

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.02(24.1.193.01),
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА
ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 29.09.2021г. № 13

О присуждении Филимоновой Елене Александровне, гражданке
Российской Федерации ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Кинетика процессов горения, конверсии оксидов азота
и углеводородов, стимулированных наносекундными разрядами» по
специальности 01.04.08 (1.3.9) – физика плазмы принята к защите 10.06.2021г.,
(протокол заседания № 8) диссертационным советом Д 002.110.02
(24.1.193.01), созданным на базе Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской
академии наук (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, (495) 485-8345,
jiht.ru), утвержденного Приказом Министерства образования и науки
Российской Федерации № 105/нк от 11.04.2012г.

Соискатель Филимонова Елена Александровна 1956 года рождения, в
1981 году окончила Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт
(государственный университет)» (МФТИ).

В 1992 г. защитила диссертацию на тему "Теоретическое исследование
кинетики и структуры интенсивно излучающих ударных волн в инертных
газах" на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.08 – физика и химия плазмы.

Работает в должности старшего научного сотрудника лаборатории №
21.1. – численного моделирования магнитоплазменной аэродинамики

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Объединенного института высоких температур Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории 21.1 - численного моделирования
магнитоплазменной аэродинамики Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур
Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

- доктор физико-математических наук, профессор, начальник лаборатории
кинетики слабоионизованной плазмы Акционерного общества
"Государственный научный центр Российской Федерации Троицкий институт
инновационных и термоядерных исследований" (ТРИНИТИ) Акишев Юрий
Семенович.

- доктор физико-математических наук, профессор, заместитель заведующего
кафедрой прикладной физики Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования "Московский физико-
технический институт (национальный исследовательский университет)"
(МФТИ), Александров Николай Леонидович.

- доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, и.о. зав.
лабораторией "Плазмохимии и физикохимии импульсных процессов"
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института
нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН (ИНХС РАН) Лебедев
Юрий Анатольевич.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Федеральный исследовательский Центр химической физики
им. Н.Н. Семенова РАН (ИХФ РАН) в своем положительном заключении,
составленном сотрудником лаборатории окисления углеводородов д.ф.-м.н.,
профессором, Власовым П.А. и сотрудником лаборатории детонации к.т.н.,
доцентом, Авдеевым К.А. (утвержденном 02.07.2021г. директором, д.х.м.,
профессором Надточенко В.А.) указала, что теоретическая значимость

проведенных исследований определяется результатами, которые позволяют объяснить полученные недавно экспериментальные данные о воздействии плазмы на многостадийное воспламенение и дают возможность их применять в разрабатываемых сейчас гибридных двигателях с воспламенением гомогенной смеси от сжатия для эффективной организации горения. Практическая значимость связана с возможностью управления процессом окисления и горения с помощью наносекундного разряда в различных приложениях. Например, для организации горения обедненной смеси через воздействие высокочастотным коронным разрядом на многостадийное воспламенение, для реформинга и получения новых веществ; для целей очистки от токсичных примесей совместное использование плазмы наносекундного разряда и различных катализаторов имеет хороший потенциал для промышленного применения.

Соискатель имеет 42 опубликованные работы в рецензируемых журналах, в том числе по теме диссертации 21 статья в журналах, индексируются в Web of Science, Scopus и рекомендованных ВАК. Также результаты диссертационных исследований представлены в главах 7 книг, включая Энциклопедию низкотемпературной плазмы, и в 80 тезисах докладов различных конференций.

Статьи в журналах, индексируемых в Web of Science, Scopus и рекомендованных ВАК, по теме диссертации:

1. Железняк М.Б., Филимонова Е.А. Моделирование газофазного химического реактора на основе импульсного стримерного разряда для удаления токсичных примесей. Часть I // Теплофизика высоких температур.1998. Т.36. №.3. С.374-379.

2. Железняк М.Б., Филимонова Е.А. Моделирование газофазного химического реактора на основе импульсного стримерного разряда для удаления токсичных примесей // Теплофизика высоких температур.1998. Т.36. №.4. С.557-564.

