Розділ 4

ЗАГАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ МОДЕЛЮВАННЯ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ

Теоретичні відомості про крайові задачі наведені у Додатках 4 … 8. Всі вони потребують введення відповідних початкових та граничних умов, призначення деяких додаткових умов для проведення розрахунків. Для цього застосовуються інструменти FEMAP як загального призначення, так і специфічні.

4.1. Загальні інструменти для завдання граничних умов

4.1.1. Об'єкти прикладання граничних умов

Початкові та граничні умови для крайових задач у FEMAP створюються командами **Model→Load→**. Зокрема, командою **Model→Load→Set...** створюється новий або активується раніше створений набір початкових та граничних умов: задаються або обираються **ID** та назва набору.

Граничні умови задаються (загальну частину команди Model→Load→ опускаємо): у вузлах (Nodal...), вузлах на грані (Nodal on Face...), на поверхнях СЕ (Elemental...), у точках (On Point...), на кривих (On Curve...), на поверхнях (On Surface...). Команда спочатку викликає стандартну діалогову панель обирання об'єктів. Якщо об'єкти, до яких будуть прикладатися ГУ, завчасно зібрані у групи, то можна обрати потрібну групу на цій панелі (зліва понизу, у вікні "Group").

Варіант завдання ГУ "Nodal on Face…" (вузли на грані) має деякі особливості. Спочатку з'являється стандартна панель діалогу обирання СЕ, за допомогою якої та кнопки "Method^" призначаються СЕ або геометричні об'єкти, до граней яких будуть прикладатися ГУ (наприклад: on Surface, тобто вузли СЕ на геометричній поверхні). З'явиться діалогова панель "Face Selection for Elemental Loads" (див. рис.4.1). На ній є п'ять варіантів вказування грані для знаходження вузлів:

• "Face ID" – номером грані (сторони) СЕ (див. рис.4.1-а); вводиться у вікно "Face" з клавіатури або обиранням курсором "миші" на робочому полі, коли мигтючий курсор знаходиться у діалоговому вікні "Face". Увага: у СЕ грані можуть мати номера 1...6 максимум. Є радіокнопки "Front Face" (фронтальна) або "Back Face" (оборотна грань): це має значення для двовимірних СЕ;



Рис.4.1. Діалогові панелі призначення грані CE: а) – номером грані у CE; б) – номером геометричної поверхні; в) – площиною; г) напрямком нормалі до грані

- 86 -

• "Near Surface" – номером поверхні (геометричного об'єкта, див. рис.4.1-б); вводиться у поле "Surface" з клавіатури або обиранням курсором "миші" на робочому полі. Величина "Tolerance" – максимальна відстань для пошуку вузлів СЕ на цій поверхні;

• "Near Coordinates" – площиною, яка призначається (див. рис.4.1-в) обиранням (одною з радіокнопок) осі **X**, **Y** або **Z**, яка *ортогональна* до площини з вузлами, та вказуванням відстані від початку координат до цієї площини (Position);

• "Adjacent Faces" – як на сусідніх гранях (див. рис.4.1-г): курсором "миші" на робочому полі обирається грань (сторона) СЕ (номера СЕ і грані з'являються у відповідних вікнах панелі) та вказується допустима кутова розбіжність (Tolerance). Якщо нормаль до будьякої грані СЕ (зі списку обраних) "співпадає" з нормаллю до грані вказаного СЕ з точністю "Tolerance", то до вузлів цієї грані СЕ буде прикладатися ГУ. Опцією "Matching Normals Only" можна зажадати повну відповідність ("нульову" розбіжність). Є радіокнопки "Front Face" (фронтальна) або "Back Face" (оборотна грань): це має значення для двовимірних СЕ;

• "Free Faces" – навантаження буде прикладене до всіх вільних від навантаження поверхнях СЕ.

ГУ можуть задаватися як *повні* або *розподілені*: на поверхні (**per Area**), на довжині (**per Length**), у вузлах (**per Node**).

Увага:

• розподілені ГУ мають саме ту сумарну величину, що вводиться у діалоговому полі;

• розподілені ГУ до *геометричного* об'єкта можуть прикладатися як нерівномірне навантаження (як функціонально залежне), але на екрані завжди виглядають як рівномірні;

• усі ГУ, що прикладені до СЕ, ліній та поверхонь, потім FEMAP розподіляє на *вузли*. При цьому, якщо вузол входить у декілька СЕ, значення ГУ у вузлі стільки же разів алгебраїчно складається, тим самим фактично у таких вузлах прикладається *осереднене* значення ГУ, якщо ці значення були різними;

• іноді після запуску аналізу задачі з'являється повідомлення, що перенесення ГУ з того чи іншого геометричного об'єкта на вузли СЕС неможливо. Про причини цього та спосіб уникнути це небажане явище викладено в Розділі 4.1.2.

4.1.2. Асоціації між об'єктами СЕС та геометричної моделі

Можливість прикладення ГУ до геометричних об'єктів моделі (Point, Curve, Surface, Solid) спрощує процес завдання ГУ. Але геометричні об'єкти передають ГУ до СЕС тільки тоді, коли об'єкти СЕС та ці об'єкти "асоційовані". Асоціації призначаються автоматично, якщо СЕС створена на основі геометричної моделі. Але виникають й інші ситуації: СЕС (її частина) створена на основі вузлів (без геометрії); необхідно прикласти ГУ лише до *частини* вузлів (або СЕ) на поверхні, з якою вони асоційовані (потрібно "відокремити" надлишкові вузли (або СЕ) від поверхні); інші.

Для вирішення таких проблем у FEMAP є команди Modify→Associativity→Node... та Modify→Associativity→Element... Обираються потрібні вузли або СЕ, з'являється діалогова панель "Geometry Associativity" (див. рис.4.2). На ній потрібно вказати варіант дії: "відокремити" (Detach From) або "асоціювати" (Attach To), обрати тип об'єкта та обрати його (вказати ID). Варіант "Any"

Geometry Associativity
Operation
⊙ <u>D</u> etach From
◯ Attach <u>I</u> o
Geometry
◯ <u>A</u> ny
○ Point
⊙ <u>C</u> urve
◯ Sur <u>f</u> ace
<u>○ S</u> olid∕Volume
<u>D</u> K Cancel

Рис.4.2. Діалогова панель асоціації об'єктів

– відокремити обрані вузли або СЕ від усіх геометричних об'єктів. Опція "Interior Nodes Only" дозволяє відокремити вузли тільки від вказаного геометричного об'єкта (коли є встановленою) або одночасно і від усіх геометричних об'єктів нижнього рівня (базових для вказаного). Наприклад, поверхня "спирається" на лінії контуру, а ці лінії – на точки. Тому при асоціації вузла з поверхнею він автоматично асоціюється з "опорними" лініями та точками.

Увага: для асоціації вузла або СЕ з новим об'єктом потрібно попередньо провести його "відокремлення" від усіх інших об'єктів. СЕ буде асоційованим з геометричним об'єктом

- 87 -

тільки тоді, коли з ним асоційовані *всі* вузли даного СЕ. Тобто, для відокремлення СЕ достатньо відокремити один із вузлів СЕ.

4.1.3. Введення значень граничних умов

Значення ГУ вводяться на діалогових панелях з характерним початком назви "Create Loads ..." (див. рис.4.3-а). Для всіх варіантів об'єктів можна змінювати колір зображення ГУ, рівень (Layer), координатну систему. Варіант граничних умов обирається зі списку. У залежності від варіанта будуть активними один або декілька рядків діалогових вікон "Value" (значення, що вводяться) та "Time/Freq Dependence" (функціональна залежність, якщо вона потрібна). Функції можна створювати заздалегідь або за допомогою кнопки [9] (див. Розділ 1.8.1).

У залежності від об'єкта та типа ГУ у секції "Direction" (напрямок) може з'явиться біля *верхньої* радіокнопки напис "Components" (компоненти), "Normal to Element Face" (нормальне до грані CE), "Magnitude Only" (тільки значення) або "On Element" (на CE).

У останніх двох випадках напрямок не потрібен.

Коли з'являється "Components" або "Normal to Element Face", то напрямок дії ГУ можна обирати одним з доступних методів: по-перше, вказуванням значень ГУ як компонентів вектора (у секторі "Load"); по-друге – обиранням відповідної радіокнопки ("Vector", "Along Curve", "Normal to Plane" або "Normal to Surface") та за допомогою кнопки "Specify…" – для завдання необхідного напрямку або об'єкта.

Create Loads on Surfaces				
Load Set 1 Untitled				
Title	Coord Sys 0Basic R	ectangular 🗸		
<u>Color</u> 10 <u>Palette</u> Layer 1			Advanced Load Methods	
Force Force Per Area Force Per Node Moment	nents	od ionstant (ariable	Multiply By Multiply By None Equation Equation	ID ⊻ariable i
Moment Per Area Moment Per Node Displacement Enforced Rotation Velocity	Jurve O Dane Specify	ata Surface Advanced	Multiplier Data Equation 3.7%x Function 0.None	
Rotational Velocity Acceleration Rotational Acceleration Pressure Temperature Element Temperature Element Temperature	Value Time/Freq Dependence 0, 0.None 0.None 0, 0.None 0.None 0, 0.None 0.None	Data Surface	Interpolation Corner Location (XYZ) Value Locate 1 0. 0. 0. Locate 2 0. 0. 0.	<u>O</u> K Cano
Heat Flux Heat Flux Per Area Heat Flux Per Node Heat Generation Element Heat Flux Convection	0, 0.None fig	Cancel]
	a)		٤)	

Рис.4.3. Діалогові панелі для введення: а) – граничних умов; б) – рівняння

Увага: у випадку появи напису "On Element", якщо ГУ задаються на *поверхні* СЕ типа SOLID та AXISYMMETRIC, FEMAP у процесі підготовки до розв'язування задачі *само-стійно* створює на вузлах, що існують та лежать на вказаній поверхні, додаткові неконструктивні СЕ типа "CHBDYi", з допомогою яких і прикладає призначені ГУ і які потім відображаються як "PLOT PLANAR". Якщо їх видалити, то відображення результатів розрахунків на цих поверхнях може порушиться.

Якщо у секції "Method" обрати навіть "Constant", то задані величини можуть змінюватися: умножаться на значення підключеної за допомогою кнопки **b** функції.

Якщо у секції "Method" обрати "Variable", то стає активною кнопка "Advances…" (продовження). Вона викликає діалогову панель "Advanced Load Methods" (див. рис.4.3-б), на якій доступні один … чотири варіанти: "None" (немає), "Equation" (рівняння), "Function" (функція) або "Interpolation" (інтерполяція). Параметрами рівнянь можуть бути лише координати X, Y та Z. *Рівняння* вводиться за правилами алгебри, тільки перед аргументом ставиться окличний знак: !x. Функція обирається зі списку. Її аргументом може бути довжина кривої (11..vs. Curve Length), параметр кривої (12..vs. Curve Param) тощо, тобто геометричні характеристики. *Інтерполяція* – тільки лінійна, вздовж прямої, заданої двома точками або вузлами (для обрання вузлів/точок, що існують, є кнопки "Locate 1" та "Locate 2"). Увага:

- 88 -

обчислене одним з обраних варіантів значення є *масштабним коефіцієнтом*, на який помножуються *усі* значення ГУ (Value), що задані на панелі "Create Loads …".

