

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
доктор технических наук

И.И. Комаров

2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» на диссертационную работу Елтышева Ильи Павловича «Пожаробезопасные смесевые хладагенты как рабочие вещества в энергетике», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки)

Актуальность работы

В настоящее время для замены хладагентов, применяющихся в установках на объектах промышленной энергетики и в холодильном оборудовании, которые подлежат поэтапному ограничению потребления, в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации «О принятии Российской Федерацией поправки к Монреальскому протоколу по веществам, разрушающим озоновый слой», в ряде случаев стали использовать пожароопасные хладагенты.

Для использования в теплоэнергетических установках на объектах энергетики, бытовом и промышленном холодильном оборудовании предложены вещества, имеющие нулевой потенциал разрушения озонового слоя и низкий потенциал глобального потепления, например, предельные углеводороды (пропан – R-290, бутан – R-600 и изобутан – R-600a), а также не полностью фторированные углеводороды, основным из которых является фторолефин тетрафторпропен – R-1234yf. Подавляющее большинство короткоживущих хладагентов (время жизни

вх № 6/46 от 02.09.2024

вещества в атмосфере не превышает 181 дня) являются горючими веществами, что затрудняет их применение на объектах энергетики и может привести к повышению категории по пожарной и взрывопожарной опасности помещений, где расположено холодильное оборудование. Это требует больших затрат на обеспечение пожаро-и взрывобезопасности.

По этой причине актуальной проблемой является применение хладагентов, которые имеют хорошие термодинамические и экологические свойства, и удовлетворяют требованиям пожарной безопасности по горючести.

Таким образом, разработка смесевых пожаробезопасных хладагентов, удовлетворяющих экологическим требованиям по эмиссии парниковых газов, позволит повысить уровень пожарной безопасности объектов энергетики и является актуальной научной и практической задачей.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и 2 приложений. Содержание работы изложено на 125 страницах машинописного текста и включает в себя 40 таблиц, 51 рисунок, список литературы из 142 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, указана степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи, объект и предмет исследования, показана научная новизна работы, ее теоретическая и практическая степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе проведен анализ влияния международных экологических правовых документов на использование хладагентов в холодильном оборудовании.

Исходя из того, что Монреальский протокол ограничил производство и использование хлорфторуглеводородов (ХФУ), а Кигалийская поправка гидрофторуглеводородов (ГФУ), в качестве альтернативных экологически безопасных веществ стали рассматривать предельные углеводороды (пропан, бутан и изобутан) и некоторые гидрофторолефины (ГФО): R-1234yf, R-1243, R-1233zd(E), так как время их жизни в атмосфере не превышает 181 день.

Предложено использовать в качестве хладагентов, близких по термодинамическим свойствам к R-11, хладагенты R-30 и R-150 (дихлорметан и 1,2-дихлорэтан).

Предложено решение проблемы применения пожаро- и экологически опасных хладагентов путем создания смесевых композиций горючего хладагента с ингибитором горения. Для целенаправленного подбора ингибитора горения необходимо разработать кинетический механизм деструкции фторированных хладагентов в пропановом пламени.

Во второй главе представлены методика определения времени жизни в атмосфере химических соединений в атмосфере и механизм деструкции фторированных хладонов. Проведен расчет времени жизни в атмосфере по методике Роберта Е. Тэпскотта, который установил, что для перспективных в качестве хладагентов моно-веществ R-30 и R-150 время жизни составляет 11,2 дня для R-30 и 14,3 дня для R-150 соответственно. Таким образом, оба вещества являются быстроразрушающимся, так как время их жизни не превышает 181 дня.

Для целенаправленного подбора ингибитора горения была разработана схема кинетического механизма горения ГФУ: R-23, R-227ea и ГФО – R-1234yf в пропановом пламени. Постадийный механизм строился путем сравнения скоростей элементарных реакций с учетом только тех элементарных реакций, кинетические параметры которых известны. Расчет проводился для бедной (мольное соотношение C_3H_8/O_2 равно 0,15), богатой (мольное соотношение C_3H_8/O_2 равно 0,25) и стехиометрической (мольное соотношение C_3H_8/O_2 равно 0,2) смеси пропана с кислородом при атмосферном начальном давлении в диапазоне температур 600 – 1200 К.

