

- Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ



Буданов В.О., Мураховський В.Г.

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І  
ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ  
ГАЗОТУРБІННИХ І КОМПРЕСОРНИХ  
УСТАНОВОК**

**Навчальний посібник**

**Одеса 2012**

**Буданов В.О., Мураховський В.Г.** Комп'ютерне моделювання і проектування процесів газотурбінних і компресорних установок: Навчальний посібник. Одеська державна академія холоду, 2011. – 296 с.

Необхідним етапом у сучасній підготовці інженерів є вивчення методів математичного моделювання автоматизованого проектування виробів машинобудування.

У навчальному посібнику розглянуті основні підходи до моделювання систем, типові схеми моделей різного характеру, описані правила складання САПР компресорних машин і газотурбінних установок, що дозволяє навчити студентів математичному моделюванню і принципам побудови САПР, а не простому запам'ятовуванню уже існуючих математичних моделей.

Для студентів машинобудівних, енергетичних і технологічних вищих навчальних закладів. Може бути використаний науковими та інженерно – технічними співробітниками .

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки,*

*молоді та спорту України*

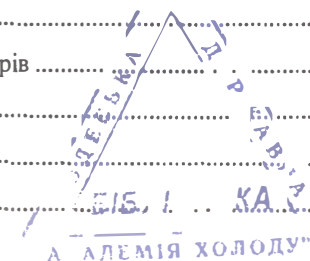
*як навчальний посібник для студентів*

*вищих навчальних закладів.*

*Лист № 1/11-426 від 13.01.2012 р.*

## ЗМІСТ

Вступ .....	6
1. Комп'ютерні інформаційні технології .....	9
1.1. Виникнення інформаційних технологій .....	9
1.2. Інформаційні системи .....	11
1.3. Інформаційні технології проектування ГТУ і КС .....	15
Контрольні питання та вправи .....	17
2. Автоматизоване проектування ГТУ і КС .....	17
2.1. Поняття проектування .....	17
2.2. Принципи системного підходу .....	18
2.3. Рівні проектування .....	24
2.4. Стадії проектування .....	27
2.5. Моделі та їх параметри у САПР .....	29
2.6. Проектні процедури .....	32
2.7. Життєвий цикл промислових виробів .....	36
2.8. Структура САПР .....	42
2.10. Етапи проектування автоматизованих систем .....	49
Контрольні питання й вправи .....	53
3. Технічне забезпечення САПР .....	54
3.1. Вимоги до технічного забезпечення САПР .....	54
3.2. Процесори ЕОМ .....	55
3.3 Пам'ять ЕОМ .....	56
3.4 Монітори .....	61
3.5. Периферійні пристрої .....	62
3.7. Типи обчислювальних машин і систем .....	67
3.8. Персональний комп'ютер .....	69
3.9. Робочі станції .....	72
3.10. Архитектури серверів та суперкомп'ютерів .....	74
3.11. Приклади серверів .....	78
3. 12. Суперкомп'ютери ХХІ сторіччя .....	80
Контрольні питання й вправи .....	83



4. Комп'ютерне моделювання ГТУ і КС .....	84
4.1. Вимоги до математичних моделей і їхня класифікація .....	84
4.2. Функціональні й структурні моделі .....	87
4.3. Методика одержання математичних моделей елементів.....	90
4.5. Моделі на мікро-, макро- і метарівні.....	94
4.6. Принципи імітаційного моделювання .....	98
4.7. Подійний метод моделювання .....	100
Контрольні питання й вправи .....	102
5. Геометричне моделювання і комп'ютерна графіка.....	103
5.1. Типи геометричних моделей.....	103
5.2. Побудова геометричних моделей .....	105
5.3. Графічний процесор.....	106
5.4. Уніфікований графічний процесор.....	112
5.5. Приклади графічних процесорів.....	113
Контрольні питання й вправи .....	114
6. Автоматизовані системи в промисловості .....	115
6.1. Системи ERP .....	115
6.2. Логістичні системи.....	118
6.3. Системи SCM.....	121
6.4. CRM — системи взаємовідносин з замовниками .....	122
6.5. Виробнича виконавча система MES .....	124
6.6. Автоматизоване керування технологічними процесами .....	124
6.7. Типи САПР в галузі машинобудування.....	130
6.8. Основні функції CAD-систем .....	132
6.9. Основні функції CAE-систем.....	134
6.10. Основні функції CAM-систем.....	135
6.11. Графічне ядро .....	137
6.12. Структура CAD/CAM систем .....	138
6.13. Реінжиніринг бізнес-процесів проектування й виробництва газотурбінних та компресорних установок.....	139
6.13.1 Загальні принципи проведення реінжинірингу .....	139

