

Розділ 4

ЗАГАЛЬНІ ІНСТРУМЕНТИ МОДЕЛЮВАННЯ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ

Теоретичні відомості про країві задачі наведені у Додатках 4, 5 та 6. 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 краївих задач у FEMAP створюються командами **Model→Load→**. Зокрема, командою **Model→Load→Set...** створюється новий або активується раніше створений набір початкових та граничних умов: задається або обирається **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 чотири варіанти 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 мигаючий курсор знаходитьться у діалоговому вікні „**Face**”. **Увага:** у СЕ грані можуть мати номера 1...6 максимум;

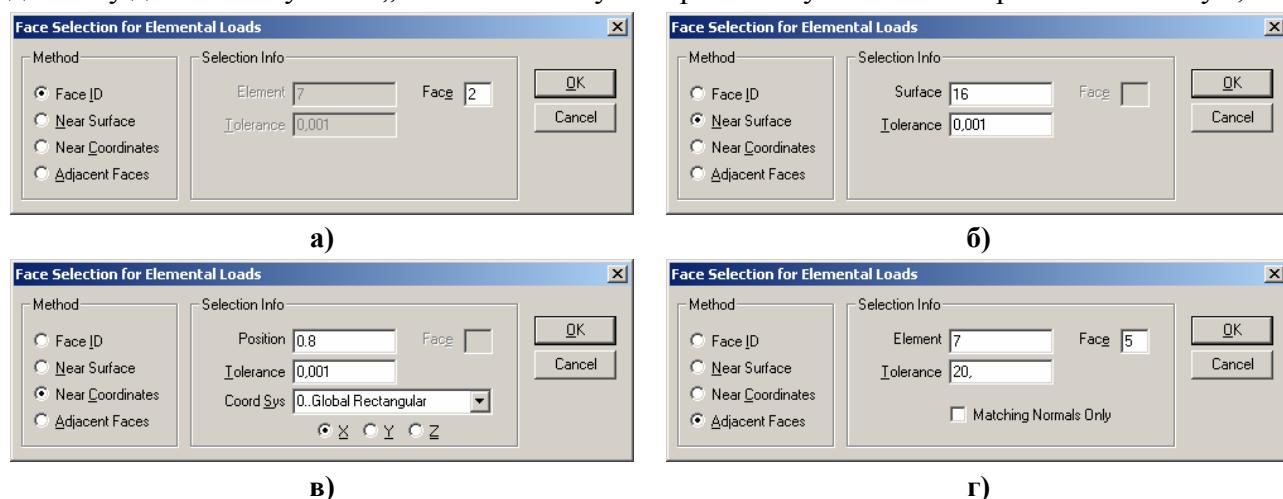


Рис.4.1. Діалогові панелі призначення грані СЕ: а) – номером грані у СЕ; б) – номером геометричної поверхні; в) – площину; г) напрямком нормалі до грані

- „**Near Surface**” – номером поверхні (геометричного об'єкту, 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” – площину, яка призначається (див. рис.4.1-в) обираєм (одною з радіо кнопок) 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 будь-якої 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).

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

Увага:

- розділені ГУ мають саме ту *сумарну* величину, що вводиться у діалоговому полі;
- розділені ГУ до *геометричного об'єкту* 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 (при підготовці до обчислень компонентів системи алгебраїчних рівнянь) розподіляються 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 розподілення ГУ з того чи іншого геометричного об'єкта на вузли СЕ неможливо. Про причини цього та спосіб уникнути це небажане явище викладено наприкінці Розділу 4.1.4.6.

4.1.2. Асоціації між об'єктами СЕС та геометричної моделі

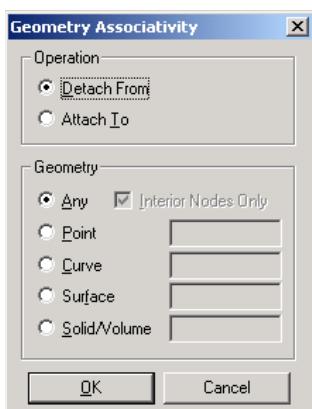


Рис.4.2. Діалогова панель асоціації об'єктів **To**, обрати тип об'єкту та обрати його (вказати **ID**). Варіант „Any” – відокремити обрані вузли або СЕ від усіх геометричних об'єктів. Опція „Interior Nodes Only” дозволяє відокремити вузли тільки від вказаного геометричного об'єкту (коли є встановленою) або одночасно 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 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 варіанту будуть активними один або декілька рядків діалогових вікон „Value” (значення, що вводяться) та „Function Dependence” (функціональна залежність, якщо вона потрібна). **Увага:** функції необхідно створювати заздалегідь (див. Розділ 1.8.1).

У залежності від об'єкту та типу ГУ у секції „Direction” (напрямок) може з'явиться біля першої радіокнопки напис „Magnitude Only” (тільки значення), „On Element” (на СЕ), „Nodal to Element Face” (вузли на грані СЕ) або „Components” (компоненти). У перших трьох випадках напрямок не потрібен. Коли з'являється „Components”, то напрямок дії ГУ можна обирати одним з доступних методів: по-перше, вказуванням значень ГУ як компонентів вектора (у секторі „Load”); по-друге – обирањем відповідної радіокнопки („Vector”, „Along Curve”, „Normal to Plane” або „Normal to Surface”) та за допомогою кнопки „Specify...” – необхідного напрямку або об'єкту.

