

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 Хэвилленда (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 натурных 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-

уку. Литература по лазерной газодинамике разбросана по многим журналам, некоторые из которых не находятся в поле зрения аэродинамиков. В настоящей монографии собрана лишь небольшая часть опубликованных результатов. Но составители надеются, что монография позволит аэродинамикам познакомиться с некоторыми из задач лазерной газодинамики и с источниками, в которых публикуются соответствующие исследования.

Слово лазер состоит из первых букв английских слов, определяющих его сущность: LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (усиление света вынужденным излучением). Тот факт, что молекулы вещества могут наряду со спонтанным (самопроизвольным) излучением и поглощением квантов, испускать их под действием излучения, был установлен А. Эйнштейном еще в 1918 году. При поглощении кванта молекула переходит из некоего энергетического состояния в состояние с энергией большей как раз на величину кванта $h\nu$ где h – постоянная Планка и ν – частота излучения. При испускании кванта происходит обратный переход с более высокого энергетического уровня на более низкий. Если квант света взаимодействует с молекулой, находящейся на нижнем уровне, то имеется определенная вероятность его поглощения. Если квант «встречается» с возбужденной молекулой, находящейся на верхнем энергетическом уровне, то имеется та же вероятность вынужденного испускания нового кванта. Очевидно, что чем больше молекул находится на верхнем уровне, тем больше вероятность того, что при прохождении через вещество излучения (потока квантов) последнее усилится. В равновесном состоянии при любой температуре в любом веществе молекул, находящихся на верхнем уровне, всегда меньше, чем на нижнем. Поэтому обычно наблюдается поглощение света. Для того, чтобы произошло усиление, нужно создать «ненормальную» неравновесную ситуацию, в которой на верхнем уровне находится больше молекул, чем на нижнем или, как говорят, создать инверсию.

Как видим, принцип действия лазера тесно связан с квантовой природой вещества. Поэтому и науку, изучающую эти квантовые процессы, правомерно называют квантовой электроникой. Квантовая теория призвана определить молекулы, возбуждением которых можно создать инверсию между теми или иными ее уровнями, указать вероятности элементарных процессов, приводящих к возбуждению и дезактивации тех или иных уровней. Этим, в основном, ее роль и исчерпывается. Далее возникает вопрос: как осуществить те процессы, которые должны привести к инверсии? Здесь вступают в действие другие дисциплины, и, в частности, газодинамика.

Для отвода больших мощностей целесообразно заменять рабочее тело. Очевидно, что

менять рабочее тело с большой скоростью легче всего путем прокачки газа через зону возбуждений. Сразу же вспоминаются аэродинамические трубы, в которых создаются высокоскоростные потоки газа. И действительно, первые лазеры значительной мощности были созданы, например в AVCO, путем сравнительно небольшой переделки сверхзвуковой аэродинамической трубы. Таким образом, мы приходим к первой задаче лазерной газодинамики – к задаче смены рабочего тела, т.е. прокачки газа. Здесь возникают все привычные, но при специфических условиях, задачи нагрева газа в форкамере, разгона в соплах, восстановления давления в диффузоре и т.д. Если инверсия возникает в химической реакции (химические лазеры), то здесь возникают газодинамические проблемы смешения реагентов в нужных пропорциях и с определенной скоростью.

В указанных примерах газодинамика способствует процессу накачки, создаваемой разрядом или реакцией. Однако инверсия может быть получена чисто газодинамическим путем. Действительно, известно, что если газ разогреть, а затем быстро охладить, то разные степени свободы молекул (разные уровни) релаксируют к новому состоянию с разной скоростью. Поэтому оказывается возможным найти такие вещества, при быстром расширении (охлаждении) которых в верхнем возбужденном состоянии оказывается больше молекул, чем в нижнем, т.е. создается инверсия. Естественный путь быстрого охлаждения газа – это расширение нагретого в форкамере газа в сверхзвуковом сопле. На этом принципе основан так называемый газодинамический лазер. Здесь газодинамика служит и для создания инверсии и для смены рабочего тела.