3. Filimonova E.A., Amirov R.H., Kim H.T. and Park I.H. Comparative modelling of NO_x and SO₂ removal from pollutant gases by using pulsed corona and silent discharges // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2000. V. 33. P.1716-1727.
4. Филимонова Е.А., Амиров Р.Х., Ким Х.Т., Парк И.Х. Моделирование конверсии оксидов азота в выхлопе дизельного двигателя, обработанного барьерным разрядом // *Химическая физика.* 2000. Т.19. №. 9. С.75-82.
5. Филимонова Е.А., Амиров Р.Х. Моделирование конверсии этилена, инициируемой стримерной короной в потоке воздуха // *Физика плазмы.* 2001. Т.27. №8. С.750-756.
6. Filimonova E.A., Kim Y., Hong S.H., and Song Y.H. Multiparametric investigation on NO_x removal from simulated diesel exhaust with hydrocarbons by pulsed corona discharge // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2002. V. 35. P.2795-2807.
7. Bocharov A.N., Bityurin V.A., Filimonova E.A., Klimov A.I. Numerical study of plasma assisted mixing and combustion in non- premixed flows // 42 AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibition. AIAA Paper. 2004. P. 12423-12434.
8. Bityurin V.A., Bocharov A.N., Filimonova E.A. Effects of nitrogen oxide on ignition of non-premixed system // *Collection of Technical Papers - 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibition. AIAA Paper 2006-1218.* 2006. P. 14807-14811.
9. Bityurin V.A., Filimonova E.A. and Naidis G.V. Mechanisms of conversion of heavy hydrocarbons in biogas initiated by pulsed corona discharges / In: *Plasma Assisted Decontamination of Biological and Chemical Agents, NATO ASI Series,* Ed. by S.Gucery and V. Smirnov, Springer, 2008. P.135-142.
10. Bityurin V.A., Filimonova E.A., Naidis G.V. Simulation of naphthalene conversion in biogas initiated by pulsed corona discharges // *IEEE Transactions on Plasma Science.* 2009. V.37. № 6. Part 1. P. 911-919.
11. Filimonova E.A. and Naidis G.V. Effect of gas mixture composition on tar removal process in a pulsed corona discharge reactor // *J. of Physics: Conference Series.* 2010. V. 257. 012018.

12. Гордин К.А., Масленников В.М., Филимонова Е.А. Оценка уровня эмиссии оксидов азота при подаче пара с природным газом в камеру сгорания газотурбинной установки // Теплофизика высоких температур. 2013. Т. 51. №6. С. 937-944.

13. Artem'ev K.B., Kazantsev S.Yu., Kononov N.G., Kossyi I.A., Malykh N.I., Popov N.A., Tarasova N.M., Filimonova E.A., Firsov K.N. Nonequilibrium plasma accompanying the ignition of methane-oxygen mixtures // J. Phys. D: Appl. Phys. 2013. V.46. 055201.

14. Фирсов А.А., Исаенков Ю.И., Крупский М.Г., Рудаков В.Ю., Филимонова Е.А., Яранцев Д.А., Леонов С.Б. Неравновесная инициация объемного горения в двигателе внутреннего сгорания: моделирование и постановка эксперимента // Компьютерные исследования и моделирование. 2014. Т. 6. № 6. С. 911–922.

15. Filimonova E.A. Discharge effect on the negative temperature coefficient behaviour and multistage ignition in C₃H₈-air mixture // J. Phys. D: Appl. Phys. 2015. V. 48. 015201.

16. Artem'ev K.V., Berezhetskaya N.K., Kazantsev S.Yu., Kononov N.G., Kossyi I.A., Popov N.A., Tarasova N.M., Filimonova E.A., Firsov K.N. Fast combustion waves and chemi-ionization processes in a flame initiated by a powerful local plasma source in a closed reactor // Philosophical Transactions Royal Society A. 2015. V. 373. 20140334.

17. Filimonova E., Bocharov A. Bityurin V. Influence of a non-equilibrium discharge impact on the low temperature combustion stage in the HCCI engine // Fuel. 2018. V. 228. С.309-322.

