

вода уравнений медленных движений жидкости была взята на вооружение многими авторами. Развитие этих методов привело к реальной возможности аналитического вывода уравнений динамики длинноволновой составляющей турбулентных течений и коэффициентов, входящих в них, не прибегая к экспериментальным данным. В монографии рассмотрены наиболее перспективные методы вывода подобных уравнений движения несжимаемой турбулентной жидкости и вопросы, возникающие в связи с ними с точки зрения традиционных асимптотических методов механики.

В связи с этим интересно отметить результаты работы и др., в которых на основе одного из вариантов ренормгруппового метода, так называемого метода рекурсивной ренормгруппы, теоретически были получены уравнения движения жидкости с нелинейной связью тензора напряжений и тензором скоростей деформации т.е. сильно отличные от моделей типа моделей Смагоринского. В этих работах представлен альтернативный вариант РГ-теории (так называемая рекурсивная РГ (r-РГ) теория) подсеточного моделирования турбулентности, который не зависит от порядка выполнения подсеточного осреднения. Явным образом рассмотрены релевантная аппроксимация, пертурбативное упорядочение и процесс усреднения. В частности, показано, что появляется нелинейность высокого порядка, возникающая в r-РГ уравнениях Навье – Стокса, которая не превосходит третьего порядка на желаемом уровне пертурбативных возмущений. Более того, эти члены с тройным произведением компонентов скорости появляются в том же самом порядке, что и вихревая вязкость, которая генерируется в процессе РГ-процедуры исключения подсеточных масштабов. Эти нелинейности третьего порядка играют также большую роль в уравнении баланса энергии в связи с соответствующим процессом переноса энергии, возникающей в аналитической формулировке вихревой вязкости, которая согласуется с вихревой вязкостью в теориях замыкания и результатами численных расчетов исходных уравнений. Это также подтверждено с помощью непосредственного анализа как методом моделирования крупных вихрей, так и анализом данных поля скорости, полученных методом прямого численного моделирования. Более того, показано, что индуцированные РГ тройные нелинейности приводят к появлению обратного потока энергии, отраженного от малых масштабов в направлении больших масштабов, что находится в согласии с последними достижениями теории замыкания и результатами численного моделирования. Полученные уравнения затем были использованы, например, для описания отрывного течения обратной ступеньки. Работа выполнена при поддержке РФФИ (Грант № 14-11-00709).

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОГНИТИВНОГО ПОДХОДА НА ЭТАПЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

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

*Московский физико-технический институт,  
Жуковский, e-mail: zauryarmyomiyint@gmail.com*

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 правило, наиболее эффективным способом создания таких методов является когнитивный подход.

Когнитивные технологии являются достижениями развития теории самоорганизации, компьютерных информационных систем, нейронауки и ряда других научных направлений. Когнитивная информатика является междисциплинарным исследованием когнитивных и информационных наук, которая исследуют информации механизмов и процессов естественного интеллекта (человеческого мозга и разума), и их инженерные приложения с помощью междисциплинарного подхода (искусственный интеллект, современная информатика, информатика, искусственный интеллект, кибернетика, когнитивная наука, нейропсихология, медицинская наука, философия, формальная лингвистика и наука о жизни). Когнитивная наука выделяет системы представления знаний на три основных типов: системы правил – понятия и процедуры, закодированные в виде правил типа условие действия. Такого типа чаще всего применяются в промышленных экспертных системах; семантические сети – связь сложной сетью (род – вид, часть – целое, логические и функциональные связи); структуры отношений – знаний, наиболее популярна теория фреймов М. Минского. Теория представляет собой некую информацию, на основе которой человек строит прогнозы, а также соотносит свое поведение. Большое внимание когнитивного подхода уделяется вопросам понимания естественного языка, компьютерного перевода, проблемам компьютеризации общества и теории искусственного интеллекта. Когнитивный подход может рассматриваться как трамплин, позволяющий преодолеть невидимые барьеры, которые нередко возникают между людьми, говорящими и мыслящими на разных языках. После второй мировой войны с бурным развитием кибернетики и вычислительной техники появились первых думающих машин, пытающихся решать логические задачи, играть в шахматы, понимать устную и письменную

речь, переводить ее на другие языки, вынудили по-новому взглянуть на процессы мышления, познания и понимания.

Более полувека назад отцами кибернетики Богдановым, Винером и 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 в основе современных технологий компьютерного проектирования.

Экспериментальное исследование высокоскоростных течений является чрезвычайно сложным и дорогостоящим. Для сокращения времени проектирования и числа дорогостоящих натуральных и стендовых экспериментов создаются специализированные компьютерные системы типов – Knowledge Based Engineering (КВЕ), Computer Aided Design (CAD). Традиционно в моделировании используются математические модели, основанные на физике процессов и описывающие физические процессы и явления, происходящие при функционировании объекта. В аэрогидродинамике эти явления описываются сложными дифференциальными и интегро-дифференциальными уравнениями 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 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.

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 га-

зовой 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.

Для решения задач междисциплинарной оптимизации в настоящее время весьма актуальным и важным является изучение и разработка методов, основанных на применении систем с искусственным интеллектом. 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 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 выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (Проект № 14-11-00709).