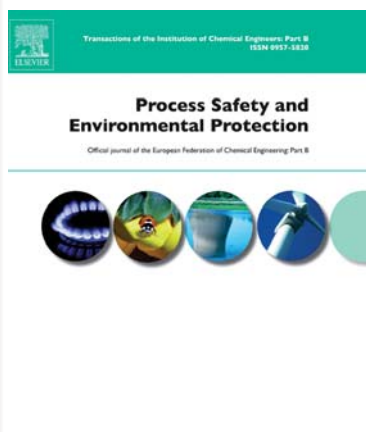


EDN: <https://elibrary.ru/vqntll>

РЕФЕРАТИВНЫЙ ОБЗОР ЖУРНАЛА PROCESS SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION, № 158, 159 (2022)



**Vol. 158 (2022):
320-330**

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ УГЛА ЗАКРУЧИВАНИЯ ПОТОКА И КОЭФФИЦИЕНТА ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ ТОПЛИВА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЕНИЯ МЕТАНОЛА В ВИХРЕВОЙ ГОРЕЛКЕ

Лю Цзин, Цзюнь Чжао (Китай), Хэйан Ван (Китай), Вэньцзя Ли (Китай),
Янпин Ду (Китай), Цян Чжу (Китай), Мохамед Э. Заед (Китай, Египет)

Выдающиеся преимущества метанола, такие как низкий уровень выбросов оксидов азота (NO_x) и оксида углерода (CO), делают его перспективным экологически чистым топливом. Несмотря на то, что скрытая теплота парообразования метанола в 3,7 раза больше, чем у бензина, его низкая теплота сгорания является серьезным препятствием для эффективного использования в промышленности. Таким образом, метаноловая горелка должна быть эффективно спроектирована для определения необходимых характеристик горения

и оптимальной конструкции. Исходя из этого, в данном исследовании представлен расчетный анализ характеристик горения метаноловой вихревой горелки с двумя слоями вихревых лопаток, выполненный методами вычислительной гидродинамики. Особое внимание в данном исследовании уделяется влиянию различных углов наклона вихревых лопаток (45°+45° (ВЛ1), 60°+60° (ВЛ2) и 45°+60° (ВЛ3)) и различных коэффициентов эквивалентности (0,5, 0,75, 1,0, 1,25 и 1,75) на характеристики сгорания и образование загрязняющих веществ в вихревой горелке. Подробно анализируются профили скорости и температуры, характеристики горения и концентрация основных видов продуктов сгорания. Результаты показывают, что положение угла наклона лопаток 45°+60° демонстрирует наилучшие характеристики горения по сравнению с другими вариантами положения угла наклона лопаток. Также установлено, что ВЛ3 с коэффициентом эквивалентности в диапазоне 1,0–1,25 демонстрирует наилучшие показатели по выбросам NO_x и CO по сравнению с другими комбинациями расположения лопаток и коэффициентов эквивалентности. Если говорить более конкретно, то оптимальный коэффициент эквивалентности составляет от 1,0 до 1,25, при этом выбросы NO_x и CO составляют 27,0 и 11,0 мг/м³, соответственно.

Ключевые слова: горение метанола, вихревая горелка, угол наклона лопаток, коэффициент эквивалентности топлива, вычислительная гидродинамика



Process Safety and
Environmental Protection

Official journal of the European Federation of Chemical Engineering Part B



**Vol. 158 (2022):
331-339**

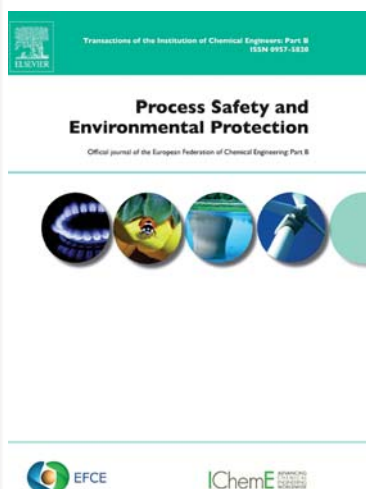
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНЕГО ВЗРЫВА ПРИ ДЕФЛАГРАЦИИ ВОДОРОДА В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ТРУБЕ С РАЗЛИЧНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ ВЕНТИЛЯЦИИ

