

ЗАВЕРШЕННЯ

У цій книзі описані тільки основи роботи у FEMAP для MSC.Nastran. Але якщо оволодіти цим об'ємом інформації, можна розв'язувати майже усі крайові задачі, представлені у MSC.Nastran. FEMAP має інтерфейс з багатьма іншими програмами, в яких реалізовано метод скінченних елементів (МСЕ). Кожна з цих програм має свою специфіку, описання якої (для FEMAP) потребує багато місця. Але практика показує, що майже завжди дані для них формуються та передаються неточно, з проблемами. Тому рекомендують користуватися „рідними” пре- та постпроцесорами. Саме з цих причин у книзі не описано створення моделей та інтерфейс з іншими програмами (не MSC.Nastran).

Крім описаних, у FEMAP є ще багато інструментів, команд та діалогів, дуже простих для розуміння, які з цієї причини не описані у книзі. Наприклад, деякі команди меню „**File**” (загальні для проекту дії), меню „**List**” (виведення даних у вигляді тексту у вікно або файл).

Крім цього, у MSC.Nastran є ще ресурси, для користування якими потрібно мати спеціальну підготовку. Таку інформацію поміщено у „**Help**”. Причому, окрім основних відомостей у форматі **html**, є ще значна кількість файлів у форматі **pdf** (розділ „**More Resources**”). Зокрема, фахівець може мати прямий доступ у базу даних FEMAP. При цьому застосовується мова програмування **Cypress Enable BASIC Scripting Language** (мова скриптів, або мова сценаріїв), яка основана на стандарті **Microsoft Visual Basic**. Докладні відомості про цю мову є у файлі **femap81\langref.doc**. У FEMAP можна створювати нові макроси, для чого застосовується мова програмування FEMAP. Вона більш універсальна, ніж мова сценаріїв. Докладні відомості про внутрішні функції, типи даних, описування різноманітних об'єктів та їх властивостей тощо поміщені у файлі **femap81\api_ref.doc**. А у файлі **femap81\nneutral.doc** докладно описані формати трьох типів файлів, що застосовуються у FEMAP: **FEMAP Neutral File Format**, **FEMAP Material Definition File**, **FEMAP Binary Output File Format**.

Для FEMAP створено програму керування чергою задач з назвою **VisQ**, яка має дві частини: **VisQ Server** та **VisQ Client**. **VisQ Client** використовується на ПЕОМ користувача, надсилає через мережу завдання для розрахунків, отримує результати розрахунків. **VisQ Server** керує програмним забезпеченням ЕОМ, яка розв'язує задачу (звичайно це окрема дуже потужна багатопроцесорна машина), чергою задач, файлами і каталогами на серверу. Наявність цієї програми дозволяє автоматизувати вказані процеси.

Розрахунки крайових задач за допомогою МСЕ стають все більш популярними. Але треба пам'ятати, що ці розрахунки – наближені. Теоретично для одержання більш точного результату необхідно зменшувати відстань між вузлами скінченно-елементної сітки та застосовувати СЕ другого порядку наближення (параболічні), що приводить до різкого збільшення кількості вузлів та СЕ, а це, у свою чергу, потребує дуже багато пам'яті (оперативної та дискової) та часу для розв'язування системи алгебраїчних рівнянь, яка породжується МСЕ. Крім того, процес створення розрахункової моделі (див. Розділ 1.6) часто не є простим. Це дійсно творчий процес, від якості якого залежить, зокрема не тільки точність та час проведення розрахунків, а й правильність („фізичність”) отриманих результатів.

Багато залежить від наявності у користувача фахових знань з таких дисциплін, як опір матеріалів, теорія пружності, теорія пластичності та повзучості, будівельна механіка, теорія коливань, чисельні методи тощо. У Додатках 4, 5 і 6 наведено лише основні відомості з цих питань для загального (тривимірною) випадку. Одновимірні та двовимірні СЕ мають специфіку, часто дуже значну. Ці відомості можна одержати з літературних джерел.

