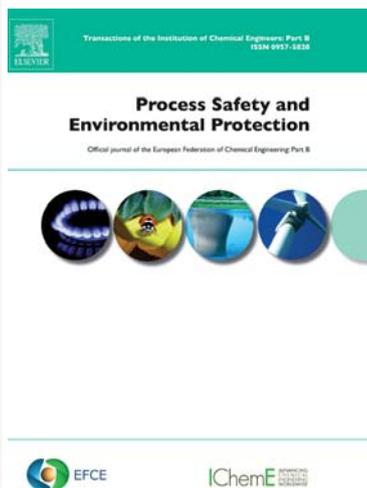


РЕФЕРАТИВНЫЙ ОБЗОР ЖУРНАЛА PROCESS SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION, № 148–150 (2021)



**Vol. 148 (2021):
893–902**

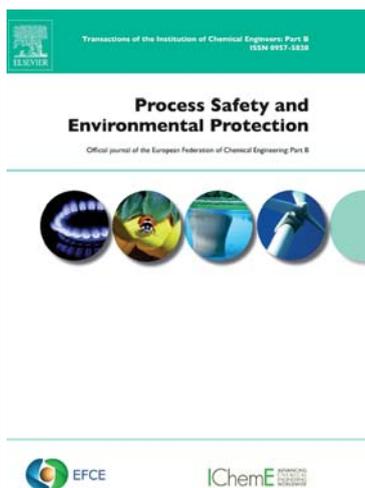
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ИСПАРИТЕЛЬНОЙ ДИФфуЗИИ И ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ ВЗРЫВЕ В АВАРИЯХ С УТЕЧКОЙ БЕНЗИНА

Кацухиро Окамото, Тошиказу Итикава, Джумпей Фуджимото, Нобуюки Кашиваги, Масахиро Накагава, Такао Хагивара, Масакацу Хонма (Япония)

Для соответствия требованиям по использованию в качестве автомобильного топлива автомобильный бензин должен быть легковоспламеняющимся и горючим. Кроме того, поскольку бензин очень летуч, в случае его утечки из резервуара для хранения около его поверхности быстро формируется большое количество испарений, которые, смешиваясь с воздухом, образуют горючую газовую смесь в непосредственной близости от резервуара. При воспламенении легковоспламеняющейся газовой смеси в помещении пары бензина сгорают со взрывом, нанося значительный

ущерб. Поэтому для управления рисками в зоне хранения бензина, при условии аварии с утечкой бензина, необходимо прогнозировать опасность возгорания горючих паров, а также повреждения от взрыва. Целью данного исследования является получение информации, необходимой для оценки риска в зоне хранения бензина. Была предложена модель прогнозирования характера распространения, испарения и диффузии утечки бензина. Данная модель была проверена путем проведения испытаний на испарительную диффузию и испытаний на воспламенение утечки бензина. Кроме того, была предложена методика оценки риска взрыва, вызванного паром, образовавшимся в результате утечки бензина, разлившегося по полу. Вышеупомянутая методика позволяет прогнозировать ущерб от взрыва в случае утечки бензина.

Ключевые слова: *утечка бензина, модель прогнозирования, испарение, диффузия, ущерб от взрыва*



