

ОТЗЫВ

официального оппонента

главного специалиста ОАО «Институт Гипростроймост», кандидата технических наук Васюкова Глеба Викторовича на диссертационную работу Грохотова Михаила Андреевича «Методика прогнозирования скорости распространения фронта пламени при сгорании газозвдушного облака в открытом пространстве», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» (нефтегазовая отрасль, технические науки)

Представленная диссертационная работа Грохотова Михаила Андреевича «Методика прогнозирования скорости распространения фронта пламени при сгорании газозвдушного облака в открытом пространстве» посвящена решению актуальной задачи – развитию методики прогнозирования скорости распространения фронта пламени (СРФП) при сгорании газозвдушных смесей (ГВС) в открытом пространстве.

На объектах нефтегазовой отрасли ежегодно происходят инциденты, связанные с выбросом горючих газов в открытое пространство. Это приводит к образованию пожаровзрывоопасных ГВС, воспламенение которых сопровождается пожарами, взрывами, разрушениями зданий (сооружений) и гибелью людей. Поэтому прогнозирование аварийных ситуаций, связанных с выбросами горючих газов и паров, а также оценка возможных последствий взрывов от них, является важной задачей, требующей дальнейшего развития.

Решение этой задачи во многом заключается в количественной оценке параметров волны давления при сгорании газозвдушного облака. В существующих методиках основное влияние на численные значения параметров взрывной волны оказывает СРФП. Расчеты СРФП, выполненные по существующим методикам («Методика определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах» (утверждена приказом МЧС России № 404 от 10.07.2009 г., «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей» (утверждена приказом Ростехнадзора № 137 от 31.06.2016 г.), «Методика определения параметров волны сжатия внешних дефлаграционных взрывов» (разработана НТЦ «Взрывоустойчивость», 1998 г.), методика, предложенная профессором В.И. Макеевым, показали, что полученные значения СРФП существенно различаются между собой. Поэтому дальнейшее развитие методики прогнозирования СРФП при сгорании ГВС в открытом пространстве позволит точнее определять параметры взрывной волны, и, соответственно, позволит провести дальнейшую оптимизацию мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности объектов нефтегазовой отрасли.

Вх. л. В/328 от 10.11.18

Целью диссертационной работы Грохотова М.А. является совершенствование методики прогнозирования СРФП при сгорании газоздушного облака в открытом пространстве.

В соответствии с целью соискателем Грохотовым М.А. были поставлены логически правильные **задачи**:

1. Выполнить анализ существующих методик определения параметров взрыва ГВС в открытом пространстве и выявить их отличительные особенности;

2. Разработать математическую модель фототеплового воспламенения, необходимую для расчёта показателей пожаровзрывоопасности газовых смесей, основанную на законах химической кинетики и термодинамики;

3. Теоретически обосновать расчёт СРФП при сгорании ГВС, учитывающую физико-химические и газодинамические свойства горючей среды;

4. Провести верификацию усовершенствованной методики прогнозирования СРФП на основе сравнительного анализа результатов расчёта с последствиями реальных аварийных взрывов.

Научная новизна диссертационной работы Грохотова М.А. заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель фототеплового воспламенения, учитывающая химическую кинетику и термодинамику процесса, которая позволяет рассчитывать показатели пожаровзрывоопасности горючих газовых смесей.

2. Получена теоретически обоснованная формула для расчёта СРФП при сгорании ГВС.

3. Экспериментально установлена динамика изменения СРФП для пропановоздушной смеси стехиометрического состава в зависимости от расположения источника зажигания и условий расширения сгорающей ГВС.

Теоретическая и практическая значимость работы Грохотова М.А. определяется следующими результатами:

1. Разработанная математическая модель фототеплового воспламенения, базирующаяся на кинетике химического взаимодействия и тепловой теории распространения пламени, является универсальной и может быть использована для определения показателей пожаровзрывоопасности любых газовых смесей с известными кинетическими параметрами и теплофизическими свойствами;

2. Формула для расчёта СРФП, полученная теоретически с учётом физико-химических и газодинамических свойств газовой среды, может применяться для прогнозирования последствий аварийных выбросов горючих газов в открытое пространство, в том числе при оценке пожарных рисков.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в работе Грохотова М.А., достигалась:

1. Логичностью выбора параметров и критериев, позволяющих сравнивать теоретические и экспериментальные данные;

2. Выполнением экспериментальных исследований с применением измерительного оборудования, прошедшего поверку и откалиброванного для соответствующих условий;

3. Внутренней непротиворечивостью результатов и их согласованностью с результатами экспериментов и данными других авторов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации:

1. Разработанная математическая модель фототеплового воспламенения может быть использована для определения показателей пожаровзрывоопасности любых газовых смесей с известными кинетическими параметрами и теплофизическими свойствами.

2. Усовершенствованная методика прогнозирования СРФП при сгорании ГВС в открытом пространстве может быть использована в оценке возможной СРФП при дефлаграционном взрыве ГВС.

Основные выводы диссертационной работы Грохотова М.А. вытекают из экспериментального и теоретического материала и не вызывают сомнений.

Диссертационная работа, представленная Грохотовым М.А., состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и трёх приложений. Содержание работы изложено на 140 страницах текста, включает в себя 21 таблицу и 47 рисунков. Содержимое работы достаточно полно и понятно передаёт суть и содержание проведённого исследования.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены цель, задачи, объект и предмет исследования. Показана научная новизна работы, её теоретическая и практическая значимость. Представлены положения, выносимые на защиту, и сведения о внедрении и апробации результатов работы.