ЛІТЕРАТУРА

1. Release Notes for FEMAP, Version 8.1 (readme.pdf *).
2. FEMAP Examples, Version 8.1 (examples.pdf **).
3. FEMAP User Guide, Version 8.1 (user.pdf **).
4. FEMAP Commands, Version 8.1 (commands.pdf **).
5. FEMAP API Reference, Version 8.1 (api.pdf **).
6. FEMAP Structural User Guide, Version 8.1 (fsuser.pdf **).
7. FEMAP Structural Element Library, Version 8.1 (fsel.pdf **).
8. FEMAP Structural Verification Guide, Version 8.1 (fsver.pdf **).
9. FEMAP Neutral File Format (neutral.pdf **).
10. Installing FEMAP in a Network Environment (network.pdf **).
11. Language Reference (basic.pdf ***, langref.doc **).
12. FEMAP Basic Scripting Language API Reference (api_ref.pdf **).
13. VisQ. Visual Queue Manager System Guide. Version 1.0. (visqman.pdf **).
14. RUFF ENGINEERING Beam Database – Rebeam Revision 1.0 (rebeam.doc **).
15. FEMAP Neutral File Format. FEMAP Material Definition File. FEMAP Binary Output File Format (neutral.doc ***).
16. API README for FEMAP Version 8.0 (readme_api.doc ***).
17. Бате Н., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982. – 447 с.
18. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. – М.: Мир, 1987. – 542 с.
19. Василенко М.В., Алексейчук О.М. Теорія коливань і стійкості руху: Підручник. – К.: Вища шк., 2004. – 525 с., іл.
20. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
21. Джордж А., Лю Дж. Численное решение больших разреженных систем уравнений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984 – 333 с.
22. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 539 с.
23. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. – М.: Мир, 1986. – 318 с.
24. Колтунов М.А., Кравчук А.С., Майборода В.П. Прикладная механика деформируемого твердого тела. – М.: Высш. школа, 1983 – 349 с.
25. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. – М.: Наука, 1989. – 608 с.
26. Метод конечных элементов в механике твердых тел / Под ред. А.С. Сахарова, И. Альтенбаха. – К.: Вища школа, Лейпциг: ФЭБ Фахбухферлаг, 1982. – 480 с.

27. Нестационарные тепловые процессы в энергетических установках летательных аппаратов / Коваленко Н.Д., Шмукин А.А., Гужва М.И., Махин В.В. – К.: Наук. думка, 1988. – 224 с.
28. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред. – М.: Мир, 1976. – 464 с.
29. Опір матеріалів: Підручник / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський; За ред. Г.С. Писаренка. – К.: Вища шк., 1993. – 655 с.
30. Победря Б.Е. Численные методы в теории упругости и пластичности. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 366 с.
31. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1988. – 712 с.
32. Расчет на прочность деталей машин: Справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
33. Рудаков К.М. Конспект лекцій з дисципліни „Чисельні методи в динаміці та міцності машин”. У двох частинах. – К.: НТУУ „КПІ”, 2000. – Ч. I. – 105 с., Ч. II. – 105 с.
34. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: Учебн. пособие для вузов. – М.: Наука, 1989. – 432 с.
35. Хан Х. Теория упругости: Основы линейной теории и ее применения: Пер. с нем. – М.: Мир, 1988. – 344 с.
36. Хейгеман Л., Янг Д. Прикладные итерационные методы / Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 448 с.
37. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 448 с., ил. (Серия „Проектирование”).
38. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC.visualNastran for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 704 с., ил. (Серия „Проектирование”).

