

«Утверждаю»

Директор ИБРАЭ РАН



Л.В. Матвеев

2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Смыгалиной Анны Евгеньевны на тему
«ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГОРЮЧИХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ВОДОРОДА
НА РЕЖИМЫ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ И ГОРЕНИЯ», представленную на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Актуальность темы работы. Основное содержание диссертационной работы Смыгалиной Анны Евгеньевны касается фундаментальных вопросов условий воспламенения и распространения горения водорода. К таким вопросам относится, в частности, вопрос о нижнем концентрационном пределе горения водородовоздушных и водородопаровоздушных смесей. Условия воспламенения водорода в смеси с воздухом в разных условиях до сих пор являются предметом интенсивного экспериментального и теоретического исследования. **Актуальность темы очевидна.** Опасность водородного взрыва имеет место в атомной энергетике (достаточно вспомнить Фукусиму), в химических производствах, связанных с производством и использованием водорода, а также в связи с расширяющейся в настоящее время тенденцией использования водорода в качестве экологически чистого топлива и как добавки к традиционным углеводородным топливам.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности. В диссертационной работе рассмотрено несколько конкретных задач, имеющих практическое значение.

1. Определение нижнего концентрационного предела воспламенения водорода как его минимальной концентрации, ниже которой невозможно распространение в пространстве реакции горения (глава 2).
2. Исследование влияния локального поля концентрации водорода на его самовоспламенение при истечении водорода из сосуда высокого давления в пространство, заполненное воздухом (глава 3).
3. Определение минимальных добавок ингибирующих веществ (водяного пара, избытка воздуха, метана) к стехиометрической водородно-воздушной смеси, обеспечивающих отсутствие детонационных режимов сгорания в двигателе с искровым зажиганием (глава 4).
4. Исследование сгорания обедненных водородно-воздушных смесей с различными добавками в двигателе внутреннего сгорания с определением влияния состава топлива на основные показатели работы двигателя и полноту сгорания (глава 4).

Автор провела предварительную кропотливую работу по расчету теплофизических параметров газовых компонент и газовых смесей, возникающих при химических реакциях окисления водорода и углеводородов (глава 1).

Автором проведен тщательный анализ кинетических схем для описания процессов горения в тех или иных конкретных условиях протекания реакций и сделан выбор наиболее адекватных из них для каждой из решаемых ею задач. Для этого проведены специальные тестовые расчеты нульмерной задачи по определению времени индукции, а также одномерной задачи по определению ламинарной скорости пламени, результаты которых тщательно сопоставлены с экспериментальными данными. При решении каждой из задач, представленных в работе, проводилось исследование сходимости численного решения, по результатам которого определялось достаточное разрешение расчетной сетки. Все это сделано корректно и обоснованно и производит хорошее впечатление о выполненной работе.

В задаче о воспламенении струи водорода, вытекающей из сосуда высокого давления в воздух (глава 3) автор детально исследовала обнаруженный ранее интересный эффект влияния динамики раскрытия отверстия в сосуде на воспламенение. Автор на основании своих расчетов дает подробную и более сложную и полную, чем это представлялось ранее, картину, объясняющую это явление. Результаты численного анализа хорошо соответствуют экспериментальным данным.

Значительная часть работы посвящена численному исследованию возможности использования водорода в качестве топлива в поршневом двигателе внутреннего сгорания (глава 4). Проблема здесь заключается в устранении аномальных режимов горения водорода, приводящих к стуку и износу двигателя. Путем численных расчетов автором установлены минимальные количества ингибирующих добавок (водяной пар, избыточный воздух, метан), обеспечивающие устранение стука двигателя. Автором обнаружен и объяснен неожиданный и интересный эффект: добавка метана дает существенно более сильный ингибирующий эффект, чем, например, равная (по количеству молей) добавка водяного пара. Расчетные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Научная новизна. Описанные выше результаты работы являются новыми. К полученным впервые результатам можно отнести и оценку минимального давления, при котором еще происходит воспламенение водородной струи, вытекающей из сосуда под давлением; выделение и анализ двух различных типов очагов воспламенения; предложенный автором метод подавления детонационных режимов сгорания водорода в двигателе внутреннего сгорания.