Якщо у секції "Method" обрати "Data Surface", то у секції "Load" стає активним поле (або декілька полів) "Data Surface …" (цей довгоочікуваний варіант гнучких методів завдання ГУ на поверхнях з'явився лише у FEMAP 9.3!). Правіше від поля "Data Surface …" є кнопка Ш, яка викликає список команд для обирання варіантів завдання граничної умови:

• "Along Coordinates Data Surface" (вздовж координат, див. рис.4.4-а): дозволяє задавати координати (Location X, Y, Z) та скалярні (тільки Value X) або векторні (Value X, Y, Z) значення в них. Можна застосовувати від 3 до 110 точок. Для точного завдання координат шляхом обирання на робочому полі можна використовувати "Snap Mode" (див. останній рядок таблиці 1.4 Розділу 1). Для редагування таблиці є кнопки "Add", "Update", "Delete" та "Reset". Кнопка "Paste" вставляє рядок даних у таблицю із буферної пам'яті (Clipboard). Уведені дані будуть програмою FEMAP спочатку апроксимовані сплайном (*за порядком слідування у таблиці*), а потім – перенесені у вузли скінченно-елементної сітки. За допомогою кнопки "Options…" можна викликати панель "Define Options for Variation" (див. рис.4.4-б), де обрати координатну систему та вказати номер *поверхні*, на яку апроксимоване сплайном навантаження буде проектуватися перед інтерполяцією на вузли. Якщо замість радіокнопки "Define Multiple" обрати "Number of Points", то тут можна буде вказати лише кількість точок, а значення – в редакторі таблиці "Data Surface Editor", який можна потім викликати командою Tools→Data Surface Editor. Роботу з цим редактором таблиць розглянемо у цьому Розділі пізніше;



a)



Рис.4.4. Діалогові панелі завдання: а) – даних вздовж координат; б) – додаткових опцій

• "Between Coordinates Data Surface" (проміж координатами, див. рис.4.5-а): задаються координати двох (на лінії), чотирьох (на поверхні) або восьми (у об'ємі) граничних точок (мінімум та максимум), причому задаються у явному або параметричному (на геометричному об'єкті) варіанті, а також задаються значення граничних умов (скалярні (тільки Value X) або векторні (Value X, Y, Z)) в цих точках. Інтерполяція – лінійна. За допомогою кнопки "Options…" на панелі "Define Options for Variation" (див. рис.4.4-б), що з'явиться, можна обрати координатну систему, а також, якщо координати задавалися параметричним чином, то можна за допомогою опції "Parametric Curve ID" або "Parametric Surface ID" ввести (з клавіатури) номер відповідної лінії або поверхні;

• "Output Map Data Surface" (з результатів розрахунків, див. рис.4.5-б): обирається один з наборів результатів розрахунків та вектор з нього, або після підключення опції "Output By Group" – створена раніше група з необхідними даними. Таким чином можна задавати такі *вузлові* навантаження: сили, момент, зсув, швидкість, обертальна швидкість, прискорення, обертальне прискорення, температура, температурний потік; і такі *елементні*: тиск, температура, температурний потік, конвекція та радіація. Увага: FEMAP не

- 89 -

перевіряє логічність цих призначень. За допомогою кнопки "Options…" на панелі "Define **Options for Variation**" (див. рис.4.4-б), що з'явиться, можна обрати координатну систему, а також у активній секції "Output Map Options" обрати у полі "Values for Locations with No Мар" (значення для місць без "мапи", тобто для тих, що не потрапили у обмежену геометричну область) один з варіантів: "0..Set to Zero" (заповнити нулями), "1..Set to Value" (застосувати введені (у полях "X or Constant", "Y", "Z", які стають активні) значення), "2..Extend Closest" (розширення на самий близький об'єкт), "3..Interpolate" (лінійна інтерполяція – за замовчанням), "4..No Output" (не застосовувати ніяких значень);

Define Variation Between Coordinates Data Surface								
ID 2 Title								
Variation Type	Data Options							
O 2 Point Linear O 2 Point Parametric O Scalar Options								
◯ 8 Point Trilinear								
Variation Locations	Values							
X Y Z	X Y Z							
C1								
C2								
СЗ								
C4								
C5								
C6								
C7								
C8								
<u> </u>	Cancel							
ر لا)							

Define Output	i Map Data Surface 🛛 🛛 🔀
<u>I</u> D 2	Title
Map Output Dat	a
Output Set	1NX NASTRAN Case 1 🛛 🗸
Output Vector	6028Axisym Radial Stress 🛛 🗸
🔲 Output By G	roup
	×
	Options
	<u>O</u> K Cancel

б)

Рис.4.5. Діалогові панелі завдання даних: а) – у межах; б) – з результатів обчислень

• "Mesh Data Surface" (координати – зі скінченно-елементної сітки, див. рис.4.6-а): вводиться значення або функція, яка отримує значення: координат вузлів (XND(), YND() або ZND()), геометричних центрів елементів (XEL(), YEL() або ZEL()) або геометричних центрів сторін елементів (XEF(;), YEF(;) або ZEF(;)). Функції описані у Додатку 2. Кнопка "Select Entities..." викликає стандартний діалог для обирання вузлів або СЕ. За допомогою кнопки "Options…" на панелі "Define Options for Variation" (див. рис.4.4-б), що з'явиться, можна обрати тільки координатну систему;

Define Mesh Data S	urface 🛛 🔀	
ID 2 Title		
Variation Type	Data Options	
💿 Node ID	Scalar Options	Define Equation 🛛 🔀
O Element ID	O Vector	ID 2 Title
C Define/Fill Data Surfac	e Data	/ Define Data
Va	alue / Equation	Csys for Data Surface 0Basic Rectangular
×		Equation
Υ		
z		
	Select Entities	
	<u>DK</u> Cancel	
	a)	ნ)

Рис.4.6. Діалогові панелі завдання даних: а) – з прив'язкою до сітки; б) – формулою

• "Arbitrary 3-D Data Surface" (довільна тривимірна поверхня; діалогова панель має той же вигляд, що й панель на рис.4.5-а): дії такі ж, як у варіанті "Along Coordinates Data Surface" (див. вище), хоча зміст – інший. За допомогою кнопки "Options…" на панелі "Define Options for Variation" (див. рис.4.4-б), що з'явиться, можна обрати координатну систему, а у секції "Arbitrary 3-D Interpolation Options" – увести значення у полях "% Locations to Include" (взяти % від положення) та "Min Locations to Include" (взяти мінімум від положення). При 100% буде засноване середнє значення зі всієї поверхні, а при 0% – значення з поля "Min Locations to Include", яке повинне бути > 1.0;

• "Equation Data Surface" (рівнянням, див. рис.4.6-б): обирається тип координатної системи та уводиться рівняння для обчислення значення функції. Кнопкою "Calculation..." викликається діалогова панель "Equation Editor" (див. рис.1.11-б), де формулу можна ввести за допомогою діалогів у секціях "Variables", "Opt" і "Function" та кнопок "Insert ...";

• "Tabular Data Surface" (таблиця даних поверхні, див. рис.4.7-а). Викликається тільки з панелі "Data Surface Editor". Якщо у секції "Variation Type" обрати варіант "Parametric Table" та ініціювати кнопку "Define Data", то з'явиться панель, що зображена на рис.4.7б, де потрібно вказати uini числа "u Division" та "v Division": буде створена пуста таблиця з vрядків та и стовпців (це є кількістю проміжних точок в кожному з напрямків на поверхні з чотирма сторонами), яка параметричним чином "прив'язується" до поверхні, для якої таблиця створюється. Тоді в таблиці в рядку U та в стовпці V значення повинні бути 0 ... 1, причому саме 0 та 1 відповідають кутам поверхні. Можна вручну заповнити тільки кутові значення, а потім за допомогою кнопки 🌌 дати команду "Interpolate…" – таблиця заповниться інтерпольованими значеннями. У випадку обирання варіанта "XYZ Table" та ініціювання кнопки "Define Data" з'явиться панель, що зображена на рис.4.7-в, де потрібно вказати цілі числа "X Divisions", "Y Divisions" та/або "Z Divisions". Якщо будуть введені значення для всіх трьох осей, то буде створена Z-шарова таблиця з X стовпців та Y рядків кожна, а якщо тільки для одного або двох – одношарова таблиця (ще пуста). За допомогою кнопки "Options..." на панелі "Define Options for Variation" (див. рис.4.4-б), що з'явиться, можна змінити координатну систему для координат таблиці, а також у секції "Tabular Option" для "Undefined Cells" (невизначені чарунки) один із варіантів: "Interpolate from Closest" (інтерполювати від найближчого, за замовчанням) або "Value" (ввести конкретне значення). Спочатку в Z-шаровій таблиці всі Z=0. Щоб увести інше значення, потрібно навести курсор на вкладку понизу, клацнути правою кнопкою миші, обрати команду "Properties..." та ввести значення. За допомогою правої кнопки миші можна додати/вилучити стовпці та рядки таблиці (наводити курсор на X або Y, див. рис.4.8-а), або вкладки (таблиці при інших Z). Увага: обов'язково потрібно давати команду Save для збереження таблиці. Створену таким чином таблицю можна потім підключити зі списку у полі "Data Surface" на панелі "Create Loads..." (див. рис.4.3-а) після обирання варіанта "Data Surface" у секції "Method".

У Help, у розділі 7.2.3.1 Data Surface Definition Methods є приклади застосування цих інструментів з поясненнями.

Додамо, що дані в таблицях можна формувати із застосуванням одного варіанта, а потім за допомогою буферної пам'яті передавати до іншого варіанта. Ще дані можна створювати у будь-якому табличному редакторі, наприклад, у Excel та копіювати через Clipboard.

Define Tabular Data Surface		
ID 2 Title Variation Type Data Options Image: Solution Parametric Table Image: Solution Solutita Solution Solutita Soluti	Define Table Size Varies By u Divisions v Divisions 0 0K	Define Table Size Table Sizes X Divisions Y Divisions Z Divisions D Z Divisions
<u> </u>		
a)	ნ)	в)

Рис.4.7. Діалогові панелі завдання даних таблицею: а) – основна; б), в) – допоміжні

Щодо панелі "Data Surface Editor", про яку йшла мова вище, то вона (див. рис.4.8-а), викликається командою Tools > Data Surface Editor. Вона має, окрім таблиці (або таблиць на вкладках), кнопки керування, описані у таблиці 4.1. Сама ліва з них викликає або діалог обирання існуючих таблиць (за замовченням), або динамічне меню, що зображене на рис.4.8б, з командами обирання описаних вище сімох варіантів створення таблиці даних, з командою обирання існуючих таблиць та командою видалення таблиць.



Рис.4.8. Діалогова панель редагування таблиці (а); динамічне меню команд (б)

	, k		<i>``</i>
F	Завантаження таблиці та виклик ди- намічного меню рис.4.8-б	₩	Виклик динамічного меню з коман- дами збереження
12	Виклик панелей, зображених на рис.4.4-а, рис.4.5 або рис.4.6	6	Видалення таблиці
Æ-	Виклик динамічного меню з коман-	1	Копіювання таблиці у Clipboard
.	Plot Output Map Ta Interpolate		Вставлення таблиці з Clipboard

Таблиця 4.1. Значення електронних кнопок панелі "Data Surface Editor"

4.1.4. Маніпулювання наборами граничних умов

Набір граничних умов – об'єкт, яким можна маніпулювати: копіювати, видаляти, редагувати, комбінувати, масштабувати, перетворювати тощо.

4.1.4.1. Копіювання наборів граничних умов

Командою **Model→Load→Copy...** створюється новий набір ГУ, який є копією активного набору. При цьому можна вказати його номер **ID** та зробити активним. Новий набір буде мати стару назву, а змінити її можна за допомогою команди **Model→Load→Set...**.

4.1.4.2. Видалення та редагування наборів граничних умов

Повне видалення активного набору ГУ проводиться за допомогою команди (загальну частину **Delete→Model→** опускаємо) **Load-Set...**; призначених окремою командою – **Load-Definition...**; тільки початкових – **Load-Body...**; вибірково – **Load-Individual...**. У останньому випадку з'являється панель "**Load Options**" (див. рис.4.9-а), на якій потрібно оставити обраними тільки ті варіанти ГУ, що будуть видалятися.

Для редагування активного набору ГУ дається команда Modify→Edit→Load-Individual ..., на панелі "Select Type of Load", що з'являється (ідентична панелі "Load Options", див. рис.4.9-а, але відсутня кнопка "None/All" та секція "Other Loads", а всі опції, крім "Select All" замінені на радіокнопки), обирається необхідний тип ГУ. Якщо такий тип ГУ дійсно існує та якщо обраний варіант редагування можливий, з'явиться відповідна панель "Create Loads ...", де можна змінити значення ГУ. Інша команда: Modify→Edit→Load-Definition ... викликає список з призначених окремою командою наборів ГУ, після обирання одного з них з'являється відповідна панель "Create Loads ...", де можна змінити значення ГУ.