Примітка. Документи, що помічено * та **, збережені у файлах формату PDF і доступні за допомогою команди **Help** → **Help Topics** → **More Resources** → **More Resources** → ..., яка викликає їх із папок: * – ...\\Femap81; ** – ...\\Femap81\\pdf. Документи, що помічено ***, збережені у файлах формату DOC, знаходяться у папці ...\\Femap81.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 3 |
| Розділ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ | 5 |
| 1.1. Меню FEMAP | 6 |
| 1.2. „Гарячі” клавіші FEMAP | 6 |
| 1.3. Перемикачі та мнемонічні меню FEMAP | 7 |
| 1.4. Файли FEMAP та MSC.Nastran | 9 |
| 1.5. Налаштування FEMAP | 11 |
| 1.6. Про створення розрахункової моделі | 17 |
| 1.7. Рівні та групи | 18 |
| 1.7.1. Рівні | 18 |
| 1.7.2. Групи | 19 |
| 1.8. Функції та макроси | 21 |
| 1.8.1. Створення функцій | 21 |
| 1.8.2. Перегляд графіків функцій | 23 |
| 1.8.3. Створення макросів | 23 |
| Розділ 2. СТВОРЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ТІЛА | 24 |
| 2.1. Імпорт та експорт геометричної моделі тіла | 25 |
| 2.2. Створення геометричної моделі тіла | 28 |
| 2.2.1. Системи координат, орієнтація і розміри зображення, робоча площина | 28 |
| 2.2.2. Введення точок | 30 |
| 2.2.3. Побудова ліній | 31 |
| 2.2.3.1. Побудова прямих ліній | 31 |
| 2.2.3.2. Побудова окружностей та їх частин (дуг) | 32 |
| 2.2.3.3. Побудова ліній сплайнами | 33 |
| 2.2.3.4. Побудова ліній на поверхні | 35 |
| 2.2.4. Побудова поверхонь | 35 |
| 2.2.5. Побудова об’ємів і „твердих” тіл | 37 |
| 2.2.5.1. Побудова об’ємів | 37 |
| 2.2.5.2. Побудова „твердих” тіл | 38 |
| 2.2.5.3. Очищення „твердих” тіл | 41 |
| 2.2.6. Загальні операції з елементами геометричної моделі | 41 |
| 2.2.6.1. Операції копіювання | 41 |
| 2.2.6.2. Операції модифікації | 42 |
| 2.2.6.3. Операції контролю геометрії | 42 |
| 2.2.6.4. Операції вимірювання | 43 |
| Розділ 3. СТВОРЕННЯ СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОЇ МОДЕЛІ ТІЛА | 45 |
| 3.1. Завдання властивостей матеріалів | 45 |
| 3.2. Завдання атрибутів „Properties” скінченних елементів | 48 |
| 3.3. Створення скінченно-елементної моделі тіла на основі геометричної моделі | 51 |
| 3.3.1. Підготовка до автоматичного створення скінченно-елементної сітки | 52 |
| 3.3.1.1. Завдання параметрів автоматичного створення скінченно-елементної сітки | 52 |
| 3.3.1.2. Призначення атрибутів скінченно-елементної сітки геометричним об’єктам | 54 |
| 3.3.1.3. Впорядкування майбутньої скінченно-елементної сітки на поверхні | 55 |
| 3.3.1.4. Виключення несуттєвих особливостей у „твердих” тілах | 55 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.2. Створення скінченно-елементної сітки тіла або конструкції на основі геометричної моделі | 56 |
| 3.3.2.1. Завдання параметрів вузлів та скінченних елементів | 56 |
| 3.3.2.2. Створення скінченних елементів у точках | 57 |
| 3.3.2.3. Створення скінченно-елементної сітки на лініях | 57 |
| 3.3.2.4. Створення двовимірної та вісесиметричної скінченно-елементної сітки | 57 |
