

Рудаков К. М.

FEMAP

**Геометричне та скінченно-елементне
моделювання конструкцій
для розрахунків у MSC.Nastran**

КИЇВ 2005

Рудаков К. М.

FEMAP

**Геометричне та скінченно-елементне
моделювання конструкцій
для розрахунків у MSC.Nastran**

КИЇВ 2005

Даний твір розповсюджується в електронній формі з відому та згоди власника авторських прав на некомерційній основі при умові збереження цілісності і незмінності тексту, включаючи збереження даного повідомлення. Будь-яке комерційне використання даного тексту без відому і прямої згоди власника авторських прав НЕ ДОПУСКАЄТЬСЯ.

Copyright © Костянтин Рудаков 2005

Рудаков К. М.

FEMap. Геометричне та скінченно-елементне моделювання конструкцій для розрахунків у MSC.Nastran: Посібник. – К.: НТУУ „КПІ”, 2005. – 210 с.

Наведено основні відомості про геометричне та скінченно-елементне моделювання елементів конструкцій і відповідних крайових задач у середовищі FEMAP для проведення їх скінченно-елементних розрахунків.

Для студентів спеціальності 7.09.02.01 „Динаміка і міцність машин”, аспірантів та інженерів, які застосовують методи математичного моделювання для чисельних розрахунків на ПЕОМ теплового та напружено-деформованого стану елементів конструкцій.

Матеріал, викладений у цій книзі, перевірений автором. Але, оскільки вірогідність технічних помилок існує завжди, не можна гарантувати абсолютну точність і правильність наведеної інформації. Ця книга не є офіційним виданням фірми-виробника програмного комплексу FEMAP. Тому автор не несе відповідальності за можливі помилки, пов'язані з використанням цієї книги.

ВСТУП

FEMAP (абревіатура від **Finite Element Modeling And Post-processing**) є середовищем для підготовки скінченно-елементних моделей конструкцій та відповідних крайових задач для подальшого їх розрахунку (**Finite Element Modeling**, пре-процесор), а також для перегляду, аналізу та документування результатів розрахунків (**Post-processing**, пост-процесор).

На середину 2005 року актуальними є версії FEMAP 6.0, FEMAP 7.0, FEMAP 8.1, FEMAP 8.2 та FEMAP 8.3, кожна з деякими модифікаціями; анонсовано FEMAP 9.0.

Середовище FEMAP призначене для обслуговування скінченно-елементних розрахунків декількох програм фірми MSC.Software Corp. (налічує майже 20 програм), у першу чергу – програми **MSC.Nastran** (**NASTRAN** – від **NAsa STRuctural ANalysis**). Значну популярність здобули програмні комплекси, в яких FEMAP та MSC.Nastran працюють як єдина програма. Наприклад, **MSC/NASTRAN for Windows 4.0** вміщує FEMAP 6.0 та MSC.Nastran 4.0 (1999 рік створення); а **MSC.visualNastran for Windows 2002** – FEMAP 8.1 та MSC.Nastran 2001.

FEMAP – не єдиний пре- та пост-процесор. Наприклад, MSC.Nastran ще входить до складу комплексу з назвою **MSC.Patran** з іншим пре- та пост-процесором. Ще є дуже досконалий пре-процесор **Altair HyperMesh 3D**. Свій пре- та пост-процесор має **ANSYS**.

Популярність FEMAP обумовлена відносною простотою та, одночасно, значною універсальністю, оскільки FEMAP має інтерфейсові інструменти імпорту та експорту проекту та його частин з багатьма програмами, зокрема **PATRAN**, **MARC**, **ABAQUS**, **LS-DYNA3D**, **ANSYS**, **ALGOR**, **COSMOS** тощо.

У цій книзі розглядається тільки FEMAP версії 8.1 (2001 рік створення) як пре- та пост-процесор для MSC.Nastran 2001 і попередніх версій. Використовувалася учбова демо-версія SDRC-FEMAP 8.1a S/N 000-00-00-DEMO-406F-00000000, яка має лише одне обмеження: до 300 вузлів скінченно-елементної сітки (ця демо-версія є вільно доступною в Internet, не має коду захисту). Оскільки багато інструментів FEMAP 8.1 та FEMAP 6.0 – однакові, то у нагоді стала книга [23] з CD-диском, на якому її автор привів багато своїх розробок (моделей) у середовищі MSC/NASTRAN for Windows 4.0. Також використовувалися (англомовний) довідник FEMAP (меню „**Help**”).

За допомогою FEMAP 8.1 можна підготувати для MSC.Nastran такі основні крайові задачі: теплопровідність стаціонарна та нестаціонарна, статичний (термо)пружний стан (лінійна або нелінійна пружність), статичний (термо)пластичний стан, (термо)повзучість, стійкість пружних тіл, частотний аналіз, динамічне ударне, гармонійне та „випадкове” навантаження, оптимізація конструкції, контактний (статичний) аналіз тощо. Конструкція може бути апроксимована різноманітним набором скінченних елементів: одно-, дво- та тривимірних з різними властивостями, із різних матеріалів, характеристики яких можуть залежати від температури або швидкості деформування.

