

ОТЗЫВ

**научного руководителя д.т.н., профессора Молчанова А.М.
на диссертационную работу Масловой Д. В.**

**«Влияние неравновесности на характеристики излучения
высокотемпературных газовых смесей», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14
«Теплофизика и теоретическая теплотехника»**

Квалификационная работа Масловой Д.В. посвящена решению одной из проблемных научно-технических задач - построению математической модели течения химически и термически неравновесной газовой смеси и разработке эффективной методики расчета интенсивности узкополосного излучения горячих газов с ярко выраженным линейчатым спектром.

В процессе выполнения работы автором решен ряд задач, которые подтвердили адекватность предложенной математической модели, достоверность данных, полученных с её использованием, а также высокую эффективность разработанной методики для проведения расчетов узкополосного излучения молекулярных газов, выполняемых на стандартной компьютерной технике.

В результате решения задач:

- выявлены основные проблемы, возникающие при математическом моделировании течений газовых смесей с ярко выраженной колебательной неравновесностью;
- построена математическая модель, адекватно описывающая течение химически и термически неравновесной газовой смеси;
- осуществлен выбор системы энергетических переходов, пригодной для решения различных классов задач высокотемпературной термогазодинамики;
- предложена новая методика расчета теплового излучения колебательно неравновесной газовой смеси;
- произведена верификация предложенной методики путём её сопоставления с имеющимися в литературе экспериментальными данными, а также результатами расчёта ряда отечественных и зарубежных авторов;
- проведен анализ влияния колебательной неравновесности на газодинамические параметры и интенсивность излучения высокоскоростного турбулентного течения колебательно неравновесного газа;
- создана база данных коэффициентов поглощения и излучения для термически неравновесного газа.

Всё указанное характеризует актуальность темы диссертации, поскольку сегодня одной из важнейших проблем при создании новых образцов авиационной и ракетно-космической техники является необходимость учета неравновесных термодинамических процессов. В этой связи разработка экспериментальных и численных методов и средств

исследования комплексных многопараметрических задач, связанных с изучением структуры сверхзвуковых турбулентных течений с химическими реакциями и излучением, является актуальной проблемой науки и техники.

Отмечаю, что выполненная соискателем работа комплексная. Она включает несколько взаимосвязанных частей. В первой части проанализированы существующие методы расчета неравновесного излучения молекулярных газов и выявлены основные проблемы, возникающие при математическом моделировании течений газовых смесей с ярко выраженной колебательной неравновесностью.

В результате проведенного анализа автором предложена методика расчета неравновесного излучения, основанная на методе k -распределения.

Суть предложенной методики состоит в том, что уже имеющийся, но применяемый только для термически равновесного газа, метод k -распределения был модифицирован таким образом, чтобы с его помощью проводить расчет и для термически неравновесной среды. При этом модифицированный метод учитывает зависимость радиационных свойств газа не только от поступательной, но и от колебательных температур.

Также обосновано, что построенная на такой «многотемпературной» концепции математическая модель позволяет достоверно и с высокой точностью рассчитывать спектральные и интегральные характеристики инфракрасного (ИК) излучения колебательно-неравновесных газовых смесей при использовании стандартных компьютерных ресурсов.

Таким образом, предложенный подход снимает основные ограничения, возникавшие при расчете неравновесного излучения и касающиеся затрат временных и вычислительных ресурсов. Как следствие, разработанный метод является удобным для интеграции в состав комплексных программ по расчету гидродинамики, химической кинетики и теплообмена.

Вторая часть работы посвящена тестированию предлагаемой методики и ее математической модели. Выполнено сопоставление полученных результатов с опубликованными экспериментальными данными и результатами расчётов других авторов. Здесь также проводится численное исследование некоторых неравновесных течений, имеющих большое практическое значение в современной ракетно-космической технике.

В завершающей части работы проводится исследование ИК излучения колебательно возбужденной газовой смеси, содержащей HCl , а также приводится алгоритмическая программа для создания базы данных для расчета узкополосного спектра неравновесного излучения HCl .

По итогам изложенных в работе материалов отмечаю, что научная новизна и практическая значимость диссертационной работы Масловой Д.В. выражается в том, что:

- предложена новая методика расчета теплового излучения колебательно неравновесной газовой смеси на основе метода k -распределения;

- проведен анализ влияния колебательной неравновесности на газодинамические параметры и интенсивность излучения высокоскоростного турбулентного течения колебательно неравновесного газа;
- получены обобщающие зависимости по скоростям энергетических реакций с участием возбужденных молекул HCl для достаточно широкого диапазона температур;
- проведен анализ влияния коэффициентов скоростей энергетических реакций с участием молекул HCl на интенсивность излучения данного компонента смеси;
- показано, что при определенных условиях возможно догорание струй РД на высотах полета существенно больше, чем общепринятые 50-60 км;
- получены зависимости излучения факелов двигателей от угла атаки набегающего потока;
- в практическом использовании предложенной методики расчёта интенсивности узкополосного излучения горячих газов с ярко выраженным линейчатым спектром в целях повышения достоверности и оптимизации дорогостоящих экспериментальных исследований.
- в возможности выработки практических рекомендаций по выбору нового спектрального диапазона для дистанционной диагностики факелов двигателей летательных аппаратов.

В целом считаю, что диссертационная работа «Влияние неравновесности на характеристики излучения высокотемпературных газовых смесей» отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Маслова Дарья Владимировна, заслуживает присвоения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14. – "Теплофизика и теоретическая теплотехника".

А.М. Молчанов,
д.т.н., профессор.

Подпись профессора Молчанова А.М. удостоверяю

Директор института №2



В.П. Монахова.