

### Отзыв

официального оппонента, доктора технических наук, доцента Хафизова Ильдара Фанилевича, профессора кафедры «Пожарная и промышленная безопасность» Уфимского государственного нефтяного технического университета на диссертацию Шебеко Алексея Юрьевича «Пожарная безопасность газовых технологических сред производственных процессов нефтегазовой отрасли», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» (технические науки, нефтегазовая отрасль)

Актуальность. Нефтегазовая отрасль играет важнейшую роль в экономике нашей страны. В то же время технологические процессы, имеющие место на предприятиях этой отрасли, характеризуются повышенной пожаровзрывоопасностью в связи с обращением в технологических процессах больших количеств горючих газов, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. При этом зачастую используются технологические среды, содержащие кислород, в том числе и в концентрациях, отличных от воздуха. В то же время имеющиеся в литературе данные по показателям пожарной опасности таких сред немногочисленны и зачастую противоречивы. Другим важным аспектом обеспечения пожарной безопасности предприятий нефтегазовой отрасли является минимизация возможных источников зажигания, среди которых особо следует отметить в силу их распространенности искры удара и трения (фрикционные искры). В то же время до сих пор нет научно обоснованной стандартизированной методики определения зажигающей способности фрикционных искр, что обусловлено недостаточной изученностью процессов зажигания парогазовых смесей искрами удара и трения. На практике для предотвращения распространения аварийных газовых облаков часто используются водяные завесы. Альтернативой является применение газовых завес. В то же время данных по эффективности газовых завес в литературе представлено недостаточно для их практического применения.

Вх. № В/РД 107 23.09 2019

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что тема представленной диссертационной работы, направленной на решение указанных выше вопросов, является актуальной.

#### Общая характеристика диссертации

Диссертация состоит из введения, девяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, представлены положения, характеризующие научную новизну работы и ее практическую и теоретическую значимость, обоснованность и достоверность полученных результатов, представлены данные об апробации работы и публикациях.

Первая глава посвящена анализу опубликованных в литературе работ в области определения характеристик воспламенения и горения газовых смесей сложного состава в окислительных средах с различным содержанием кислорода в присутствии флегматизаторов различной химической природы. На основании проведенного анализа проведен выбор направлений исследования.

Вторая глава содержит описание использованных в работе экспериментальных установок и методик проведения опытов: определение концентрационных пределов распространения пламени, максимального давления взрыва, максимальной скорости нарастания давления взрыва. Проведена детальная оценка погрешностей определения измеряемых показателей.

В третьей главе изложены результаты экспериментального определения концентрационных пределов распространения пламени смесей вида горючий газ (водород, метан) – окислительная среда (смесь азота и кислорода с содержанием  $O_2$  15, 20,6 и 25 % (об.)) – фторированный углеводород (трифторметан, пентафторэтан, перфторбутан). Также измерены максимальное давление взрыва, максимальная скорость нарастания давления взрыва и нормальная скорость горения для указанных выше смесей околопредельного состава. Выявлено, что при увеличении содержания фторированного флегматизатора верхний концентрационный предел существенно уменьшается, при этом в ряде случаев уменьшается и нижний предел. В зависимостях

максимального давления взрыва, максимальной скорости нарастания давления взрыва и нормальной скорости горения от содержания фторированного флегматизатора наблюдаются максимумы. Это говорит о том, что фторированные углеводороды могут не только ингибировать, но и промотировать горение газов. Дано качественное обеспечение наблюдаемому эффекту.

Четвертая глава посвящена изложению результатов экспериментальных и теоретических исследований характеристик влияния фторированных углеводородов на пламена предварительно перемешанных смесей метан – закись азота и водород – закись азота. Наиболее интересной выявленной особенностью кривых флегматизации является существенное уменьшение нижнего концентрационного предела распространения пламени в смесях вида фторированный углеводород – закись азота в присутствии небольших (около 1% (об.)) количеств водородсодержащих добавок. Обнаружены максимумы в зависимостях максимального давления взрыва, максимальной скорости нарастания давления взрыва и нормальной скорости горения от концентрации фторированного флегматизатора для смесей околопредельного состава.

