

гиперзвуковых летательных аппаратов произвольной формы на важнейших участках траектории – необходимого инструмента при создании нового поколения авиационно-космической техники. В итоге в рамках проекта «АДАНАТ» сформировалась довольно стройная система моделей, методов и программ исследования гиперзвуковых течений:

- физико-математические модели высокоскоростных течений, динамики разреженных газов, диссоциации и рекомбинации, модели молекулярного взаимодействия с поверхностями, модели теплового излучения с нагретых поверхностей;

- физические и физико-математические модели турбулентности;

- методы решения многомерных, нелинейных дифференциальных в частных производных и интегральных уравнений – уравнений Эйлера, Навье–Стокса, Больцмана, Рейнольдса;
- методы компьютерной аналитики;

- современные конечно-разностные методы решения гиперболических и параболических проблем;

- схемы высокого (7–9-го и выше) порядка точности для моделирования звуковых колебаний;

- методы статистического моделирования (Монте-Карло) для решения проблем орбитального полета, переходного режима, моделирования турбулентности;

- кинетически согласованные разностные схемы;

- известные лицензионные импортные и отечественные вычислительные комплексы, такие как CFX, FLUENT, SOLIDWORKS, SYSNOISE, АРГОЛА-2, SMILE, FLOWVISION и др.;

- обучающиеся нейронные сети для выбора оптимальных решений.

В рамках проекта были опубликованы следующие книги:

1. Хлопков Ю.И., Жаров В.А., Горелов С.Л. Руководство по компьютерной аналитике. – М.: МФТИ, 2000. – 118 с.

2. Хлопков Ю.И., Жаров В.А., Горелов С.Л. Когерентные структуры в турбулентном пограничном слое. – М.: МФТИ, 2002. – 268 с.

3. Хлопков Ю.И. Статистическое моделирование в вычислительной аэродинамике. – М.: МФТИ, 2006. – 158 с.

4. Белоцерковский О.М., Хлопков Ю.И. Методы Монте-Карло в механике жидкости и газа. – М.: «Азбука», 2008. – 330 с.

5. Хлопков Ю.И., Жаров В.А., Горелов С.Л. Ренормгрупповые методы описания турбулентных движений несжимаемой жидкости. – М.: МФТИ, 2006. – 492 с.

6. Хлопков Ю.И., Жаров В.А., Горелов С.Л. Лекции по теоретическим методам исследования турбулентности. – М.: МФТИ, 2005. – 178 с.

7. Белоцерковский О.М., Хлопков Ю.И., Жаров В.А., Горелов С.Л., Хлопков А.Ю. Орга-

низованные структуры в турбулентных течениях. – М.: МФТИ, 2009. – 303 с.

8. Belotserkovskii O.M., Khlopkov Yu.I. Monte-Carlo Methods in Mechanics of Fluids and Gas, World Scientific Publishing Ltd. N-Y, London, Singapore, Hong Kong, Beijing, 2010. – 268 p.

9. Афанасьева Л.А., Хлопков Ю.И., Чернышев С.Л. Введение в специальность. Аэродинамические аспекты безопасности полетов. – М.: МФТИ, 2011. – 184 с.

Освоение людьми космического пространства является неизбежным этапом развития человеческой цивилизации. В этой связи проблема носит не только научно-технический характер, но и глубокий философский и социальный аспекты. Книга посвящена одному из аспектов практической космонавтики – анализу технических средств освоения космоса. Дается исторический экскурс в появлении и развитии идей, анализе причин осуществления и закрытия некоторых проектов и перспективных направлений освоения космоса.

В представленной книге излагается история развития воздушно-космических проектов мира. Предлагаются методы исследования аэродинамических характеристик воздушно-космических систем и результаты, полученные с их помощью на всех участках траекторий. Книга основана на курсе лекций, прочитанных для студентов факультета аэромеханики и летательной техники МФТИ (государственного университета) профессорами Ю.И. Хлопковым и С.Л. Чернышевым. Книга предназначена для студентов и аспирантов высших учебных заведений авиационно-космического профиля, специалистов и всех, интересующихся вопросами освоением космоса, а также для школьников старших классов при выборе будущей профессии. Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (проект № 14-07-00564).

**КОГНИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
НА ЭТАПЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ
(учебное пособие)**

Хлопков Ю.И., Чернышев С.Л., Зезя Мью Мьинт,
Хлопков А.Ю.

