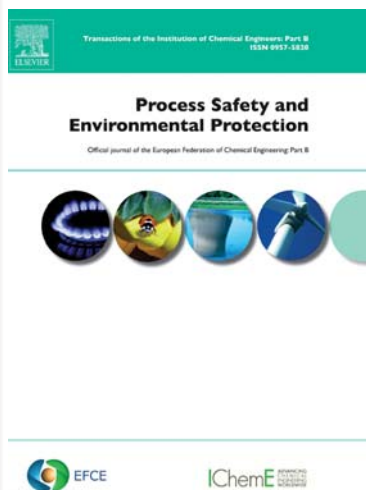


РЕФЕРАТИВНЫЙ ОБЗОР ЖУРНАЛА PROCESS SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION, № 156–158 (2021)



**Vol. 156 (2021):
545-558**

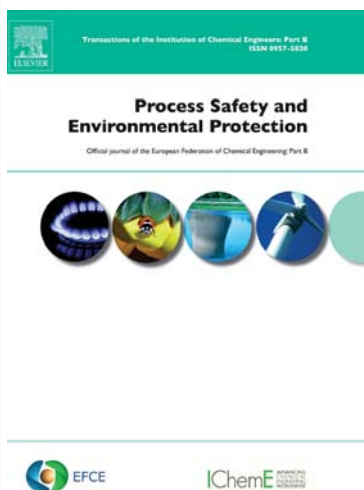
ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЛАГРАЦИИ СМЕСИ ПАРОВ ТОПЛИВА JP-5 С ВОЗДУХОМ В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Ин Ли, Явэй Ван, В.П. Фань, Янь Хуо, Конглин Лю, Ю. Гао (Китай)

С целью оценки риска дефлаграции предварительно подготовленной смеси, содержащей воздух и пары высокотемпературного реактивного топлива JP-5, были проведены эксперименты по дефлаграции в закрытых сосудах объемом 1 и 8 м³. Изучались изменения таких параметров, как давление дефлаграции, скорость распространения пламени, температура и прочие при различных концентрациях и объемах сосудов. Было проведено крупномасштабное вихревое моделирование с использованием модели горения предварительно смешанного газа, и полученные результаты были подтверждены на основе натуральных эксперименталь-

ных данных. Изучалось влияние соотношения «перегородка – блокиратор» на опасность дефлаграции. Экспериментальные результаты показывают тенденцию изменения и числовой диапазон давления дефлаграции и скорости распространения пламени смесей паров топлива JP-5 с воздухом в закрытом сосуде. Увеличение объема дефлаграционного сосуда приводило лишь к увеличению времени нарастания давления и снижению скорости его изменения. Результаты численного моделирования дополнили и объяснили экспериментальные данные о распространении пламени и изменении давления, а также позволили получить более реалистичную температуру дефлаграции. Наличие перегородок в закрытом сосуде увеличило турбулентность пламени, скорость нарастания давления, а также опасность дефлаграции.

Ключевые слова: реактивное топливо с высокой температурой вспышки, дефлаграция в замкнутом пространстве, смесь паров топлива JP-5 с воздухом, моделирование больших вихрей



**Vol. 157 (2021):
175-192**

МЕТОД РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ АВАРИЙ НА ЗАРУБЕЖНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ НА ОСНОВЕ НДООБС В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Цзиньцю Ху, Чуаньган Чэнь, Зейу Лю (Китай)