В пятой главе изложены результаты экспериментальных исследований влияния фторированных углеводородов на параметры горения околостехиометрических смесей горючий газ (водород, метан) – окислительная среда (смесь азота с кислородом с содержанием  $O_2$  15, 20,6 и 25% (об.)). Определены такие параметры, как максимальное давление взрыва, максимальная скорость нарастания давления взрыва, нормальная скорость горения. Выявлено, что добавки фторированных углеводородов могут приводить к небольшому росту максимального давления взрыва и одновременно к резкому падению максимальной скорости нарастания давления взрыва и нормальной скорости горения.

Шестая глава посвящена изложению экспериментальных данных по минимальным огнетушащим концентрациям фторированных углеводородов (трифторметан, пентафторэтан, перфторбутан) при их одновременной подаче в горючую систему (водород, метан) - воздух. Найдено, что обобщенное правило

Ле-Шателье описывает полученные экспериментальные данные с большой погрешностью.

В седьмой главе представлены результаты разработки и апробации методики оценки искробезопасности конструкционных материалов. Отличительной чертой предложенной методики является сочетание удара и трения при вращении диска с удаленными сегментами. Получены зависимости вероятности зажигания газопаровоздушных смесей фрикционными искрами от концентрации горючего газа (пара) в смеси. Дана качественная интерпретация полученных результатов.

В восьмой главе представлены результаты теоретического исследования особенностей воспламенения и горения газовых сред сложного состава. Изучены такие вопросы, как самоингибирование, условия применения правила Ле-Шателье для нижних концентрационных пределов распространения пламени смесей горючих газов и паров, а также минимальных флегматизирующих и огнетушащих концентраций негорючих газов, влияние добавок различной химической природы на нормальную скорость горения водорода в воздухе, влияние флегматизаторов различной химической природы на самовоспламенение водородовоздушных смесей, влияние бромистого водорода на нормальную скорость горения водорода и метана в воздухе и закиси азота, природа концентрационных пределов распространения пламени в газовых смесях.

Девятая глава посвящена расчетной оценке параметров рассеяния проливов сжиженного природного газа на твердую поверхность и теоретическому исследованию влияния водяных и газовых завес на ограничение распространения облаков горючих газов и паров. Для расчетов был использован программный комплекс FDS 5. Показана важная роль бортика, располагаемого у поверхности земли, перед линией форсунок для предотвращения распространения облаков горючих газов и паров с плотностью выше плотности воздуха. Выявлено, что водяные завесы имеют эффективность заметно выше, чем газовые завесы.

Научная новизна работы.

Научная новизна работы обусловлена следующими полученными автором результатами:

- получены новые экспериментальные данные по концентрационным пределам распространения пламени в смесях вида горючий газ (водород, метан) – флегматизатор – окислитель (смесь азота и кислорода с различным содержанием  $O_2$ ) – флегматизатор, а также параметрам взрыва (максимальное давление взрыва, максимальная скорость нарастания давления взрыва, нормальная скорость горения) для указанных смесей;
- получены новые экспериментальные данные по влиянию фторированных углеводородов на показатели пожарной опасности горючих газов в окислительных средах на основе закиси азота;
- обнаружено двойное влияние фторзамещенных углеводородных ингибиторов (ингибирующее и промотирующее) на показатели пожарной опасности смесей вида горючий газ – окислительная среда – фторзамещенный ингибитор в зависимости от вида горючего, состава и вида окислительной среды, а также вида и концентрации фторированного углеводорода;
- выявлено, что изученные ингибиторы (бромистый водород, фторированные углеводороды) обладают значительно меньшей флегматизирующей способностью по отношению к горючим смесям с закисью азота в качестве окислителя, чем в случае смесей с воздухом и азотокислородными составами с повышенным содержанием кислорода;
- впервые показано, что в присутствии небольших добавок горючих газов (метан или водород, около 1,0 об.) возможно распространение пламени в смесях вида закись азота – фторированный углеводород;
- предложен новый метод оценки искробезопасности конструкционных материалов, основанный на сочетании ударов и трения указанных материалов;
- выявлено нарушение эмпирического правила приблизительного постоянства адиабатической температуры горения околопредельных смесей, справедливого для химически инертных флегматизаторов;
- выявлено нарушение эмпирического правила приблизительного постоянства адиабатической температуры горения околопредельных смесей

водород – флегматизатор – окислительная среда;

- обнаружено, что газовые завесы значительно менее эффективны для ограничения распространения газовых облаков, чем водяные.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертации.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации подтверждается их внутренней непротиворечивостью, согласованностью с законами физики и химии и данными других авторов, а также положительными результатами внедрения.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации.