18. Dobrovolskaya A., Filimonova E., Bityurin V., Bocharov A., Klyuchnikov N. Different numerical approaches for simulation of combustion wave initiation by electrical discharge // AIP Conference Proceedings. 2018. V. 1978(1).470074.

19. Dobrovolskaya A.S., Filimonova E.A., Bityurin V.A., Bocharov A.N. Numerical study of combustion-wave propagation initiated by non-equilibrium discharge // J. of Physics. Conference Series. 2019. V.1147. 012054.

20. Filimonova E.A., Bocharov A.N., Dobrovolskaya A.S., Bityurin V.A. Influence of nanoseconds pulsed discharges on the composition of intermediate and final combustion products in the HCCI engine // Plasma Chemistry and Plasma Processing. 2019. V.39. № 3. P. 683-694.

21. Filimonova E.A., Dobrovolskaya A.S., Bocharov A.N., Bityurin V.A., Naidis G.V. Formation of combustion wave in lean propane-air mixture with a non-uniform chemical reactivity initiated by nanosecond streamer discharges in the HCCI engine // Combustion and Flame. 2020. V.215. P. 401-416.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. **Казахский Национальный университет имени аль-Фараби** (зам. Председателя Национального Научного Совета Республики Казахстан по приоритетному направлению «Энергетика и машиностроение», профессор кафедры теплофизики и технической физики физико-технического факультета, д.т.н., профессор Мессерле В.Е.), отзыв положительный, без замечаний.

2. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (ИТПМ СО РАН)** (в.н.с. лаборатории 7, д.ф.-м.н. Швейгерт И.В.), отзыв положительный, без замечаний.

3. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии растворов им. Г.А. Крестова** (г.н.с. лаборатории 3-6, д.ф.-м.н., доцент, Титов В.А.), отзыв положительный, сделано замечание:

- при описании в автореферате модели многостадийного воспламенения (Глава 2) автором не указано, учитывался ли теплообмен со стенками и потери радикалов на стенках сосуда. Эти процессы могут быть важны, особенно при низких давлениях, и они могут влиять на время задержки воспламенения.

4. **МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет** (д.ф.-м.н, профессор физического факультета В.М. Шибков), отзыв положительный, с замечаниями:

- В тексте автореферата несколько раз, например, на стр.2, стр. 30, автор использует выражение – «ширина импульса». Правильно использовать общепринятое выражение «длительность импульса».

- На стр. 16 автором вводится понятие доли объема, занятого всеми стримерами, возникающими за один импульс, к объему реактора. Стримерный разряд представляет собой объемное плазменное образование. Стримеры имеют различные диаметры и различную длину. Они могут возникать с различными временными задержками. При регистрации они могут затенять друг друга. Для правильного расчета необходимо проводить томографические исследования. В тексте автореферата необходимо кратко пояснить метод подсчета объема всех стримеров, применяемый автором.

- На стр. 27 вводится величина W , которая делится на две части: одна часть расходуется на нагрев газа ΔT_h (VT-релаксация и быстрый нагрев [54]), а другая на производство активных частиц ΔT_{ac} . Ссылка [54] относится к работе 2016 г., хотя автору хорошо известно, что понятие быстрого нагрева молекулярных газов в условиях низкотемпературной плазмы было введено и подробно исследовано еще в конце прошлого века. В этом случае надо ссылаться не только на работу [54], но и на пионерские теоретические и экспериментальные работы, в которых был подробно исследован быстрый нагрев молекулярного азота и воздуха в условиях неравновесной низкотемпературной газоразрядной плазмы.

5. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ) (в.н.с. отдела Микроэлектроники НИИЯФ МГУ, д.ф.-м.н. Паль А.Ф.), отзыв положительный, с замечанием:

- Непонятна формула вычисления рейтинга реакции на рисунке 6. В тексте указано, что рейтинг от 1 до 9 и меньше (*), при этом на самом рисунке есть рейтинг только до 7. Также в пояснении к этому рисунку в

тексте автореферата указано, что знак «*» между символьным названием компонентов означает «+», хотя в таблице вообще нет знака «*».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- д.ф.-м.н., профессор Акишев Ю.С. является ведущим ученым в области физики и химии газовых разрядов в плотных газах, применения неравновесной низкотемпературной плазмы для обработки газов, жидкостей и поверхностей.