**Vol. 148 (2021):
939–949**

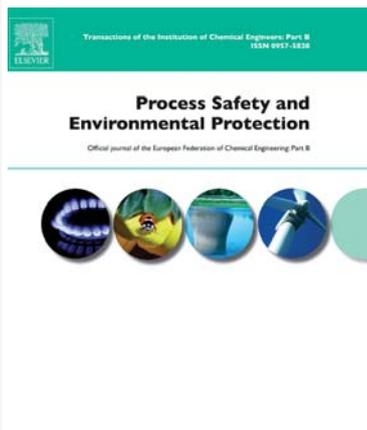
масштаба (например, длины и диаметра) и с различной концентрацией гидрокарбоната натрия. Результаты показывают, что начальный процесс распространения пламени в резервуаре был практически одинаковым как в просто вентилируемом резервуаре и в резервуаре, вентилируемом с помощью вытяжного воздуховода (т. е. резервуар, оборудованный воздуховодом). На средней и поздней стадиях распространения пламени в резервуаре фрагментация пламени была более выраженной в резервуаре, оборудованном воздуховодом. Более того, степень фрагментации пламени в резервуаре увеличивалась с увеличением длины воздуховода. Структура пламени в резервуаре была более нерегулярной при более высоком значении коэффициента вентиляции ($K_v = 9,75$). Более интенсивное тушение в коротком воздуховоде (250 мм) связано с высокой эффективностью ингибирования из-за утечки большого количества порошка гидрокарбоната натрия в вытяжной воздуховод, в то время как в длинном воздуховоде (750 мм) сильная турбулентность вызывает нарушение порядка тушения. Правильная концентрация гидрокарбоната натрия может изменить механизм повышения давления в резервуаре. При высоких концентрациях порошка максимальное давление в сосуде определяется пламенем, достигающим стенки сосуда, в то время как при низких концентрациях максимальное давление определяется давлением (т. е. выгоранием) в вытяжном воздуховоде. Существует приблизительно линейная зависимость между максимальным давлением и средней скоростью пламени в вытяжном воздуховоде для данной концентрации порошка, а также линейная зависимость между максимальными давлениями в резервуаре и воздуховоде, не зависящая от концентрации гидрокарбоната натрия. Анализ динамики пламени (например, морфологии пламени, скорости распространения пламени и турбулентности) и сопротивления трению, вызванного изменением масштаба воздуховода, показал, что эффективность тушения порошком гидрокарбоната натрия в резервуаре выше при наличии более длинного и узкого воздуховода.

Ключевые слова: *взрыв газа, распространение пламени, подавление взрыва, вентиляция канального типа*

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВОКУПНОГО ВЛИЯНИЯ МАСШТАБА ВОЗДУХОВОДА И КОНЦЕНТРАЦИИ ГИДРОКАРБОНАТА НАТРИЯ НА МЕТАНОВОЗДУШНЫЙ ВЗРЫВ В ВОЗДУХОВОДЕ

Минггао Ю, Юаньленг Фу, Лиган Чжэн, Ронгкун Пан, Си Ванг, Вэнь Ян,
Хонгванг Джин (Китай)

Взрыв газа часто отводится в безопасное место посредством вытяжного воздуховода. Однако наличие вытяжного воздуховода увеличивает интенсивность взрыва в резервуаре, создавая более высокое избыточное давление взрыва по сравнению с простым вентилируемым резервуаром. Для снижения избыточного давления взрыва в резервуаре было проведено экспериментальное исследование по подавлению взрывов смесей метан – воздух в резервуаре объемом 5 л, соединенном с вытяжными воздуховодами разного



**Vol. 148 (2021):
1033–1047**

ЛАЗЕРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУШЕНИЯ СТРУИ ПЛАМЕНИ СМЕСИ МЕТАН – ВОЗДУХ С ПОМОЩЬЮ ВОДЯНОГО ТУМАНА

Янпенг Лю (Китай), Цзясин Шен (Китай), Цзин Ма (Китай), Гуочунь Ли (Китай),
Зихао Чжао (Франция), Сяомин Ни (Китай), Сиши Ванг (Китай)

Пожары, вызванные утечками из трубопроводов природного газа, должны быть оперативно потушены с помощью экологически чистых и эффективных методов, таких как применение водяного тумана. В предыдущих исследованиях по тушению струи пламени смеси метан – воздух водяным туманом недостаточно исследовалось как распределение радикалов OH, характеризующих интенсивность горения, так и критические условия тушения струйных пожаров. Поэтому для визуализации распределения радикала OH при туше-