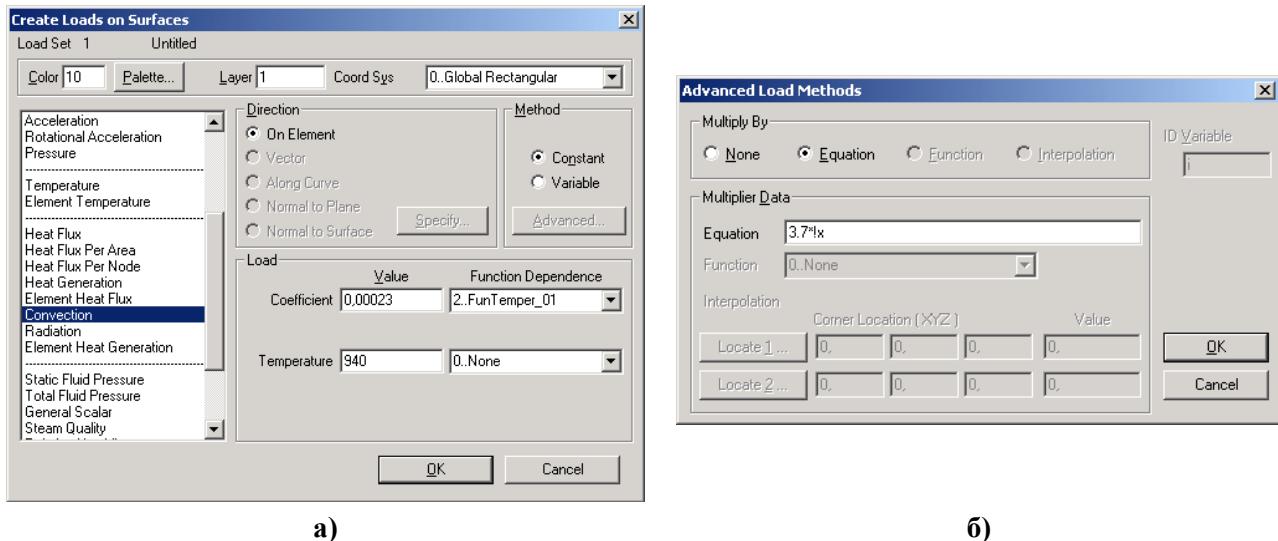


Рис.4.3. Діалогові панелі для введення: а) – граничних умов; б) – рівняння

Увага: у випадку появи напису „On Element” (як це зображенено на рис.4.3-а), якщо ГУ задаються на поверхні СЕ типу SOLID та AXISYMMETRIC, FEMAP у процесі підготовки до розв'язування задачі *самостійно* створює на вузлах, що існують та лежать на вказаній поверхні, додаткові неконструктивні СЕ типу „CHBDYi”, через які й прикладає призначенні ГУ і які потім відображаються як „PLOT PLANAR”. Якщо їх видалити, то відображення результатів розрахунків на цих поверхнях порушиться.

Якщо у секції „Method” обрати „Variable”, то стає активною кнопка „Advances...” (подовження). 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: обчислене одним з обраних варіантів значення є масштабним коефіцієнтом, на який помножуються усі значення ГУ (Value), що задані на панелі „Create Loads ...”.

4.1.4. Маніпулювання наборами граничних умов

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.

Увага: 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→Load→** опускаємо) **Set...**; тільки початкових – **Body...**; вибірково – **Individual...**. У останньому випадку з'являється панель „**Load Options**” (див. рис.4.4-а), на якій потрібно оставити обраними тільки ті варіанти ГУ, що будуть видалятися.

Для редагування активного набору ГУ дасьється команда **Modify→Edit→Load...**, на панелі „**Select Type of Load**”, що з'являється (ідентична панелі „**Load Options**”, див. рис.4.4-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.

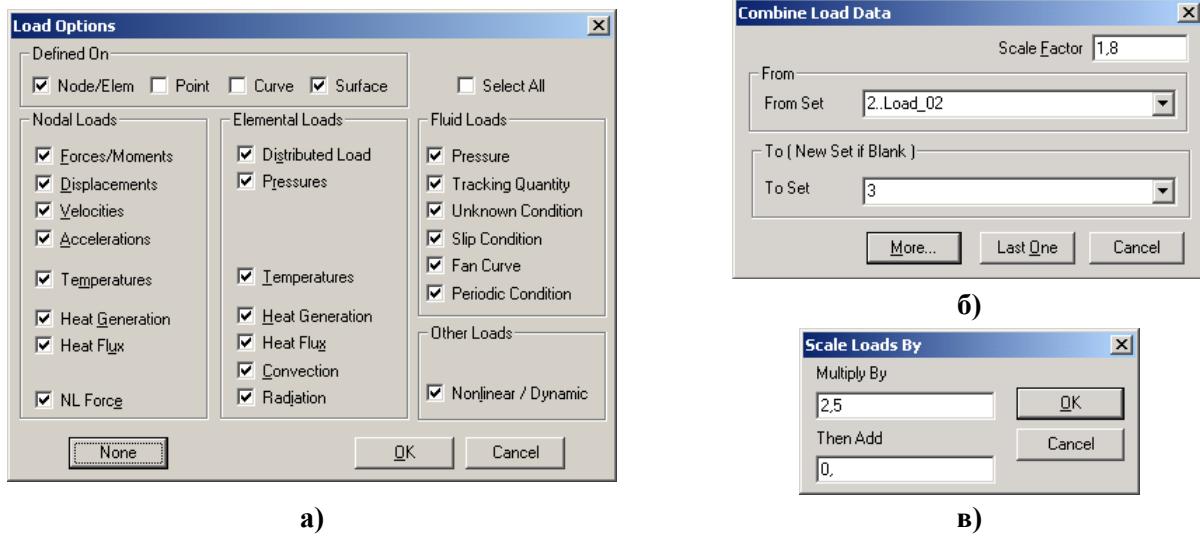


Рис.4.4. Діалогові панелі:

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

4.1.4.3. Лінійне комбінування наборів граничних умов

Дасьється команда **Model→Load→Combine...**, на панелі „**Combine Load Data**”, що з'являється (див. рис.4.4-б), зі списку „**From Set**” обирається набір, встановлюється масштабний коефіцієнт „**Scale Factor**”, дасьється команда „**More...**” (якщо це останній набір – „**Last One**”). У полі „**To Set**” можна вказати ID нового набору ГУ. За замовчанням створюється новий набір з новим ID та назвою „**Combined Set**”, яку потім можна змінити за допомогою команди „**Model→Load→Set...**”. 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.

4.1.4.4. Масштабування наборів граничних умов

Дасьється команда **Modify→Update Other→Scale Load...**; на панелі „**Select Type of Load**”, що з'являється (ідентична панелі „**Load Options**”, див. рис.4.4-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.4.4-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 MSC.Nastran поміщають у файли з розширенням імен .op2 та .mod у вигляді таблиць зі стовпцями (векторами) значень у вузлах: температура, її градієнти (TC); 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 напруженово-деформований стан (НДС) тіла. Інший приклад:

НДС тіла як початковий для подальших розрахунків. Виникає необхідність у підключені або, навпаки, відключені результатів, їх комбінації, вибірковому підключені тощо.

Дається команда **Model→Load→From Output...**; на панелі „Select Type of Load”, що з'являється (ідентична панелі „Load Options”, див. рис.4.4-а), обирається необхідний тип ГУ (узлові або елементні). З'явиться панель „Create Loads From Output” (див. рис.4.5-а).