1. Y. Akishev, V. Karalnik, M. Medvedev, A. Petryakov, T. Shao, Ch. Zhang, B. Huang. About the possible source of seed electrons initiating the very first breakdown in a DBD operating with the air at atmospheric pressure // Plasma Sources Science and Technology. 2021.V. 30. No 2. 025008.

2. Y. Akishev, B. Huang, Ch. Zhang, I. Adamovich, T. Shao. Surface ionization wave propagation in the nanosecond pulsed surface dielectric barrier discharge: the influence of dielectric material and pulse repetition rate // Plasma Sources Science and Technology. 2020. v.29. 044001.

3. Ю.С. Акишев. Низкотемпературная плазма при атмосферном давлении и ее возможности для приложений // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2019. т. 62. Вып. 8, с.26-60.

- д.ф.-м.н., профессор Александров Н.Л. является экспертом, известным ученым в области химической кинетики воздуха, углеводородов и плазмы, созданной наносекундными разрядами, а также ведущий специалист в области физики газового разряда.

1. Анохин Е.М., Киндышева С.В., Александров Н.Л. Воспламенение углеводород-кислородных смесей с помощью наносекундного поверхностного диэлектрического барьерного разряда // Физика плазмы. 2018. т. 44. № 11. с. 927–936.

2. I.N. Kosarev, A.Yu. Starikovskiy, N.L. Aleksandrov. Development of high voltage nanosecond discharge in strongly nonuniform gas // Plasma Sources Science and Technology. 2019. v.28. 015005.

3. M.A. Popov, E.M. Anokhin, A.Yu. Starikovskiy, N.L. Aleksandrov. Plasma decay in hydrocarbons and H₂O-containing mixtures excited by high-voltage nanosecond discharge at elevated gas temperatures // *Combustion and Flame*, 2020. v. 219. p.393-404.

- д.ф.-м.н. Лебедев Ю.А. является ведущим ученым в области физики и химии плазмы газовых разрядов, признанным специалистом в диагностике и моделировании неравновесной плазмы СВЧ разрядов.

1. Лебедев Ю. А., Татаринов А. В., Эпштейн И. Л. О роли электронного удара в СВЧ-разряде в жидком n-гептане при атмосферном давлении // *Прикладная физика*. 2016. № 3. с.11-14.

2. Epstein I.L., Lebedev Yu.A., Tatarinov A.V. and Bilera I.V. 0D kinetic model for the microwave discharge in liquid n-heptane including carbonaceous particles production // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2018. V. 51 214007.

3. Lebedev Yu.A., Tatarinov A.V., Epstein I.L. Effect of charging solid particles on their growth process and parameters of microwave discharge in liquid n-heptane // *Plasma Sources Science and Technology*. 2020. v.29. No.6. 015005.

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский Центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН (ИХФ РАН) является профильной организацией, специализирующейся на проведении исследований в области химической кинетики горения и газодинамики. В организации ведутся систематические экспериментальные и расчетно-теоретические исследования динамических процессов в реагирующих газах в двигателях внутреннего сгорания и детонационных двигателях.

1. Сергеев С. С., Фролов С. М., Басевич В. Я., Басара Б., Пришинг П. Моделирование рабочего процесса дизеля с рециркуляцией отработавших газов на базе детального кинетического механизма горения топлива // *Горение и взрыв*. 2019. т. 12. № 2. с. 92-101.

2. Басевич В. Я., Беляев А. А., Медведев С. Н., Фролов С. М., Фролов Ф. С. Детальный кинетический механизм многостадийного окисления и горения октанов // *Химическая физика*. 2018. т. 37. № 6. с. 44–54.