4.1.4.3. Лінійне комбінування наборів граничних умов

Дається команда Model→Load→Combine..., на панелі "Combine Load Data", що з'являється (див. рис.4.9-б), зі списку "From" обирається черговий набір, встановлюється

- 92 -

масштабний коефіцієнт "Scale Factor", дається команда "Add Combination" (можна використати лише один набір). У полі "То" можна обрати, який набір буде модифікуватися, або, оставивши 0..New Set, ввести у полі "Title" ім'я нового набору ГУ. За замовчанням створюється новий набір з новим **ID** та назвою, яка вказує на створену комбінацію наборів (див. набір 4. на рис.4.9-б, який створено комбінацією наборів 1 та 3 з коефіцієнтами 1. та 4. відповідно). Назву будь-якого набору потім можна змінити за допомогою команди Model→Load→Set.... У нових наборах можлива поява однакових елементів ГУ. Для їх об'єднання необхідно дати команду Tools - Check - Coincident Loads... та вказати ID набору. Якщо такі елементи ГУ знайдені, з'явиться запит про їх об'єднання. Увага: ГУ "Temperature" не комбінуються, а використовується останнє (для даного вузла або СЕ) призначення.



Рис.4.9. Діалогові панелі:

а) – обирання варіантів ГУ; б) – масштабування наборів ГУ; в) – комбінування наборів ГУ

4.1.4.4. Масштабування наборів граничних умов

Дається команда Modify→Update Other→Scale Load...; на панелі "Select Type of Load", що з'являється (ідентична панелі "Load Options", див. рис.4.9-а, але з радіокнопками замість опцій), обирається необхідний тип ГУ. Якщо такий тип ГУ дійсно існує та якщо обраний варіант редагування можливий, з'явиться стандартна панель для обирання об'єктів, до яких прикладені ГУ, потім – панель "Scale Loads By..." (див. рис.4.9-в), де можна вказати масштабний коефіцієнт "Multiply By" та значення, що потім додається (Then Add).

4.1.4.5. Використання результатів розрахунків для завдання граничних умов

Результати розрахунків Nastran поміщає у файли з розширенням імен .op2 (a FEMAP – у файл проекту .mod) у вигляді таблиць зі стовпцями (векторами) значень у вузлах: температура, її градієнти (ТС); переміщення, напруження, інші (НДС). У деяких ситуаціях отримані результати розрахунків використовуються як ГУ для наступних розрахунків. Характерний приклад: розподіл температур – для розв'язку задачі про напружено-деформований стан (НДС) тіла. Інший приклад: НДС тіла як початковий для подальших розрахунків. Виникає необхідність у підключенні або, навпаки, відключенні результатів, їх комбінації, вибірковому підключенні тощо.

Дається команда Model→Load→From Output...; на панелі "Select Type of Load", що з'являється (ідентична панелі "Load Options", див. рис.4.9-а), обирається необхідний тип ГУ (вузлові або елементні). З'явиться панель "Create Loads From Output" (див. рис.4.10-а).

На ній у вікні "Layer" встановлюється номер рівня, у вікні "Output Set" обирається набір результатів розрахунків, у вікнах "X Vector", "Y Vector", "Z Vector", "RX Vector", "RY

Vector" та "RZ Vector" – вектори результатів розрахунків. Якщо створюються елементні ГУ, то необхідно вказати номер сторони (ребра) СЕ (Face ID), до якого ГУ будуть прикладатися.

Create Loads From Output	Map from Model Output	
Load Set 1 Load_01	Source	
Color 10 Palette Layer 1 Output Set 2. Case 1 Time 1.	From Model st_20_NTemp	~
XVector 31Temperature V RX.Vector	Results on Group 1TempEL_01	~
YVector RYVector	Output Set 1Case 1 Time 1.	~
ZVector RZ Vector	Output Vector 31Temperature	~
Face ID Cancel	Values for Locations with No Map 0Set to Zero	~
a)	X or Constant	
Expand Geometric Loads	z	
Load Set 1 Load_01 Operation Expand Expand	Target To Model Loads To Data Surface	
	Nodal Elemental O Pressure	
O Dn Points	Displacement Temperature	
On Curves Cancel	<u>D</u> K Cancel	
в)	ർ)	

Рис.4.10. Діалогові панелі: а) – створення ГУ із результатів розрахунків; б) – створення ГУ із результатів розрахунків іншої моделі; в) – перетворення ГУ

Є можливість використовувати вихідні дані з іншої моделі. Звісно, ці моделі повинні бути спорідненими. Ще одне обмеження: тільки для двовимірних СЕ і тільки переміщення або температури. Модель-джерело потрібно відкрити у FEMAP та створити з необхідних двовимірних СЕ, які мають результати розрахунків, групу (або групи). Потім потрібно перейти до *цільової* моделі, дати команду Model \rightarrow Load \rightarrow Map Output From Model.... На панелі "Map from Model Output", що з'явиться (див. рис.4.10-б), обираються: модель-джерело (у полі "From Model"), група з результатами, вихідний набір (Output Set) та вектор (Output Vector). Ще потрібно у полі "Values for Locations with No Map" обрати, якими значеннями заповнювати дані, що відсутні у моделі-джерела: 0..Set to Zero (нулями), 1..Set to Value (або константою (поле "X or Constant"), або координатами X, Y та Z); 2...Extend Closest (значення - лінійна апроксимація з найближчих двох вузлів); **3..Interpolate** (інтерполювання); **4..No** Output (ніяких значень). У секції "Target" на вкладці "To Model Loads" потрібно вказати, до яких об'єктів навантаження буде прикладатися (вузлів або елементів) та яким чином воно буде трактуватися: як сила (Force), переміщення (Displacement), тиск (Pressure) або темпеpatypa (Temperature). Можна перейти на вкладку "To Data Surface", де набрати ім'я таблиці, яку буде створено (увага: обидві моделі повинні мати СЕ з однаковими номерами). Роботу з цим типом таблиці розглянуто у Розділі 4.1.3.

Після команди "OK" з'явиться панель для обирання вузлів, для яких створюється навантаження згідно з призначеннями у полі "Values for Locations with No Map".

Команда Model→Load→From Freebody... (з вільного тіла) дозволяє створити силове навантаження у вузлах тіла з системи врівноважених сил, яка була отримана у попередньому розрахунку. Щоб команда стала активною, потрібно вивести (зобразити) цю систему на робочому полі. Для цього дається команда "View→Select..." (або "F5"), на діалоговій панелі "View Select", що з'явиться, ініціювати кнопку "Deformed and Contour Data...", потім на панелі "Select Postprocessing Data..." – кнопку "Freebody Display...". З'явиться панель "View Freebody Options" (див. рис.4.11). На ній потрібно встановити опції "Show Freebody Display" (показати вільне тіло), "Show Load Summation" (показати рівнодіюче навантаження) та "Show Load on Interface" (показати навантаження на моніторі). Потім – послідовно давати команди "OK" до повного закриття панелей. Тепер потрібно дати команду

– 94 –

Model→Load→From Freebody..., відповісти на запитання "OK to Create Freebody Resultant Load ?" (створити результуюче навантаження ?) та "OK to Create Individual Freebody Load ?" (створити індивідуальне навантаження ?). Якщо дати стверджувальну відповідь на перше запитання, то при відсутності вузлів у відповідних місцях тіла вони будуть створені та в них буде прикладене навантаження (три сили та три моменти). Якщо дати стверджувальну відповідь на друге запитання, то з'явиться стандартна панель для обирання вузлів, в яких будуть прикладені навантаження.

4.1.4.6. Перетворення граничних умов

ГУ активного набору, що задані на геометричних об'єктах (Point, Curve, Surface), можна перевести до об'єктів СЕС (Nodal, Elemental) або навпаки за допомогою панелі "Expand Geometric Loads" (команда Model→Load→Expand...), де (див. рис.4.10-в) необхідно обрати напрямок перетворення ГУ: до елементів СЕС (Expand) або до геометричних об'єктів (Compress). Коли обрано "Expand", необхідно вказати тип геометричного об'єкта (тут "All in Set" – для усього активного набору ГУ), який потім буде обиратися. Перетворення ГУ у напрямку "Compress" – для усього активного набору ГУ. Перетворення



Рис.4.11. Діалогова панелі опцій Freebody

бувають корисними для подальшого редагування ГУ (команда Modify→Update Other→Scale Load...).

Увага:

• після включення на діалогової панелі опції "Convert To Node/Elem" зворотне перетворення стає неможливим;

• іноді у процесі перетворення або при запуску процесу розв'язування задачі (при створенні файлу задачі з розширенням імені *.dat або *.nas) з'являється повідомлення, що перетворення якогось ГУ неможливе. Це буває тоді, коли для цього тіла на цій СЕС вже розв'язувалася інша задача (наприклад, задача теплопровідності). Тоді, після завдання ГУ на поверхні (див. Розділ 4.1.3), коли з'являвся напис "On Element" (див. рис.4.3-а), FEMAP у процесі підготовки до розв'язування задачі самостійно створив на вузлах, що існують та лежать на вказаних поверхнях, додаткові неконструктивні СЕ типа "CHBDYi", до яких і прикладав призначені ГУ. Отже, після цього СЕС містить такі СЕ (ідентифікуються як "PLOT PLANAR"), і саме вони можуть перешкоджати проведенню перетворень у майбутніх призначеннях (це, мабуть, помилка у коді FEMAP, яка була і в попередніх версіях). Щоб ліквідувати цю проблему, потрібно видалити усі (або тільки у проблемному місці) неконструктивні СЕ типа "PLOT PLANAR". Для часткового видалення – дати команду Delete→Model→Element..., знайти СЕ типа "PLOT PLANAR", які потрібно видаляти, на СЕС моделі тіла. Для повного видалення – дати команду Delete-Model-Element..., ініціювати кнопку "Method^", призначити метод "Туре", знайти один СЕ типа "PLOT PLANAR" на СЕС моделі тіла або знайти цей тип у списку "Туре" на панелі (він позначений як 32..L Plot Planar, тобто має номер типа 32). Коли СЕ обрані – дати команду "ОК";

• після завершення перетворень є сенс перевірити результати. Звичайно це зручно робити за допомогою команди List→Model→Load-Definition....

4.2. Створення завдання й запуск процесу розрахунку крайової задачі

4.2.1. Про запуск процесу розрахунку крайової задачі

Процес розрахунку крайової задачі можна розпочати з FEMAP за допомогою:

_

• команди Model->Analysis...: створення/активування/запуск відповідного завдання;

- 95 -

ancel

• команди File→Analyze..., яка має дублікат – кнопку "Analyze Model" у мнемонічному меню "Model" (див. табл.1.1 Розділу 1).

Export Method	\mathbf{X}
Export Using Analysis Set Activate Analysis Set	
0None	~
<u>Create/Edit Set</u>	
Other Interfaces	<u>OK</u> Cancel

Рис.4.12. Діалогова панель активування завдання задачі

Якщо завдання ще не створено, або немає активного завдання, то другий варіант викликає діалогову панель "Export Method" (див. рис.4.12), де необхідно або обрати раніше створене завдання зі списку "Activate Analysis Set", або дати команду "Method Create/Edit Set", що викличе діалогову панель "Analysis Set Manager" (див. рис.4.13-а), як і команда Model→Analyze....

При цьому у якості аналізатора можна застосовувати NX Nastran або декілька інших програм.

Якщо у проекті вже ϵ активне завдання, то після команди File \rightarrow Analysis... відразу же починається процес аналізу.

€ ще один варіант: за допомогою команди File→Export→Analysis Model... створюється файл задачі для передавання в інші програми.

Примітка 4.1. Якщо на вкладці "Interfaces", яка викликається командою File->Preferences..., встановити опцію "Enabled Old Analysis Interfaces" (див. рис.1.6-а), то буде спрацьовувати кнопка "Other Interfaces" (див. рис.4.12), яка буде викликати діалогові панелі для запуску процесу розрахунку без створення завдання на проведення аналізу крайових задач, які були характерні для випусків FEMAP до версій 9.х. Далі цей варіант не розглядаємо, як застарілий.