нии пожара была получена планарная лазерно-индуцированная флуоресценция радикала OH. Программа Fire Dynamics Simulator Version 6.7.4 применяется для моделирования взаимодействия пламени с аэрозолем и детализации мгновенного процесса пожаротушения по таким параметрам, как поле потока, температура газа, массовая доля реакционного метана и ослабление излучения в сценариях без отрыва струйного пламени. Результаты показывают, что, учитывая изменение угла наклона струи пламени, струйные пожары могут быть эффективно потушены, если отношение импульса газовой струи к импульсу распыления меньше 0,0068 в случаях без наклона струи пламени и если нормализованное число Рейнольда меньше 2,56 в случаях с наклоном струи пламени. С точки зрения оптимизации системы тушения водяным туманом, место установки, в 1,45 раза превышающее диаметр трубы, рассматривалось как максимальное горизонтальное положение сопла для тушения пожара в диапазоне чисел Фруда пламени 0,2~1,5. Кроме того, измерение планарной лазерно-индуцированной флуоресценции радикала OH показало, что тушение пожара в результате кинетического эффекта зависит от того, как быстро разрушается структура пламени OH под действием нисходящей тяги распылителя. Данное исследование может предоставить рекомендации по тушению пожаров природного газа с помощью системы водяного тумана и помочь в сокращении выбросов парниковых газов в рамках Парижского соглашения.

Ключевые слова: *безопасность, утечка природного газа, пожаротушение, водяной туман, моделирование динамики пожара*



Process Safety and
Environmental Protection

Official journal of the European Federation of Chemical Engineering Part B



**Vol. 148 (2021):
1164–1178**

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЕНИЯ ЛАТЕКСНОЙ ПЕНЫ С ДВУХСЛОЙНЫМ ПОКРЫТИЕМ С ЧРЕЗВЫЧАЙНО ТОНКИМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕЙ ПОДАЧИ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ВЕНТИЛЯЦИЮ

Донгмей Хуанг (Китай), Чен Чен (Китай), Чжихао Сюй (Китай), Де Ли (Китай), Лонг Ши (Австралия), Гуанхуа Лян (Китай)

Мягкая мебель с наполнителем из латексной пены широко используется в нашей повседневной жизни. Высокий уровень ее пожароопасности объясняется чрезвычайно тонким поверхностным слоем и ячеистой структурой. Поэтому в рамках данного исследования было проведено экспериментальное изучение поведения при пожаре типовых видов латексных пен, а также хлопка, конопли, шелка и латексной пены со смешанным покрытием. Экспериментально были проанализированы тепловые свойства и структура этих тканевых

материалов и латексной пены, а также проведен анализ механизма теплопередачи и расчет скорости распространения пламени. Результаты экспериментов показали, что тонкий слой ткани, покрытой на поверхности латексной пеной, может продлить процесс горения более чем на 150 с. Максимальная площадь поверхности пламени образца с шелковым покрытием составляла всего 40 % от площади поверхности пламени образца без покрытия. Остатки горения на поверхности ткани после тушения состояли из карбонизированной ткани и белого пепла. Таким образом, стало известно, что хлопчатобумажная ткань оказывает значительное влияние на процессы горения из-за плотных остатков. Средняя скорость распространения пламени образцов с покрытием составляла около 22 % от скорости распространения пламени образцов без покрытия. Пористость остатков ткани на поверхности играла ключевую роль в распространении пламени на поверхности латексной пены. Впервые была разработана и проверена модель скорости распространения пламени, учитывающая пористость ткани, которая может стать полезным инструментом для оценки пожарного риска в практических сценариях пожаров с многослойными горючими материалами.

Ключевые слова: *латексная пена с двухслойным покрытием, характеристика горения, скорость распространения пламени, потеря массы*



Transactions of the Institution of Chemical Engineers Part B
ISSN 0957-5828

**Process Safety and
Environmental Protection**

Official journal of the European Federation of Chemical Engineering Part B



**Vol. 149 (2021):
559–574**

при тушении пожаров батарей в данной статье подробно описаны механизмы тушения пожаров с помощью водяного тумана. Кроме того, обсуждается влияние внутренних и внешних факторов на эффективность тушения пожара водяным туманом, таких как характеристики водяного тумана, добавки, препятствия, условия вентиляции, виды топлива и масштабы пламени. После этого в статье приведен обзор исследований технологии тушения с помощью водяного тумана при пожарах аккумуляторных батарей. В заключительной части, основываясь на современных тенденциях исследований, статья предлагает направление будущего развития и исследовательские идеи технологии пожаротушения водяным туманом, а также прогнозирует перспективы развития ее применения при тушении пожаров батарей.