В первой главе выполнен анализ аварийных ситуаций со взрывом ГВС в открытом пространстве и анализ методик оценки зон воздействия поражающих факторов при взрывах ГВС в открытом пространстве. Установлено, что существует две группы методик, основанных на:

- энергопотенциале смеси, участвующей во взрыве;
- расчёте параметров волн сжатия от сферы, расширяющейся во времени, математически описывающем дефлаграционный взрыв.

Выполненный анализ взрывов ГВС на объектах нефтегазовой отрасли показал, что в большинстве случаев происходит дефлаграционный взрыв, где основным фактором, влияющим на численные значения параметров взрыва, является СРФП. Поэтому основное внимание было уделено методам оценки СРФП, содержащихся в: «Методике оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей» (утверждена приказом Ростехнадзора № 137 от 31.03.2016 г.); «Методике определе-

ния расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (утверждена приказом МЧС России № 404 от 10.06.2009 г.); «Методике определения параметров волны сжатия внешних дефлаграционных взрывов» (разработана НТЦ «Взрывоустойчивость», 1998 г.); методике профессора В.И. Макеева.

В результате анализа значений основных параметров взрыва (избыточное давление и импульс фазы сжатия), полученных по рассматриваемым методикам, установлено, что для одного и того же сценария взрыва ГВС они дают существенно разные значения СРФП, что влияет на значения параметров взрыва. Таким образом, была сформулирована проблема, определившая необходимость проведения исследования.

Вторая глава посвящена разработке математической модели фототеплового воспламенения для определения показателей пожаровзрывоопасности газовых смесей. Математическая модель фототеплового воспламенения учитывает кинетику химической реакции и теплофизические параметры веществ. Для описания изменения температуры в смеси используется уравнение теплопроводности.

Апробация математической модели фототеплового воспламенения выполнена для смесей метана, хлорметана и дихлорметана с хлором. Воспламенение смеси осуществлялось как ультрафиолетовым излучением (УФ-излучение), так и повышением температуры стенок реакционного сосуда. Изменяя начальную температуру стенок реакционного сосуда, интенсивность УФ-излучения, концентрацию компонентов исходной горючей смеси определяли такие показатели пожаровзрывоопасности газовой смеси как: концентрационные пределы распространения пламени, критическую интенсивность УФ-излучения, минимальную флегматизирующую концентрацию, температуру самовоспламенения. Удовлетворительная сходимость результатов расчётов с экспериментальными данными и данными, приведёнными в справочной литературе, подтверждает возможность применения математической модели фототеплового воспламенения для определения показателей пожаровзрывоопасности газовых смесей.

В третьей главе описана серия экспериментов, проведённых с целью изучения распространения пламени при горении пропановоздушной смеси стехиометрического состава. Смена расположений источника зажигания и условий расширения сгорающей смеси позволила установить динамику изменения скорости распространения фронта пламени.

Также в этой главе рассмотрен важный вопрос – определение СРФП при горении ГВС. На основе теории гидродинамики и теории распространения пламени получена формула для определения СРФП. Данная формула учитывает физико-химические и газодинамические свойства газовой среды. Верификация формулы на основе сравнительного анализа с эмпирическими методиками других авторов под-

твердила возможность её применения для прогнозирования возможной СРФП при горении ГВС.

В четвертой главе рассмотрены аварийные взрывы, произошедшие на заводе «Нипро Кемикл Плант» (Англия, 1974 г.) и на 2169 км участка газопровода «Нижевартовск–Курган–Куйбышев» (Россия, 2010 г.). По данным экспертов, расследовавших указанные взрывы, рассчитаны СРФП по методикам, описанным в первой главе и по формуле, полученной Грохотовым М.А. Сравнивая результаты расчётов параметров взрыва с последствиями реальных аварийных взрывов, Грохотов М.А. подтвердил, что предлагаемая формула удовлетворительно прогнозирует СРФП при дефлаграционном взрыве газовоздушного облака.

В заключении сформулированы основные выводы и рекомендации, полученные в ходе выполнения диссертации.

В приложениях представлены: акты внедрения полученных результатов, код программы на языке *MATLAB*, свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

В качестве **замечаний** по диссертационной работе Грохотова М.А. необходимо отметить следующее:

1. В математической модели фототеплового воспламенения теплопроводность продуктов реакции: хлорметана, дихлорметана, трихлорметана, тетрахлорметана принималась такой же, как и у исходного вещества – метана;

2. В главе 2 не разъяснено, как использовать математическую модель фототеплового воспламенения для определения показателей пожаровзрывоопасности других горючих газовых смесей;

3. В четвертой главе для рассматриваемых аварий не рассчитана СРФП по методике профессора Макеева В.И., которая была представлена в первой главе.

Отмеченные недостатки не снижают общую положительную оценку работы, её научную и практическую значимость. Данные замечания носят рекомендательный характер и определяют дальнейшую работу соискателя в этой области исследования.

Заключение по диссертационной работе Грохотова М.А.

Работа выполнена на достаточно высоком уровне, изложена научным языком, содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. По теме диссертации вышло 13 научных публикаций, материал был представлен на российских и международных конференциях.

Представленная на отзыв диссертационная работа соответствует п. 5 «Разработка научных основ, моделей и методов исследования процессов горения, пожаро- и взрывоопасных свойств веществ, материалов, производственного оборудования, конструкций, зданий и сооружений» и п. 9 «Исследование процессов протекания аварий, условий их каскадного и катастрофического развития, разработка методов оценки различных воздействий, проявляющихся в процессе развития аварий на

