

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.

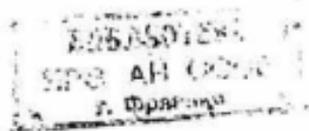
ISBN 5-8037-0043-6

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 осцилляций 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. Обращенное 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