| 3.3.2.5. Створення двовимірної скінченно-елементної сітки на основі серединних поверхонь | 58 |
| 3.3.2.6. Створення тривимірної скінченно-елементної сітки для „твердого” тіла | 59 |
| 3.3.2.7. Створення тривимірної скінченно-елементної сітки на основі об’єму | 61 |
| 3.3.2.8. Створення скінченно-елементної конструкції з різних матеріалів | 61 |
| 3.4. Створення скінченно-елементної моделі тіла без геометричної моделі | 62 |
| 3.4.1. Створення скінченно-елементної сітки на основі повного набору вузлів | 62 |
| 3.4.2. Створення скінченно-елементної сітки на основі опорних вузлів | 63 |
| 3.4.3. Створення скінченно-елементної сітки на основі операцій видавлювання, обертання та витягування | 64 |
| 3.4.4. Створення тривимірної скінченно-елементної сітки на основі поверхневих СЕ | 66 |
| 3.5. Модифікація скінченно-елементної моделі тіла | 66 |
| 3.5.1. Створення та видалення зв’язків між вузлами | 66 |
| 3.5.2. Редагування скінченно-елементної сітки | 67 |
| 3.5.3. Регенерація та очистка скінченно-елементної сітки | 68 |
| 3.5.4. Перетворення скінченно-елементної сітки у STL-моделях | 68 |
| 3.5.5. Створення ребер жорсткості | 69 |
| 3.5.6. Згладжування скінченно-елементної сітки | 69 |
| 3.5.7. Операції маніпулювання вузлами та скінченними елементами | 69 |
| 3.5.8. Перенумерування об’єктів скінченно-елементної сітки тіла | 70 |
| 3.5.9. Команди змін параметрів скінченно-елементної сітки тіла | 70 |
| 3.6. Контроль параметрів скінченно-елементної моделі тіла | 72 |
| 3.6.1. Контроль функцій, характеристик матеріалів та властивостей скінченних елементів | 72 |
| 3.6.2. Контроль вузлів та скінченних елементів, що співпадають | 72 |
| 3.6.3. Контроль розташування вузлів на заданій площині | 72 |
| 3.6.4. Контроль геометричних параметрів скінченних елементів | 73 |
| Розділ 4. ЗАГАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ МОДЕЛЮВАННЯ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ | 75 |
| 4.1. Загальні інструменти для завдання граничних умов | 75 |
| 4.1.1. Об’єкти прикладання граничних умов | 75 |
| 4.1.2. Асоціації між об’єктами СЕС та геометричної моделі | 76 |
| 4.1.3. Введення значень граничних умов | 76 |
| 4.1.4. Маніпулювання наборами граничних умов | 77 |
| 4.1.4.1. Копіювання наборів граничних умов | 77 |
| 4.1.4.2. Видалення та редагування наборів граничних умов | 78 |
| 4.1.4.3. Лінійне комбінування наборів граничних умов | 78 |
| 4.1.4.4. Масштабування наборів граничних умов | 78 |
| 4.1.4.5. Використання результатів розрахунків для завдання граничних умов | 78 |
| 4.1.4.6. Перетворення граничних умов | 79 |
| 4.2. Запуск процесу розрахунку крайової задачі | 80 |
| 4.2.1. Одиничний простий запуск процесу розрахунку крайової задачі | 80 |
| 4.2.2. Настроювання рестарту процесу розрахунку крайової задачі | 80 |
| 4.2.3. Одиничний розширений запуск процесу розрахунку крайової задачі | 81 |
| 4.2.3.1. Параметри секцій „File management Statements” та „Executive and Solu- | |