Цяо Ван, Синьцзяо Луо, Чанцзянь Ван, И Лю, Пэнган Чжоу, Бинг Ли (Китай)

Были проведены эксперименты по дефлаграции смеси водород – воздух в камере с вентиляционным отверстием в гладкой прямоугольной трубе с различной площадью вентиляционных отверстий при различной концентрации водорода. Для визуализации поля внешнего потока использовалась высокоскоростная камера Шлирена. Значения внутреннего и внешнего избыточных давлений были получены с помощью пяти датчиков давления. Обсуждалось влияние площади вентиляционного отверстия при различной концентрации водорода на рост внутреннего/внешнего избыточного

давления и динамику внешнего поля потока. При различных коэффициентах избыточного давления и концентрациях водорода наблюдались два типа структуры внутреннего избыточного давления, на которые влияли колебания Гельмгольца и внешнее поле потока. Увеличение концентрации водорода способствует увеличению реактивности внешней смеси и внешнего избыточного давления. Увеличение коэффициента вентиляции приводит к увеличению скорости выхода отводимого газа и пламени и в целом способствует повышению внешнего избыточного давления. Более высокая скорость пламени обеспечивает более сильную энергию воспламенения внешнего облака горючего газа. При высокой концентрации водорода 18 % (об.) внешнее избыточное давление увеличивается линейно с коэффициентом вентиляции. Рост внешнего избыточного давления может вызвать рост внутреннего избыточного давления, когда оно достаточно велико, особенно в случае большого значения коэффициента вентиляции, а пик внутреннего избыточного давления, вызванный внешним взрывом, может даже превышать максимальное внутреннее избыточное давление.

Ключевые слова: водородная безопасность, вентилируемая дефлаграция, коэффициент вентиляции, внешнее избыточное давление, концентрация водорода



**Vol. 158 (2022):
409-417**

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ТУШЕНИИ ЭКРАНИРОВАННОГО ПОЖАРА ТОНКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ НА СПАСАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ В ТОННЕЛЕ

Ронгвей Бу, Чуанган Фань, Чжэнвэй Го, Ян Чжоу (Китай)

В реальных сценариях пожаров в тоннелях существует мало возможностей для прямого применения тонкораспыленной воды при пожаре в поезде, где очаг пожара экранирован кузовом вагона. Однако большинство моделей для анализа теплопередачи предполагают прямой контакт между источником огня и каплями тонкораспыленной воды. Поиск метода оценки энергообмена между тонкораспыленной водой и экранированным очагом пожара представляет научный интерес. С целью изучения эффективности тушения экранированного пожара тонкораспыленной водой было проведено полномасштабное экспериментальное и теоретическое исследование с изменением времени активации системы тонкораспыленной воды, рабочего давления и диаметра капель.

Оказалось, что эффективность тушения зависит от рабочего давления для мелких капель воды и сильно зависит от размера капель тонкораспыленной воды при высоком рабочем давлении. Кроме того, на эффективность тушения также влияет время активации системы тонкораспыленной воды вследствие наличия конкуренции между процессом охлаждения топлива и ингибирующим действием дымового слоя. Была разработана теоретическая модель для прогнозирования энергообмена между дымом, тонкораспыленной водой и окружающей средой. Было установлено, что по сравнению с косвенным ограничительным влиянием процесса охлаждения вагона и пожара, основным механизмом контроля является прямая теплопотеря между тонкораспыленной водой и дымом. В данном исследовании представлены рекомендации по проектированию системы противопожарного водоснабжения на туннельной спасательной станции, кроме того, оно может оказаться полезным для целей защиты окружающей среды на объектах пожаротушения.

