



НАЦЫЯНАЛЬНАЯ АКАДЭМІЯ  
НАВУК БЕЛАРУСІ  
Дзяржаўная навуковая ўстанова  
«ІНСТЫТУТ ЦЕПЛА- І МАСААБМЕНУ  
імя А.В. ЛЫКАВА НАЦЫЯНАЛЬнай  
АКАДЭМІИ НАВУК БЕЛАРУСІ»

вул. П. Броўкі, 15, 220072, г. Мінск  
Прыёмная: +375 (17) 2842136; факс: +375 (17) 2922513  
e-mail: [office@hmti.ac.by](mailto:office@hmti.ac.by); URL: <http://www.itmo.by>

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ  
НАУК БЕЛАРУСИ  
Государственное научное учреждение  
«ИНСТИТУТ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА  
имени А.В. ЛЫКОВА НАЦИОНАЛЬНОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»

ул. П. Бровки, 15, 220072, г. Минск  
Приёмная: +375 (17) 2842136; факс: +375 (17) 2922513  
e-mail: [office@hmti.ac.by](mailto:office@hmti.ac.by); URL: <http://www.itmo.by>

На \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
ад \_\_\_\_\_

Ученому секретарю  
диссертационного совета Д 002.240.01  
к.ф.-м.н. Сысоевой Е.Я.

119526, г. Москва,  
пр. Вернадского, д. 101, корп. 1,  
Институт проблем механики  
им. А.Ю. Ишлинского РАН

Направляем Вам отзыв директора Института Пенязькова Олега Глебовича и гл. науч. сотр. Сметанникова Андрея Сергеевича на автореферат диссертации Кадочникова Ильи Николаевича «Исследование термически неравновесных физико-химических процессов в азотной и воздушной плазме с использованием детальных урвневых и модовых кинетических моделей», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Директор  
акад. НАН Беларуси

исп Сметанников А.С.

О.Г. Пенязьков

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Кадочникова Ильи Николаевича «Исследование термически неравновесных физико-химических процессов в азотной и воздушной плазме с использованием детальных уровневых и модовых кинетических моделей», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 - «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертационная работа И.Н. Кадочникова посвящена теоретическому исследованию неравновесных физико-химических процессов, происходящих в течениях реагирующих газов и плазмы. В большинстве расчетных методик, используемых ранее для моделирования таких течений, отклонения от равновесия считаются небольшими. Вместе с тем, учет отклонений от термодинамического равновесия необходим в целом ряде задач газовой динамики (при рассмотрении структуры ударных и детонационных волн, в исследовании сверхзвуковых струйных течений, в аэродинамике гиперзвукового обтекания тел, в изучении процессов перехода горения в детонацию и др.). Отсюда ясно, что создание надежных и эффективных методов расчета термически неравновесных физико-химических процессов при описании течений реагирующих газов является актуальной задачей.

В диссертации И.Н. Кадочникова разработаны детальные уровневые кинетические модели неравновесных течений в плазме азота и воздуха с учетом процессов обмена колебательной и электронной энергии при столкновениях молекул, возбуждении молекул электронным ударом, плазмохимических реакций. Разработанные модели применены для численного исследования структуры течения в ударных волнах и в сверхзвуковом течении в расширяющемся сопле в азоте и воздухе. Проведено сопоставление результатов, полученных на основе построенных моделей, с имеющимися экспериментальными данными и получено удовлетворительное согласие экспериментом. Построены также более простые модовые модели и проведен анализ их применимости. При этом показано, что точность модовых приближений вполне сопоставима с уровневыми моделями, если использовать уровневые коэффициенты скорости процессов для расчета фактора неравновесности. Это позволяет использовать экономичные модовые модели при расчете течений без заметной потери точности, что важно при моделировании многомерных реагирующих течений.

Помимо моделей для азота и воздуха, разработана также уровневая кинетическая модель для смеси  $N_2$ -IF-He. Рассмотрена возможность получения инверсной заселённости на электронно-колебательных уровнях молекулы IF в расширяющемся потоке такой смеси и сделана оценка коэффициента усиления.

Все отмеченные выше результаты являются новыми, их достоверность

подтверждена проведенными исследованиями и не вызывает сомнений. По теме диссертации опубликованы 9 работ, из которых 4 - в ведущих изданиях, рекомендованных ВАК для публикации материалов диссертаций.

Автореферат диссертации позволяет составить достаточно полное представление о диссертационной работе, которая сделана на хорошем научном уровне и оставляет впечатление законченного научного исследования.

Диссертационная работа «Исследование термически неравновесных физико-химических процессов в азотной и воздушной плазме с использованием детальных уровневых и молекулярных кинетических моделей» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Кадочников Илья Николаевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Директор  
Института тепло- и массообмена НАН Беларуси  
акад. НАН Беларуси

  
О.Г. Пенязьков

Гл. науч. сотр.  
Института тепло- и массообмена НАН Беларуси  
д. ф.-м. н.


  
А.С. Сметанников

Подписи О.Г. Пенязькова и А.С. Сметанникова заверяю:

Ученый секретарь института

к. т. н.



  
С. М. Данилова-Третьяк