| | |
|---|------------|
| tion Control” | 81 |
| 4.2.3.2. Параметри секції „Case Control” | 82 |
| 4.2.3.3. Параметри секції „Bulk Data” | 84 |
| 4.2.4. Процес розрахунку крайової задачі | 87 |
| 4.2.5. Створення шаблонів аналізу крайових задач | 87 |
| Розділ 5. МОДЕЛЮВАННЯ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ | 91 |
| 5.1. Моделювання крайової задачі стаціонарної теплопровідності | 91 |
| 5.1.1. Завдання початкових умов крайової задачі теплопровідності | 91 |
| 5.1.2. Завдання граничних умов крайової задачі стаціонарної теплопровідності | 91 |
| 5.1.2.1. Величини для граничних умов крайової задачі теплопровідності | 91 |
| 5.1.2.2. Завдання граничних умов першого роду | 91 |
| 5.1.2.3. Завдання граничних умов у вигляді теплового джерела або стоку тепла | 93 |
| 5.1.2.4. Завдання граничних умов за тепловим потоком | 93 |
| 5.1.2.5. Завдання граничних умов конвекційного нагріву | 93 |
| 5.1.2.5.1. Завдання граничних умов „вільного” конвекційного нагріву | 93 |
| 5.1.2.5.2. Завдання граничних умов „примусового” конвекційного нагріву | 94 |
| 5.1.2.6. Завдання граничних умов радіаційного нагріву | 96 |
| 5.1.3. Запуск процесу розрахунку крайової задачі стаціонарної теплопровідності | 97 |
| 5.2. Моделювання крайової задачі нестаціонарної теплопровідності | 97 |
| Розділ 6. МОДЕЛЮВАННЯ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ ПРО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ТІЛ. СТАТИКА | 99 |
| 6.1. Завдання початкових і граничних умов у FEMAP | 99 |
| 6.1.1. Завдання початкових умов | 99 |
| 6.1.2. Завдання граничних умов 1-го роду (закріплень, переміщень, зв’язків) | 99 |
| 6.1.2.1. Створення власної системи координат | 100 |
| 6.1.2.2. Завдання граничних умов 1-го роду у вигляді закріплень | 100 |
| 6.1.2.3. Завдання граничних умов 1-го роду у вигляді переміщень або кутів обертання | 101 |
| 6.1.2.4. Завдання граничних умов 1-го роду у вигляді зв’язків | 102 |
| 6.1.2.5. Редагування або видалення граничних умов 1-го роду | 102 |
| 6.1.2.6. Контроль закріплення тіла | 102 |
| 6.1.3. Завдання силових граничних умов | 103 |
| 6.1.3.1. Завдання об’ємних силових граничних умов | 103 |
| 6.1.3.2. Завдання статичних лінійних силових граничних умов | 103 |
| 6.1.3.3. Завдання нелінійних силових граничних умов | 104 |
| 6.2. Завдання опцій та параметрів нелінійного аналізу | 104 |
| 6.3. Моделювання статичних крайових задач про НДС тіл | 106 |
| 6.3.1. Крайові задачі лінійної пружності та термopружності | 106 |
| 6.3.2. Крайові задачі нелінійної пружності для ізотропного матеріалу | 107 |
| 6.3.3. Крайові задачі нелінійної пружності для матеріалу типу „гума” | 107 |
| 6.3.4. Крайові задачі пружно-пластичності | 108 |
| 6.3.5. Крайові задачі повзучості | 109 |
| 6.3.6. Крайові задачі про пружну стійкість тіл | 109 |
| 6.3.7. Крайові задачі про контакт тіл | 110 |
| 6.3.8. Крайові задачі про оптимізацію конструкції | 111 |
| Розділ 7. МОДЕЛЮВАННЯ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ ПРО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ТІЛ. ДИНАМІКА | 113 |
| 7.1. Загальні відомості щодо моделювання динамічних крайових задач | 113 |
| 7.2. Завдання параметрів динамічних розрахунків | 113 |
| 7.3. Моделювання динамічних крайових задач про НДС тіл | 115 |
| 7.3.1. Крайова задача про власні частоти та форми коливань | 115 |

