

**Рудаков К. М.**

# **FEMAP**

**Геометричне та скінченно-елементне  
моделювання конструкцій  
у MSC.visualNastran for Windows**

**КИЇВ 2005**



**Рудаков К. М.**

# **FEMAP**

**Геометричне та скінченно-елементне  
моделювання конструкцій  
у MSC.visualNastran for Windows**

**КИЇВ 2005**

**Рудаков К. М.**

FEMAP. Геометричне та скінченно-елементне моделювання конструкцій у MSC.visualNastran for Windows: Посібник. – К.: НТУУ „КПІ”, 2005. – 218 с.

У книзі наведені основні відомості про роботу у середовищі **FEMAP 8.2**, яке є універсальним пре- та постпроцесором для аналізатора **MSC.Nastran 2001**. Програмний комплекс, що містить **FEMAP 8.2.1** і модифіковану версію аналізатора **MSC.Nastran 2001**, має назву **MSC.visualNastran for Windows 2003**.

Інструменти FEMAP дозволяють проводити геометричне та скінченно-елементне моделювання конструкцій, задавати початкові та граничні умови навантаження, тобто створювати відповідні крайові задачі для їх подальшого скінченно-елементного розрахунку аналізатором MSC.Nastran з наступним переглядом і збереженням результатів.

FEMAP та MSC.Nastran досить швидко розвиваються, але зовнішньо основні інструменти FEMAP остаються майже незмінними. Тому автор надіється, що ця книга буде у нагоді користувачам і при освоєнні нових версій MSC.visualNastran for Windows (тобто у першу чергу FEMAP).

Для студентів спеціальностей „Динаміка і міцність машин”, „Прикладна математика” (зі спеціалізацією „Механіка”) та інших технічних спеціальностей, аспірантів і 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 і пройшов редагування. Але, оскільки вірогідність технічних та людських помилок існує завжди, не можна гарантувати абсолютну точність і правильність наведеної інформації. Ця книга не є офіційним виданням фірми-виробника програмного комплексу MSC.visualNastran for Windows 2003. Тому автор не несе відповідальності за можливі помилки, пов'язані з використанням цієї книги.

© Рудаков К. М.

## 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 та документування результатів розрахунків (**Post-processing**, пост-процесор).

На початок 2005 року актуальними є версії **FEMAP 6.0**, **FEMAP 7.0 Professional**, **FEMAP 8.1**, **8.2** та **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. Свій пре- та пост-процесор має **ANSYS**, інші. Ще є дуже досконалий пре-процесор **Altair HyperMesh 3D**.

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** тощо. Але у цій книзі **FEMAP** розглядається як пре- та пост-процесор тільки для **MSC.Nastran**.

При написанні цієї книги використовувалася учбова демо-версія **MSC.visualNastran for Windows 2003 S/N 000-00-00-DEMO-406F-00000000** (має лише одне обмеження: до 300 вузлів скінченно-елементної сітки) у складі **EDS-FEMAP 8.2.1** (**EDS** – від назви фірми **Electronic Data Systems Corp.**) та модифікованої версії **MSC.Nastran 2001** (2002-го року випуску). Скорочена назва – **MSC.vN4W**. Також застосовувався вбудований (англомовний) довідник (викликається командами меню „**Help**”).

За допомогою **FEMAP 8.2** 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).

**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, які користувачу необхідно враховувати завжди:

- 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/мм<sup>2</sup>, 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 MSC.vN4W. 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.