6.13.2. Бізнес-процеси проектування нових виробів.....	150
6.13.3. Оптимізація бізнес-процесів на етапі планування .....	163
6.13.4. Побудова бізнес-процесів, що забезпечують мінімізацію вартості виготовлення виробу .....	173
6.13.5. Інформаційні системи підтримки нових бізнес-процесів.....	187
6.13.7. Побудова статичної об'єктно-орієнтованої моделі предметної області.....	202
6.13.8. Оптимізація бізнес-процесів у середовищі віртуального підприємства.....	213
Контрольні питання й вправи .....	225
7. Сучасні математичні моделі й САПР ГТ і КУ .....	225
7.1. Програми машинобудівних САПР .....	226
7.2. Система Ansys при проектуванні газотурбінного двигуна .....	231
7.3. Універсальна система тривимірного моделювання САТІА у конструюванні енергетичних установок .....	237
7.4. Комп'ютерне моделювання і автоматизоване конструювання поршневих компресорів.....	241
Контрольні питання й вправи .....	250
7.6. Основні підходи до інженерного аналізу механічних систем .....	250
7.6.1. Метод кінцевих елементів.....	250
Завдання на самостійну роботу.....	290
Бібліографічний опис.....	294

## Вступ

У наш час для більшості галузей промисловості, пов'язаних з розробкою й проектуванням нових машин і пристроїв, необхідне створення нового виробу й просування його на ринок у найкоротший термін. Чим раніше вдається вивести на споживчий ринок продукт, тим більше одержуваний прибуток і тем вище шанси зайняти лідируючі позиції в галузі.

Безумовно, зменшення строків проектування не повинно відбиватися на якості й ефективності виробів. Донедавна основним методом перевірки правильності розрахунків були великі експериментальні дослідження, однак при всіх своїх достоїнствах вони вимагають великих матеріальних і часових витрат.

У наш час у проектуванні усе більш широке застосування знаходять комп'ютерні інформаційні технології, які дозволяють у найкоротший термін спроектувати будь-який виріб - будь то електрочайник або компресор і газотурбінний двигун.

Розвиток конструкції високонавантажених газотурбінних двигунів для сучасних літаків, а також їхніх модифікацій для стаціонарних газоперекачуючих і енергетичних установок, пов'язаний з постійним зростанням вимог, що пред'являються до сучасних літальних апаратів і до екологічно чистих, економічних і надійних приводів газоперекачуючих агрегатів і електрогенераторів.

Зниження питомої маси двигуна й питомої витрати палива вимагають від розроблювачів сучасних газотурбінних двигунів створення елементів, які витримують великі навантаження і виконаних на рівні передових технологій і з використанням сучасних матеріалів.

У наш час проектування сучасної стаціонарної газотурбінної установки - це, у першу чергу, рішення конструкторських завдань з розробки надійних і технологічних основних вузлів виробу: компресора, камери згоряння, турбіни, вихідного пристрою і редуктора. Конструювання цих елементів пов'язане з

оптимізацією конструкції, створенням складних поверхонь точних деталей, їхнім аналізом і зміною геометрії, конструюванням деталей, одержуваних методами точного лиття, а також проектуванням ливарного оснащення й пресформ, створенням деталей, одержуваних методами холодного або гарячого штампування, створенням складних вузлів, аналізом збирання, моделюванням і аналізом кінематики складних вузлів.

Для рішення зазначених завдань застосовуються сучасні програмно-технічні засоби, які дозволяють виконувати проектування з високою точністю, скоротити час проектного циклу, використовувати менші людські ресурси.

Впровадження й використання новітніх інформаційних і CALS-Технологій істотно скорочує цикл від проекту до виготовлення, забезпечує наскрізне проектування й виготовлення газотурбінних двигунів (ГТД) і знижує вартість цих робіт. Тривимірне моделювання, створення стереолітографічних моделей деталей, чисельні експерименти за допомогою спеціалізованих програмних комплексів значно прискорюють створення нової продукції, зменшують обсяги стендових випробувань, знижують витрати на дослідно-дowodочні роботи й підвищують конкурентоспроможність підприємства. Різко скорочується кількість дорогих дослідних зразків газотурбінних двигунів для випробувань і доведень. Так, у радянський час без застосування САПР розробка серійного ГТД займала до десяти років, при цьому виготовлялося до 50 дослідних виробів. Сьогодні їхня кількість скорочена до двох-трьох, а строки розробки - з десяти до трьох-чотирьох років.

В зв'язку з цим дисципліна «Комп'ютерне моделювання й проектування процесів газотурбінних і компресорних установок» займає важливе місце в структурі підготовки спеціалістів і магістрів з ряду напрямків вищої професійної освіти.

У посібнику розглянуті основні підходи до моделювання і автоматизованого проектування систем, типові схеми моделей і САПР різного характеру, описані правила складання моделей систем. Матеріал посібника знайомить читачів з основними ідеями, прийомами й методами, які

використовують при розробці математичних моделей і систем САПР робочих процесів компресорних машин і газотурбінних установок, що дозволяє навчити студентів математичному моделюванню і САПР, а не простому запам'ятовуванню вже існуючих математичних моделей. Наведені приклади сучасних САПР, які застосовуються в турбобудуванні.