

Ю.М. Давыдов, М.Ю. Егоров

МОДЕЛИРОВАНИЕ  
НЕСТАЦИОНАРНЫХ  
ПРОЦЕССОВ  
В АКТИВНЫХ  
И РЕАКТИВНЫХ  
ДВИГАТЕЛЯХ



Национальная Академия прикладных наук России  
Институт механики и экологии

**Ю.М. Давыдов, М.Ю. Егоров**

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В  
АКТИВНЫХ И РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ**

*Под редакцией  
Почётного Академика Академии наук Туркменистана,  
Почётного Академика Киргизской Академии наук,  
Академика Королевской Академии наук Испании,  
Заслуженного деятеля науки и техники России  
Ю.М. Давыдова*

Москва  
1999

УДК: 519.6, 621.4, 623.5, 629.7.

ББК: 22.25, 22.19.

Д 13.

Давыдов Ю.М., Егоров М.Ю. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В АКТИВНЫХ И РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ. / По ред. Ю.М. Давыдова. – М.: Национальная Академия прикладных наук России, 1999. – 272 с.

*Рецензенты:*

*Научно-исследовательский центр новых компьютерных технологий,*

*Заслуженный деятель науки РФ, д.ф.-м.н., профессор*

*В.И. Киреев,*

*д.т.н., профессор Б.Т. Ерохин*

Утверждено к печати Редакционно-издательским Советом Национальной Академии прикладных наук России.

В монографии при помощи методов численного моделирования (в первую очередь и в основном при помощи *метода крупных частиц* - мощного метода вычислительного эксперимента) рассмотрены ряд актуальных в настоящее время прикладных задач современного двигателестроения. Эти задачи близки между собой по своей физической сущности и связаны с нестационарными и глубоко нелинейными режимами работы активных и реактивных двигателей и их функциональных элементов.

Монография будет полезна научным работникам в области механики и прикладной физики, инженерам и конструкторам НИИ и КБ преподавателям ВУЗов, а также аспирантам и студентам соответствующих специальностей.

♦

Библиогр. 366 назв., ил. 69, табл. 14.

© Национальная Академия прикладных наук России, 1999

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Перечень основных обозначений, сокращений и символов.....	7
ВВЕДЕНИЕ.....	11
<b>Глава 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>14</b>
1.1. Преимущества численного моделирования при решении прикладных задач современного двигателестроения.....	14
1.2. Обзор методов численного решения задач двигателестроения.....	19
1.3. Проблематика рассматриваемых задач современного двигателестроения.....	29
<b>Глава 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СРАБАТЫВАНИЯ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВЫСТРЕЛА.....</b>	<b>44</b>
2.1. Физико-математическая модель зажигания и горения порохового заряда.....	44
2.1.1. Физическая модель.....	44
2.1.2. Математическая модель.....	45
2.1.3. Метод численного интегрирования.....	49
2.2. Физико-математическая модель газовой динамики в камере и стволе орудия.....	55
2.2.1. Физическая модель.....	55
2.2.2. Математическая модель.....	57
2.2.3. Метод крупных частиц для расчёта многофазного течения.....	64
2.3. Физико-математическая модель напряжённо- деформированного состояния и оценка прочности порохового заряда.....	75
2.3.1. Физическая модель.....	75
2.3.2. Математическая модель.....	76
2.3.3. Метод численного интегрирования.....	81
2.4. Комплекс прикладных программ MARS.....	93
2.4.1. Расчётный модуль DEMOS.....	94
2.4.2. Расчётный модуль MARS.....	98
2.4.3. Расчётный модуль FOBOS.....	106
2.4.4. Комплекс прикладных программ.....	108
2.5. Результаты численного моделирования.....	109
2.5.1. Расчёт зажигания и горения порохового заряда.....	110

2.5.2. Расчёт газодинамического течения в камере и стволе орудия.....	123
2.5.3. Расчёт напряжённо-деформированного состояния и оценка прочности порохового заряда.....	135
<b>Глава 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ В ТУРБИНЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ.....</b>	<b>144</b>
3.1. Физико-математическая модель процесса течения в турбине.....	144
3.1.1. Физическая модель.....	144
3.1.2. Математическая модель.....	145
3.1.3. Метод крупных частиц для расчёта статор-ротор взаимодействия.....	147
3.2. Комплекс прикладных программ PLUTON.....	158
3.2.1. Расчётный модуль HURON.....	158
3.2.2. Расчётный модуль PLUTON.....	161
3.3. Результаты численного моделирования.....	166
<b>Глава 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В РАКЕТНОМ ДВИГАТЕЛЕ НА ТВЁРДОМ ТОПЛИВЕ.....</b>	<b>192</b>
4.1. Физико-математическая модель процесса течения в двигателе.....	192
4.1.1. Физическая модель.....	192
4.1.2. Математическая модель.....	193
4.1.3. Метод крупных частиц для расчёта низкочастотного пульсирующего течения.....	197
4.2. Комплекс прикладных программ NEPTUN.....	212
4.2.1. Расчётный модуль TRITON.....	212
4.2.2. Расчётный модуль NEPTUN.....	215
4.3. Результаты численного моделирования.....	220
ЛИТЕРАТУРА.....	236
Именной указатель.....	261
Предметный указатель.....	267
Summary.....	269