Созданием инверсии, однако, не завершается создание лазера. Инвертированная активная среда позволяет усиливать излучение. Для того, чтобы лазер мог излучать самостоятельно, без задающего (усиливаемого) излучения, нужна обратная связь. Эта обратная связь создается системой зеркал – резонатором. Спонтанно возникшее излучение отражается от зеркал, многократно проходит через усиливающую среду. Если усиление оказывается больше потерь, то лазер начинает излучать. В соплах и резонаторе происходит сложный комплекс релаксационных процессов в прокачиваемой активной среде при наличии излучения. С релаксационными процессами, химическими реакциями и излучением в различного рода течениях газодинамики имеют дело уже давно в реактивных двигателях, в соплах гиперзвуковых аэродинамических труб, при обтекании тел, входящих в атмосферу Земли и других планет. Накопленный опыт может быть использован и при решении соответствующих задач лазерной газодинамики, обладающих в то же время существенной спецификой.

В последнее десятилетие в аэродинамике и химической технологии большое внимание уделяется обтеканию испаряющихся тел. Одна из идей повышения эффективности лазера состоит во введении в поток одного из компонентов активной среды за соплом. Возникает нелегкая проблема смешения газов в сверхзвуковом потоке. Один из путей осуществления такого смешения состоит во впрыскивании мелких частиц (кластеров) поперек сверхзвукового потока. Испаряясь, кластеры создают необходимое подмешивание требуемого компонента. Это вновь газодинамическая задача. В свою очередь, разгон кластеров до больших скоростей осуществляется газовым потоком и так далее.

Уже приведенный далеко не полный перечень газодинамических проблем показывает решающую роль газодинамики в создании лазеров. Однако этим не исчерпывается ее роль в лазерной технике. В свою очередь все пере-

численные применения лазеров требуют решения новых газодинамических проблем. Таким образом, и создание и использование лазеров тесно связано с газодинамикой.

В настоящей монографии собраны лишь немногие результаты, иллюстрирующие перечисленные газодинамические проблемы. Составители сосредоточились лишь на некоторых проблемах и в основном на иностранных материалах, поскольку отечественная литература более доступна. В то же время, говоря о лазере, нельзя не отметить больших достижений в этой области в нашей стране, результатов ведущих школ, возглавляемых основателями этого направления академиками Н.Г. Басовым и А.И. Прохоровым.

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

Физико-математические науки

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРИКЛАДНОЙ ГЕОФИЗИКЕ (ИЗБРАННЫЕ ГЛАВЫ) ЧАСТЬ 2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ (учебное пособие)

Кобрунов А.И.

Ухтинский государственный технический университет, Ухта, e-mail: oburmistrova@ugtu.net

Учебное пособие предназначено для студентов старших курсов по основной образовательной программе специальности 130102 «Технология геологической разведки» специализаций: «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых», «Геофизические информационные системы» и «Геофизические методы исследования скважин», а также при подготовке аспирантов и соискателей учёных степеней по специальностям 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации в по направлениям в науках о Земле». Учебное пособие состоит из двух частей: части 1 Функционально-аналитические основы, изданной в УГТУ в 2014 году и настоящей – части 2 «Системный анализ и моделирование в условиях неопределённости».

Вторая часть учебного пособия, являясь продолжением первой, посвящена одному из важнейших вопросов современных математических методов анализа геолого-геофизической информации для сложных моделей сред – моделированию сложнопостроенных сред в усло-

виях неопределённости. Это основной предмет рассмотрений при изучении и освоении современных технологий поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Изучаются формализованные и математически осмысленные методообразующие принципы системного анализа геолого-геофизических данных, включая системный анализ моделей, данных и связей между измеряемыми и искомыми параметрами моделей. Изучаются специфические для условий неопределённости методы моделирования сложнопостроенных сред, адекватные сформулированным методологическим принципам системного анализа, основу которых составляют методы системной инверсии многокомпонентных данных.

Рассматриваются методы прогнозирования параметров сложнопостроенных неоднородных сред в условиях неопределённости и принципы организации технологий многовариантного прогноза, основанных на правилах нечёткого вывода и физически содержательных аппроксимаций полей рассеяния данных. Изучаются методы конструирования технологий оценок достоверности компонент многовариантного прогноза моделей геологических сред.

ПРАКТИКУМ ПО ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ)

Самсонова С.А.

ФГАОУ ВПО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», Коряжма, e-mail: s.samsonova-safu@yandex.ru

Практикум посвящен основным понятиям теории вероятностей, имеющей большое значение в учебном процессе при предметной