Leskels Cathlesses (Lation 4, Clark 04)		
Analysis Set Manager (Active: 1Static_01)		Analysis Set
 Analysis Set : 1.Static_01 Solver : NX Nastran Type : Static Analyze : Local Options NASTRAN Executive/Solution NASTRAN Bulk Data NASTRAN Belk Data NASTRAN MODELCHECK Master Requests and Conditions Title : Untitled Boundary Conditions Output Requests No Cases Defined 	Analyze Export Active Preview Input MultiSet Copy Delete	Ţitle Analysis <u>P</u> rogram 36NX Nastran Analysis Type 1Static Bun Analysis Using Vi Ne <u>s</u> t <u>D</u> K (0) 6)
	<u><u> </u></u>	Activate Analysis Set D 2NX Nastran Modes Analysis Set 0None - Ignore 1NX Nastran Static Analysis Set
a)	Done	B)

Рис.4.13. Діалогові панелі:

a) – створення та загального керування завданнями; б) – початок створення нового завдання; в) – активізації завдання

4.2.2. Ідентифікатори та коди основних типів крайових задач у NX Nastran 5.0

У таблиці 4.2 наведені типи крайових задач, назви ідентифікаторів, номера кодів та короткі пояснення для типів крайових задач, які можуть бути сформовані у FEMAP для NX Nastran (NX Nastran має ще декілька типів задач – див. табл. Д9.1 і табл. Д9.2 Додатка 9). У таблиці 4.3 наведені обмеження властивостей СЕ для типів крайових задач 601 та 701.

4.2.3. Діалогова панель "Analysis Set Manager": створення завдань на проведення аналізу зі стандартним набором параметрів

Для створення завдання на проведення аналізу крайових задач є діалогова панель "Analysis Set Manager" (див. рис.4.13-а).

Спочатку діалогова панель "Analysis Set Manager" є пустою. Кнопкою "New" викликається діалогова панель "Analysis Set" (див. рис.4.13-б), де потрібно вказати назву нового за-

- 96 -

вдання (Title), обрати зі списків програму для аналізу (Analysis Program) та тип крайової задачі (Analysis Type) – див. табл.4.2.

1Static SESTATICS 101 Лінійний статичний аналіз 2Normal Modes / SEMODES 103 Власні частоти та форми коливань 2Normal Modes / SEDCEIG 107 Прямий комплексний аналіз власних частот (Direct Complex ElGenvalues) SEMCEIG 110 Модальний комплексний аналіз власних частот (Modal Complex ElGenvalues) SEMCEIG 110 Модальний процес у час (прямий перехідний аналіз, Direct TRANsient Response) 3Transient Dynamic / SEMTRAN 109 Перехідний динамічний процес у час (прямий перехідний аналіз, Modal TRANsient Response) 4Frequency / Harmonic SEDFREQ 108 Прямий частотній аналіз / гармонійни відгук (Direct FREQuency Response)	Стан	Тип крайової задачі	Ідентифі- катор	Код	Пояснення
2Normal Modes / Eigenvalue SEMODES 103 Власні частоти та форми коливань SEDCEIG 107 Прямий комплексний аналіз власних частот (Direct Complex ElGenvalues) SEMCEIG 110 Модальний комплексний аналіз власних частот (Modal Complex ElGenvalues) 3Transient Dynamic / Time History SEDTRAN 109 SEMTRAN 109 Перехідний динамічний процес у час (прямий перехідний аналіз, Direct TRANsient Response) 4Frequency / Harmonic Response SEDFREQ 108 Moganu wě vactorniň ananis / rapmoniční SEDFREQ 108		1Static	SESTATICS	101	Лінійний статичний аналіз
2Normal Modes / Eigenvalue SEDCEIG 107 Прямий комплексний аналіз власних частот (Direct Complex EIGenvalues) SEMCEIG 110 Модальний комплексний аналіз власних частот (Modal Complex EIGenvalues) 3Transient Dynamic / Time History SEDTRAN 109 Перехідний динамічний процес у час (прямий перехідний аналіз, Direct TRANsient Response) 4Frequency / Harmonic Response SEDFREQ 108 Прямий частотній аналіз / гармонійни відгук (Direct FREQuency Response)			SEMODES	103	Власні частоти та форми коливань
Eigenvalue SE <u>DCERC</u> 107 частот (Direct Complex ElGenvalues) SEmail International Internation International Internation International International International International Internation International Internation International Internation International Internation International Internation Internation Internation Internation Internation Internation International Internation International Internation International Internation International Internation International Internation Internati		2Normal Modes / Eigenvalue	SEDCEIG	107	Прямий комплексний аналіз власних
SEMCEIG 110 Модальний комплексний аналіз власн частот (Modal Complex EIGenvalues) 3Transient Dynamic / Time History SEDTRAN 109 Перехідний динамічний процес у час (прямий перехідний аналіз, Direct TRANsient Response) 3Transient Dynamic / Time History SEDTRAN 109 Перехідний динамічний процес у час (модальний перехідний аналіз, Modal TRANsient Response) 4Frequency / Harmonic Response SEDFREQ 108 Прямий частотній аналіз / гармонійни відгук (Direct FREQuency Response)			<u>Deno</u>	107	частот (<u>Direct C</u> omplex <u>EIG</u> envalues)
3Transient Dynamic / Time History SEDTRAN 109 Перехідний динамічний процес у час (прямий перехідний аналіз, <u>D</u> irect <u>TRANsient Response</u>) 4Frequency / Harmonic Response SE <u>DFREQ</u> 108 Прямий частотній аналіз / гармонійни відгук (<u>Direct FREQ</u> uency Response)			SE <u>MCEIG</u>	110	Модальний комплексний аналіз власних частот (<u>M</u> odal <u>C</u> omplex <u>EIG</u> envalues)
3Transient Dynamic / Time History SEDTRAN 109 (прямий перехідний аналіз, <u>D</u> irect <u>TRANsient Response</u>) 8 SE <u>MTRAN</u> 112 Перехідний динамічний процес у час (модальний перехідний аналіз, <u>M</u> odal <u>TRANsient Response</u>) 4Frequency / Harmonic Response SE <u>DFREQ</u> 108 Прямий частотній аналіз / гармонійни відгук (<u>Direct FREQ</u> uency Response)					Перехідний динамічний процес у часі
3Transient Dynamic / Time History Image: Transient Response) 3Transient Dynamic / Time History SEMTRAN SEMTRAN 112 Image: Comparison of the problem of th			SE <u>DTRAN</u>	109	(прямий перехідний аналіз, <u>D</u> irect
Time History Перехідний динамічний процес у час (модальний перехідний аналіз, <u>M</u> odal <u>TRANsient Response</u>) 4Frequency / Harmonic SE <u>DFREQ</u> 108 Прямий частотній аналіз / гармонійни відгук (<u>Direct FREQ</u> uency Response)		3Transient Dynamic /			<u>TRAN</u> sient Response)
SEMTRAN 112 (модальний перехідний аналіз, Modal TRANsient Response) 4Frequency / Harmonic SEDFREQ 108 Прямий частотній аналіз / гармонійни відгук (Direct FREQuency Response)		Time History			Перехідний динамічний процес у часі
Уще <u>TRAN</u> sient Response) 4Frequency / Harmonic SEDFREQ 108 Прямий частотній аналіз / гармонійни відгук (Direct FREQuency Response) Response Модациций настотній аналіз / гармонійни			SE <u>MTRAN</u>	112	(модальний перехідний аналіз, <u>M</u> odal
відгук (Direct FREQuency / Harmonic SEDFREQ 108 Прямий частотній аналіз / гармонійни відгук (Direct FREQuency Response) Веропяс Модациций цастотній аналіз / гармонійни	ий				<u>TRAN</u> sient Response)
відгук (Direct FREQuency Response) Відгук (Direct FREQuency Response)	ан		SEDFREO	108	Прямий частотній аналіз / гармонійний
	[0B	4Frequency / Harmonic		100	відгук (<u>Direct FREQ</u> uency Response)
SEMFREO 111 WOddaishuu dactorniu analis / rapmon	жено-деформ	Response	SEMFREO	111	Модальний частотній аналіз / гармоній-
е ний відгук (<u>M</u> odal <u>FREQ</u> uency Respon			SEDTRAN		ний відгук (<u>M</u> odal <u>FREQ</u> uency Response)
5 Response Spectrum SEDTRAN 109 Генерування спектра відгуку (Respon		5 Response Spectrum		109 111	Генерування спектра відгуку (Response
Substitution Spectrum Generation)					Spectrum Generation)
Модальний частотній аналіз з пост-п		6Random Response	SEMFREQ		Модальний частотній аналіз з пост-про-
6Random Response SEMFREQ III цесорною обробкою для визначення х	ſŊ				цесорною обробкою для визначення ха-
рактеристик стохастичного зоудженн	Iar	7.D.11	GEDUCKI	107	рактеристик стохастичного зоудження
→ /Buckling SEBUCKL 105 CTIUKICTE	щ	/Buckling	SEBUCKL	105	Стикість
8. Design Optimization DESOPI 200 Оптимізація		8Design Optimization	DESOPT	200	Оптимізація
10Nonlinear Static NLSTATIC 106 Нелінійний статичний аналіз		10Nonlinear Static	NLSTATIC	106	Нелінійний статичний аналіз
12Nonlinear Transient		12Nonlinear Transient	<u>NLTRAN</u>	100	Нелінійний/лінійний перехідний
Response <u>NLIKAN</u> 129 <u>Динамічний аналіз (Nonlinear or Linea</u>		Response		129	динамічний аналіз (<u>Nonlinear or Linear</u>
<u>IRANsient Response</u>					<u>IRAN</u> sient Response)
NXSTRAT 601 HEINHIUHUU AHAJI3 CTATUUHUX		22Advanced Nonlinear	NXSTRAT	601	Нелінійний аналіз статичних
Static lipotecib		Static			
Transient NXSTRAT 601 HONOROBUL HEINHUHUU AHAII3		Z5Advanced Nonlinear	NXSTRAT	601	Покроковии нелининии анализ
24. A dvoneod Nonlineor		24 Advanged Nonlinear			Перехідних (динамічних) процесів
Evalicit NXSTRAT 701		Explicit	NXSTRAT	701	ЛВНИИ НЕЛІНІИНИИ АНАЛІЗ
20. Steady-State Heat Станіональний тапловий оноліа (лінійн		20 Steady-State Heat			динамичних процеств Станіонарний теплорий аналіа (ліційний
20 Стацюнарний тепловий аналіз (ліній) Тransfer NLSCSH 153 або недінійний	-0,	Transfer	NLSCSH	153	стацюнарний тепловий аналіз (лінійний)
аоб полнинии) В Я Нестаціонарний тепловий ацаліз (піц	епл				Нестаціонарний тепловий аналіз (ліцій-
Г 21Transient Heat Transfer NLTCSH 159 ний або нелінійний)	É	21Transient Heat Transfer	NLTCSH	159	ний або нелінійний)

Таблиця 4.2. Ідентифікатори та коди основних типів крайових задач NX Nastran

На панелі "Analysis Set" ще є опція "Run Analysis Using VisQ", ініціація якої дозволяє запустити аналіз з використанням програмного сервера VisQ (є у складі UGS.F93), який передає файл-завдання на іншу ЕОМ та отримує з тієї ЕОМ результати розрахунку.

Після команди "OK" на діалоговій панелі "Analysis Set Manager" буде сформовано завдання для крайової задачі зі стандартним набором параметрів (див. рис.4.13-а). Можна створити декілька таких завдань.

За допомогою кнопки "Active…" викликається діалогова панель "Activate Analysis Set" (див. рис.4.13-в), де одне із завдань призначається активним або проводиться їх дезактивація (0.. None – Ignore). Кнопкою "Save…" здійснюється запис завдань у файл analysis.esp (у робочій папці), а кнопкою "Load..." – їх читання з цього або іншого файлу. За допомогою кнопки "Copy" створюється копія виділеного завдання, а кнопки "Delete…" проводиться видалення завдань, для обирання яких буде застосовано стандартну процедуру. Якщо для задачі - 97 -

було сформовано декілька наборів навантажень або закріплень, то буде активною кнопка "**MultiSet…**" – для створення багатоваріантного завдання для аналізу. Кожну складову завдання можна редагувати: кнопкою "**Edit…**": викликається відповідна діалогова панель.

	R	od	Beam		Shell		2D Solid		3D Solid	
	601	701	601	701	601	701	601	701	601	701
Elastic	т	Т	<u>т</u>	<u>т</u>	–				Т	т
isotropic	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т		Т	Т
Thermal	+	+			+	+	+		+	+
Creep	+				+		+		+	
Elastic					-	<u>т</u>			Т	Т
orthotropic					Т	Т			т	Ŧ
Thermal					+	+			+	+
Plastic	+(*)	+ (*)	+ (*)	+ (*)	+	+	+		+	+
isotropic					1	1			-	-
Thermal	+	+			+	+	+		+	+
Hyperelastic							+		+	+
Gasket									+	
Nonlinear										
elastic	+	+								
isotropic										
+(*) – без теплових деформацій										

Таблиця 4.3. Властивості СЕ та матеріалу у типах крайових задач 601 та 701

Кнопкою "Preview Input", коли вона є активною, викликається діалогова панель "Preview Analysis Input File" (див. рис.4.14), на якій можна побачити зміст активного файлузавдання, який буде передаватися аналізатору (NX Nastran або іншому, у відповідному форматі). Якщо встановити опцію "Edit Preview", то завдання можна редагувати з клавіатури (іноді це необхідно робити). За допомоги кнопки "Export" можна зберегти файл-завдання у файловій системі; кнопка "Analyze" запускає процес аналізу активного завдання, а кнопка "Done" закриває діалог.