Завершение строительства и эксплуатация транснациональных нефте- и газопроводов большой протяженности не только способно снизить дефицит нефтегазовых ресурсов в Китае, но и может открыть новые возможности для развития стран, расположенных вдоль их маршрутов. Однако частое возникновение серьезных экологических катастроф привело к ряду неопределенностей в отношении долгосрочной безопасной и стабильной эксплуатации зарубежных трубопроводов, включая разрушение трубопровода, пожары, взрывы и т. д. В данной работе была применена теория нечеткой динамической объектно-ориентированной байесовской сети (НДООБС) для создания метода раннего предупреждения об авариях на зарубежных газопроводах в сложных экологических условиях. Во-первых, для сложных условий окружающей среды (молния, дождь и ветер) на станциях прокладки трубопроводов были спланированы сценарии аварий при одном сложном условии окружающей среды и сочетании нескольких сложных условий окружающей среды. Для модульного построения системы и оборудования станции была принята объектно-ориентированная концепция и была создана модель динамической байесовской сети (ДБС) для каждой подсистемы станции. Затем с помощью нечеткого математического метода были определены параметры условной вероятности в модели. Модель ДБС каждой подсистемы и модель динамической объектно-ориентированной байесовской сети всей системы станции, основанная на технологическом процессе станции и объектно-ориентированной концепции, были поочередно введены для создания модели нечеткой динамической байесовской сети (НДБС) и модели НДООБС соответственно. В итоге была реализована динамическая система раннего предупреждения о рисках станции в сложных условиях окружающей среды. Наконец, были введены ошибки прогнозирования параметров окружающей среды, таких как метеорологические условия, для изменения надежности модели. Результаты показывают, что по сравнению с традиционной моделью, модель НДООБС с коррекцией ошибок не только имеет лучшие показатели в упрощении процесса моделирования и полной интеграции экспертного опыта, но и увеличивает динамический диапазон предупреждения, что еще больше повышает надежность предупреждения об авариях.

Для создания метода раннего предупреждения об авариях на зарубежных газопроводах в сложных экологических условиях. Во-первых, для сложных условий окружающей среды (молния, дождь и ветер) на станциях прокладки трубопроводов были спланированы сценарии аварий при одном сложном условии окружающей среды и сочетании нескольких сложных условий окружающей среды. Для модульного построения системы и оборудования станции была принята объектно-ориентированная концепция и была создана модель динамической байесовской сети (ДБС) для каждой подсистемы станции. Затем с помощью нечеткого математического метода были определены параметры условной вероятности в модели. Модель ДБС каждой подсистемы и модель динамической объектно-ориентированной байесовской сети всей системы станции, основанная на технологическом процессе станции и объектно-ориентированной концепции, были поочередно введены для создания модели нечеткой динамической байесовской сети (НДБС) и модели НДООБС соответственно. В итоге была реализована динамическая система раннего предупреждения о рисках станции в сложных условиях окружающей среды. Наконец, были введены ошибки прогнозирования параметров окружающей среды, таких как метеорологические условия, для изменения надежности модели. Результаты показывают, что по сравнению с традиционной моделью, модель НДООБС с коррекцией ошибок не только имеет лучшие показатели в упрощении процесса моделирования и полной интеграции экспертного опыта, но и увеличивает динамический диапазон предупреждения, что еще больше повышает надежность предупреждения об авариях.

Ключевые слова: зарубежный трубопровод, нечеткая динамическая объектно-ориентированная байесовская сеть (НДООБС), сложные условия окружающей среды, раннее предупреждение



ИНГИБИРУЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА СПОНТАННОЕ ГОРЕНИЕ КАРБЕНИЗИРОВАННЫХ И ОКИСЛЕННЫХ ПОРОШКОВ, ОБРАБОТАННЫХ ИОННЫМИ ЖИДКОСТЯМИ

Кун-Хуа Лю (Китай), Ян Сяо (Китай), Хао Чжан (Китай),
Пан Панг (Китай), Чи-Мин Шу (Тайвань)

Отходы процесса производства активированного угля на основе каменного угля (АУКУ), такие как карбонизированный порошок (КП) и окисленный порошок (ОП), легко аккумулируют тепло, подвержены самовозгоранию в определенных условиях хранения и обладают сильной пирофорностью. КП и ОП представляют серьезную угрозу для местной окружающей среды и здоровья жителей. В данной работе изучалось самовозгорание отходов, образующихся при изготовлении активированного угля в углехимической промышленности, которое было мало изучено ранее, а также