Ключевые слова: *водяной туман, механизмы пожаротушения, внутренние и внешние факторы, эффективность, пожары аккумуляторов*

ПРОГРЕСС В ИССЛЕДОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ ВОДЯНЫМ ТУМАНОМ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ПОЖАРАХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Ян Куи, Цзяньхун Лю (Китай)

Благодаря своей высокой эффективности и низкому уровню загрязнения окружающей среды технология тушения пожаров водяным туманом привлекает все больший интерес и внимание в различных областях противопожарной защиты, включая пожарную безопасность библиотек, пожарную безопасность транспортных узлов, пожарную безопасность кораблей и пожарную безопасность космических аппаратов. Для поддержки исследований и разработок технологии тушения пожаров водяным туманом и ее применения



**Process Safety and
Environmental Protection**

Official journal of the European Federation of Chemical Engineering Part B



**Vol. 149 (2021):
735–749**

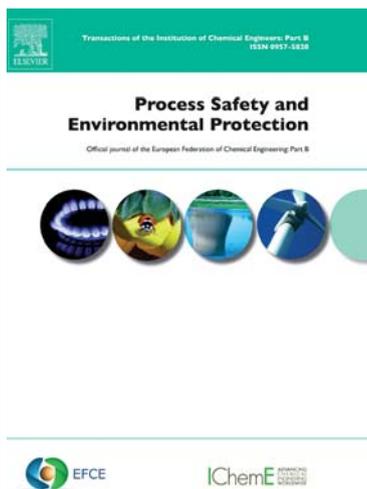
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗЕРВУАРОВ СПГ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОЖАРА

Томмазо Ианнаконе, Джордано Эмрис Скарпони, Габриэле Ландуччи,
Валерио Коццани (Италия)

Растущее использование сжиженного природного газа (СПГ) в качестве топлива для судов и транспортных средств подсвечивает актуальные проблемы безопасности, распространяющиеся на всю цепочку доставки и сеть распределения СПГ. Таким образом, понимание явлений, связанных с поведением резервуаров с СПГ, подверженных воздействию мощных тепловых источников, является фундаментальным вопросом для выявления потенциальных сценариев, имеющих критическое значение для безопасности. Существующие в настоящее время экспериментальные данные и подходы к моделированию, относящиеся в основном к ма-

ломерным экспериментальным судам, имеют соответствующие ограничения при распространении этих данных на крупномасштабные ситуации. В настоящем исследовании была разработана двухмерная неравновесная модель вычислительной гидродинамики (2D CFD) резервуаров с СПГ при воздействии охватывающего пожара. Модель 2D CFD была проверена по экспериментальным данным о пожаре и расширена для моделирования характеристик крупномасштабных судов, используемых для конкретного промышленного применения, таких как автомобильные перевозки СПГ и снабжение топливом судов. Был определен набор ключевых показателей эффективности для оценки безопасности резервуаров с СПГ и определения потенциального перехода в критические области безопасности во время воздействия пожара. Полученные результаты CFD моделирования позволили исследовать влияние оперативных параметров и геометрии на рост давления в резервуарах, а также на переходную эволюцию сложных явлений, таких как тепловая стратификация. Установленные ключевые показатели эффективности используются при проектировании систем безопасности и принятии решений при реагировании на чрезвычайные ситуации.