Preview Ana	lysis Input	File						
< 1 ><	2 >< :	3 ≻≺	4 ≻<	5	><	6		
NASTRAN SYS	((3) STEM(319):	= 1					^	
ID st, Femap SOL SESTATI	, ICS						=	
TIME 10000								
CEND TITLE = N	IV Northon				. +			
ECHO = NO	NE	n boabit	- Analy					
DISPLACEN	IENT (PLOT) = ALL						
OLOAD (PLC	(PLOT) = . (T) = ALL	АГГ						
FORCE (PLC	T, CORNER) = ALL						
STRESS(PL SPC = 1	OT, CORNE	R) = ALI	5					
LOAD = 1								
BEGIN BULK	*******	*******	******	*****	****	****	.	
\$ Writter	ı by : Fei	map with	n NX Na	stran				E dà Descriero
\$ Version	1 : 9.3	30	_					
\$ From Mc	del : H:	Works_H	a Femap93'	st_1	D_NL	. MOI		
\$ Date	: Th	u Nov 13	8 21:36	48 20	008			Analuze
\$							·	Analyze
PARAM, POST,	-1							Export
PARAM, OGEON PARAM, AUTOS	I, NO IPC. YES							
PARAM, K6ROT	,100.							
PARAM, MAXRA	TIO, 1.E+	8						Done
CORD2C	1	0	ο.	(ο.		~	
L								

Рис.4.14. Діалогова панель попереднього переглядання файлу-завдання

Кнопки "Export", "Done" та "Analyze" з тим же призначенням є й на діалоговій панелі "Analysis Set Manager".

Завдання, окрім основного підрозділу, має підрозділи "Options" та "Master Request and Conditions" (див. рис.4.13-а), які у свою чергу, мають теж підрозділи. кількість та назва підрозділів залежить від типа задачі та від аналізатора, а зміст може змінюватися за допомогою діалогових панелей, доступ до яких можна отримати за допомогою кнопки "Edit…" (див. рис.4.13-а) або "Next…" (див. рис.4.13-б).

Потрібно мати на увазі, що файл завдання для Nastran (з розширенням імені *.dat або *.nas) має 5 груп (секцій) даних, до яких поміщаються, зокрема, й параметри підрозділів "Options" та "Master Request

and Conditions", а також три спеціальні команди:

- параметри Nastran (секція "NASTRAN Statement");
- файлові параметри (секція "File management Statements");
- параметри типа розрахунку (секція "Executive Control Statements");
- CEND (команда закінчення трьох попередніх секцій);

• параметри варіантів розрахунків і даних розрахунку (секція "Case Control Commands");

- BEGIN BULK (команда початку блоку даних скінченно-елементної моделі задачі);
- масив даних скінченно-елементної моделі задачі (секція "Bulk Data");
- END DATA (команда закінчення блоку даних скінченно-елементної моделі задачі).

4.2.4. Настроювання рестарту процесу розрахунку крайової задачі у Nastran

Якщо на панелі "Analysis Set Manager" (див. рис.4.13-а) обрати підрозділ "NASTRAN Executive/Solution" розділу "Options", то після ініціювання кнопки "Edit" з'явиться панель "NASTRAN Executive and Solution Options" (див. рис.4.15-а). На ній у секції "Restart Control" для створення файлу рестарту типа *. MASTER ініціюються опція "Save Databases for Restart" та (коли попереднім процесом вже створено файл рестарту типа *. MASTER) опція "Restart Previous Analysis" (провести рестарт попереднього аналізу), а у полі "From" обирається відповідний файл рестарту типа *.MASTER (рестарт необхідний для декількох типів задач, про що буде вказано у відповідних місцях).

		NASTRAN Bulk	Data Options		×
NASTRAN Executive and Solution Options		Po	rtion of Model to Write	0Entire Mo	del 🗸
Direct Output To					Format
Executive Control	MSC/MD Nastran Version	AUTOSPC	0Eigenvalue	~	Small Field O Large Field (CSue Material Brop)
Problem ID	Ver 2001 Ver 2004 or later Previous Versions		1		Large Field (Csys, Node)
Max Time (in minutes) 10000,	Solution Options	K <u>6</u> ROT	100,		C Large Field (All But Elements)
Diagnostics	Iterative Solver 00ff	MAXRATIO	10000000,		
System Cells	Number of Processors		0,01		Plate, Beam and Higid Uptions
Extended Error Messages			AUTOMPC		Skip Beam/Bar Cross Sections
Save Databases for Restart	Previous Analysis		DDRMM off		Rigid Element Thermal Expansion
Erom		LGSTRN			Manual Control
Manual Control		PRGPS <u>T</u>	• On • Of	f	End Text at End of File Outside Bulk
Skip Standard Executive Control	Start Text	SRCOMPS (L	.aminate Strength Ratio	Output)	Start Text End Text
Ne <u>x</u> t Scratch Files	<u>D</u> K Cancel	NOFISR (No	Laminate Failure Result	s in F06)	
			Ne <u>x</u> t		<u>D</u> K Cancel
a)				б)	

a)

Рис.4.15. Діалогові панелі настроювання даних та параметрів секцій "NASTRAN Executive/Solution" (а) та "Bulk Data" (б) файлу *.dat

4.2.5. Опції панелі "NASTRAN Executive and Solution Options"

Підрозділ "NASTRAN Executive/Solution" розділу "Options" на діалоговій панелі "Analysis Set Manager" настроюється за допомогою діалогової панелі "NASTRAN Executive and Solution Options" (див. рис.4.15-а).

У полі "Direct Output To" можна задати (створити) робочу папку для проекту.

У секції "Executive Control" можна встановити опцію "Extended Error Messages" (виводити розширені описи помилок у файл *. f06, а також задати:

• "Problem ID" (шлях у файловій системі та назва проекту – файлу *.mod);

• "Solution Override" (змінну або код типа задачі (див. табл.4.2), яка вказує на DMAP - послідовність алгоритмів для отримання розв'язку задачі);

• "Max Time (in minutes)" (максимальний час на розв'язування задачі, у хвилинах);

• "Diagnostics" (параметри діагностування), які можуть мати значення від 1 до 64 (див. Додаток 10). Їх можна вказувати через кому. Вони допомагають встановити деякі причини помилок при розв'язуванні задач. Повідомлення виводяться у файли з розширенням імен ***.f06** та ***.pch**;

• "System Cells" (параметри підсистем Nastran. Має формат запису SYSTEM (#)=#, ..., SYSTEM (#)=#, наприклад: SYSTEM (319)=1. Тут 319 – номер підсистеми Nastran, яка виводить розширені повідомлення про помилки).

Примітка 4.2. Таблиця з номерами "System Cells" (від 1 до 426) та поясненнями поміщена у Розділі "1.2. The NASTRAN Statement" книги "NX Nastran Quick Reference Guide", електронний варіант якої містить файл …\FEMAP93\nastranhelp\NXNastran\nast\misc\doc\ docs\pdf\qgr.pdf.

У секції "MSC/MD Nastran Version" можна вказати версію MSC/MD Nastran (2001 або 2004 та пізніші).

У секції "Solution Options" можна у полі:

• "Number of Processors" вказати кількість процесорів у ПЕОМ (>1);

• "Iterative Solver" обрати ітераційний метод розв'язування системи алгебраїчних рівнянь: "0..Off" (не використовувати) "1..On" (використовувати, метод за замовчанням) "2..Elemental Iter" (метод простих ітерацій). Його можна застосовувати при значної кількості рівнянь у САР;

• "Solver Memory (Mb 0=Auto)" вказати обмеження на розмір оперативної пам'яті під процес розв'язування системи алгебраїчних рівнянь, у мегабайтах (за замовчанням – автоматично).

Секція "Manual Control" має опцію "Skip Standard Executive Control", при ініціації якої стандартна діагностика буде пропущена, крім тієї, яка буде задана за допомогою кнопок "Start Text" та "End / DMAP Text". Ці кнопки викликають панель, яка дозволяє у текстовому режимі вводити з клавіатури (або зчитати вміст файлу з файлової системи ПЕОМ) параметри та/або пояснення, або зробити посилання на такий файл у вигляді команди включення (INCLUDE). Ці тексти будуть поміщені у файл завдання (*.dat або *.nas) на початок ("Start Text") або кінець ("End / DMAP Text") першої секції цього файлу (від 2-го рядка або перед рядком з написом CEND). На редакційній панелі відображається *повний* вміст цих текстів.

Увага: всі рядки пояснень повинні починатися зі знаку \$.

За допомогою кнопки "Scratch Files..." можна створити дві папки ...\Scratch (для розміщення тимчасових файлів Nastran) на різних логічних дисках файлової системи, а також максимальний розмір цих папок, якщо це потрібно.

4.2.6. Опції панелі "NASTRAN Bulk Data Options"

Підрозділ "NASTRAN Bulk Data" (всі деталі моделі для Nastran) розділу "Options" настроюється за допомогою діалогової панелі "NASTRAN Bulk Data Options" (див. рис.4.15-б).

Наверху панелі є поле "**Portion of Model to Write**" (записати частку моделі до …) для обирання варіантів: "**0..Entire Model**" (уся модель) або інших.

У секції "**PARAM**" можна змінити або додати до моделі декілька внутрішніх параметрів, які модифікують модель або керують процесом розв'язування задачі.

Параметри секції "PARAM" мають такі призначення та значення:

• "AUTOSPC" (від AUTOmatic Single-Point Constraint) – задає дію, коли у матриці жорсткості тіла ідентифікується особливість. AUTOSPC=YES вимагає автоматичним чином обмежувати позамежні значення (за замовчанням = 10^{-8}). Увага: навіть якщо це вдалося (не було фатальної помилки), то буде відповідне повідомлення. Потрібно знайти, виправити помилку та знов виконати розв'язок. Звичайні причини: тіло погано закріплено (має можливість зміщатися у просторі як жорстке ціле) або нульові значення характеристик матеріалу. У файлі проекту *.f06 створюється таблиця "сингулярних" вузлів "GRID POINT SINGULAR-ITY TABLE", де застосовуються такі позначення: "G" – вузол, "S" – скалярна точка, "FAILED DIRECTION" – проблемний напрямок, "STIFFNESS RATIO" – відносна жорсткість, "BF" та "F" – вказівки на відсутність зв'язків ("старий" статус) "SB" та "S" – накладені зв'язки ("новий" статус). Є два варіанта: "0..Eigenvalue" (власні значення, для чого зв'язки не обов'язкові) та "1..Singular Value Decomposition" (метод розкладання сингулярних значень – SVD). Значення AUTOSPC= NO за замовченням – для задач типа 4, 106, 129, 153 та 159 (див. таблицю 4.2); • "GRDPNT" – номер вузла, відносно якого розраховуються масово-інерційні характеристики тіла (виводяться у файл *.f06). Якщо GRDPNT=0 (за замовчанням), то вони розраховуються відносно початку координатної системи;

• "WTMASS" – число, на яке помножуються всі масові характеристики моделі (густина, маса, інерція для СЕ типа MASS та матричні значення СЕ типа MASS MATRIX) – ко-ефіцієнт мас. За замовчанням WTMASS =1.0;

• "К6ROT" – коефіцієнт фіктивної жорсткості при обертанні навколо нормалі до поверхні СЕ типа PLATE *першого* порядку апроксимації (CTRIA3 – 3 вузла та CQUAD4 – 4 вузла). За замовчанням для типів задач 106, 129, 153 і 159 (див. таблицю 4.2) він дорівнює 100, для інших – нулю. Рекомендовані значення: від 0 до 100, найбільші – для нелінійного та частотного аналізу. В якості альтернативи в секції "Plate, Beam and Rigid Options" можна встановити опцію "All Plates as QUARDR/TRIAR". Тоді всі СЕ типа PLATE не будуть контролювати ступінь свободи "R3", тобто обертання вузлів СЕ навколо нормалі до площини СЕ (це – лише альтернативный варіант апроксимації розв'язку), а введене значення "K6ROT" – ігнорується. СЕ "CQUADR" та "CTRIAR" рекомендують застосовувати для *плоских* конструкцій *без значних згинаючих зусиль* (розв'язки – наближені до мембранних);

• "MAXRATIO" – максимально допустиме відношення діагонального члена матриці жорсткості (або теплопровідності) до недіагонального з трикутної матриці після розкладання вихідної матриці на дві трикутні згідно з методом Холецького. За замовчанням MAXRATIO =10⁸. Інакше матриця вважається виродженою (фатальна помилка). Це буває у двох випадках: коли тіло не закріплено або коли у скінченно-елементній моделі є сполучення CE з дуже різними жорсткостями;

• "NDAMP" – величина "коефіцієнта демпфірування", що вводиться штучно для стабілізації процесу обчислення для задач типа 129, 159 (нелінійні нестаціонарні задачі, див. таблицю 4.2) у випадку застосування адаптованого часового кроку. За замовчанням NDAMP=0.01. Величина NDAMP=0 відміняє це штучне "демпфірування". Рекомендуються значення від 0.0 до 0.1.