Повний цикл проведення обчислення елемента конструкцій складається з таких етапів:

- аналіз геометрії елемента конструкції (тіла), умов його навантаження, властивостей матеріалу(ів) тіла, створення розрахункової моделі;
- введення теплофізичних та механічних характеристик матеріалів;
- створення геометричної та на її основі – скінченно-елементної моделі тіла; або створення скінченно-елементної моделі тіла зразу, без геометричної моделі;
- введення початкових та граничних умов;
- проведення розрахунків;
- візуалізація отриманих результатів та їх аналіз;
- при необхідності – модифікація скінченно-елементної моделі тіла, характеристик матеріалів, початкових та граничних умов, повторне проведення розрахунків;
- фіксація отриманих результатів (створення рисунків растрової графіки, виведення на друкувальний пристрій текстової та/або графічної інформації, передача до інших програм).

Будемо вважати, що користувач знайомий з основами теорій теплопровідності, пружності, пластичності, повзучості, коливань та стійкості, які застосовуються при постановках відповідних крайових задач; а також з методом розв'язання цих задач – методом скінченних елементів, застосованим у MSC.Nastran. На допомогу в Додатках поміщені деякі загальні відомості з цих теорій і методів.

Розглянемо декілька важливих понять (термінів) FEMAP.

Робоче поле – поле „вікна” FEMAP, створене із застосуванням технології комп'ютерної графіки OpenGL, в якому зображений об'єкт або графік. Текстові повідомлення виводяться на інше поле – „**Messages and Lists**” (повідомлень), що створюється стандартною технологією Windows API.

ID – внутрішній ідентифікаційний номер (код) введених значущих об'єктів: точок, ліній, поверхонь, об'ємів, функцій, матеріалів, наборів властивостей тощо. Вводиться автоматично або користувачем. Для кожного типу об'єктів нумерація є окремою.

Інкремент (Inc) – величина автоматичного приросту **ID** при появі нового об'єкта.

Title – назва деяких введених значущих об'єктів: функцій, матеріалів, поверхонь, об'ємів, наборів властивостей тощо. Вводиться автоматично або користувачем.

Призначення **ID** та **Title** проводиться для надання можливості адресного доступу до цих об'єктів при подальшій роботі з ними.

DOF – ступені свободи кожного вузла скінченно-елементної сітки. Їх шість: три – переміщення вздовж координатної осі (позначаються як **TX**, **TY** та **TZ**), три – обертання вузла навколо осі, що паралельна вказаній координатній осі (позначаються як **RX**, **RY** та **RZ**).

Робоча площина (Workplane) – допоміжна площина з самостійними координатами **X** та **Y**. Призначення – полегшення побудови геометричних об'єктів. Координати введених на робочій площині геометричних об'єктів автоматично перераховуються до поточної глобальної системи координат (**CSys**): декартової, циліндричної або сферичної.

Деякі дуже важливі властивості FEMAP та MSC.Nastran:

- назва імені проекту та шляху до нього у файлової системі не повинні мати *кирилических* знаків;

- FEMAP не має конкретну систему вимірів геометричних і фізичних величин. Тому при створенні моделі користувачу необхідно обрати якусь конкретну систему вимірів, наприклад: мм, Н, МПа=Н/мм², сек., Дж, К та суворо дотримуватися неї;

- команда „**Undo**” (відміна останньої дії, крок назад) у FEMAP фактично не має повної та фіксованої глибини, хоча максимально можлива кількість кроків назад може встановлюватися користувачем (див. Розділ 1.5). Не можна відмінити необоротні за суттю команди з меню „**File**”, „**View...**”, „**New...**”, „**Activate...**” та „**Window...**”. Наприклад, запис у файл моделі, ущільнення цього файлу (командою **File**→**Rebuild...**). Є й інші необоротні ситуації. Тому не варто розраховувати на те, що завжди можна буде повернутися до якої-небудь попередньої ситуації. Повідомлення про відміну команди з'являється на полі „**Messages and Lists**”;

- MSC.Nastran при кожному розрахунку створює декілька нових файлів, які не видаляє, а також тимчасові файли, розмір яких залежить від розміру задачі і може бути дуже значним (сотні мегабайтів, гігабайти). Якщо у процесі роботи MSC.Nastran відбувся крах операційної системи або програми (наприклад, у наслідок виключення струму), то тимчасові файли не видаляються. Тому користувачу потрібно час від часу самостійно видаляти непотрібні файли у робочих папках та у системній папці **\Temp**, особливо після краху системи або програми.

Ця книга не містить вичерпної інформації про FEMAP 8.1. Її призначення – надати користувачу початкові відомості про FEMAP та його інструменти для створення геометричної та скінченно-елементної моделі тіл, про особливості завдання початкових та граничних умов основних крайових задач, що можуть розв'язуватися програмою MSC.Nastran.

FEMAP досить швидко розвивається, але зовнішньо його основні інструменти остаються майже незмінними. Тому автор надіється, що ця книга буде у нагоді користувачам і при освоєнні нових версій FEMAP.