*Московский физико-технический институт
(государственный университет), Москва,
e-mail: khlopkov@fati.ru*

Этап предварительного проектирования летательных аппаратов (ЛА) характеризуется необходимостью создания эффективных, необязательно высокоточных, но быстродействующих и не дорогих методов получения характеристик аэротермодинамики, динамики, прочности, систем управления ЛА. Как прави-

ло, наиболее эффективным способом создания таких методов является когнитивный подход. Когнитивные технологии являются достижениям развития ряда современных научных направлений теории самоорганизации, компьютерных информационных систем, нейросетевых технологий и др.

в частных производных (например, краевые задачи для уравнений Эйлера, Навье-Стокса, Рейнольдса, Больцмана). Для таких уравнений, как правило, неизвестны ни теоремы существования и единственности решения, ни характер зависимости решения от параметров и граничных условий. Используемые численные методы имеют

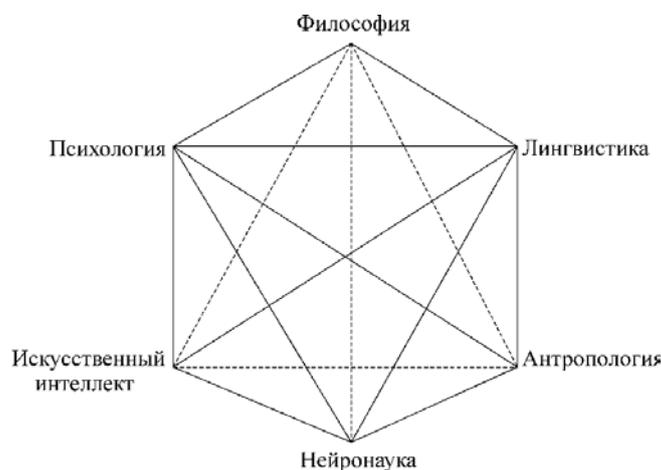


Рис. 1. Схема взаимосвязей когнитивной науки

Более полувека назад основателями кибернетики Александром Александровичем Богдановым, Норбертом Винером, Джон фон Нейманом была сформулирована задача соединения вычислительных возможностей компьютера с когнитивными способностями человеческого мозга.

Подобный подход был практически реализован (метод Монте-Карло) при освоении атомной энергии, как в военных, так и в мирных целях (Лос-Аламосская национальная лаборатория, Арзамас-16). Эта идея лежит и в основе современных технологий компьютерного проектирования.

Экспериментальное – трубное, стендовое и, тем более, натурное исследование высокоскоростных течений является чрезвычайно сложным, дорогостоящим, часто, опасным для жизни исследователей. Для сокращения рисков, времени проектирования и числа дорогостоящих натуральных и стендовых экспериментов создаются специализированные компьютерные системы типа – Knowledge Based Engineering (КВЕ), Computer Aided Design (CAD), АРГО-ЛА-2, SMILE,.... Традиционно в моделировании используются математические модели, основанные на физике явлений описывающих процессы, происходящие при функционировании объекта. В аэрогидродинамике эти явления описываются сложными дифференциальными и интегро-дифференциальными уравнениями

значительную вычислительную трудоемкость, как самих расчетов, так и подготовки исходных данных, описывающих вариант построения объекта, и расчетных сеток. Это существенно сокращает возможности использования точных моделей особенно на стадии предварительного проектирования, на которой рассматривается большое количество вариантов решений и высока цена неправильно выбранного решения.

Методы вычислительной аэродинамики разреженного газа в настоящее время являются практически единственным средством получения информации об аэродинамической обстановке около космических аппаратов на больших высотах. При полете в верхних слоях атмосферы, где необходимо учитывать молекулярную структуру газа, применяются кинетические модели, в частности, уравнение Больцмана и соответствующие численные методы моделирования. В предельном случае свободномолекулярного течения интеграл столкновений в уравнении Больцмана обращается в нуль, и его общее решение представляет собой граничную функцию распределения, сохраняющуюся вдоль траекторий частиц. Определение граничных условий на обтекаемых разреженным газом поверхностях является одной из важнейших проблем кинетической теории газов. Метод прямого статистического моделирования Монте-Карло (ПСМ) является наиболее распространенным среди численных методов решения прикладных

задач динамики разреженного газа (Владимиров Василий Сергеевич, Ермаков Сергей Михайлович, Белоцерковский Олег Михайлович, Марчук Гурий Иванович, Михайлов Геннадий Алексеевич, Соболев Илья Меерович, Коган Михаил Наумович, Перепухов Владимир Александрович, Яницкий Виталий Евгеньевич, Хлопков Юрий Иванович, Иванов Михаил Самуилович, Ерофеев Александр Иванович, Кравчук Александр Степанович, Власов Владимир Иванович, John von Neumann, Nicholas Constantine Metropolis, Stanisław Marcin Ulam, John Kenneth Haviland, Graeme A. Bird, Iain D. Boyd. и др.).