В результате расчета механизма деструкции для хладагента R-23 (трифторметана, CF_3H) было получено, что в стехиометрической и богатой смеси механизма деструкции R-23 стадии с участием CF_3 и CF_2 в основном протекают за счет взаимодействия с атомарным водородом, и именно эти стадии ответственны

за ингибирование трифторметаном горения пропана в кислороде, которое наблюдается экспериментально.

В результате расчета механизма деструкции для хладагента R-227ea (гептафторпропана, C_3F_7H) было получено, что взаимодействие с атомарным водородом и первая стадия превращения R-227ea в пламени богатой и стехиометрической смесей является актом ингибирования реакции горения пропана в кислороде.

В результате расчета механизма деструкции для хладагента R-1234yf (тетрафторпропена, $C_3F_4H_2$) было получено, что основными процессами, определяющими превращение R-1234yf ($C_3F_4H_2$) в пламени, являются обладающие большим тепловым эффектом реакции мономолекулярного распада и окисления. Исходя из этого создание смесевых хладагентов на основе пропана и тетрафторпропена нецелесообразно.

В третьей главе представлены результаты проведенных экспериментальных исследований по созданию смесевых негорючих хладагентов. Эксперименты по созданию смесевых композиций хладагентов проводились на установках «Вариант» и «Предел-2». Установки позволили определить концентрационные пределы распространения пламени по горючей газовой смеси, максимальное развиваемое при взрыве давление, скорость нарастания давления взрыва, давление в реакционном сосуде после проведения опыта.

В рамках создания негорючих смесей R-290 (пропана) с R-23, R-125 и R-227ea с помощью установки «Вариант» были получены предельные по горючести смеси.

По предельным по горючести смесям можно заключить, что в дорогостоящем фторсодержащем хладагенте, обладающим большим потенциалом глобального потепления, можно заменить 6-10 % массы рабочего вещества на дешевый и короткоживущий в атмосфере незамещенный углеводород.

Были определены показатели пожарной опасности для хладонов R-365mfc (пентафторбутан, $C_4F_5H_5$) и R-1243 (трифторпропен, $C_3F_3H_3$). Получено, что концентрационные пределы распространения пламени в смеси R-365mfc/воздух

составляют 9,5 – 17,5% об., а для смеси R-1243/воздух составляют 2,5 – 14,5% об. По полученным данным максимального давления взрыва были рассчитаны: адиабатическая температура горения, максимальная нормальная скорость горения и удельная теплота сгорания. По полученным расчетным величинам сделан вывод, что R-365mfc как хладагент относится к классу A2L, а R-1243 как хладагент относится к классу A2.

Также в рамках создания смесевых хладагентов были определены предельные по горючести смеси R-365mfc с перспективным огнетушащим веществом C_6F_{12} с коротким временем жизни в атмосфере.

На установке «Предел-2» были определены предельные по горючести смеси R-30 и R-150 с R-125 и R-227ea. Создавая негорючие смеси, в которые входят парниковые хладагенты R-125 и R-227ea с дихлоридами, можно уменьшить содержание парниковой компоненты в смесевом хладагенте на 93 % по массе.

В целях снижения пожарной опасности хладагента R-1234yf на установке «Предел-2» проведена оценка влияния ингибитора горения R-227ea на хладагент R-1234yf.

Для снижения пожарной опасности хладагента R-1243 на установке «Вариант» проведена оценка влияния ингибиторов горения $C_6F_{12}(ц)$, ФК-5-1-12 и C_3F_7I на хладагент R-1243. Все рассмотренные ингибиторы являются эффективными при подавлении горения хладагента R-1243.

Заключение диссертации содержит констатацию основных результатов работы.

В приложении представлены акты внедрения результатов работы и патент на изобретение.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Определены концентрационные пределы распространения пламени для хладагентов R-1243 и R-365mfc.
2. Разработана схема механизма деструкции, позволяющая описать процесс горения хладагентов, для целенаправленного подбора ингибитора горения.