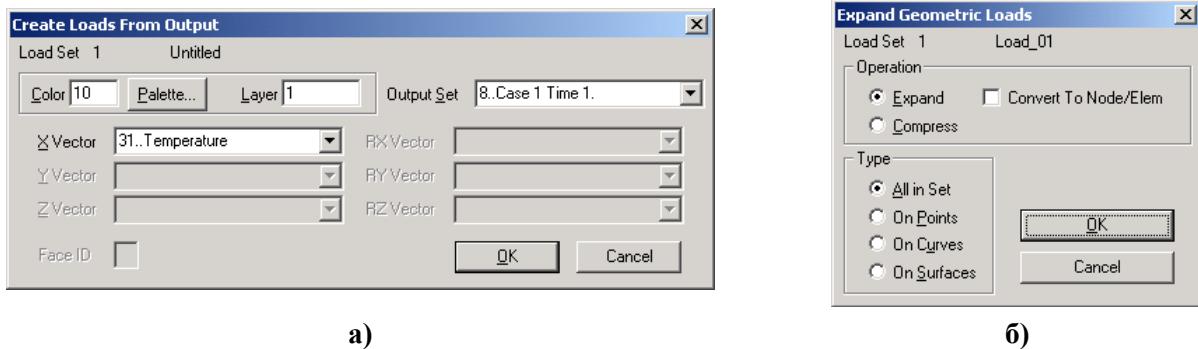


Рис.4.5. Діалогові панелі: а) – створення ГУ із результатів розрахунків; б) – перетворення ГУ

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.

4.1.4.6. Перетворення граничних умов

ГУ *активного* набору, що задані на геометричних об'єктах (**Point/Curve/Surface**), можна перевести до елементів СЕС (**Nodal/Elemental**) або навпаки за допомогою діалогової панелі „Expand Geometric Loads” (команда **Model→Load→Expand...**). На ній (див. рис.4.5-б) необхідно обрати напрямок перетворення ГУ: до елементів СЕС (**Expand**) або до геометричних елементів (**Compress**). Коли обрано „**Expand**”, необхідно вказати тип геометричного об'єкту (тут „**All in Set**” – для усього активного набору ГУ), який потім буде обиратися. Перетворення ГУ у напрямку „**Compress**” – для усього активного набору ГУ. Ці перетворення бувають корисними для подальшого редагування призначених ГУ (команда **Modify→Update Other →Scale Load...**).

Увага:

- після включення на діалогової панелі опції „Convert To Node/Elem” оборотне перетворення стає неможливим;

• іноді у процесі перетворення або при запуску процесу розв'язування задачі (при створенні файлу задачі з розширенням імені *.dat) 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 тепlopровідності). Тоді, після завданні ГУ на *поверхні* (див. Розділ 4.1.3), коли з'являється 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 типу „**CHBDYi**”, до яких і прикладав призначенні 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). Щоб ліквідувати цю проблему, потрібно видалити усі (або тільки у проблемному місці) неконструктивні СЕ типу „**PLOT PLANAR**”. Для *часткового* видалення – дати команду **Delete→Model→Element...**, знайти СЕ типу „**PLOT PLANAR**”, які потрібно видаляти, на СЕС моделі тіла. Для *повного* видалення – дати команду **Delete→Model→Element...**, ініціювати кнопку „**Method^**”, призначити метод „**Type**”, знайти один СЕ типу „**PLOT PLANAR**” на СЕС моделі тіла або знайти цей тип у списку „**Type**” на панелі (він позначений як **32..L Plot Planar**, тобто має номер типу 32). Коли СЕ обрані – дати команду „**OK**”;

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

4.2. Запуск процесу розрахунку країової задачі

Процес розрахунку країової задачі можна розпочати з FEMAP за допомогою декількох команд: **File→Analyze...** (одиничний розрахунок із застосуванням аналізатора MSC.Nastran), **Model→Analysis...** (створення шаблону для розрахунків, що часто повторюються, а також з використанням MSC.Nastran та декількох інших програм), **File→Export→Analysis Model...** (створення файлу задачі для передачі в інші програми).

4.2.1. Одиничний простий запуск процесу розрахунку країової задачі

Дається команда **File→Analyze...**, вказується (створюється) файл (з розширенням імені **.dat** або **.nas**). Увага: назва – без пробілів, знаків #”\$*\\=/:?<>, кирилиці), на діалоговій панелі „**NASTRAN Analysis Control**”, що з’явиться (див. рис.4.6-а), обирається у списку „**Analysis Type**” потрібний тип задачі. У списках „**Loads**” (навантаження), „**Constraints**” (закріплення) та „**Initial Conditions**” (початкові умови) повинні з’явитися імена відповідних активних наборів, які можна змінити на інші (якщо інші набори створювалися).

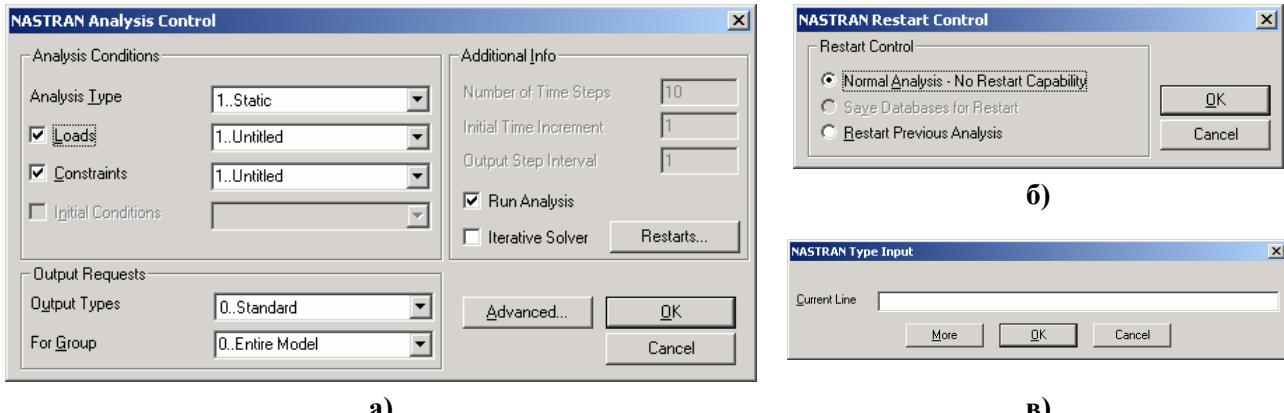


Рис.4.6. Діалогові панелі: а) – одиничного запуску процесу розрахунку країової задачі; б) – настроювання рестарту; в) – введення текстового рядка

У секції „**Additional Info**” можуть становитися активними діалогові поля для введення додаткової інформації. Їх заповнення буде розглянуто у Розділах 5, 6 і 7 при описуванні конкретних типів задач.

У секції „**Output Request**” (завдання для виводу) можна обрати тип набору результатів: стандартний (0..Standard), тільки температура (1..Temperatures Only), температура та потік (2..Temperatures and Fluxes) або усі вектори (3..All) для задачі про тепловий стан; стандартний (0..Standard), тільки переміщення (1..Displacements Only), переміщення та напруження (2..Displacements and Stress) або всі (3..All) для задачі про напруженно-деформований стан. Там же можна призначити завчасно створену групу, в яку буде поміщенено результати. Встановленням опції „**Iterative Solver**” можна призначити ітераційний метод розв’язування системи алгебраїчних рівнянь (САР), яка породжена методом скінченних елементів (за замовчанням застосовується „прямий” метод). Рекомендують при значної кількості рівнянь САР.

