# ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора Еремина А. В. о диссертационной работе Елтышева Ильи Павловича «Пожаробезопасные смесевые хладагенты как рабочие вещества в энергетике», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки)

**Направленность работы**

Диссертационная работа Ильи Павловича Елтышева посвящена разработке пожаробезопасных хладагентов для применения их на объектах энергетики. Главные составляющие работы — разработка ряда пожаробезопасных смесевых хладагентов для применения их на объектах энергетики и получение данных о концентрационных пределах распространения пламени горючих хладагентов.

В диссертации проведен анализ ситуации, сложившейся после принятия ряда международных экологических соглашений, в результате которых стали широко применяться горючие хладагенты. Исходя из этого, в работе определены и выбраны основные направления, принципы и варианты повышения уровня пожарной безопасности энергетических объектов, где применяются хладагенты.

Проведенный автором анализ показал, что в результате принятия международных экологических соглашений к 2036 году производство хладагентов с высоким парниковым потенциалом сократится на 85%, что в свою очередь увеличивает объемы производства и расширит сферу применения горючих хладагентов.

Соискатель в работе приходит к выводу о том, что исследования, направленные на создание пожаробезопасных хладагентов, показавшие механизм химического превращения горючего хладагента в пламени, не могут однозначно дать ответ на вопрос о создании пожаробезопасного и экологически безопасного хладагента.

В диссертации используются методы кинетического пиролиза фторированных углеводородов в углеводородном пламени, расчеты и лабораторные эксперименты, применяемые для определения достоверности кинетического механизма деструкции.

**Содержание работы**

*В первой главе* проведен анализ влияния международных экологических правовых документов на использование хладагентов в холодильном оборудовании. Показано, что в результате запрета производства озоноразрушающих веществ озоновый слой начал

вх № 6/44 от 28.08.2024

восстанавливаться, но при этом выросла эмиссия парниковых хладагентов, что впоследствии привело к ограничению их производства и переходу на горючие хладагенты. Рассмотрены различные классы хладагентов и сделан вывод, что смеси хладагентов классов 1, 2L и 2 со смазочным маслом должны быть более тщательно проверены на их пожаро- и взрывобезопасность.

Показано, что использование горючих хладагентов, в том числе пропана, на турбокомпрессорах средней и большой мощности нецелесообразно, ввиду необходимости применения большого объема хладагента. А в результате перехода на горючие хладагенты – необходимо снижение пожарной опасности парокомпрессионных холодильных установок на объектах энергетики.

Сформулирована цель работы, заключающаяся в создании пожаробезопасных смесевых хладагентов для использования их на объектах энергетики.

Для достижения поставленной цели, соискателем ставятся следующие задачи:

– провести анализ сложившейся ситуации использования хладагентов, в том числе на объектах энергетики и предложить способ решения проблемы применения хладагентов;

– провести расчет времени жизни в атмосфере ряда перспективных веществ, определить, являются ли данные вещества короткоживущими и не обладающими озоноразрушающим и парниковым воздействием;

– провести расчет и анализ схемы кинетического механизма разложения в углеводородном (пропановом) пламени фторированных углеводородов: хладона 23, хладона 227ea и R-1234yf для понимания процесса ингибирования, которая позволит полностью описать экспериментально наблюдаемую картину их превращения в пламени;

– разработать негорючие смесевые хладагенты с коротким временем жизни в атмосфере.

*Во второй главе* проведены расчеты времени жизни в атмосфере перспективных веществ в качестве хладагентов. Определено, что рассмотренные вещества являются быстроразрушающимися, так как время их жизни в атмосфере не превышает 181 дня, что позволяет рассматривать их в качестве перспективных хладагентов.

Для понимания процесса химического превращения веществ в пламени соискателем была установлена кинетическая схема пиролиза фторированных хладагентов в пропановом пламени. Данная схема позволила определить стадии ответственные за процесс ингибирования пропана. На основе установленной кинетической схемы автор получил данные для целенаправленного подбора ингибиторов для горючих хладагентов.

*В третьей главе* соискатель на основе результатов, полученных во второй главе диссертационной работы, провел серию экспериментальных исследований по разработке

негорючих смесевых хладагентов и определению показателей пожаро-и взрывопожарной опасности некоторых хладагентов.

Для проведения экспериментов соискатель применяет стандартизованные установки, которые позволяют определить концентрационные пределы распространения пламени по горючей газовой смеси, максимальное развиваемое при взрыве давление, скорость нарастания давления взрыва и давление в реакционном сосуде после проведения опыта.

В результате проведенных экспериментов, соискателем были получены значения концентрационных пределов распространения пламени и значения максимального давления взрыва, что позволило определить классы пожарной опасности исследуемых хладагентов.

Результатом третьей главы диссертационной работы является разработанный ряд пожаробезопасных смесевых хладагентов, при этом обеспечивается возможность варьирования состава хладагента для достижения оптимальных параметров работы в различном холодильном оборудовании, в том числе на объектах энергетики.

*В заключении* соискатель делает вывод о том, что в результате принятия международных экологических соглашений о сокращении производства и потребления парниковых хладагентов, в современных парокомпрессионных холодильных установках по охлаждению воздуха, поступающего в газовые турбинные установки (ГТУ) на объектах энергетики, стали применять пожароопасные и трудногорючие хладагенты, что увеличивает пожарную опасность на данных объектах.