предотвращение и контроль самовозгорания с помощью нового типа экологически безопасного ингибитора – ионной жидкости (ИЖ). Изучено и количественно проанализировано влияние ионных жидкостей, содержащих [BMIM]⁺ ([BMIM][BF₄], [BMIM][NO₃] и [BMIM][I]), на самовозгорание КП и ОП. Потеря массы различных образцов на разных стадиях анализировалась с помощью термогравиметрии при трех скоростях нагрева (5,0, 10,0 и 15,0 °С/мин). Для проверки ингибирующего эффекта в обработанных образцах использовался эксперимент с программированием температуры. Результаты показали, что ИЖ оказывает различное ингибирующее воздействие на пирофорность образцов. Ингибирующие жидкости [BMIM][BF₄], [BMIM][NO₃] и [BMIM][I] в порядке убывания процентного ингибирования оказывали ингибирующее действие на ОП; порядок ингибирования КП был следующим: [BMIM][NO₃] > [BMIM][BF₄] > [BMIM][I]. После обработки ИЖ максимальная, минимальная и средняя кажущаяся энергия активации в разной степени увеличились. При температуре 30–180 °С средний процент ингибирования [BMIM][BF₄]_У (ОП, обработанный [BMIM][BF₄]) и [BMIM][NO₃]_Т (КП, обработанный [BMIM][NO₃]) составил 20,21 % и 7,32 % соответственно, а максимальный процент ингибирования составил 38,53 % и 16,13 % соответственно.

Ключевые слова: активированный уголь на основе каменного угля, аккумуляция тепла, потеря массы, процент ингибирования, кажущаяся энергия активации



Transactions of the Institution of Chemical Engineers Part B
ISSN 0957-5538

**Process Safety and
Environmental Protection**

Official journal of the European Federation of Chemical Engineering Part B



**Vol. 157 (2021):
443-457**

ОЦЕНКА ИНГИБИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ С ПОМОЩЬЮ ГИДРОКСИДА МАГНИЯ, ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ И ГИДРОТАЛЬЦИТА

Хепенг Инь, Хуамин Дай, Гуанцян Лян (Китай)

Угольная пыль, взвешенная в атмосфере сингаза, может привести к взрыву в процессе газификации угля. Для исследования характеристик распространения пламени угольной пыли была построена вертикальная труба с высокоскоростной камерой и термопарой. В качестве ингибиторов были выбраны гидроксид магния (МН), гидроксид алюминия (АТН) и гидротальцит (НТ) с целью сравнения их ингибирующего действия. Результаты показали, что характер воздействия трех ингибиторов сильно различается. Добавление МН увеличивало время распространения пламени, но его ингибирование температуры пламени было наилучшим.

Пиковая температура и скорость пламени после добавления НТ были наименьшими по сравнению с таковыми после добавления МН и АТН. Кроме того, анализ остатков показал, что несгоревшая угольная пыль была полностью инкапсулирована устойчивыми к высоким температурам оксидами из НТ, так что угольная пыль была наиболее эффективно защищена, что показало лучшие теплопоглощающие свойства и самую низкую температуру разложения по сравнению с МН и АТН.

Ключевые слова: газификация угля, дефлаграция угольной пыли, гидротальцитовая пыль, механизм ингибирования



**Vol. 157 (2021):
493-508**

РАССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИИ АВТОЦИСТЕРНЫ СО СЖИЖЕННЫМ ГАЗОМ В ВЭНЬЛИНЕ, КИТАЙ

Шань Лю (Китай), Шухао Чжан (Великобритания), Сяомей Хуан (Китай),
Шини Пэн (Китай), Цзюнь Ли (Китай)

В данном исследовании была проанализирована и смоделирована авария с участием сжиженного углекислотного газа (СУГ) в Вэньлине, провинция Чжэцзян, Китай, 13 июня 2020 года. Автоцистерна со сжиженным газом перевернулась и врезалась в бетонное ограждение; в результате взрыва цистерны выделилось 25,36 т СУГ. Вскоре после этого цистерна со сжиженным газом взлетела в воздух, газовое облако воспламенилось, что привело к пожару и взрыву облака пара (ВОП). В результате этой аварии погибли 20 человек, 175 человек получили ранения и был нанесен значи-

тельный материальный ущерб. На основе многочисленных изображений аварии была установлена хронология происшествия, а также подробно рассмотрена ее последовательность. С помощью программного обеспечения EFFECTS и ALOHA были смоделированы следующие параметры: распределение обломков резервуара, испарение и распространение пролива сжиженного газа, а также рассеивание облака сжиженного газа и ВОП. Изображения места аварии помогли определить и проанализировать процесс аварии. В конкретном случае, когда цистерна взлетела в воздух с выбросом непрерывной двухфазной струи, фактическое расстояние полета цистерны оказалось намного больше, чем прогнозируемое моделью распределение обломков. Распределение газового облака, смоделированное с помощью модели SLAB, приблизительно соответствует большей части зоны сильных повреждений. При анализе этой аварии видно, что многоэнергетический метод TNO и модель ALOHA дают прогнозы, которые относительно согласуются с реальным распределением повреждений строений, когда в моделях используется конкретная ограниченная масса взрывчатого вещества.