Якщо відключити опцію „**Run Analysis**”, то задача розв’язуватися не буде, лише заповниться даними файл вхідних (для MSC.Nastran) даних задачі (з розширенням імені **.dat**). Звичайно після цього можна дати команду „**OK**”.

Але на діалоговій панелі „**NASTRAN Analysis Control**” є й додаткові можливості.

4.2.2. Настроювання рестарту процесу розрахунку країової задачі

Кнопкою „**Restarts...**” діалогової панелі „**NASTRAN Analysis Control**” можна викликати діалогову панель налаштовування рестарту „**NASTRAN Restart Control**” (див. рис.4.6-б). На ній є три варіанта: „**Normal Analysis – No Restart Capability**” (звичайний аналіз без рестарту), „**Save Databases for Restart**” (зберігати дані для рестарту) та „**Restart Previous Analysis**” (провести рестарт попереднього аналізу). В останньому випадку викликається діалогова панель „**Restart From Database**” для пошуку файла рестарту типу *.MASTER. Рестарт необхідний для декількох типів задач, про що буде вказано у наступних розділах.

4.2.3. Одиничний розширений запуск процесу розрахунку краївої задачі

Кнопкою „Advanced...” діалогою панелі „**NASTRAN Analysis Control**” можна розпочати низку діалогів для зміни параметрів, що записуються до зони загальних параметрів задачі на початку або наприкінці файла з розширенням імені ***.dat**. Зокрема, тут можна створити завдання для одночасного запуску декількох варіантів навантаження в краївій задачі.

Потрібно мати на увазі, що файл з розширенням імені ***.dat** має 4 групи (секції) даних:

- файлові параметри (секція „**File management Statements**”);
- параметри типу розрахунку (секція „**Executive and Solution Control**”);
- параметри варіантів розрахунків і даних розрахунку (секція „**Case Control**”);
- масив даних скінченно-елементної моделі задачі (секція „**Bulk Data**”).

4.2.3.1. Параметри секцій „**File management Statements**” та „**Executive and Solution Control**”

Спочатку з'являється діалогова панель „**NASTRAN Executive and Solution Control**” (див. рис.4.7), на якій можна змінити імена робочих файлів, вказати версію MSC.Nastran (2001 або попередні), призначити максимальне допустимий час розв'язування задачі у хвилинах (**Max Time (in minutes)**).

У полі „**Solution Number**” вказується значення (або її цифровий код) змінної **DMAP**, яка відповідає типу задачі і може мати значення, вказані у таблиці 4.1. Значення встановлюється тут відповідно до обраного типу на попередній панелі „**NASTRAN Analysis Control**” (див. рис.4.6-а), але можуть редагуватися користувачем з клавіатури.

Параметри „**Diagnostics**” можуть мати значення від 1 до 64 (див. Додаток 7). Їх можна вказувати через кому. Вони допомагають встановити деякі причини помилок при розв'язуванні задач. Повідомлення виводяться у файли з розширенням імен ***.f06**, ***.pch**.

Опцією „**Iterative Solver**” призначається ітераційний метод розв'язування системи алгебраїчних рівнянь (CAP). Його можна застосовувати лише для деяких типів задач: 101, 106, 108, 111, 153 (коди – у таблиці 4.1), коли опція стає активною. Робити це рекомендують лише при значної кількості рівнянь у CAP.

Таблиця 4.1. Кодування основних типів краївих задач у MSC.Nastran

Стан	Значення	Код	Тип краївої задачі
НДС	SESTATICS	101	Лінійний статичний аналіз
	SEMODES	103	Власні частоти та форми коливань
	SEBUCKL	105	Стійкість
	NLSTATIC	106	Нелінійний статичний аналіз
	SEDFREQ	108	Частотний / гармонійний аналіз
	SEDTRAN	109	Нестаціонарний динамічний аналіз / процес у часі
	SEMFREQ	111	Модальний частотний аналіз
	SEMTRAN	112	Модальний нестаціонарний динамічний аналіз
	NLTRAN	129	Нестаціонарний переходний динамічний аналіз, лінійний або нелінійний
ТС	DESOPT	200	Оптимізація
	NLCSH	153	Стаціонарний тепловий аналіз
	NLTCSH	159	Нестаціонарний тепловий аналіз

Увага: MSC.Nastran має ще декілька типів задач (див. табл.Д8.3 і табл.Д8.4 Додатку 8).

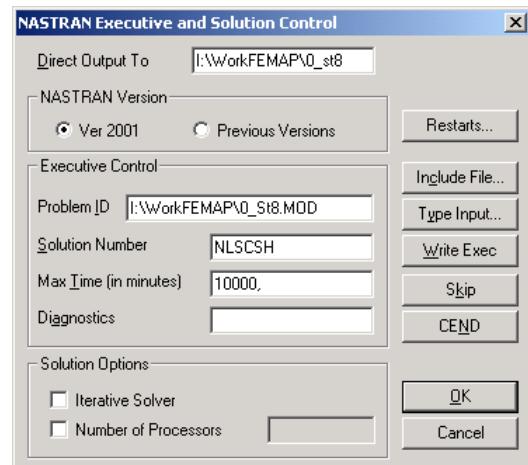


Рис.4.7. Діалогова панель для змін параметрів аналізу

Опцією „Number of Processors” можна вказати кількість процесорів у ПЕОМ (>1).

На панелі є декілька електронних кнопок:

- „Restart” – див. Розділ 4.2.2;

- „Write Exec” дозволяє записати у файл проекту (*.dat) сформовану інформацію;

• „Include File ...” – можна додати у файл проекту (*.dat) всі рядки з іншого файлу текстового формату, наприклад, зі вже сформованими командами та/або параметрами задачі, або з поясненнями; Якщо перед цим ініціювати кнопку „Write Exec”, то запис здійсниться наприкінці файлу, інакше – на початку;

• „Type Input...” – ввести будь-який текст (команду, параметр) за допомогою діалогового вікна, що з’являється (див. рис.4.6-в). Для початку нового рядка є кнопка „More”. Рядок-коментар потрібно розпочинати символом \$. Кнопка „Cancel” відміняє введення лише поточного рядка;

- „Skip” – пропустити введення у файл проекту параметрів цієї діалогової панелі;

• „CEND” записує до файлу *.dat команду CEND (записати змінну CEND – признак кінця секції), після чого (а також після команди „OK”) з’являється наступна діалогова панель „NASTRAN Case Control” (див. рис.4.8-а);

- „CANCEL” – завершення формування файла проекту (*.dat), початок розрахунку.