3. Фролов С.М., Сметанюк В.А., Аксёнов В.С., Коваль А.С. Переход горения в детонацию в перекрёстных высокоскоростных струях топливных компонентов // Доклады академии наук. 2017. т. 476. № 1. с. 59–62.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Впервые показано, что наносекундный разряд: 1) не подавляет, а стимулирует развитие и увеличивает интенсивность холодного пламени; 2) уменьшает немонотонное окисление смеси с ростом начальной температуры, вплоть до подавления отрицательного температурного коэффициента скорости окисления. Эффект зависит от удельного энерговклада и связан с частичной заменой химического кинетического механизма в области отрицательного температурного коэффициента, а именно: включением низкотемпературного механизма разветвления цепи и активации реакций теплового механизма через простые разветвления за счет радикалов O, H, OH. Таким воздействием топливно-воздушная смесь переводится в диапазон температур, где высокотемпературный механизм окисления реализуется с более высокой скоростью.

- Разработана модель химического реактора сжатия (аналог компрессионного двигателя) с инициацией воспламенения неравновесной плазмой разряда. В рамках нульмерного подхода для описания воздействия разряда на массу газа в цилиндре двигателя был предложен оригинальный способ: в систему уравнений сохранения был включен дополнительный член в виде потока небольшой массы смеси, обработанной разрядом, через специальный порт. Состав химически активных частиц находился в предположении постоянного электрического поля с учетом реакций диссоциации топлива и окислителя электронным ударом, нагрев этой массы – в предположении постоянного давления, для фиксированного энерговклада. Модель химического реактора сжатия с включением системы физико-химических процессов, описывающих активацию топливно-воздушной смеси внешним источником, важна для

организации процесса горения таким образом, чтобы получить заданные характеристики (температура, давление, мощность) и состав продуктов сгорания.

- Предложен новый способ организации горения в компрессионном двигателе с помощью воздействия неравновесной плазмы разряда на бедную смесь с учетом стадии низкотемпературного выделения тепла (стадия холодного пламени) или выделения тепла при промежуточных температурах (стадия голубого пламени). Разряд непосредственно смесь не воспламеняет, а лишь подталкивает начало этих стадий и способствует более быстрому их протеканию. Смесь воспламеняется за счет сжатия. Выявлен кинетический механизм селективного воздействия разряда. Установлено, что оптимальным временем инициации разряда является время непосредственно перед началом разложения основного органического гидропероксида на стадии низкотемпературного выделения тепла. В результате удастся ликвидировать пропуски пламени в рабочем цикле и стабилизировать воспламенение.

- Предложены рекомендации организации горения бедной смеси с помощью наносекундного разряда для сокращения в выхлопе CO и несгоревших углеводородов и незначительного увеличения концентрации NO_x (за счет нетермических) по сравнению с термическими NO_x в компрессионном двигателе.

- Впервые показано, что значительное влияние высокочастотного коронного разряда на воспламенение и режим распространения волны горения (дефлаграционное распространение пламени и переход к самовоспламенению) в компрессионном двигателе объясняется стимуляцией кинетического механизма окисления при низких и промежуточных температурах и зависит от удельного энерговклада в стримерный канал и момента инициации разряда относительно верхней мертвой точки. Необходимо рассматривать влияние энерговклада с учетом структуры активированной зоны, созданной стримерными каналами. Показано, что высокочастотный коронный разряд инициирует горение в первоначально невоспламеняющейся

вследствие сжатия смеси и позволяет преодолеть трудности воспламенения и распространения волны горения в бедной смеси, использование которой в двигателях внутреннего сгорания в настоящее время является приоритетным. Особенностью подхода к моделированию был учет внешнего сжатия в уравнениях Навье-Стокса (имитация реального изменения давления в цилиндре без разряда).

- Разработан метод учета дискретного по времени и пространству образования реагентов, связанного с многоканальной структурой наносекундного разряда. Метод применен для создания модели реактора для удаления токсичных примесей, и расчета состава и нагрева области, активированной высокочастотным коронным разрядом в компрессионном двигателе.

