

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Киверина Алексея Дмитриевича «Нестационарные режимы горения и формирования детонации в газообразных и дисперсных средах», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Содержание диссертационной работы А.Д. Киверина, изложенное в автореферате, составляют результаты проведенного автором детального численного исследования воспламенения и распространения горения газовых смесей в самых различных режимах.

Актуальность темы очевидна. Несмотря на огромное количество экспериментальных и расчётно-теоретических исследований, полного понимания многих явлений, сопровождающих горение газовых смесей, в настоящее время нет, и они до сих пор являются предметом интенсивного изучения. Опасность взрыва имеется в производствах, связанных с получением, транспортировкой, хранением и использованием горючих газов. Особенно следует отметить водород в связи с расширяющейся в настоящее время тенденцией его использования в качестве экологически чистого топлива. Опасность водородного взрыва существует и в атомной энергетике (достаточно вспомнить взрывы в помещениях реакторов в Фукусиме). Всякая новая информация об условиях воспламенения и распространения пламени в разных режимах востребована и актуальна.

Автором проведены многочисленные расчётные исследования, касающиеся развития волн горения в разных условиях. В работе рассмотрены распространение и неустойчивость пламени в полукрытых каналах с учётом реальной химической кинетики (глава 1), инициирование волн горения путём локального нагрева горючей среды (глава 2), воспламенение при прохождении через горючую смесь ударной волны в ударной трубе (глава 3), распространение горения в дисперсной среде со взвешенными частицами, способными нагреваться излучением из области горения и передавать тепло несгоревшему газу (глава 4), детальные особенности перехода дефлаграции в детонацию в замкнутых объёмах, в загромождённых помещениях, в открытом пространстве (глава 5).

Все эти исследования относятся к тем режимам воспламенения и распространения горения, по которым в настоящее время экспериментальная информация и теоретическое понимание недостаточны. Многие полученные автором результаты являются новыми и получены впервые. Так, впервые рассчитана структура «запертого пламени», проведено моделирование формирования очагов воспламенения при распространении ударных волн в трубах, впервые промоделирован переход дефлаграция-детонация в открытом

пространстве, предложена методика расчёта пределов перехода к детонации. Все приведённые новые результаты определяют **научную новизну** работы.

Для проведения этих исследований автор провёл тщательный анализ главных физических механизмов, определяющих развитие горения в газах, и на его основе сформулировал требования к моделям химической кинетики, многокомпонентной диффузии, методике расчёта газодинамических течений. Используемые в работе модели и методики соответствуют этим требованиям. Эти методики проверены автором на ряде конкретных задач (расчёт нормальной скорости пламени и др.) путём сопоставления расчётных и экспериментальных данных. Хорошее соответствие, обнаруженное при таких сравнениях, демонстрируют адекватность используемых автором методик. Все это делает полученные им результаты вполне **достоверными** и обоснованными.

Практическая значимость работы. Полученные автором результаты существенно дополняют понимание возможных условий воспламенения и инициирования различных режимов горения в газах, включая детонацию. Детальные данные об инициировании и развитии волн горения и детонации могут быть использованы при проектировании ряда технических систем, связанных с горением, таких как двигатели внутреннего сгорания различных типов. С точки зрения систем обеспечения пожаро- и взрывобезопасности на производствах, где возможны выбросы горючих газов, весьма важными являются данные автора о пределах инициирования детонации в каналах и загромождённых помещениях. Разработанные автором требования к методикам гидродинамических и кинетических расчётов могут использоваться для улучшения предсказательной способности расчётных кодов для расчётно-теоретического сопровождения разработок систем, связанных с производством, транспортировкой, хранением и использованием горючих газов.

Апробация работы. Результаты, представленные в работе, многократно докладывались и обсуждались на различных международных и российских конференциях, симпозиумах и семинарах. Материалы работы достаточно полно опубликованы в 39 печатных изданиях, входящих в список ВАК и индексируемых Web of Science и Scopus.

Личный вклад автора подробно освещён в автореферате, что не оставляет сомнений в его решающем вкладе в получение и трактовку представленных в работе результатов.

Замечания. 1. В п. 1.5, где речь идёт об ускорении пламени при распространении от закрытого торца канала, ничего не сказано о том, как учитывалось и учитывалось ли

вообще взаимодействие газового потока со стенкой канала - при том, что такое взаимодействие важно, поскольку само может быть причиной самоускорения пламени.

2. В п. 3.2, 3.3, где рассматривается воспламенение за ударной волной в ударной трубе, течение должно характеризоваться большими числами Рейнольдса, что способствует быстрой турбулизации погранслоя. Из текста реферата не ясно, какие использовались модели турбулентности и использовались ли вообще. Непонятно также, какую роль играют одномерные расчёты, когда суть явления – 3D очаги воспламенения.

3. Во многих местах в тексте автореферата упоминается об экспериментах по исследованию обсуждаемых явлений, но отсутствуют литературные ссылки.

Несмотря на отмеченные недостатки, общая оценка работы - положительная. Это законченная научная работа высокого уровня. Ее результаты расширяют понимание тонких эффектов при возникновении горения и детонации и имеют практическое значение с точки зрения прогнозирования опасных явлений при работе с горючими газами.

Содержание работы соответствует паспорту специальности.

На основании изложенного считаю, что диссертация А.Д. Киверина удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по заявленной специальности и полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней». А.Д. Киверин заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Заместитель заведующего отделением ИБРАЭ РАН

д.ф.-м.н.

Семенов Владимир Николаевич

Адр.: 115191, Москва, Б. Тульская, 52. Тел.: 8 (495) 955-22-59. Эл. почта: sem@ibrae.ac.ru.

Подпись В.Н. Семенова удостоверяю

Ученый секретарь ИБРАЭ РАН

к.т.н.



В.Е. Калантаров