У секції "РАВАМ" ще є такі опції (без можливості зміни значень):

• "INREL" – опція обчислення інерційного "облегшення" або примусового прискорення для типів задач 101, 105 та 200. За замовчанням INREL=0 – не обчислювати (статичний аналіз). При INREL=-1 та INREL=-2 до вектору навантажень додається вектор навантажень, помножений на деяку матрицю (докладніше – у розділах "Data Recovery Operations in SubDMAP SEDISP", "Buckling Analysis in SubDMAP MODERS" та "Automatic Inertia Relief" у книзі "NX Nastran User's Guide", електронний варіант якої містить файл ...\FEMAP93\nastranhelp\NXNastran\nast\misc\doc\docs\pdf\user.pdf). Для ініціації опції додатково можна застосовувати параметр "SUPORT" (див. табл.4.5 та Розділ 4.2.10);

• "LANGLE" – опція застосування алгоритму "карданний підвіс" для більш точного обчислення великих кутів повороту (більше 90 градусів) вузлів СЕС при розв'язуванні крайових задач зі значними переміщеннями. Застосовується одночасно з опцією "LGDISP". За замовчанням LANGLE=1 для задач типа 106, 129, 153 та 159 з геометричною нелінійністю. При встановленні LANGLE=2 застосовується метод Rotation Vector. Не можна змінювати її значення при наступному рестарті;

• "LGDISP" – опція керування алгоритмом значних переміщень. Якщо її відключити (LGDISP=-1), то буде застосовуватися формула (Д5.6) Додатка 5 (малі деформації). При включеної опції (тоді LGDISP=1), буде застосовуватися формула (Д5.5) Додатка 5 (для задач типа 106, 129, 153, 159, 601 та 701 з геометричною нелінійністю), крім того, сили будуть "стежити" за переміщеннями та обертаннями об'єктів, до яких вони прикладені (для відклю-чення "стеження" LGDISP=2, тільки для задач типа 106, 129, 153 та 159). При LGDISP=0 додаються лінійна та нелінійна матриці дотичної жорсткості;

• "LGSTRN" – опція керування алгоритмом обчислення напружень при значних переміщеннях. Тільки для задач типа 601 та 701;

-101 -

• "PRGPST" – виводити таблицю сингулярних вузлів у файл *.f06 (див. вище про параметр "AUTOSPC");

• "ОGEOM" – виводити блоки даних геометрії у файл завдання на розрахунок;

• "SRCOMPS (Laminate Strength Ratio Output)" – виводити співвідношення сил згину для багатошарових (композитних) СЕ. За замовчанням SRCOMPS=NO;

• "NOFISR (No Laminate Failure Results in F06)" – при NOFISR>0 не виводити ніяких повідомлень про багатошарові СЕ у файл *.f06. За замовчанням NOFISR=0;

• "AUTOMPC" – перевіряти набір MPC – набір з формульними зв'язками переміщень у вузлах. За замовчанням AUTOMPC=NO;

• "DDRMM off". За замовчанням DDRMM=0 (опція не активна). Тоді в задачах про перехідні модальні процеси та частотний аналіз використовується матричний метод відновлення даних. При DDRMM=-1 – всі матриці обчислюються знов зі "зсувом" частот. Також див. про опцію "MODACC";

• "MODACC". За замовчанням MODACC=-1 (опція не активна). При ініціації опції (MODACC=0) автоматично ініціюється опція "DDRMM off" (DDRMM=-1), після цього при динамічному аналізі буде використовуватися метод "зсуву" частот з використанням набору "QSET" (див. табл.4.5 та Розділ 4.2.10). При MODACC=1 (за допомогою кнопки "Start Text" ввести рядок PARAM,MODACC,1) додатково враховуються дані набору "SUPORT" (див. табл.4.5 та Розділ 4.2.10). Значення MODACC≥0 не рекомендується застосовувати для задач гідропружної динаміки;

• "RESVEC". За замовчанням RESVEC=NO. Якщо опцію ініціювати (RESVEC= YES), то у файл *.f06 буде виведена діагностика для навантажень, що були підключені у секції "Nodal" для "Applied Load" на панелі "NASTRAN Output Requests" (див. рис.4.19-б), а також для інерційних або одиничних сил (динамічний аналіз). Ці дані значно покращать результати модального динамічного аналізу відгуку (modal dynamic response analysis). Якщо тіло – не закріплено, то для отримання цих даних (Applied Load) необхідно підключити набір "SUPORT" (див. табл.4.5 та Розділ 4.2.10).

Примітка 4.3. Повна таблиця з параметрами NX Nastran та поясненнями поміщена у Розділах "7.1. Parameter Descriptions" (зі стор. 589) та "10 … 19. Bulk Data Entries" (зі стор. 795) книги "NX Nastran Quick Reference Guide", електронний варіант якої містить файл …\FEMAP93\nastranhelp\NXNastran\nast\misc\doc\docs\pdf\qgr.pdf.

У секції "Format" за замовчанням обрано "Small Field", тобто короткий формат запису даних у файли (8 позицій для дійсних чисел, якими звичайно є координати вузлів, характеристики матеріалів та інші дані). Коли ця точність не задовольняє, потрібно обрати "Large Field" (по 16 позицій) для усіх даних або для вказаних у лобках. Увага: формат "Large Field" значно збільшує об'єм робочих файлів Nastran.

У секції "Plate, Beam and Rigid Options" можна встановити опції: "All Plates as QUARDR/TRIAR" (всі СЕ типа PLATE будуть мати обертальну жорсткість у напрямку нормалі до поверхні, як у QUARDR/TRIAR (за замовчанням створюються СЕ QUARD4 або TRIA3 без обертальної жорсткості)); "Skip Beam/Bar Gross Sections" ("скидання" даних про перетин СЕ типа BEAM та BAR – для застарілих версій Nastran, які не сприймають оновлений набір характеристик перетину таких CE); "Rigid Element Thermal Expansion" (СЕ типа RIGID має таку характеристику, як коефіцієнт температурного розширення – для версій NX Nastran (від 5.0) та MSC/MD Nastran (від 2005 р.).

У секції "Manual Control" є дві опції: "Skip Standard Bulk Data" (не писати стандартний набір загальних даних); "End Text at End of File Outside Bulk" (дописувати кінець тексту в кінці файлу поза Bulk-частиною). Кнопка "Start Text" дозволяє дописувати текст (зокрема, інші параметри, ніж ті, що є на панелі) відразу після команди BEGIN BULK, а кнопка "End Text" – перед командою END DATA, тобто наприкінці файлу (на редакційній панелі відображається *повний* вміст цих текстів).

Увага: всі рядки пояснень повинні починатися зі знаку \$.

- 102 -

4.2.7. Опції панелі "GEOMCHECK"

Підрозділ "GEOMCHECK" (перевірка геометрії) розділу "Options" настроюється за допомогою діалогової панелі "GEOMCHECK" (див. рис.4.16). На ній є опції для активації

параметрів (стовпці "Test"), початок назв яких вказує на тип CE: Q4 – 4-х та T3 – 3-х кутові (двовимірні); ТЕТ – 4, НЕХ – 6 та РЕМ – 5 граней (тривимірні). Пояснення до параметрів і їхні значення за замовчанням помішені до таблиці 4.4. У стовпцях "Tolerance" вказуються значення параметрів, які є допустимими. У стовпці "Мяg Туре" обирається тип повідомлення: як фатальна помилка (Fatal), як інформаційне (Inform) або як застереження (Warn).

Увага: тип "Fatal" приводить до неможливості про-

GEOMCHECK									
Test	Tolerance	t Fatal	visg Typ Inform	be Warn	Test	Tolerance	M Fatal	lsg Typ Inform	e Warn
☑ Q4 <u>S</u> KEW	30,	•	0	0	✓ HEX_AR	100,		0	\circ
☑ Q4_TAPER	0,5	•	0	0	HEX_EPLR	0,5	•	0	\circ
☑ Q4 <u>W</u> ARP	0,05	•	\circ	0	HEX_DETJ	0,		\circ	\circ
☑ Q4 <u>I</u> AMIN	30,	•	0	0	HEX_WARP	0,707	•	0	\circ
Q <u>4_</u> IAMAX	150,	•	\circ	0	PEN_AR	100,	۲	\circ	\circ
✓ T3_S <u>K</u> EW	10,	•	0	0	PEN_EPLR	0,5	•	0	\circ
✓ T3_IAMAX	160,	•	\circ	0	✓ PEN_DETJ	0,	۲	\circ	\circ
✓ TET_AR	100,	•	0	0	PEN_WARP	0,707	•	0	\circ
✓ TET_EPLR	0,5	•	0	0	BEAM_OFF	0,15	•	0	\circ
✓ TET_DETJ	0,	•	0	0	BAR_OFF	0,15	•	0	\circ
✓ TET_DETG	0,	•	0	0	S <u>u</u> mmary				
All Tests	💿 All Fatal 🛛 🔘	All Inform	n O.	All Warn	M	essage Limit 1	00		
Next					(<u>0</u> K		ancel	

Рис.4.16. Діалогова панель параметрів контролю геометрії СЕ

довження аналізу, інші – ні. Звіт у вигляді таблиць поміщається у файл *.f06.

Таблиця 4.4.	Параметри	и перевірки	геометрії СЕ
I would it it it it	inapanterpi	i nepebipiti	reomerph CE

Параметр	Переклал. пояснення	Значення
Q4_SKEW Skew angle in degrees	Кут перекосу (град): гострий кут між лініями, які з'єднують середини сторін, що лежать напроти	30.0
T3_SKEW Skew angle in degrees	Найменший внутрішній кут у СЕ	10.0
Q4_TAPER Taper ratio	Альтернативне звуження (див. Розділ 3.6.4. та рис.3.28-а)	0.5
Q4_WARP Surface warping factor	Коефіцієнт викривлення поверхні СЕ (див. пара- метр "Warping" у Розділі 3.6.4. та на рис.3.28-б)	0.05
Q4_IAMIN Minimum interior angle in degrees	Мінімальний внутрішній кут у СЕ (град)	30.0
Q4_IAMAX, T3_IAMAX Maximum interior angle in degrees	Максимальний внутрішній кут у СЕ (град)	150.0, 160.0
TET_AR , HEX_AR , PEN_AR Longest edge to shortest edge aspect ratio	Максимальне зі співвідношень довжин сторін СЕ	100.0
TET_EPLR, HEX_EPLR, PEN_EPLR Edge point length ratio	Відношення відстаней між вузлами на ребрі (при наявності проміжного вузла): при EPLR=1 вузол – на середині ребра; при EPLR=0.5 – на 1/3 довжини всього ребра	0.5
TET_DETJ, HEX_DETJ, PEN_DETJ J minimum value	Мінімальне значення якобіана (пропорційне об'єму CE)	0.0
HEX_WARP, PEN_WARP Face warp coefficient	Коефіцієнт викривлення поверхні СЕ: максима- льний косинус кута між нормалями у кутових вузлах грані СЕ	0.707
BEAM_OFF, BAR_OFF Offset length ratio	Відношення (до довжини CE) зміщення нейтральної осі	0.15

- 103 -

На панелі є ще опція та радіокнопки для швидкого призначення всіх параметрів та типів повідомлень (All Tests, All Fatal, All Inform, All Warn), а також обмеження у кількості рядків в таблицях повідомлень (Message Limit).