- Построена кинетическая химическая модель конверсии NO_x в продуктах сгорания дизельного двигателя, содержащих в качестве добавок этилен и пропилен, при инициации процесса наносекундным разрядом. Выявлено, что при одной и той же температуре пропилен в большей степени способствует уменьшению концентрации оксидов азота в процессе очистки, чем этилен, благодаря дополнительному образованию различных радикалов углеводородов, которые реагируют с NO . Модель газофазного химического реактора позволяет проводить оптимизацию процессов в газовой фазе, то есть выбирать тип углеводородной добавки, величину ее концентрации в зависимости от состава газа и температуры, оптимизировать частотный режим и удельный энергозатрат за импульс.

- Впервые показана важная роль возбужденных молекул азота в разложении нафталина в биогазе разного состава при инициации наносекундным разрядом, а также необходимость учета ион-молекулярных, электрон-ионных реакций и диссоциативной рекомбинации в условиях высоких электрических полей как дополнительный источник важных нейтральных компонентов для разложения нафталина. Однако, достаточно приближенного подхода к учету реакций с участием заряженных частиц.

- Проведено сравнительное моделирование удаления NO_x и SO_x из воздуха и продуктов сгорания, инициированного коронным или диэлектрическим барьерным разрядом. Представлены различия процесса очистки в этих разрядных реакторах. Даны рекомендации, в каких смесях и для каких примесей лучше использовать каждый из исследованных разрядов.

- Создан комплекс, состоящий из базы данных химических реакций и программного комплекса, как инструмент для решения широкого круга задач для целей конверсии, окисления и горения с инициацией наносекундным стримерным разрядом. Возможности такого инструмента были продемонстрированы при решении задачи об эмиссии оксидов азота при подаче пара с природным газом в камеру сгорания газотурбинной установки (ГТУ), и в задаче о хими-ионизации в пламени смеси $\text{CH}_4\text{-O}_2$ в условиях воспламенения, инициируемого мощным лазерным излучением. В первой задаче было показано, что оптимальный выбор условий работы камеры сгорания ГТУ позволяет получить содержание NO_x в продуктах сгорания на уровне нескольких ppm. Во второй задаче удалось объяснить экспериментальные данные по концентрации электронов на фронте пламени и по частоте столкновения между электронами и нейтральными частицами в горячей зоне.

Научная и практическая значимость

Практическая значимость напрямую связана с пониманием того, что в наносекундном стримерном разряде эффективность воздействия плазмы обусловлена наработкой химически активных частиц электронным ударом, которая зависит от внешних характеристик электрической цепи. Это дает средство для управления процессом в различных приложениях. В зависимости от условий воздействия можно управлять конечным состоянием системы через изменение ее параметров на стадии разряда. Эта особенность используется для целей воспламенения в ДВС и очистки загрязненных газов в задачах диссертационного исследования.

Воздействие на многостадийное воспламенение дает ключ к управлению процессами окисления и горения в устройствах для практического применения. На этой основе предложен способ организации горения обедненной смеси в компрессионном двигателе путем изменении реакционного пути протекания низкотемпературной стадии горения за счет активации смеси высокочастотным коронным разрядом и стимулированием самовоспламенения от сжатия. Этот способ позволяет улучшить состав выхлопа. Даны рекомендации по выбору управляющих параметров. Разряд непосредственно смесь не воспламеняет из-за небольших удельных энергозатрат. Эти результаты могут быть применимы для гибридных двигателей, которые в стабильных условиях могут работать как компрессионные с гомогенной смесью, а в нестабильных условиях инициатором горения являются высокочастотные коронные разряды.

В зависимости от условий воздействия разрядом, процесс образования долгоживущих промежуточных компонентов можно оборвать на стадии холодного пламени или стадии голубого пламени с учетом проявления отрицательного температурного коэффициента полной скорости окисления смеси, что важно для активирования смеси для дальнейшего использования (горение, реформинг, получение новых веществ).

Высокочастотные коронные разряды в качестве активатора воспламенения (а не замены свечи зажигания) потенциально устраняют необходимость использования дорогостоящих систем последующей обработки выхлопных газов (что сопоставимо с дополнительным использованием топлива на 2-4%).