Ключевые слова: тонкораспыленная вода, рабочее давление, спасательная станция, распределение энергии, теплопотери



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. 158 (2022):
533-546**

CFD АНАЛИЗ КРУПНОМАСШТАБНОГО ВЗРЫВА ВОДОРОДА И ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ В ЧАСТИЧНО ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Петр Мачневский, Эугениуш Молга (Польша)

С помощью численного моделирования изучено влияние ограничения пространства на величину избыточного давления при взрыве смеси водород – воздух. Упрощенная кинетическая модель реакции горения, использованная вместе с моделью вычислительной гидродинамики (CFD), позволила провести численное моделирование крупномасштабных взрывов смесей водород – воздух. Модель была проверена в соответствии с экспериментальными данными, представленными в литературе для случая крупномасштабного (300 м³) поверхностного (в неограниченном пространстве) взрыва смеси водород – воздух, а также по ре-

зультатам испытания на взрыв смеси водород – воздух (в замкнутом пространстве), проведенного в тоннеле объемом 263 м³. Прогнозируемые избыточное давление и скорость взрыва соответствовали результатам измерений как в случае взрыва в неограниченном пространстве, так и в замкнутом пространстве. Для проверки влияния ограничения пространства на величину избыточного давления взрывной волны, возникающей в результате взрыва облака горючего газа, была проведена серия CFD моделирований взрывов водорода с последующим распространением нереактивной взрывной волны в различных геометрических формах. Полученные результаты сравнивались с корреляцией, применимой для взрывов в неограниченном пространстве, которая, как оказалось, применима и для взрывов в частично ограниченных пространствах после преобразования расстояния от центра взрыва в эквивалентный радиус сферической взрывной волны.

Ключевые слова: сценарий аварии, вычислительная гидродинамика (CFD), взрыв, водородная безопасность



Process Safety and Environmental Protection

Official journal of the European Federation of Chemical Engineering Part B



**Vol. 159 (2022):
61-75**

CFD АНАЛИЗ ВЗРЫВОВ СОСУДОВ СО СЖИЖЕННЫМ ГАЗОМ

Федерико Устолин (Норвегия, Греция), Илиас К. Толиас (Норвегия), Стелла Г. Джаннисси (Греция), Александрос Г. Венетсанос (Греция), Никола Палтриньери (Норвегия, Италия)

Водород является одним из наиболее подходящих видов топлива на замену ископаемому топливу. Однако во многих случаях возникают проблемы с его хранением из-за очень низкой плотности в условиях окружающей среды. Процесс сжижения позволяет преодолеть эти проблемы, увеличивая плотность водорода и тем самым повышая его емкость. Взрыв расширяющихся паров кипящей жидкости (BLEVE) – это явление, происходящее в системах хранения сжиженного газа. Подобный физический взрыв, который может произойти после катастрофического разрыва сосуда, содержащего жидкость с температурой выше точки кипения при атмосферном давлении.

Несмотря на то, что это нетипичный сценарий аварии (низкая вероятность), его необходимо всегда учитывать из-за опасных последствий. По всем вышеупомянутым причинам явление BLEVE для сосудов с жидким водородом (LH₂) было изучено с помощью методов вычислительной гидродинамики (CFD). Во-первых, CFD модель была проверена в сравнении с хорошо задокументированным экспериментом CO₂ BLEVE. Во-вторых, были проведено моделирование случаев BLEVE с участием водорода на основе испытаний, проведенных в 1990-х годах на резервуарах LH₂, предназначенных для автомобилей. В параметрическом CFD анализе рассматривались различные степени заполнения, начальные давления и температуры содержимого резервуара с целью выяснить, в какой степени начальные условия влияют на взрывную волну. Было показано хорошее соответствие между результатами моделирования и результатами испытаний по сценарию взрыва LH₂.