Деякі з цих інструментів для перевірки якості СЕС (а також й інші) вже розглядалися в Розділі 3.6.

4.2.8. Опції панелі "МОДЕLCHECK"

Підрозділ "MODELCHECK" (перевірка моделі) розділу "Options" настроюється за допомогою діалогової панелі "Model Check" (див. рис.4.17-а). Опції секції "Weight Check" призначені для контролю приведення мас. Тут у частині "DOF SET" можна обрати для перевірки *множини* ступенів свободи вузлів, у полі "Ref Node" – вказати номер вузла приведення (0 – відносно початку глобальної координатної системи), а у списку "Units" – обрати одиницю виміру для виводу результатів: вага (0..Weight) або маса (1..Mass). Якщо ініціювати опцію "CGI (Center of Gravity)", то всі обчислення (сили тяжіння та масових моментів інерції тіла) буде проводитися відносно центра ваги тіла.



Рис.4.17. Діалогова панель контролю ступенів свободи вузлів (a); набори ступенів свободи та їх об'єднання (б)

Таблиця	4.5.	Колування	множин	ступенів	своболи	v Nastran
		11049 201111		•••	• • • • • • • • •	J 1 1000 1 1011

EXCLUSIVE (оригінальні)	UNION (об'єднання)
М – з міжвузловими зв'язками (MPC)	
SB – граничні умови 1-го роду (SPC) та AUTOSPC	
SG – з постійними зв'язками, одного вузла	MS = M + S - ступені свободи
О (OSET) – взаємопов'язані через рівняння глобальної	зі зв'язками "Constraint".
САР ступені свободи	$\mathbf{S} = \mathbf{S}\mathbf{B} + \mathbf{S}\mathbf{G};$
Q (QSET) – узагальнені ступені свободи (для методу	$\mathbf{F} = \mathbf{A} + \mathbf{O} - \mathbf{B}$ вільні ступені
GDR)	своюди.
R (SUPORT) – кінематичні зв'язки (узагальнені ступені	$\mathbf{A} (\mathbf{ASET}) = (\mathbf{R} + \mathbf{C} + \mathbf{B}) + \mathbf{Q};$
свободи руху як твердого тіла)	$\mathbf{L} = \mathbf{B} + \mathbf{C}; \mathbf{T} = \mathbf{L} + \mathbf{R};$
С (CSET) – вільні ступені свободи (для методу GDR)	$\mathbf{N} = \mathbf{F} + \mathbf{E}; \qquad \mathbf{D} = \mathbf{A} + \mathbf{E};$
В (BSET) – ступені свободи, що фіксуються (для методу	$\mathbf{FE} = \mathbf{F} + \mathbf{S}; \mathbf{NE} = \mathbf{N} + \mathbf{E};$
GDR)	$\mathbf{G} = \mathbf{N} + \mathbf{M}; \mathbf{P} = \mathbf{G} + \mathbf{E};$
Е – додаткові ступені свободи, що введені в динамічному	PS = P + SA; PA = PS + K; FD = F O D;
аналізі	$\mathbf{F}\mathbf{K} = \mathbf{F} - \mathbf{Q} - \mathbf{K};$
SA – постійно обмежені аеродинамічні ступені свободи	
К – аеродинамічні ступені свободи	

Опції секції "Ground Check" призначені для контролю закріплення моделі. Опції частині "DOF SET" аналогічні опціям секції "Weight Check". Якщо при аналізу буде застосовуватися адаптивна процедура (нелінійний аналіз, еволюційні процеси), то можна ініціювати опцію "DATAREC" і вказати: номер вузла приведення (0 – відносно геометричного центру); відсоток деформування та максимальне значення енергії деформування (Max Strain Energy), при перевищенні яких буде проводитися виведення повідомлення у файл ***.f06**. Увага: ця інформація формується лише після проведення аналізу.

Що до позначень множин "**DOF SET**". Справа у тому, що всі ступені свободи вузлів СЕС у Nastran згруповані за декількома признаками у множини, серед яких розрізняють оригінальні множини (**EXCLUSIVE**) та їхні об'єднання (**UNION**). У таблиці 4.5 наведені коди цих множин і деякі пояснення, а на рис.4.17-б – графічне пояснення об'єднань.

Примітка 4.4. Зв'язки між вузлами (МРС) створюються рівняннями або СЕ типа **RIGID**. Динамічна редукція – видалення зі вже зібраної САР деякої кількості рівнянь (ступенів свободи).

Примітка 4.5. Якщо за допомогою кнопки "End Text" панелі "NASTRAN Bulk Data Options" (див. рис.4.15-б) до файлу *.dat ввести рядок PARAM, USETPRT,0, то у файл *.f06 будуть виведені таблиці зі всіма множинами ступенів свободи.

4.2.9. Інші панелі розділу "Options" для Nastran

У залежності від типа задачі розділ "Options" може мати й інші підрозділи:

• "NASTRAN Modal/Buckling" – настроюється за допомогою фактично однакових діалогових панелей "NASTRAN Buckling Analysis" (див. рис.6.13-а з поясненнями в Розділі 6.3.6) та "NASTRAN Modal Analysis" (див. рис.7.3 з поясненнями в Розділі 7.3.1);

• "NASTRAN DDAM" – настроюється за допомогою діалогових панелей "NASTRAN DDAM Solution Options" та "NASTRAN DDAM Coefficients" (див. рис.7.10 та пояснення в Розділі 7.3.5);

• "NASTRAN Rotor Dynamics" – настроюється за допомогою діалогової панелі "NASTRAN Rotor Dynamics Options" (див. рис.7.5 та пояснення в Розділі 7.3.2.5);

• "NASTRAN Modal XYPlot" – настроюється за допомогою діалогової панелі "NASTRAN XY Output for Modal Analysis" (див. рис.6.13-б та пояснення в Розділі 6.3.6);

• "NASTRAN Response Spectrum Application" – настроюється за допомогою діалогової панелі "NASTRAN Response Spectrum Application" (див. рис. 7.6 та пояснення в Розділі 7.3.2.6);

• "NASTRAN Response Spectrum Generation" – настроюється за допомогою діалогової панелі "NASTRAN Output for Response Spectrum Analysis" (див. рис.7.4-б та пояснення в Розділі 7.3.2.4);

• "NASTRAN Random Output2" – настроюється за допомогою діалогових панелей "NASTRAN Output for Random Analysis" (див. рис.7.8 та пояснення в Розділі 7.3.4);

• "NASTRAN Random XYPlot" – настроюється за допомогою діалогових панелей "NASTRAN Output for Random Analysis" (див. рис.7.8 та пояснення в Розділі 7.3.4);

• "NASTRAN PSD Correlation" – настроюється за допомогою діалогової панелі "NASTRAN Power Spectral Density Factors" (див. рис.7.9 та пояснення в Розділі 7.3.4);

• "NASTRAN Stiffened Modal" – настроюється за допомогою діалогової панелі "NASTRAN Modal Analysis" (див. рис.7.3 з поясненнями в Розділі 7.3.1);

• "NASTRAN Nonlinear" – настроюється за допомогою діалогової панелі "Nonlinear Control Options" (див. рис.5.6-б та рис.5.7-б та пояснення до них);

• "NASTRAN Advanced Nonlinear Solver" – настроюється за допомогою діалогової панелі "NXSTRAT Solver Parameters" (див. Розділ 6.4);

• "NASTRAN Advanced Nonlinear Iteration/Convergence" – настроюється за допомогою діалогової панелі "NXSTRAT Iteration and Convergence Parameters" (див. Розділ 6.4);

• "NASTRAN Advanced Nonlinear Explicit Solver" – настроюється за допомогою діалогової панелі "NXSTRAT Solver Parameters" (див. Розділ 6.4).

4.2.10. Панелі розділу "Master Requests and Conditions"

Останній розділ завдання – "Master Requests and Conditions" (основні вимоги та умови). На однойменній діалоговій панелі (див. рис.4.18) можна задати ім'я набору, активізувати опцію "Skip Standard". Кнопка "Start Text", як і раніше, дозволяє дописувати текст та параметри відразу після команди BEGIN BULK, а кнопка "End Text" – перед командою END DATA, тобто наприкінці файлу *.dat або *.nas (на редакційній панелі відображається *повний* вміст цих текстів).

Увага: всі *рядки пояснень* повинні починатися зі знаку \$ (інакше буде фатальна помилка).

Master Req	uests and Conditions 🛛 🛛
Case <u>I</u> D	0
<u>T</u> itle	
- Manual Co	ntrol
C Skin S	<u>Start Text</u>
- 0 <u>v</u> ib 0	End Text
Ne <u>x</u> t	<u> </u>

Рис.4.18. Діалогова панель розділу "Master Requests and Conditions"

Підрозділ "Boundary Conditions" (граничні умови) розділу "Master Requests and Conditions" настроюється за допомогою діалогової панелі "Boundary Conditions" (див. рис.4.19-а). На ній у секції "Primary Sets" обираються основні набори навантажень (Loads), закріплень (Constraints), початкових умов (Initial Conditions), рівнянь зв'язків (Constraints Equations) та попереднього навантаження болтів (Bolt Preloads).

У секції "Other DOF Sets" підключаються інші набори зі ступенями свободи вузлів. Після ініціації відповідної опції зі списку обирається один із наборів (їх потрібно створити заздалегідь за допомогою команди Model->

Constraint \rightarrow ...). Очевидно, що до цих наборів можна залучати лише деякі ступені свободи з множини **F**, тобто з вільних. Опції такі:

• "ASET" (від Analysis Set) – для списку базових ступенів свободи із множини "A", на основі яких за методом Гайана буде будуватися розв'язок у вигляді розкладання по цим ступеням. До цього списку не повинні входити ступені свободи зі списку, що підключається до задачі на діалоговій панелі рис.4.19-а. Всі вільні ступені свободи, що не включаються до "A", вважаються членами множини "O" (див. Таблицю 4.5);

Boundary Conditions			Nastran Output Re	quests				
Primary Sets		1	Nodal			Elemental		
<u>C</u> onstraints	1Constr_01		☑ Displacement	0Full Model	*	Eorce	0Full Model	*
Loads	1Load_01 🗸 🗸		Applied Load	0Full Model	*	Stress	0Full Model	*
Initial Conditions	0None		☑ <u>C</u> onstraint Force	0Full Model	*	🔲 St <u>r</u> ain	0Full Model	~
			Equation Force	0Full Model	~	Strain Energy	0Full Model	~
Constraint <u>E</u> quations	0From Constraint Set		Force <u>B</u> alance	0Full Model	~	Heat Flux	0Full Model	~
Bolt Preloads	0From Load Set 🔽		<u>V</u> elocity	0Full Model	~	Enthalpy	0Full Model	~
Other DOF Sets			Acceleration	0Full Model	~	Enthalpy Rate	0Full Model	~
M <u>a</u> ster (ASET)	0None 🔽		Kinetic Energy	0Full Model	~	Temperature	0Full Model	~
Kinematic (SUPORT)	0None 🔽			0Full Model	~	Kinetic Energy	0Full Model	~
0 <u>M</u> IT	0None 🔽					Energy Loss	0Full Model	~
QSET	0None					E Fluid Pressure	0Full Model	~
CSET	0 None		Customization	M.	D	aulta Destination		
BSET			Cutnut Modes (a b c	THBU d)		2 PostProcess Only		
<u>-</u>	UNone				Ec	ho Model		
Ne <u>x</u> t	<u>D</u> K Cancel		⊙ Magnitude/Phase	◯ Real/Imagina	ry			cel
)							



б)

Рис.4.19. Діалогові панелі призначення наборів: а) – граничних умов; б) – результатів

• "OMIT" (пропустити) – для списку ступенів свободи, що не входять до множин "MS" та "A", тобто це деякі ступені свободи з множини "O". Вказані у списку ступені свободи будуть вилучені зі САР у процесі аналізу, тобто форми та частоти коливань у цих напрямках розраховуватися не будуть, що скорочує час, потрібний для аналізу. Якщо список "ASET" не обрано, то всі ступені свободи, що не увійшли до списку "OMIT", вважаються обраними до списку "ASET". Увага: звичайно у цей список поміщають ступені свободи одного з напрямків (X, Y або Z), що майже не позначається на значеннях інших частот;

• "SUPORT" (підтримка) – для списку ступенів свободи, що будуть повністю закріплені. Застосовуються для статичних задач типа 101, 105 і 200 (розрахунок незакріплених тіл,

механізмів; додатково потрібно ініціювати опцію "INREL" – див. Розділ 4.2.6) та для динамічних задач;

• "QSET", "CSET" та "BSET" – підключення наборів зі ступенями свободи, що відповідають Таблиці 4.5, для методу узагальненої динамічної редукції (GRD).