В двух стадийной очистке (разряд и катализатор) основное энергопотребление будет в реакторе с разрядом, создающим неравновесную плазму. Полученные в диссертации результаты позволяют проводить оптимизацию конверсии в газовой фазе. Для целей очистки от оксидов азота, серы и ароматических углеводородов комбинированное использование плазмы наносекундных разрядов и различных катализаторов имеет хороший потенциал для промышленного применения.

Поскольку в настоящий момент нет возможности сравнить воспламенение в компрессионном двигателе с инициацией высокочастотным коронным разрядом напрямую, то предложенные подходы и модель химического реактора сжатия служат основой для прогнозирования результатов.

Представленные в диссертации инструменты и методы исследования могут быть использованы для решения широкого круга задач для целей конверсии, окисления и горения с возможной инициацией наносекундным разрядом, что позволит получить новые, значимые результаты.

Результаты диссертационной работы могут быть применены в следующих организациях: Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Объединенный институт высоких температур РАН, Физический факультет МГУ, Химический факультет МГУ, Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований (ТРИНИТИ), Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) (МФТИ), Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН (ИНХС РАН), Центральный институт авиационного моторостроения (ЦИАМ), Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана.

Оценка достоверности результатов

Для решения различных задач по очистке загрязненных газов от токсичных примесей, конверсии и горению проводилось предварительное тестирование кинетических схем на экспериментах, взятых из литературных источников. Результаты численных исследований по очистке и конверсии загрязненных газов, а также горению в закрытых объемах хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Результаты, представленные в диссертационной работе, докладывались на многочисленных всероссийских и международных конференциях, а также

на московских семинарах и семинарах в Южной Корее, Германии, Франции и Нидерландах.

Личный вклад автора

Задача о влиянии наносекундного разряда на многостадийное воспламенение была полностью решена автором. Идея организации горения в компрессионном двигателе с инициацией неравновесной плазмой принадлежит автору. Постановка задач, моделирование горения в химическом реакторе сжатия, анализ результатов с формулировкой выводов и рекомендаций по оптимальной организации горения сделаны автором. При решении задачи о распространении фронта пламени в компрессионном двигателе с инициацией высокочастотным коронным разрядом автором был предложен и реализован метод оценки состава и нагрева активированной разрядом зоны, рассчитан состав и нагрев в этой зоне для разных условий на стадии сжатия. Эти данные использовались в качестве начальных условий для расчета распространения фронта пламени. Анализ и обработка полученных результатов проводились при определяющем участии автора. Статьи по горению в большей своей части были написаны автором.

Автор участвовала в создании базы данных по химической кинетике, в написании программ по расчету состава смеси. Является соавтором программных комплексов РАДИКАЛ и ДИЗЕЛЬ. Автор полностью отвечала за создание схем, в том числе редуцированных, химических реакций для разных задач и проводила тестирование этих схем. Автором было проведено моделирование по удалению токсичных примесей из различных смесей, с последующим анализом и обработкой полученных результатов, с формулировкой выводов.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Филимонова Елена Александровна ответила на задаваемые в ходе заседания вопросы от членов совета, а также на замечания, поступившие на автореферат и ведущей организации, и привела собственную аргументацию по ним.

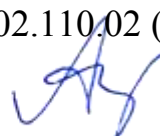
Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г.

На заседании от 21.03.2018г. диссертационный совет принял решение за разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, либо решение научной проблемы, имеющей важное политическое, социально-экономическое, культурное или хозяйственное значение, либо новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, присудить Филимоновой Елене Александровне ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.08 (1.3.9) – физика плазмы.

При проведении тайного голосования Диссертационный совет в количестве 21 человека, из них очно: 11 докторов наук (по специальности 01.04.08 – физика плазмы - 7, и по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника – 4), дистанционно: 10 докторов наук (по специальности 01.04.08 – физика плазмы – 4, и докторов наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника – 6), участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 21, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.



Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02 (24.1.193.01)

д.ф.-м.н., профессор

 Андреев Н.Е.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.110.02 (24.1.193.01)

д.ф.-м.н.


 Васильев М.М.

29.09.2021г.