| | |
|--|------------|
| 7.3.2. Крайова задача про перехідний процес при динамічному негармонійному навантаженні тіла | 117 |
| 7.3.2.1. Метод прямого інтегрування | 117 |
| 7.3.2.2. Метод розкладання за власними частотами | 117 |
| 7.3.2.3. Нелінійний перехідний процес | 118 |
| 7.3.2.4. Спектральний відгук тіла при ударному навантаженні | 119 |
| 7.3.2.5. Розрахунок повної реакції спектрального відгуку тіла | 120 |
| 7.3.3. Крайова задача про вимушені гармонійні коливання тіла | 120 |
| 7.3.4. Крайова задача про стохастичне збудження тіла | 121 |
| Розділ 8. ПЕРЕГЛЯД РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ІНШИХ ВВЕДЕНИХ ДАНИХ | 124 |
| 8.1. Завантаження результатів розрахунків крайової задачі | 124 |
| 8.1.1. Імпорт результатів розрахунків крайової задачі іншими програмами | 124 |
| 8.1.2. Завантаження результатів розрахунків MSC.Nastran | 124 |
| 8.2. Комбінування та редагування результатів розрахунків крайової задачі | 125 |
| 8.3. Керування зображеннями на робочому полі FEMAP | 128 |
| 8.3.1. Команди меню „View” | 128 |
| 8.3.2. Діалогова панель „View Options” | 130 |
| 8.4. Перегляд функцій та результатів розрахунків крайової задачі | 132 |
| Додаток 1. ОБ’ЄКТИ СПИСКУ Option ДІАЛОГОВОЇ ПАНЕЛІ View Options | 139 |
| Додаток 2. ЕЛЕМЕНТАРНІ ФУНКЦІЇ FEMAP (Function reference) | 145 |
| Додаток 3. БІБЛІОТЕКА СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ | 148 |
| Д3.1. Одновимірні елементи | 148 |
| Д3.1.1. Стрижневий елемент типу ROD | 148 |
| Д3.1.2. Елемент труби типу TUBE | 148 |
| Д3.1.3. Криволінійний елемент труби типу CURVED TUBE | 148 |
| Д3.1.4. Балкові елементи типу BAR, BEAM | 148 |
| Д3.1.5. Елемент криволінійної балки типу CURVED BEAM | 149 |
| Д3.1.6. Елемент типу LINK | 150 |
| Д3.1.7. Пружний елемент типу SPRING | 150 |
| Д3.1.8. Пружний елемент типу DOF SPRING | 150 |
| Д3.1.9. Контактний елемент типу GAP (зазор) | 150 |
| Д3.1.10. Графічний елемент типу PLOT ONLY | 150 |
| Д3.2. Двовимірні (плоскі) елементи | 151 |
| Д3.2.1. Елемент типу SHEAR PANEL (зсувна панель) | 151 |
| Д3.2.2. Мембранний елемент типу MEMBRANE | 151 |
| Д3.2.3. Елемент згину типу BENDING ONLY | 151 |
| Д3.2.4. Універсальний оболонковий елемент типу PLATE | 152 |
| Д3.2.5. Шаруватий елемент типу LAMINATE | 152 |
| Д3.2.6. Елемент, що деформується плоско, типу PLANE STRAIN | 152 |
| Д3.2.7. Вісесиметричний оболонковий елемент типу AXISYMMETRIC SHELL | 153 |
| Д3.2.8. Графічний елемент типу PLOT ONLY | 153 |
| Д3.3. Просторові (об’ємні, тривимірні) елементи | 153 |
| Д3.3.1. Вісесиметричний елемент типу AXISYMMETRIC | 153 |
| Д3.3.2. Об’ємний елемент типу SOLID | 153 |
| Д3.4. Інші елементи | 154 |
| Д3.4.1. Елемент типу MASS | 154 |
| Д3.4.2. Елемент типу MASS MATRIX | 154 |
| Д3.4.3. Елемент типу RIGID | 155 |
| Д3.4.4. Контактний елемент типу SLIDE LINE | 155 |
| Д3.4.5. Елемент типу STIFFNESS MATRIX | 155 |