Ключевые слова: *CFD-моделирование, СПГ, криогенная скорость, температурная стратификация, оценка безопасности, экстренное реагирование*



**Vol. 149 (2021):
831–838**

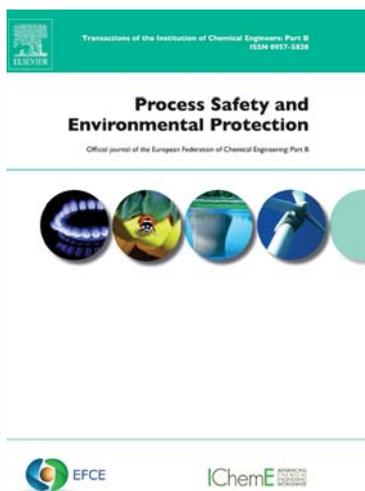
бе (конусный калориметр). В разработанной модели введена постоянная величина m , отражающая ускорение горения кабеля из-за боковой стенки. При правильно выбранном значении m результаты, полученные с использованием разработанной модели, хорошо согласуются с экспериментальными данными. Погрешность в пиковом значении скорости тепловыделения при пожаре значительно меньше, чем у других моделей. Эта работа улучшает понимание опасности пожара кабельного лотка от боковой стенки.

Ключевые слова: *возгорание кабельного лотка, граничный эффект, оценка HRR, HRRPUA, разработанная модель*

УЛУЧШЕННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ГРАНИЧНОГО ЭФФЕКТА НА СКОРОСТЬ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КАБЕЛЬНОГО ЛОТКА

Сяньцзя Хуан, Хэ Чжу, Ле Хэ, Лан Пэн, Тихонн Чэн, Ванки Чоу (Китай)

Частота возникновения пожаров, связанных с кабелями, высока, поэтому необходимо проведение анализа пожарной опасности. Кабельный лоток обычно размещается на стене. На пожароопасность нескольких кабельных лотков влияет опорная стенка, которая имеет более высокую максимальную скорость тепловыделения. Принимая во внимание влияние стены на горение кабеля, разработана новая модель скорости тепловыделения при возгорании кабельного лотка от боковой стенки на основе измерений в малом масшта-



**Vol. 150 (2021):
305–313**

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ОТВЕРСТИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗРЫВА ГОТОВОЙ СМЕСИ МЕТАН – ВОЗДУХ С ГРАДИЕНТАМИ КОНЦЕНТРАЦИИ

Чююань Хуан, Сяньфэн Чен, Лицзюань Лю, Хунмин Чжан, Бихэ Юань, И Ли (Китай)

Совместное влияние вертикальных градиентов концентрации и формы заграждения на характеристики взрыва смеси метан – воздух было экспериментально исследовано путем установки в экспериментальном трубопроводе заграждающих пластин с различной формой отверстий. Наличие препятствий и градиентов концентрации вызывало турбулентную нестабильность пламени, что способствовало положительной обратной связи между потоком горючего газа и процессом горения. Процесс горения привел к тому, что находящийся выше по направлению потока обедненный метан, более легкий, чем несгоревший газ, распространился через препятствие, и, следовательно, в центральной области ниже по направлению потока от препятствия возникли локальные возмущения, похожие на пузырьки. Под действием поперечных волн в нижней части фронта пламени появился «зазор», и фронт пламени оказался вогнутым. Влияние градиента концентрации и препятствий на взрыв метана постепенно ослабевало, и, следовательно, морщинистая поверхность пламени постепенно стабилизировалась. Результаты показывают, что отверстие квадратной формы наиболее существенно повлияло на распространение пламени и развитие взрыва. По мере увеличения градиента концентрации совокупный эффект ослаблял механизм положительной обратной связи, а максимальное избыточное давление взрыва и максимальная скорость повышения давления для отверстия квадратной формы были достигнуты при низком градиенте концентрации (0,5 %), в то время как для отверстий круглой формы и формы квадранта были достигнуты максимальные значения указанных параметров при более высоком градиенте концентрации (1,0 %). Влияние препятствий было более значительным, чем влияние градиентов концентрации в отношении скорости распространения пламени и скорости повышения давления.

Ключевые слова: *градиент концентрации, форма отверстия, плита заграждения, смесь метан – воздух, характеристики взрыва*

**Материал (поступил в редакцию 19.04.2023 г.)
подготовили:**

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