Теоретическая значимость результатов работы подтверждается изложенными выше положениями, характеризующими ее научную новизну.

Практическая значимость результатов работы заключается:

- в определении характеристик пожаровзрывоопасности газовых смесей вида горючее – флегматизатор – окислительная среда (концентрационные пределы распространения пламени, максимальное давление взрыва, максимальная скорость нарастания давления взрыва, нормальная скорость горения), необходимых для разработки систем предотвращения пожара и взрыва и систем пожаровзрывозащиты технологических процессов нефтегазовой отрасли с обращением горючих газов и паров;

- в разработке государственного стандарта ГОСТ Р 58068-2018 «Конструкционные материалы. Метод испытаний на искробезопасность»;

- в разработке межгосударственного стандарта ГОСТ 12.1.044-2018 «Пожароопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения»;

- в разработке методического пособия «Расчет концентрационных пределов распространения пламени парогазовых смесей сложного состава», позволяющее расчетным путем определять концентрационные пределы при разработке безопасных технологических регламентов производственных процессов;

- в использовании результатов работы для обеспечения пожаровзрывобезопасности предприятий нефтегазовой отрасли (при разработке проектных решений комплекса нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов по переработке тяжелой карбоновой нефти ОАО «Танекс»; в деятельности ООО «Газпром Газобезопасность» при оценке уровня пожарной безопасности технологических процессов предприятий газовой отрасли, организации обучения сотрудников указанных предприятий и проведении учений пожарных и спасательных подразделений); в ЦКБ «Коралл» при разработке системы флегматизации помещений, в которых невозможно устройство легкобрасываемых конструкций;

- в применении результатов работы в учебном процессе Академии ГПС МЧС России в учебно-научном комплексе процессов горения и экологической безопасности на кафедре процессов горения.

Основные результаты работы широко опубликованы в научной печати (в том числе одна монография и 53 статьи в рецензируемых изданиях из перечня ВАК) и доложены на симпозиумах, конференциях и семинарах различного уровня (в том числе и международных). Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

В работе имеются замечания.

1. Непонятно, почему описание некоторых экспериментальных установок приводится в главе 2 (стенды для определения характеристик горения парогазовых смесей в замкнутом сосуде и для изучения диффузионного горения), а описание стенда для оценки искробезопасности конструкционных материалов – в главе 7. Было бы логичнее описание всех экспериментальных установок привести в одной главе.

2. Следовало бы более детально обсудить различия во влиянии различных фторированных углеводородов на параметры горения газовых смесей. То же относится и к влиянию содержания кислорода в окислительной среде.

3. Материалы, изложенные в теоретической главе 8, следовало бы более тесно связать с полученными в работе экспериментальными данными.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением «О порядке присуждения ученых степеней».**

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы, ее научную ценность и практическую значимость. Диссертационная работа Шебеко А.Ю. не только является законченным исследованием, но и открывает широкий спектр новых направлений, изучение которых еще не проводилось. Это позволяет сделать вывод, что работа обладает высоким научным и практическим потенциалом.

Диссертационная работа выполнена на хорошем научном уровне, а по своему содержанию и научно-техническому уровню соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней в Российской Федерации, паспорту специальности 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» (технические науки, нефтегазовая отрасль).


Считаю, что Шебеко Алексей Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» (технические науки, нефтегазовая отрасль).

Официальный оппонент:

Профессор кафедры Пожарной и промышленной безопасности ФГБОУ ВО «УГНТУ»


доктор технических наук (05.02.13), доцент

«13» 09 2019 г.

 И.Ф. Хафизов

Подпись Хафизова Ильдара Фанилевича заверяю:

Начальник отдела по работе с персоналом

 Дадаян О.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (УГНТУ)

450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, улица М. Пинского 4

Телефон: +7 (347) 243-18-13

Адрес электронной почты: [ildar.hafizov@mail.ru](mailto:ildar.hafizov@mail.ru)