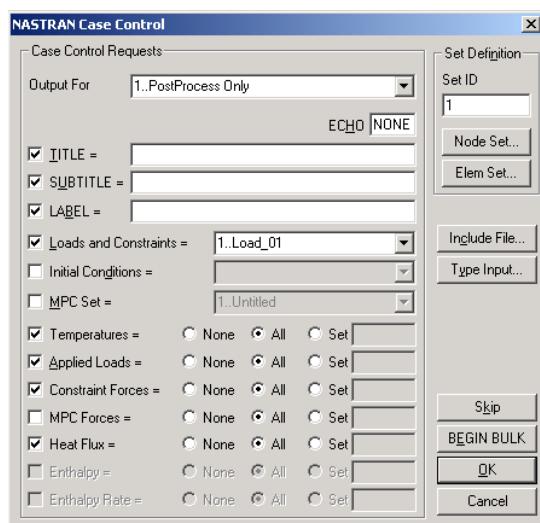
4.2.3.2. Параметри секції „Case Control”

Загальне призначення секції даних „Case Control”:

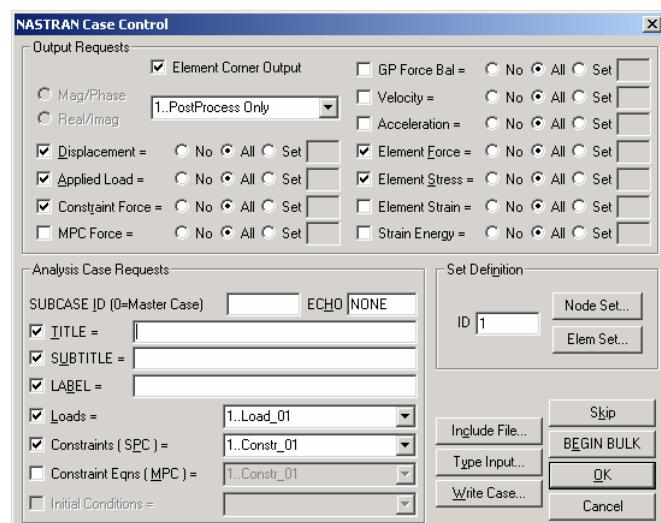
- обирання наборів навантажень та закріплень для створення декількох варіантів або ланцюга розрахунків;
- призначення команд і параметрів виводу результатів.

Увага: для MSC.Nastran можна ввести дуже значну кількість команд і значень, що їх пояснюють, причому більшість з них не обираються з діалогових панелей, а вводяться у текстовому режимі за допомогою кнопки „Type Input...” або обиранням текстового файлу зі заздалегідь описаними командами за допомогою кнопки „Include File...”. Перелік, призначення та формат цих команд див. у „Help”: Help → More Resources → PDF Documentation → MSC.Nastran 2001 Quick Reference Guide, Section 4 Quick Reference Guide (стор. 137 ... 482). Цей документ поміщено у файл qrg.pdf.

На діалоговій панелі „NASTRAN Case Control” у секції „Case Control Requests” (див. рис.4.8-а, для задач про тепловий стан) або „Output Requests” (див. рис.4.8-б, для задач про напруженно-деформований стан) можна змінити параметри виводу результатів. Також для задач про НДС можна призначити набори граничних умов для початкового (Master Case) та наступних (SubCase) варіантів.



a)



б)

Рис.4.8. Діалогові панелі для змін параметрів виводу результатів для: а) – ТС; б) – НДС

За замовчанням у полі „**Output For**” встановлено значення „**1..PostProcess Only**”, що означає виведення результатів задачі тільки у файл з розширенням імені ***.op2**. Якщо встановити „**0..Print Only**”, то це буде текстовий файл з розширенням імені ***.f06**, а якщо „**3..Punch Only**” – ***.pch**. Є й комбінації вказаних варіантів.

Набраний користувачем текст у діалогових полях „**TITLE**”, „**SUBTITLE**” та „**LABEL**” (заголовок, підзаголовок та метка) буде виводитися с початку кожної сторінки виводу на принтер першим, другим та третім рядком відповідно.

У секції „**Set Definition**” за допомогою кнопок „**Node Set...**” та „**Elem Set...**” можна обрати вузли та скінченні елементи, для яких будуть виводиться результати розрахунків (за замовчанням – для всіх).

Призначення кнопок „**Include File...**”, „**Type Input...**” та „**Skip**” описано вище.

Параметр „**ECHO**” може мати такі варіанти значень: „**SORT**” (сортувати дані (за абеткою) у файлі виводу ***.f06**), „**UNSORT**” (не сортувати) або „**NONE**” (не виводити).

Для задачі про тепловий стан тіла у полях секції „**Case Control Requests**”:

- можна вказати (змінити) набори, які будуть застосовуватися: „**Loads and Constraints =**” (навантажень і зв’язків), „**Initial Conditions =**” (початкових умов) та „**MPC Sets =**” (зв’язків, що задані рівняннями);
- за допомогою тих радіокнопок, що є активними, можна вказати, чи виводити усі (**All**), не виводити (**None**) або виводити тільки відповідно до набору, який буде вказано номером, тобто ID (**Set**). В останньому випадку такі набір створюється за допомогою кнопок „**Node Set...**” та „**Elem Set...**”. Варіанти результатів: температура (**Temperatures**), прикладені навантаження (**Applied Load**), реакції зв’язків (**Constraint Forces**), реакції зв’язків, що задані рівняннями або СЕ типу **RIGID (MPC Forces)**, теплові потоки (**Heat Flux**), енталпія (**Enthalpy**), швидкість зміни енталпії (**Enthalpy Rate**).

Для задачі про НДС тіла:

- у секції „**Output Requests**” можна відключити опцію „**Element Corner Output**” (виводити у кутах СЕ), тоді результати будуть приводитися до центрів СЕ. За допомогою тих радіокнопок, що є активними, можна вказати, чи виводити усі (**All**), не виводити (**None**) або виводити тільки відповідно до набору, який буде вказано номером, тобто ID (**Set**) результатів розрахунків. В останньому випадку такі набір створюється за допомогою кнопок „**Node Set...**” та „**Elem Set...**”. Варіанти результатів: зміщення (**Displacement**), прикладені навантаження (**Applied Load**), реакції зв’язків (**Constraint Forces**), реакції зв’язків, що задані рівняннями або СЕ типу **RIGID (MPC Forces)**, баланс сил у вузлах СЕ (**GP Force Bal**), швидкість (**Velocity**), прискорення (**Acceleration**), елементні (внутрішні) навантаження: згинаючі моменти і моменти, що крутять, нормальні сили та сили, що перерізають (**Element Force**), напруження (**Element Stress**) та деформації (**Element Strain**) у СЕ, енергія деформування (**Strain Energy**);