Ключевые слова: жидкий водород, безопасность, физический взрыв, CFD анализ, жидкий CO₂, оценка риска



Process Safety and
Environmental Protection

Official journal of the European Federation of Chemical Engineering Part B



**Vol. 159 (2022):
243-250**

были зарегистрированы и изучены морфология пламени, высота пламени, ширина пламени и излучение пламени. Результаты показывают, что морфологию пламени при пожаре пролива, закрытого преградой в форме пластины, можно разделить на три типа. Что касается изменения теплового потока излучения в течение всего процесса горения, то было обнаружено, что преграда в форме пластины над топливным баком приведет к большему пиковому значению теплового потока излучения. Были предложены модели прогнозирования характеристик пламени, включая ширину пламени, высоту пламени и максимальное значение радиационного теплового потока, с помощью физического и безразмерного методов.

Ключевые слова: пожар пролива, преграда в форме пластины, морфология пламени, излучение пламени

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПЛАМЕНИ И ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАМЕНИ ПРИ ПОЖАРЕ ПРОЛИВА, ОГРАНИЧЕННОГО ПРЕГРАДОЙ В ФОРМЕ ПЛАСТИНЫ

Цзянь Чен, Дуншэн Ван, Липин Гуо, Чжэнхуэй Ван, Депенг Конг (Китай)

Пожары проливов жидкости могут представлять собой исходную пожарную опасность во многих системах оценки рисков, связанных с промышленными предприятиями. Поскольку реальные сценарии промышленных пожаров обычно включают в себя многочисленные преграды, то пожар пролива, горящий за преградой, представляет собой сложную задачу при оценке промышленных рисков. Было проведено систематическое исследование характеристик пламени пожара пролива, закрытого преградой в форме пластины различной высоты и геометрических размеров, в ходе которого



**Vol. 159 (2022):
294-308**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ СУХИХ ПОРОШКОВЫХ СРЕД, СОДЕРЖАЩИХ МОЛИБДЕНОВУЮ ОГНЕЗАЩИТНУЮ ДОБАВКУ

Синьсинь Го, Хань Чжан, Сюхай Пань, Лицзин Чжан, Мин Хуа, Чендун Чжан,
Хуан Чжоу, Ченлу Янь, Цзюньчэн Цзян (Китай)

Для того чтобы справиться с частыми пожарами в современном обществе, очень важно разработать эффективные средства пожаротушения для тушения пожаров на ранней стадии. В данной работе создано новое композитное сверхтонкое сухое порошковое огнетушащее вещество, содержащее молибдат аммония $((\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4)$, а также изучена его огнетушащая эффективность. Результаты экспериментов с горелкой в форме чаши показывают, что с увеличением массо-

вой доли $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ падение температуры пламени и скорость изменения высоты пламени имеют тенденцию к увеличению, а затем к уменьшению, в то время как минимальная огнетушащая концентрация (МОК) и время тушения имеют тенденцию к уменьшению, а затем к увеличению. Показано, что композитный сухой порошок имеет наилучшую эффективность тушения пожара, когда массовая доля $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ составляет 7 %. Кроме того, с точки зрения результатов термogravиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии пиролиза, установлено, что степень термического разложения значительно повышается при условии добавления 7%-й добавки. На основе теории двухфазного потока газ – твердое тело и модели многофазного потока с помощью программы ANSYS-FLUENT была создана упрощенная имитационная модель горелки в форме чаши для анализа изменения температуры и траектории движения частиц. Результаты моделирования показывают, что сверхтонкие сухие порошковые среды имеют хорошую дисперсность после попадания в горелку в форме чаши. Это позволяет достичь состояния полного погружения с большей скоростью, а температура пламени на всем этапе пожаротушения соответствует экспериментальным результатам. Данная статья в основном развивает применение огнетушащих сред в области противопожарной защиты с точки зрения безопасности технологических процессов.