3. Определены ответственные стадии за процесс ингибирования горения хладагента.

4. Определены времена жизни перспективных веществ, которые возможно применять в качестве пожаробезопасных смесевых хладагентов.

Значимость результатов для развития отрасли науки и техники

Определены концентрационные пределы распространения пламени ряда горючих хладагентов, были выявлены ответственные стадии за процесс ингибирования, что дало возможность подобрать наиболее эффективные ингибиторы горения для создания негорючих смесевых хладагентов.

Предложены смесевые пожаробезопасные хладагенты с коротким временем жизни в атмосфере для применения их на объектах энергетики.

Также результаты работы использованы

- при выборе хладагента на объекте Архивного помещения Национального банка по Республике Дагестан, компанией ООО «Холдинг ОСК групп»;

- в практической деятельности ООО «ТПК Пожнефтехим» для замены штатного хладагента R-134a с целью обеспечения требований постановления Правительства Российской Федерации;

- при осуществлении образовательной деятельности в рамках учебной программы повышения квалификации специалистов, обучающихся мерам пожарной безопасности в учебном центре ФГБУ ВНИИПО МЧС России;

- в практической деятельности ООО «Сольвекс» для замены штатного хладагента R-410A с целью повышения пожарной безопасности, энергетической эффективности оборудования и снижения эксплуатационных затрат.

Апробация результатов работы

Основные результаты работы доложены на 21 научно-практической конференции. Всего по тематике исследования опубликовано 30 научных работ, в том числе 5 статей в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК России и 3 статьи – в изданиях, индексируемых в наукометрической базе Scopus.

Замечания по диссертационной работе

1. Недостаточно отражено влияние галогенсодержащих хладагентов на коррозионную стойкость охладительного оборудования на объектах энергетики.

2. Необходимо рассмотреть вопрос токсичности ряда рекомендуемых хладагентов, таких как 1-2 дихлорэтан и гептафторйодметан. В виду того, что в случае аварийной разгерметизации оборудования данные вещества могут принести значительный вред здоровью человека.

3. В качестве одного из результатов работы заявляется разработка широкого спектра пожаробезопасных смесевых хладагентов на объектах энергетики. Однако, в автореферате не сообщается, какие конкретно хладагенты или группы разработанных хладагентов рекомендуются для различных сфер применения с учетом разницы температурных режимов в холодильных установках, тепловых насосах и иных устройствах.

Заключение

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертация Елтышева Ильи Павловича на тему: «Пожаробезопасные смесевые хладагенты как рабочие вещества в энергетике» является завершенной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют существенное значение для развития соответствующей отрасли наук.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки), а именно: пункту 3 «Разработка научных основ, моделей и методов исследования процессов горения, пожаро- и взрывоопасных свойств веществ, материалов, производственного оборудования и конструкций»; пункту 10 «Разработка научных основ, моделей и методов, направленных на создание и применение веществ и материалов пониженной горючести, средств огнезащиты и огнетушащих веществ».

Диссертационная работа полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным

постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, для диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Елтышев Илья Павлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки).

Отзыв заслушан, обсужден и утвержден на заседании кафедры Промышленных теплоэнергетических систем (ПТС) ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», одно из основных направлений научной-исследовательской деятельности которой соответствует тематике диссертации (протокол № 5/24 от 5 июля 2024 г.).

Заведующий кафедрой
Промышленных теплоэнергетических систем
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
к.т.н., доцент Яворовский Юрий Викторович


05.07.2024

Подпись Яворовского Юрия Викторовича заверяю



ИМЕТЬ НАЧАЛЬНИКА
КАБИНЕТА С ПЕРВОИЗБРАННЫМ
Д.И. ПОГРЕБАН

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»). 111250, Россия, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово, ул. Красноказарменная, дом 14, стр. 1.

E-mail: universe@mpei.ac.ru.

Веб-сайт: <https://mpei.ru/Pages/default.aspx>. Тел.: (495)362-75-60; (495)362-75-06.