- у полях секції „**Analysis Case Requests**” можна почати процес створення декількох варіантів граничних умов (ГУ) для СЕ тіла. Для цього у полі (**SUBCASE ID (0=Master Case)**) спочатку вводиться номер **0** (головний набір „**Master Case**”). Для нього потрібно призначити загальні для всіх розрахунків набори, які будуть застосовуватися: „**Loads =**” (навантажень), „**Constraints (SPC) =**” (зв’язків у вузлах), „**Constraints Eqns (MPC) =**” (зв’язків, що задані рівняннями), „**Initial Conditions =**” (початкових умов). Після активізації кнопки „**Write Case...**” номер субнабору, тобто варіantu ГУ автоматично змініться (на одиницю): **SUBCASE ID 1**, потім **SUBCASE ID 2**, ... Для кожного з них потрібно призначити додаткові індивідуальні набори навантажень, зв’язків, початкових умов; можна надати їм оригінальні коментарі, заголовки, мітки тощо. На завершення створення субнаборів ініціюється кнопка „**BEGIN BULK**”.

Примітка 4.1. Якщо умови закріплення (**Constraint Set**) тіла – незмінні та створено декілька наборів навантажень (**Load Set**), то декілька варіантів навантажень можна створити іншим чином: на діалоговій панелі „**NASTRAN Analysis Control**” (див. рис.4.6-а) з’являється

додаткова кнопка „**Loads**”, за допомогою якої можна обрати набори навантажень у потрібному порядку.

Примітка 4.2. При послідовному застосуванні декількох наборів ГУ у MSC.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 можливості завдання цикличне навантаження за принципом: „умови для одного циклу та кількість таких циклів”, на жаль, не передбачена.

Кнопкою „**BEGIN BULK**” (а також кнопкою „**OK**”) у файл моделі задачі (файл *.dat) буде записано команда **BEGIN BULK.**, після чого процес призначень продовжується.

Якщо задача – про тепловий стан тіла, то з’являється панель „**Nonlinear Control Option**” (див. рис.4.9-а). У полях секції „**Convergence Tolerances**” можна змінити точність одержання результатів для температури (**Temperature**), по ГУ (**Load**) та за енергією (**Work**). Якщо задача – нестационарна (див. Розділ 5.2), то у секції „**Step Control**” можна змінити параметри процесу: кількість часових кроків (**Number of Time Steps**), початковий часовий крок (**Initial Time Increment**), часовий інтервал (у секундах) для формування результатів розрахунків (**Output Step Interval**) та максимальну кількість ітерацій (нелінійної задачі) на кожному кроці. Радіокнопками можна обрати один з варіантів призначення наступних часових кроків: адаптивним (**Adaptive**, за замовчанням) або незмінним (**Constant Interval**).

4.2.3.3. Параметри секції „**Bulk Data**”

Остання діалогова панель – „**NASTRAN Bulk Data**” (див. рис.4.9-б).

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 запису даних не задовільняє, 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 MSC.Nastran.

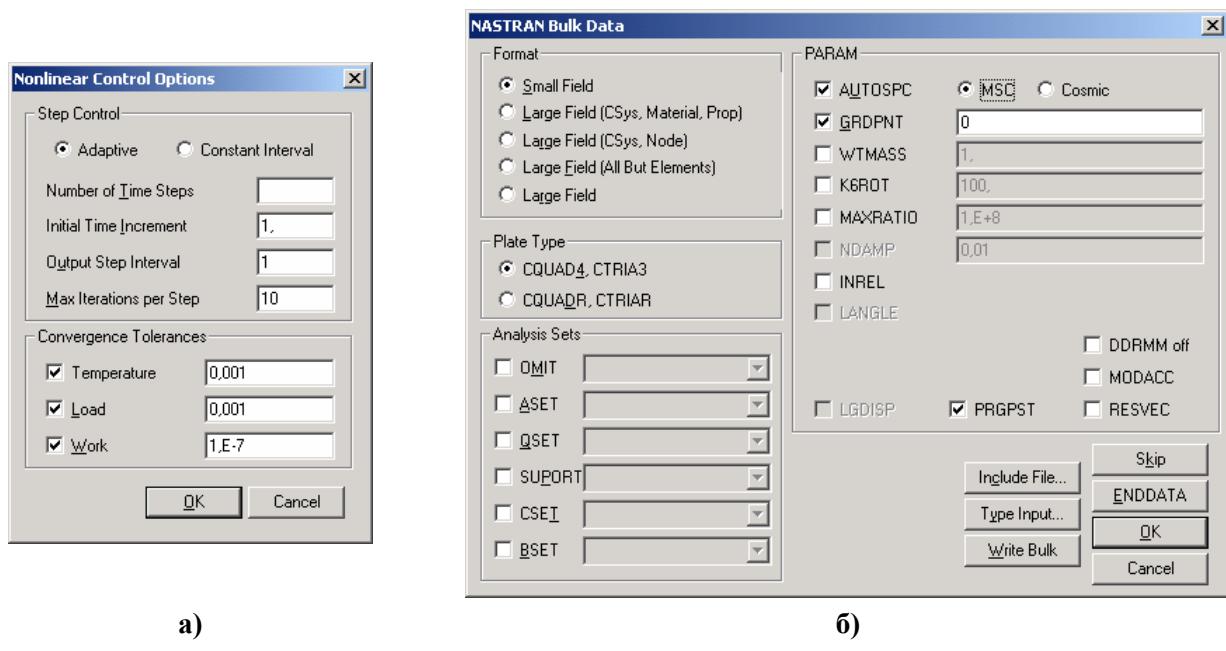


Рис.4.9. Діалогові панелі для змін параметрів: а) – пов’язаних із нестационарністю та нелінійністю задачі тепlopровідності; б) – формату даних та інших

У секції „**PARAM**” можна змінити або додати до моделі декілька внутрішніх параметрів, які керують процесом розв’язування задачі.

Радіокнопками „**MSC**” та „**Cosmic**” обирається один з варіантів програми Nastran: **MSC.Nastran** або **Cosmic.Nastran**, для якої створюється завдання.