| | |
|---|-----|
| Д3.4.6. Елемент типу CONTACT | 155 |
| Д3.5. Примітки | 155 |
| Додаток 4. КРАЙОВІ ЗАДАЧІ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ (теорія) | 156 |
| Д4.1. Постановка крайової задачі незв'язаної теплопровідності | 156 |
| Д4.2. Урахування температурної залежності характеристик матеріалу | 157 |
| Д4.3. Ослаблення постановки крайової задачі теплопровідності | 157 |
| Д4.4. Скінченно-елементне представлення крайової задачі теплопровідності | 158 |
| Д4.5. Алгоритм Ньютона-Рафсона розв'язування нелінійної САР крайової задачі стаціонарної теплопровідності | 160 |
| Д4.6. Алгоритм Ньюмарка розв'язування крайової задачі нестационарної теплопровідності | 161 |
| Додаток 5. КРАЙОВІ ЗАДАЧІ ПРО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ТВЕРДИХ ТІЛ. СТАТИКА (теорія) | 162 |
| Д5.1. Основні рівняння механіки тіла, що деформується, у елементарному об'ємі тіла | 162 |
| Д5.1.1. Системи координат | 162 |
| Д5.1.2. Рівняння статичної рівноваги у точці (елементарному об'ємі) тіла | 162 |
| Д5.1.3. Геометричні співвідношення у точці (елементарному об'ємі) тіла | 162 |
| Д5.1.4. Рівняння фізичних моделей матеріалу у точці (елементарному об'ємі) тіла | 164 |
| Д5.1.4.1. Рівняння для визначення температурних деформацій | 164 |
| Д5.1.4.2. Рівняння для визначення лінійно-пружних деформацій | 165 |
| Д5.1.4.3. Рівняння для визначення нелінійно-пружних деформацій | 166 |
| Д5.1.4.4. Рівняння для визначення пружно-пластичних деформацій | 167 |
| Д5.1.4.5. Рівняння для визначення деформацій повзучості | 169 |
| Д5.1.5. Граничні умови | 169 |
| Д5.1.6. Варіаційна постановка статичної крайової задачі | 169 |
| Д5.2. Скінченно-елементне представлення крайових задач про НДС твердого тіла, що деформується | 170 |
| Д5.2.1. Вектори переміщень, деформацій, напружень | 170 |
| Д5.2.2. Малі деформації | 171 |
| Д5.2.3. САР при малих деформаціях | 171 |
| Д5.2.4. Геометричні рівняння при значних деформаціях | 172 |
| Д5.2.5. САР при значних деформаціях і методи її розв'язування у MSC.Nastran | 174 |
| Д5.2.6. Алгоритм „двох кроків” одержання розв'язку у MSC.Nastran задачі для тіл з малою жорсткістю | 176 |
| Д5.2.7. Крайова задача про втрату стійкості твердого тіла, що деформується | 176 |
| Додаток 6. КРАЙОВІ ЗАДАЧІ ПРО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ТВЕРДИХ ТІЛ. ДИНАМІКА (теорія) | 178 |
| Д6.1. Постановка крайової динамічної задачі термопружності | 178 |
| Д6.2. Скінченно-елементне представлення крайової динамічної задачі | 178 |
| Д6.3. Скінченно-елементне розв'язування крайових динамічних задач | 179 |
| Д6.3.1. Безпосереднє розв'язування динамічного рівняння | 179 |
| Д6.3.2. Задача про власні частоти та форми коливань | 180 |
| Д6.3.2.1. Розв'язування при відсутності демпфірування | 180 |
| Д6.3.2.2. Розв'язування при наявності демпфірування | 181 |
| Д6.3.3. Розв'язування динамічного рівняння із застосуванням методу розкладання розв'язку за власними формами коливань | 181 |
| Д6.3.4. Задача про стохастичне збудження тіла | 182 |
| Додаток 7. ЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРА „Diagnostics” ДІАЛОГОВОЇ ПАНЕЛІ | |

| | |
|---|-----|
| „NASTRAN Executive and Solution Control” | 185 |
| Додаток 8. ПАРАМЕТРИ MSC.Nastran 2001 | 188 |
| Додаток 9. ХАРАКТЕРНІ ПОВІДОМЛЕННЯ MSC.Nastran | 196 |
| Додаток 10. ОСНОВНІ ВЕКТОРИ – РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ | 199 |
| Завершення | 202 |
| Література | 203 |