Остання діалогова панель – "Nastran Output Requests" (див. рис.4.19-б). На ній вказуються набори для результатів аналізу, що потрібно створити для вузлів (Nodal) та елементів (Elemental). Тут можна вказати "0..Full Model" (повна модель) або обрати заздалегідь створену групу (вузлів або CE). У секції "Customization" опцією "Element Corner Result" можна вказати, що результати розрахунку потрібно виводити тільки у вузлах СЕС. Для частотного аналізу можна встановити опцію "Output Modes (a,b,c THRU d)" і вказати потрібні моди за вказаним шаблоном, а також змінити варіант виводу результатів: "Magnitude/Phase" (амплітуда/фаза) або "Real/Imaginary" (дійсна/мнима). У списку "Results Destination" можна обрати варіант виводу даних (0..Default, 1..Print Only (тільки у файл *.f06), 2..PostProcess Only (тільки у файл *.op2), 3..Print and PostProcess, 4..Punch Only (тільки у файл *.pch), 5..Punch and PostProcess, 6..XDB (тільки у файл *.xdb)). Коли активне поле "Echo Model". можна вказати варіант моделі.

Для задачі про НДС тіла варіанти результатів: зміщення (Displacement), прикладені навантаження (Applied Load), реакції зв'язків (Constraint Force), реакції зв'язків, що задані рівняннями або СЕ типа RIGID (Equation Force), баланс сил у вузлах СЕС (Force Balance), швидкість (Velocity), прискорення (Acceleration); елементні (Elemental – внутрішні) навантаження: згинаючі моменти і моменти, що крутять, нормальні сили та сили, що перерізають (Force), напруження (Stress) та деформації (Strain) у СЕ, енергія деформування (Strain Energy) тощо.

Є і інші специфічні результати, для яких звичайно створюються таблиці та функції. Конкретні ситуації будуть описані у наступних Розділах.

4.2.11. Створення завдання для багатоваріантного аналізу

Якщо потрібно створити завдання для багатоваріантного аналізу, то потрібно спочатку кнопкою "New…" на діалоговій панелі "Analysis Set Manager" створити стандартне завдання (тільки перша дія) та ініціювати кнопку "MultiSet…". Почергово будуть з'являтися стандартні діалогові панелі для обирання наборів закріплень та навантажень, після чого завдання буде містити всі можливі варіанти аналізу, які тепер можна налаштовувати окремо.

На діалоговій панелі "Analysis Set Manager" з'являється відповідна кількість розділів "Case: # ...", де # – номер варіанта, а далі іде ім'я, створене з назв наборів навантажень та закріплень. Для настроювання кожного з цих розділів викликаються панелі "Analysis Case" (подібні до панелі, зображеної на рис.4.18), а також "Boundary Condition" та "Nastran Output Requests", які вже розглянуто раніше.

Примітка 4.6. При послідовному застосуванні декількох наборів ГУ у Nastran вважається, що реалізується поетапний еволюційний процес, при якому на кожному наступному етапі тіло навантажується "від досягнутого рівня". Це дозволяє виконувати безперервні розрахунки при досить складних програмах навантаження. Однак можливість задати циклічне навантаження за принципом: "умови для одного циклу та кількість таких циклів", на жаль, не передбачена.

4.3. Процес розрахунку крайової задачі

Після подачі команди на проведення аналізу на екрані монітора можуть з'являтися повідомлення FEMAP, що потребують відповіді "Так" або "Ні", попередження про деякі не фатальні помилки, а іноді – навіть про фатальні. Зокрема, може з'явитися запит про збереження оновленого файлу моделі; повідомлення про те, що СЕ будуть модифіковані (це стосується вісесиметричних СЕ: чотирикутні автоматично перетворюються в трикутні); що деякі граничні умови не можуть бути переданими від геометричних об'єктів до СЕ або вузлів (про подолання цієї проблеми див. Розділ 4.1.4.6); інші.

Процес розрахунку крайової задачі у середовищі UGS.F93 проводиться програмоюаналізатором NX Nastran. Їй передається інформація про повне ім'я файлу *.dat (або *.nas), в якому збережена модель крайової задачі.

Впродовж процесу аналізу в полі FEMAP є активною панель моніторингу процесу аналізу (див. рис.4.20). На ній можна: перервати процес аналізу (кнопка "Kill Job") або переглянути поточне заповнення файлів діагностики процесу. Активна опція "Update Monitor" вказує, що оновлення діалогового вікна проводиться автоматично. Значення у полі "Max Lines" – максимальна кількість рядків для перегляду. Якщо відключити опцію "Automatically Load Results" (автоматичне зчитування результатів), то після закінчення процесу аналізу ця панель не зникне, тому з'явиться можливість переглядати заповнення файлів діагностики процесу *.log, *.f04 та *.f06. Після закінчення перегляду кнопкою "Load Results", яка стає активною, можна зчитати результати аналізу у FEMAP (панель зникне).

Analysis Monitor	X
Status : Complete Elapsed Time : 00:00:00	
💿 log	
🔘 f04	
🔘 f06	
NX Nastran V5.0 (Intel Window) Nastran BUFFSIZE=8193 \$(d:/fer Nastran REAL=262668288 \$(prog) JID='h:/works_femap93/st_1a00; OUT='./st_1a005' MEM=10485760 MACH='Intel' OPER='Windows XP'	
Update Monitor Max Lines 5000	
▲utomatically Load Results <u>Kill Job</u> Load Results	-

Рис.4.20. Діалогова панель монітору процесу аналізу

Увага: при кожному запуску процесу розрахунку Nastran та FEMAP створюють нові версії допоміжних файлів. Тому час від часу їх необхідно переглядати та видаляти непотрібні. Крім того, програма створює значні та дуже значні за розміром тимчасові файли, що зникають при закінченні розрахунків, тому на магнітному носії потрібно мати достатній вільний простір для їх розміщення.

4.4. Майстер створення моделі

У FEMAP є інструмент, призначений для полегшення освоювання процесу створення моделі та для швидкого розрахунку простих тіл типа "Solid". Командою Tools \rightarrow Stress Wizard викликається діалогова панель "Stress Wizard" (див. рис.4.21-а). На ній є 4 кнопки "Step 1", "Step 2", "Step 3" та "Step 4" з поясненнями, тобто процес розбито на 4 кроки. Кожному кроку відповідають деякі основні дії, які можна робити за допомогою інших кнопок з відповідани написами. Але це не значить, що можна користуватися тільки ними: доступні всі команди меню FEMAP. Коли

мінімально необхідні дії якогось кроку виконано, навпроти кнопки "Step …" з'явиться зображення "пташки" (див. рис.4.21-б). Увага: це зовсім не гарантує правильність дій! Кнопки секції "View Control" (понизу) дозволяють швидко змінити орієнтацію моделі.

До застосування майстра необхідно встановити бажане значення "Solid Geometry Scale Factor" (команда File→Preferences, вкладка Geometry/Model). Ще потрібно перевірити, чи є у бібліотеці FEMAP необхідний матеріал, якщо ні – створити його (див. Розділ 3.1).

Новий проект починається командами File→New та Tools→Stress Wizard. Кнопкою "Select Solid for Analysis" (див. рис.4.21-а) викликається стандартний діалог відкриття файлу, причому будуть читатися тільки файли Parasolid–формату (*.X_T). Потім буде необхідно обрати з бібліотеки FEMAP матеріал. Результат першого кроку: зчитано геометрію, створено CEC зі CE типа SOLID другого порядку наближення (Parabolic) зі вказаного матеріалу, створено завдання аналізу (Analysis Set) і порожні списки навантажень (Stress Wizard Load Set) та закріплень (Stress Wizard Const Set).

Примітка 4.7. Є сенс перевірити координати точок тіла або відстані у тілі, щоб визначитися у правильності значення коефіцієнта "Solid Geometry Scale Factor". "Stress Wizard" сам не показує СЕС, оскільки бажає працювати з "твердим" тілом. Відображення СЕС можна настроїти за допомогою кнопки "Quick Options". Якщо створена автоматично СЕС – не задовольняє, то можна послідовно видалити СЕ та вузли, потім створити нову СЕС, або спочатку створити геометричну модель та СЕС, потім викликати панель "Stress Wizard". А властивості матеріалу СЕС завжди можна редагувати за допомогою команди Modify→Edit→Material.... Крок 2 – створення закріплень (тут – тільки через поверхні). Варіанти (див. рис.4.21-б):

• Specify surfaces that are fully fixed (призначення поверхонь з повним закріпленням);

• Specify surfaces that can slide tangent to themselves (призначення поверхонь з закріпленням у напрямку нормалі до них. Звичайно так моделюють відкинуту *симетричну* частину тіла);

• Specify surfaces that can slide only in a defined direction (призначення поверхонь з можливістю ковзання у вказаному напрямку);

• Pick cyl. surf(s) that can only rotate about their axes (обирання циліндричних поверхонь, які будуть мати можливість тільки повертатися навколо своєї осі);

• Pick cyl. surf(s) that rotate about and slide on their axes (обирання циліндричних поверхонь, які будуть мати можливість повертатися навколо своєї осі та переміщуватися вздовж неї);

• Free surfaces from constraint (звільнити поверхні від закріплень).

Stress Wizard	Stress Wizard
Import Parasolid Geometry for Analysis,	Import Parasolid Geometry for Analysis, Step 1
Constrain your model. Specify how your part is held in place.	Constrain your model. Specify how your Step 2
Specify the forces acting on your model. Step 3	Specify the forces acting on your model. Step 3
Process your model to determine stress Step 4	Process your model to determine stress Step 4
Step 1 - Load/Replace Solid Select Solid for Analysis	Step 2 - Constrain Model Specify surfaces that are fully fixed Specify surfaces that can slide that can slide themselves Specify surfaces Specify surfaces that can slide that can slide themselves Specify surfaces that can slide only in a defined
	Free surfaces from constraint
View Control	View Control
XY-Top YZ-Right ZX-Front Iso	XY-Top YZ-Right ZX-Front Iso
a)	б)

Рис.4.21. Діалогова панель "Stress Wizard": а) – крок 1; б) – крок 2

Крок 3 – створення навантажень. Варіанти (див. рис.4.22-а):

• Select surfaces for pressure loading (призначення поверхонь з навантаженням у вигляді тиску);

• Select surfaces to apply directional force (призначення поверхонь зі спрямованими силами);

• Select edges to apply directional force (призначення граней для прикладення спрямованих сил);

• Select surface(s) to zero out or remove loads (призначення поверхонь для звільнення від навантажень);

• Select edge(s) to zero out or remove loads (призначення граней для звільнення від навантажень). Крок 4 – проведення аналізу та перегляд результатів. Варіанти (див. рис.4.22-б):

- Run this model and recover answers (проведення аналізу та отримання результатів);
- Reset Post-Processing View (очистити контур моделі від зображення результатів);
- Show Model in Deformed State (перемикач: показати (або ні) модель у здеформованому стані);
 - Toggle Stress Contours (перемикач: показати (або ні) напруження на контурі);
 - Animate Deformation (провести анімацію деформування моделі);

• List Reaction Forces on Surface(s) (створити таблицю значень результуючих сил на поверхнях);

• Toggle Contour – Stress/Displacem (перемикач: показати на контурі або напруження (за Мізесом) або повні переміщення);

• Set Deformation Scale Factor (встановити параметр здеформованого стану).





Оскільки всі граничні умови (ГУ) при застосуванні майстра створення моделі формулюються відносно геометричних об'єктів, то після деякої модифікації геометрії тіла можна призначені ГУ використовувати без змін, якщо тіло модифікується таким чином, що внутрішні номери (**ID**) цих геометричних об'єктів не змінюються у процесі модифікації.

- 110 -