Параметри мають такі значення:

• „AUTOSPC” (від AUTOmatic Single-Point Constraint) – автоматично робити спроби створювати одноточкові зв’язки (автозакріплення), якщо тіло або його частини можуть дігатися як жорстке ціле. **Увага:** навіть якщо це вдалося (не було фатальної помилки), то буде відповідне повідомлення. Потрібно знайти, виправити помилку та знов виконати розв’язок. У файлі проекту *.f06 створюється таблиця „сингулярних” вузлів „**SINGULARITY TABLE**”, де застосовуються такі позначення: „G” – вузол, „S” – скалярна точка, „FAILED DIRECTION” – проблемний напрямок, „STIFFNESS RATIO” – відносна жорсткість, „F” та „BF” – вказівки на відсутність зв’язків („старий” статус) „S” та „SB” – накладені зв’язки („новий” статус). Крим того, в тому же файлі при активної опції „PRGPST” буде створена таблиця „**FORCE BALANCE**”. В ній у стовпці з назвою „**SOURCE**” потрібно знайти слово *TOTALS* та, якщо у рядку баланс сил не виконується (є ненульові значення), то залишилося читати на першій позиції рядка номер вузла. Розрахунок з відключеної опцією „AUTOSPC” може застосовуватися для перевірки моделі на відсутність помилок у закріпленнях ступенів свободи вузлів;

• „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 маси моделі (коєфіцієнт мас). За замовчанням WTMASS =1;

• „K6ROT” – коєфіцієнт фіктивної жорсткості при повертанні навколо нормалі до поверхні СЕ типу PLATE першого порядку апроксимації (**CTRIA3** – 3 вузла та **CQUAD4** – 4 вузла). За замовчанням для типів задач 106, 129, 153 і 159 (див. таблицю 4.1. у Розділі 4.2.3.1) він дорівнює 100, для інших – нулю. Рекомендовані значення: від 0 до 100, найбільші – для нелінійного та частотного аналізу. В якості альтернативи в секції „Plate Type” можна замість „**CQUAD4, CTRIA3**” обрати радіокнопку „**CQUADR, CTRIAR**”. Тоді всі СЕ типу PLATE не будуть контролювати ступень свободи „R3”, тобто обертання вузлів СЕ навколо нормалі до площини СЕ (це – лише інший варіант апроксимації розв’язку). Введене значення „K6ROT” – ігнорується. СЕ „**CQUADR**” та „**CTRIAR**” рекомендують застосовувати для плоских конструкцій без значущих згидаючих зусиль (розв’язки – наближені до мембраних);

• „MAXRATIO” – максимально допустиме відношення діагонального члена матриці жорсткості (або тепlopровідності) до недіагонального з трикутної матриці після розкладення вихідної матриці на дві трикутні згідно з методом Холецького. За замовчанням MAXRATIO =1.E+08. Інакше матриця вважається виродженою (фатальна помилка). Це буває у двох випадках: коли тіло не закріплено або коли у скінченно-елементній моделі є спряження СЕ з дуже різними жорсткостями;

• „NDAMP” – величина „коєфіцієнту демпфірування”, що вводиться штучно для стабілізації процесу обчислення для задач типу 129, 159 (нелінійні нестационарні задачі, див. таблицю 4.1. у Розділі 4.2.3.1). За замовчанням NDAMP=0.01. Величина NDAMP=0 відміняє це штучне „демпфірування”.

У секції „PARAM” ще є такі опції:

• „INREL” – опція обчислення сил інерції. За замовчанням опція не ініційована – не обчислювати. При ініціації опції додатково необхідно застосовувати параметр „**SUPPORT**” (див. нижче);

• „LANGLE” – опція застосування алгоритму „карданний підвіс” для більш точного обчислення великих кутів повороту (більше 90 градусів) вузлів СЕС при розв’язуванні краївих задач зі значними переміщеннями. Застосовується одночасно з опцією „**LGDISP**”;

• „LGDISP” – опція керування алгоритмом значних переміщень. Якщо її відключити, то буде застосовуватися формула (Д5.6) Додатку 5 (малі деформації). При включеної опції (тоді LGDISP =1), буде застосовуватися формула (Д5.5) Додатку 5 (значні деформації), крім того, сили будуть „слідкувати” за переміщеннями та повертаннями об’єктів, до яких вони прикладені. Якщо опцію „**LGDISP**” – відключити та, за допомогою кнопки „Type Input”,

ввести рядок такого змісту: **PARAM,LGDISP,2** (тоді **LGDISP =2**), то сили не будуть такими, що „слідкують”, але деформації будуть вважатися значними (формула (Д5.5));

- „**PRGPST**” – виводити таблицю сингулярних вузлів у файл ***.f06** (див. вище про параметр „**AUTOSPC**”);

• „**MODACC**”. За замовчанням **MODACC=-1** (опція не активна). При ініціації опції (**MODACC=0**) автоматично ініціюється опція „**DDRMM off**” (**DDRMM=-1**) та навпаки, після цього при динамічному аналізі буде використовуватися метод прискорення мод з використанням набору „**QSET**” (див. нижче). При **MODACC=1** (за допомогою кнопки „**Type Input**” ввести рядок **PARAM,MODACC,1**) додатково враховуються дані набору „**SUPPORT**” (див. нижче). Значення **MODACC>0** не рекомендується застосовувати для задач гідродинаміки;

- „**DDRMM off**”. За замовчанням **DDRMM=0** (опція не активна). Про іншій варіант – див. при опцію „**MODACC**”;

• „**RESVEC**”. За замовчанням **RESVEC=NO**. Якщо опцію ініціювати (**RESVEC=YES**), то у файл ***.f06** буде виведена діагностика для навантажень, що були підключені у полі „**Set**” для „**Applied Loads**” на панелі „**NASTRAN Case Control**” (див. рис.4.8-б), а також для інерційних або одиничних сил (динамічний аналіз). Якщо тіло – не закріплено, то необхідно підключити набір „**SUPPORT**” (див. нижче).

Опції розділу „**Analysis Set**” призначенні для підключення додаткових умов закріплення тіла. Вони можуть використовуватися при розв’язанні задач статики для механізмів, а також – динаміки, у першу чергу – при розрахунках власних форм та частот коливань для прискорення розрахунків. Для останнього випадку в MSC.Nastran можуть бути застосованими один з двох методів: Гайана (**Gayan**) або метод узагальненої динамічної редукції (**GRD** – від **Generalized Dynamic Reduction**).

Всі ступені свободи вузлів СЕС у MSC.Nastran згруповані за декількома признаками у множини, серед яких розрізняють оригінальні множини (**EXCLUSIVE**) та їхні об’єднання (**UNION**). У таблиці 4.2 наведені коди цих множин і деякі пояснення.

Таблиця 4.2. Кодування множин ступенів свободи у MSC.Nastran

EXCLUSIVE (оригінальні)	UNION (об’єднання)
M – з міжвузловими зв’язками (MPC)	MS – ступені свободи зі зв’язками „ Constraint ”.
SB – граничні умови 1-го роду (SPC) та AUTOSPC	MS = M + S , де S = SB + SG
SG – з постійними зв’язками, одного вузла	
O (OSET) – взаємопов’язані через рівняння глобальної САР ступені свободи	F – вільні ступені свободи. F = A + O ,
R (SUPPORT) – кінематичні зв’язки (узагальнені ступені свободи руху як твердого тіла)	де A (ASET) = R + Q + C + B
Q (QSET) – узагальнені ступені свободи (для методу GDR)	L = B + C
C (CSET) – вільні ступені свободи (для методу GDR)	T = L + R
B (BSET) – ступені свободи, що фіксуються (для методу GDR)	N = F + S

Примітка 4.3. Міжвузлові зв’язки (MPC) створюються рівняннями або СЕ типу RIGID. Динамічна редукція – видалення зі вже зібраної САР деякої кількості рівнянь (ступенів свободи).