Ключевые слова: выброс сжиженного газа, взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости, взрыв облака пара (ВОП), расследование аварии, моделирование аварии



Process Safety and
Environmental Protection

Official journal of the European Federation of Chemical Engineering Part B



IChemE

**Vol. 158 (2021):
1-9**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПРИ НАКЛОНЕ И ВЫДУВАНИИ ДВУХСТРУЙНОГО ПЛАМЕНИ ПРИ БОКОВОМ ВЕТРЕ

Чжисян Лю, Сяолей Чжан, Сюй Фан, Лонхуа Ху (Китай)

Пожароопасные условия на открытом воздухе наносят огромный ущерб технологической безопасности при транспортировке топлива и утечках в трубопроводах. В литературе имеется не много сведений о характере горения и нестабильности двухструйного пламени при боковом ветре, которые важны для оценки рисков и проектирования производства. В данной работе была спроектирована серия пропановых источников огня с диаметром сопел 3, 4 и 5 мм для различных расстояний между соплами при боковом ветре. Результаты показали, что угол наклона задней струи пламени был меньше, чем угол наклона передней струи пламени,

вследствие искажения эффективного направления ветра к задней струе пламени из-за блокировки передней струи пламени. Кроме того, было обнаружено, что скорость бокового ветра при выдувании задней струи пламени меньше, чем у соответствующей одиночной струи пламени. Сгорание передней струи пламени в определенной степени ограничивает пламя задней струи. Наконец, проводится размерный анализ и устанавливаются корреляции, в результате которых скорость бокового ветра при выдувании задней струи пламени, а также скорость одиночной струи пламени могут быть хорошо представлены числом Фруда. Эти новые наблюдения и корреляция полезны для дальнейшего понимания особенностей горения двухструйного пламени при боковом ветре.

Ключевые слова: двухструйное пламя, дистанция отрыва, боковой ветер, угол наклона, выдувание



Process Safety and
Environmental Protection

Official journal of the European Federation of Chemical Engineering Part B



**Vol. 158 (2021):
221-230**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ ОТ ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА К РЕЖИМУ, КОНТРОЛИРУЕМОМУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕЙ, ПРИ СУБАТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ: ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ ОБРАЗЦА

Сюаньцзе Хэ (Китай, Великобритания), Цзюнь Фан (Китай),
Юэ Чжан (Китай), Люяо Чжао (Китай)

Понимание того, что скорость распространения пламени (СРП) контролируется либо химическими процессами, либо теплообменом важно для безопасности промышленных процессов. В данном исследовании авторы изучают влияние ширины образца на переход распространения пламени от химического к тепловому режиму при субатмосферном давлении, используя образец тонкой бумаги шириной от 10 до 90 мм. Результаты показывают, что граница перехода может быть

определена не только по данным СРП, но и по изображению пламени или излучению, поскольку каждое из них имеет различные характеристики в разных режимах. Авторами было обнаружено, что ориентация образца значительно влияет на распространение пламени в тепловом режиме, но имеет незначительное влияние в химическом режиме. Для анализа этого перехода была разработана зависимость от ширины образца характеристика числа Дамколера, связанная с боковым тепло- и массопереносом. Число Дамколера растет с увеличением ширины образца только в том случае, если ширина образца небольшая. Когда ширина превышает критическое значение, ее влиянием на число Дамколера можно пренебречь. По этой причине давление перехода сначала смещается от 25 кПа (ширина 10 и 20 мм) к 20 кПа (ширина 30 мм), а затем остается неизменным на уровне 15 кПа (ширина > 50 мм). Эта работа укрепляет наше понимание влияния ширины на пожароопасность на воздушных судах.

Ключевые слова: распространение пламени в субатмосферных условиях, переход, теплообмен, массообмен, ширина образца, горение

**Материал (поступил в редакцию 17.07.2024 г.)
подготовили:**

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