Ключевые слова: композитный сверхтонкий порошок, огнезащитные добавки, ингибирующая эффективность, механизм пиролиза, FLUENT, траектория движения частиц



Process Safety and
Environmental Protection

Official journal of the European Federation of Chemical Engineering Part B



**Vol. 159 (2021):
511-524**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЖИДКО-ТВЕРДО-ГАЗОВЫХ ТОПЛИВНЫХ СМЕСЕЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОМПРЕССИОННЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

Фикрет Полат, Мурат Кадир Йешилюрт, Умит Агбулут, Мустафа Карагёз,
Суат Сарыдемир (Турция)

Целью данного исследования является всестороннее изучение влияния дизельного топлива, усиленного наночастицами бора, а также различных уровней расходов биогаза (0,5, 1 и 2 л/мин) на характеристики работы двигателя и уровень выбросов дизельного двигателя. Испытания проводились на одноцилиндровом четырехтактном двигателе с компрессионным зажиганием с прямым впрыском топлива при постоянной частоте вращения двигателя 1500 об/мин и при изменяющихся нагрузках на двигатель от 2,5 до 10 Нм с интервалами

в 2,5 Нм. Из полученных результатов видно, что температура выхлопных газов (ТВГ) начала снижаться как при добавлении наночастиц бора, так и при добавлении биогаза (БГ) по сравнению с обычным дизельным топливом (ДТ). ТВГ снизилась на 8,6% для тестового топлива ДТ+Бор, 14,4 % для ДТ+Бор+0,5 БГ, 21 % для ДТ+Бор+1 БГ и 23,4 % для ДТ+Бор+2 БГ. По сравнению с дизельным топливом, выбросы оксида углерода (СО), оксидов азота (NOx) и углеводорода (НС) снизились при добавлении наночастиц при всех уровнях нагрузок. Однако с увеличением количества биогаза выбросы СО и НС увеличились, а выбросы NOx снизились. Выброс СО снизился на 22,2 % для тестового топлива ДТ+Бор, однако увеличился на 5,6, 16,7 и 36,1 % для ДТ+Бор+0,5 БГ, ДТ+Бор+1 БГ и ДТ+Бор+2 БГ соответственно. Выброс NOx снизился на 4,9, 8,6, 10,7 и 14,8 % для ДТ+Бор, ДТ+Бор+0,5 БГ, ДТ+Бор+1 БГ и ДТ+Бор+2 БГ соответственно. По сравнению с обычным ДТ, значение удельного расхода топлива под нагрузкой (УРТН) снизилось на 8,42 % для тестового топлива ДТ+Бор из-за высокого содержания энергии наночастиц, но увеличилось на 10,94 % для ДТ+Бор+0,5 БГ, на 28,01 % для ДТ+Бор+1 БГ и на 60,2 % для ДТ+Бор+2 БГ. Кроме того, значение тепловой эффективности при торможении (ТЭТ) увеличилось на 8,04 % для тестового топлива с добавлением бора, но снизилось на 9,41 % для ДТ+Бор+0,5 БГ, 19,38 % для ДТ+Бор+1 БГ и 32,2 % для ДТ+Бор+2 БГ по сравнению с обычным ДТ. В заключение можно отметить, что характеристики двигателя ухудшились после введения биогаза в цилиндр, но эти ухудшенные характеристики могут быть улучшены благодаря присутствию наночастиц нитрида бора.

Ключевые слова: наночастицы бора, биогаз, нанотопливо, характеристики двигателя, выбросы отработанных газов

**Материал (поступил в редакцию 15.10.2024 г.)
подготовили:**

Ю.В. МЕЛЬНИКОВА, науч. сотр.;
Н.В. САЙГИНА, ст. науч. сотр.;
Е.О. СМИРНОВА, ст. науч. сотр.;
А.И. АГАПОВА, ст. науч. сотр.
(ФГБУ ВНИИПО МЧС России)