Исходя из этого соискателем произведен расчет времени жизни в атмосфере перспективных хладагентов, который показал, что рассмотренные вещества являются быстроразрушающимися, и их возможно применять для создания пожаробезопасных хладагентов.

На основе научных изысканий, проведенных соискателем, им разработана схема механизма разложения фторированных хладагентов в пропановом пламени, которая позволяет установить ответственные реакции за процесс ингибирования пропана в кислороде и целенаправленно подбирать ингибитор горения к данному горючему хладагенту.

При помощи стандартизованных установок соискатель провел ряд экспериментальных исследований по созданию пожаробезопасных смесевых хладагентов, а также работ по установлению показателей пожарной опасности некоторых веществ. В результате данных исследований соискателем разработан широкий спектр пожаробезопасных смесевых хладагентов для применения их на объектах энергетики.

**Актуальность работы**

Работа соискателя актуальна, так как отрасль энергетики является одной из важнейших отраслей экономики Российской Федерации. Проблема пожарной безопасности энергетического оборудования, в частности ГТУ, также является актуальной, в виду того, что количество данного оборудования из года в год растет, а принятие экологических норм ведет к повышению пожарной опасности из-за необходимости применения горючих хладагентов, удовлетворяющих требованиям экологических норм. Для недопущения повышения уровня пожарной опасности чрезвычайно актуальна разработка пожаробезопасных хладагентов.

**Основные научные положения работы, которые выдвигает соискатель**

1. Проведен анализ ситуации, сложившейся после принятия международных экологических соглашений по ограничению производства парниковых хладагентов, которые привели к использованию пожароопасных хладагентов на объектах энергетики.

2. Определены времена жизни перспективных веществ для применения их в качестве создания пожаробезопасных смесевых хладагентов.

3. Установлены концентрационные пределы распространения пламени и класс пожарной опасности ряда хладагентов.

4. Разработана кинетическая схема механизма разложения фторированных алканов в пропановом пламени, позволяющая установить ответственные реакции за процесс ингибирования и целенаправленно подбирать ингибитор горения для горючего хладагента.

**Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретическая значимость работы состоит в том, что были впервые определены концентрационные пределы распространения пламени ряда горючих хладагентов и с использованием разработанной схемы механизма распада фторированных хладонов в углеводородном пламени, получена реальная картина превращения веществ в углеводородном пламени. В результате анализа схемы механизма деструкции выявлены ответственные стадии за процесс ингибирования, что дало возможность подобрать наиболее эффективные ингибиторы горения для создания негорючих смесевых хладагентов. Определены времена жизни перспективных веществ в качестве смесевых пожаробезопасных хладагентов.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложены смесевые пожаробезопасные хладагенты с коротким временем жизни в атмосфере для применения их на объектах энергетики. Применение данных смесевых хладагентов позволит снизить пожарную опасность технологического холодильного оборудования и, по сравнению с горючими хладагентами, приведет к снижению категории по пожарной и взрывопожарной опасности

помещений, где установлено холодильное оборудование, и тем самым, уменьшит затраты на обеспечение пожаро-и взрывопожарной безопасности объектов энергетического комплекса.

**Замечания по диссертационной работе**

1. В работе не затронут вопрос токсичности хлорсодержащих веществ в составе смесевого хладагента.

2. При проведении исследований по разработке смесевых хладагентов не были учтены вопросы в области расслоения в системе (смесевой хладагент)/(компрессорное масло).

3. Автор справедливо указывает на то, что кинетика термического разложения хладагентов остается недостаточно исследованной и использует большое количество оценок и допущений, однако при конструировании предложенных кинетических механизмов недостаточно чётко указывает критерии выбора конкретных реакций и их констант скорости из литературных данных. Так, в посвященном деструкции R-23 разделе не упоминаются реакции $CF_3H + M \rightarrow CF_2 + HF$ и $CF_2 + O_2 \rightarrow COF_2 + O$, оценки констант скоростей которых даны как в классических работах [Hidaka et al. // Chem. Phys. Lett., 1991,187, 40 - 44], [Keating, Matula // Chem. Phys. 66, 1237–1244 (1977)], так и в наиболее современном механизме горения углеводородов в присутствии галогенизированных соединений [Babushok et al // Int. J. Chem. Kinet., 2022, 54, 154-187]

4. Из текста диссертации неясно, на каких независимых экспериментах проводилось тестирование предложенного авторам кинетического механизма.

5. Текст работы содержит значительное количество пунктуационных и стилистических ошибок.

Однако приведенные замечания, не снижают общего положительного впечатления от диссертации, ее научной и практической значимости, и могут рассматриваться как направления дальнейших исследований.

**Заключение**

Диссертационная работа Елтышева Ильи Павловича «Пожаробезопасные смесевые хладагенты как рабочие вещества в энергетике» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по разработке пожаробезопасных хладагентов для объектов энергетики.

Текст автореферата и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации. Имеются акты внедрения результатов исследования, получен патент Российской Федерации на изобретение.

Таким образом, по актуальности темы, новизне и достоверности результатов их научной и практической ценности, оппонируемая диссертационная работа отвечает критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп.9-11. 13. 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.), а ее автор, Елтышев Илья Павлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки).

Заведующий лабораторией № 19
неравновесных процессов ОИВТ РАН
доктор физико-математических наук, профессор А. В. Еремин
«22» августа 2024 года

Подпись Александра Викторовича Еремина заверяю
Ученый секретарь ОИВТ РАН д.ф.-м.н. А.Д. Киверин

125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук
office@ihed.ras.ru; тел.: (495) 485-8345