В практической реализации методы ПСМ, основанные на подходах Бёрда (моделирование динамики ансамбля частиц) и Хэвиленда (моделирование индивидуальных траекторий частиц), оказались наиболее эффективными и их модификации с переменным успехом осуществляли победное шествие по вычислительной аэродинамике.

В предельном случае свободномолекулярного течения интеграл столкновений в уравнении Больцмана обращается в нуль, и его общее решение представляет собой граничную функцию распределения, сохраняющуюся вдоль траекторий частиц. Определение граничных условий на обтекаемых разреженным газом поверхностях является одной из важнейших проблем кинетической теории газов. Исследование течений газа в переходной области между течениями сплошной среды и свободномолекулярным представляет собой достаточно сложную задачу. Сложность обусловлена тем, что описание этих течений выходит за рамки обычной газовой динамики и требует учета молекулярной структуры газа для чего необходимо решать уравнение Больцмана. При моделировании натуральных условий основного критерия подобия Рейнольдса необходимо выдерживать целый ряд других критериев подобия.

В последние годы стали развиваться физико-математические модели, основанные именно на когнитивном подходе. Такие модели строятся на основе научного и интуитивного анализа базы данных, полученной путем теоретического, экспериментального, численного исследований, проведенных с различными объектами рассматриваемого класса. Построенные таким образом модели фактически имитируют как источники получения данных, основанные на некоторой исходной модели, так и сами модели, созданные на основе изучения физики процессов. В этой связи появились инженерные методы, основанные на когнитивных подходах и дают возможность предсказания.

Можно условно выделить четыре основных подхода к построению интеллектуальных систем (нейронные сети, нечеткая логика, экспертные системы, эволюционные алгоритмы). Отличительной чертой всех этих подходов является то,

что в отличие от стандартных детерминированных методов, они используют идеи моделирования работы мозга, механизма принятия решений человеком. В то же время, каждый из этих методов обладает своими особенностями. Важной чертой искусственных нейронных сетей является то, что в силу конструктивных особенностей они позволяют успешно решать задачи с большим количеством переменных, не требуя большого количества вычислительных ресурсов.

В книге излагается разработка когнитивной технологии в вычислительной аэродинамике. Предлагаются методы исследования аэродинамических характеристик высокоскоростных летательных аппаратов в широком диапазоне режимов течения. Книга основана на курсе лекций, прочитанных для студентов факультета аэромеханики и летательной техники МФТИ (государственного университета) профессорами Ю.И. Хлопковым. Книга предназначена для студентов и аспирантов высших учебных заведений авиационно-космического профиля, специалистов и всех, интересующихся вопросами освоением космоса, а также для школьников старших классов при выборе будущей профессии.

Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (проект № 14-07-00564).

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКЕ (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ)

Хлопков Ю.И., Жаров В.А.

*Московский физико-технический институт
(государственный университет), Москва,
e-mail: khlopkov@falt.ru*

Обычно науку, занимающуюся проблемами создания когерентного излучения, лазеров, называют квантовой электроникой. Изучение замечательных свойств лазерных излучений открыло новую страницу в еще одной науке – нелинейной оптике. Кажется, что обе эти дисциплины очень далеки от газодинамики, что газодинамика не имеет никакого отношения к созданию и применению лазеров. Цель настоящей монографии показать, что это не так, что создание и использование лазеров требует решения множества газодинамических проблем, имеющих фундаментальное значение для развития лазерной техники. Многие из этих проблем являются видоизменением проблем, в решении которых газодинамика накопили огромный опыт. В то же время лазерная техника выдвигает целый ряд новых газодинамических задач. Все их можно объединить общим названием – лазерная газодинамика.

Многие газодинамики и целые коллективы, работавшие в области газодинамики (например, в AVCO, NASA, ONERA, авиационных фирмах и т. д.) внесли ощутимый вклад в эту новую на-