

О.М.Белоцерковский
В.А.Андрущенко
Ю.Д.Шевелев

ДИНАМИКА
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
ВИХРЕВЫХ ТЕЧЕНИЙ
В
НЕОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЕ

Вычислительный эксперимент



Москва
«Янус-К»
2000

147717



Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
Проект № 99-01-14007

ББК 22.19
Б 43
УДК 519.6

О. М. Белоцерковский, В. А. Андрущенко, Ю. Д. Шевелев. Динамика пространственных вихревых течений в неоднородной атмосфере. Вычислительный эксперимент. — М.: «Янус-К», 2000. — 456 с. Илл.

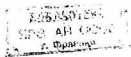
ISBN 5-8037-0043-6

В монографии изложены физические концепции и математические модели проблем аэродинамики окружающей среды, аналитические и численные методы расчета нестационарных пространственных течений. Рассмотрен широкий круг задач теории взрыва, конвекции и динамики атмосферы.

Приведены конечно-разностные методы и результаты вычислительного эксперимента при решении широкого круга задач из указанных областей аэрогидродинамики. Особое внимание уделено, в частности, течениям, инициированным в атмосфере в результате подъема одиночных и ансамблей термиков, взаимодействию взрывных ударных волн с различными объектами, образованию концентрированных вихрей типа смерча-торнадо.

Для облегчения понимания материала в монографии приведены основные понятия механики сплошных сред и наиболее часто используемые в качестве математических моделей системы уравнений в интегральной и дифференциальной форме, разностные методы, на которых в дальнейшем базируется вычислительная и предметная информация.

Монография отличается доступностью изложения и рассчитана на широкий круг читателей — научных работников, аспирантов и студентов вузов соответствующего профиля.



1602010000 - 03
Б 22Н(03) - 99 Без объявл.

© О. М. Белоцерковский, В. А. Андрущенко,

Ю. Д. Шевелев, 1999

ISBN 5-8037-0043-6

Предисловие	5
Введение	6
Глава 1. Математические модели.	13
1.1. Физические предпосылки	13
1.2. Система координат. Эйлеровы и лагранжевы координаты ..	14
1.3. Уравнения движения вязкого сжимаемого теплопроводного газа в декартовой системе координат. Критерий применимости	16
1.4. Теоретические, экспериментальные предпосылки проблем численного моделирования	24
Список литературы	46
Глава 2. Разностные методы решения задач аэрогидродинамики.	48
2.1. Конечно-разностные (сеточные) методы. Теоретические аспекты построения схем: аппроксимация, устойчивость, сходимость. Механизм генерации нефизических осциллирующих численных решений. Дивергентная форма. Монотонность ..	48
2.2. Способы конструирования схем с заданными свойствами ..	70
2.3. Явная конечно-разностная методика расщепления по физическим процессам	91
2.4. Неявный конечно-разностный метод расщепления по функциям и координатным направлениям	100
2.5. Методы построения адаптивных сеток	113
Список литературы	140
Глава 3. Задачи теории взрыва	143
3.1. Сильная стадия взрыва без учета излучения	143
3.2. Сильная стадия взрыва с учетом излучения или притока энергии на фронте ударной волны	147
3.3. Сильная стадия взрыва с учетом излучения во всей возмущенной области (модельные задачи)	158
3.4. Высотный взрыв с высвечиванием	166
3.5. Фаза взрыва при умеренных значениях давления на фронте ударной волны	171
Список литературы	187
Глава 4. Взрыв при наличии подстилающей поверхности	189
4.1. Отражение сферической взрывной волны от земной поверхности	189
4.2. Дифракция сферической ударной волны на плоскости при наличии на ней слоя нагретого газа	198
4.3. Обратное маховское отражение при сферическом взрыве над плоской поверхностью	207
4.4. Дифракция сферической ударной волны на плоскости при наличии над ней слоя нагретого газа	212
Список литературы	218

Глава 5. Одиночные термики и вихревые кольца	220
5.1. Упрощенные модели термиков и тороидальных вихрей	220
5.2. Модели конвективных и динамических вихревых колец в приближении несжимаемой жидкости	240
5.3. Модель термика в приближении сжимаемой вязкой жидкости	247
5.4. Модель турбулентного термика в рамках $k-\epsilon$ теории	252
5.5. Моделирование приповерхностных термиков. Эффект присутствия подстилающей поверхности	259
5.6. Дрейф термиков в стратифицированных воздушных потоках	270
Список литературы	280
Глава 6. Взаимодействие пар объектов: термик—ударная волна, ударная волна—ударная волна. Множественные взрывы	283
6.1. Прохождение через термик плоской ударной волны	283
6.2. Взаимодействие термика с волной взрывного профиля	290
6.3. Лобовое столкновение сферических ударных волн при парном взрыве в атмосфере	297
6.4. Эффекты кумуляции при фокусировке сходящихся ударных волн, инициированных лазерными взрывами	305
Список литературы	309
Глава 7. Пары, ансамбли термиков и вихревых колец	311
7.1. Подъем двух коаксиальных термиков в вязкой сжимаемой среде	312
7.2. Подъем пары термиков, разнесенных в пространстве по горизонтали	322
7.3. Подъем системы трех коаксиальных термиков в вязкой сжимаемой атмосфере	332
7.4. Подъем группы четырех приземных термиков в атмосфере	336
7.5. Подъем конгломерата из семи приземных термиков в атмосфере	343
7.6. Подъем бесконечной системы правильно расположенных приземных термиков	351
7.7. Движение тандема соосных вихревых колец в несжимаемой среде	363
7.8. Движение щугов тонких вихревых колец в идеальной жидкости	377
Список литературы	384
Глава 8. Численное моделирование природных и антропогенных катастроф, инициирующих в атмосфере крупномасштабные вихревые течения	387
8.1. Катастрофические взрывы и пожары	387
8.2. Вулканические извержения большой мощности	407
8.3. Природные атмосферные вихри большой интенсивности	417
Список литературы	429
Глава 9. Гидродинамическая неустойчивость	433
9.1. Различные гидродинамические неустойчивости и сопутствующие им эффекты	434
9.2. Неустойчивости и турбулентность	447
Список литературы	454

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Оле́г Михаи́лович Белоцерковский
Виктор Анато́льевич Андрущенко
Юрий Дми́триевич Шевелев

**ДИНАМИКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ВИХРЕВЫХ ТЕЧЕНИЙ
В НЕОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЕ**
Вычислительный эксперимент

Сдано в набор 10.09.99. Подписано в печать 10.03.2000. Формат 60×88/16.
Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 30. Физ. и. л. 28,5.
Тираж 1000. Заказ 4334

«Янус-К». Лицензия на издательскую деятельность ЛР 064784 от 02.10.96.
Москва, Кооперативная ул. д. 3 кор. 6 п. 128. Т. 252-14-31

Отпечатано в Производственно-издательском комбинате ВИНТИ,
140010, г. Люберцы, Московской обл., Октябрьский пр-т, 403.
Тел. 554-21-86



ISBN 5-8037-0043-6



9 785803 700432