Обоснованность и достоверность научных результатов. Как уже отмечалось, использованные автором расчетные программные средства тщательно верифицированы путем сопоставления результатов различных задач с экспериментальными данными, в том числе с уникальными данными, полученными в ОИВТ РАН. Тщательно проверены также кинетические

схемы химических реакций, используемые в расчетах. Поэтому выводы автора не вызывают сомнений.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные автором новые результаты представляют интерес с точки зрения классической теории горения и взрыва и широкого круга прикладных задач воспламенения и горения газообразных смесей. Все представленные в работе и решенные задачи имеют прямое отношение к безопасности обращения с водородом и к эффективности его использования как топлива для энергетических установок. В этом заключается значимость работы для практики.

Предложенный в работе подход к предотвращению детонационных режимов сгорания в двигателе с искровым зажиганием имеет непосредственное значение для разработки и оптимизации перспективных компонентов водородной энергетики.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Материалы работы могут быть использованы при проектировании объектов хранения водорода, а также устройств, использующих водород как топливо, в частности, двигателей внутреннего сгорания.

Апробация работы и публикации. Содержание диссертации с достаточной полнотой опубликовано в журналах из перечня ВАК Минобрнауки России. Материалы диссертации неоднократно докладывались автором и обсуждались на российских и международных конференциях. Результаты работы опубликованы в виде 4 статей в журналах, рекомендованных ВАК, а также в 27 сборниках трудов и тезисов конференций.

Личный вклад автора в обсуждаемую работу представляется основным. Автор принимала активное участие в постановке конкретных задач. Ею собственноручно выполнены все необходимые модификации компьютерных кодов для проведения моделирования с использованием

детальных механизмов химической кинетики, проведена валидация кодов, уточнение моделей, используемых для расчета транспортных коэффициентов, проведены тесты на сходимость для разбираемых задач. Автором выполнено численное моделирование процессов горения, проведен анализ полученных результатов и их сопоставление с экспериментальными данными. Автор принимала активное участие в планировании работы, формулировке и обосновании выводов, вошедших в диссертацию.

Замечания. 1. В разделе о концентрационных пределах имеется непоследовательность и путаница в понятиях. Автор формулирует ГОСТовское определение предела, которое связывает его с возможностью распространения реакции в пространстве на любое расстояние от источника, а следом дает нульмерный расчет, который к распространению отношения не имеет. Непонятно также, какое отношение к распространению горения в однородной смеси (ГОСТ) имеет распространение в смеси с градиентом концентрации.

2. К сожалению, из описания расчета воспламенения водородной струи не ясно, насколько полученные результаты применимы к практически интересному случаю, когда истечение водорода из сосуда высокого давления происходит не в канал, как в расчетах автора, а в неограниченное пространство атмосферного воздуха.

3. В тексте не сказано также, каким образом в этой задаче описывалось турбулентное перемешивание.

Отмеченные недостатки не снижают общую положительную оценку работы, ее научную и практическую значимость.

Заключение. Работа выполнена на достаточно высоком уровне, изложена четко и понятно. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. Основные результаты диссертации с достаточной полнотой опубликованы в открытой печати.

На основании изложенного считаем, что диссертационная работа Смыгалиной Анны Евгеньевны представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая по актуальности, новизне, научному уровню и практической значимости соответствует требованиям к кандидатским диссертациям, установленным п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденным постановлением № 842 Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г.

Считаем, что автор работы Смыгалина Анна Евгеньевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Отзыв на диссертацию подготовлен на основании заключения, сделанного в результате обсуждения диссертации на заседании отдела перспективных исследований и математического моделирования (протокол № 4 от 26 февраля 2019 г.).

Заведующий отделом перспективных исследований и математического моделирования
д.ф-м.н.

В.М. Головизнин

Заведующий отделением анализа безопасности ядерных энергетических установок ИБРАЭ РАН
д.т.н.

А.Е. Киселев

Зам. заведующего отделением анализа безопасности ядерных энергетических установок ИБРАЭ РАН
д.ф-м.н.

В.Н. Семенов

Подписи А.Е. Киселева, В.М. Головизнина, В.Н. Семенова удостоверяю.
Ученый секретарь ИБРАЭ РАН
к. т. н.

В.Е. Калантаров