Після ініціації відповідної опції зі списку обирається один із наборів (їх потрібно створити заздалегідь за допомогою команди **Model→Constraint→ ...**). 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 розкладу по цим ступеням. До цього списку не повинні входити ступені свободи зі списку, що підключається до задачі на діалоговій панелі рис.4.8-б. Всі вільні ступені свободи, що не включаються до „**A**”, вважаються членами множини „**O**” (див. Таблицю 4.2);

- „ОМІТ” (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 з 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 „ОМІТ”, 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 типу 101, 105 і 200 (розрахунок незакріплених тіл, механізмів; додатково потрібно ініціювати опцію „INREL” – див. вище) та динамічних задач;
- „QSET”, „CSET” та „BSET” – підключення наборів зі ступенями свободи, що відповідають Таблиці 4.2, для методу узагальненої динамічної редукції (GRD);

Якщо за допомогою кнопки „Type Input” до файлу *.dat ввести рядок PARAM, USETPRT,0, то у файл *.f06 будуть виведені таблиці зі всіма множинами ступенів свободи.

Кнопкою „Write Bulk” всі зроблені призначення будуть записані до загальних даних моделі задачі (файл *.dat). Потім кнопкою „ENDDATA” (або „OK”) наприкінці файлу додісується цей параметр і контрольна сума, а діалогова панель зникає.

Примітка 4.4. У MSC.Nastran є біля 200 параметрів (див. Help→More Resources→PDF Documentation→MSC.Nastran 2001 Quick Reference Guide, Table 6-1 (стор. 1503...1516). Цей документ поміщено у файл qrg.pdf.

4.2.4. Процес розрахунку країової задачі

Після остаточного подання 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 фатальні. Зокрема, може з'явитися запит про збереження оновленого файлу моделі; повідомлення про те, що СЕ будуть модифіковані (це стосується віссиметричних 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 країової задачі проводиться програмою-аналізатором nastran.exe. Йї передається інформація про повне ім'я файла *.dat (або *.nas), в якому збережена модель країової задачі.

Впродовж процесу аналізу в полі FEMAP 8.2 є активною діалогова панель монітору процесу аналізу (див. рис.4.10). На ній можна: перервати процес аналізу (кнопка „Kill Job”) або переглянути поточне заповнення файлу діагностики процесу *.log. 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).

Увага: при кожному запуску процесу розрахунку створюються нові версії допоміжних файлів. Тому час від часу їх необхідно переглядати та видаляти непотрібні. Крім того, програма створює знач-

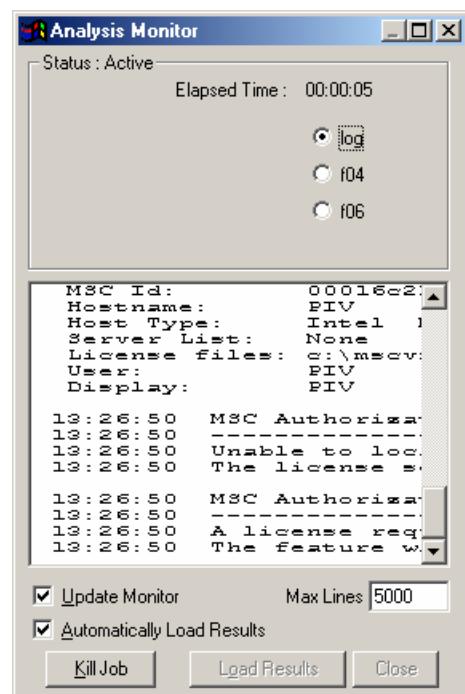


Рис.4.10. Діалогова панель монітору процесу аналізу

ні та дуже значні за розміром тимчасові файли, що зникають при закінченні розрахунків, тому на магнітному носії потрібно мати достатній вільний простір для їх розміщення.

4.2.5. Створення шаблонів аналізу краївих задач

У FEMAP є інструменти створення шаблонів краївих задач, які зручно застосовувати для повторних розрахунків, а також для запуску розрахунків із застосуванням інших аналізаторів (не MSC.Nastran) безпосередньо з FEMAP командою **File→Analysis**.

Увага: тут буде розглядатися тільки варіант створення шаблону для MSC.Nastran і FEMAP Structural. **FEMAP Structural** – це вбудований у FEMAP спрощений аналізатор, який може розв’язувати країові задачі типу 101, 103, 105 і 153 (див. Табл.4.1).

Для створення шаблону командою **Model→Analysis...** викликається діалогова панель „**Analysis Set Manager**” (див. рис.4.11-а). Спочатку вона пуста. Кнопкою „**New**” викликається діалогова панель „**Analysis Set**” (див. рис.4.11-б), де потрібно вказати назву нового шаблону (**Title**), обрати зі списків програму для аналізу (**Analysis Program**) та тип країової задачі (**Analysis Type**). Після команди „**OK**” на діалоговій панелі „**Analysis Set Manager**” буде сформовано шаблон задачі (див. рис.4.11-а). Можна створити декілька таких шаблонів. За допомогою кнопки „**Active...**” викликається діалогова панель „**Activate Analysis Set**” (див. рис.4.11-в), де один з шаблонів призначається активним або проводиться їх дезактивація (**0..None - Ignore**). Кнопкою „**Save...**” здійснюється запис шаблонів у файл **analysis.esp** (у робочій папці), а кнопкою „**Load...**” – їх читання з цього або іншого файлу. За допомогою кнопки „**Copy**” створюється копія виділеного шаблону, „**Delete...**” – проводиться видалення шаблонів, для обирання яких буде застосовано стандартну процедуру. Якщо для задачі було сформовано декілька наборів навантажень або закріплень, то буде активною кнопка „**MultiSet...**” – для створення багатоваріантного завдання для аналізу. Кожну складову шаблону можна редагувати: кнопкою „**Edit...**” викликається потрібна діалогова панель. Кнопкою „**Done**” здійснюється вихід з діалогової панелі „**Analysis Set Manager**”, а кнопкою „**Analyze...**” розпочинається процес аналізу задачі, шаблон якої був активним. Майже кожна діалогова панель, що викликається, має кнопку „**Next...**”, яка викликає наступну (відповідно до шаблону) діалогову панель для завдання на ній потрібних параметрів.

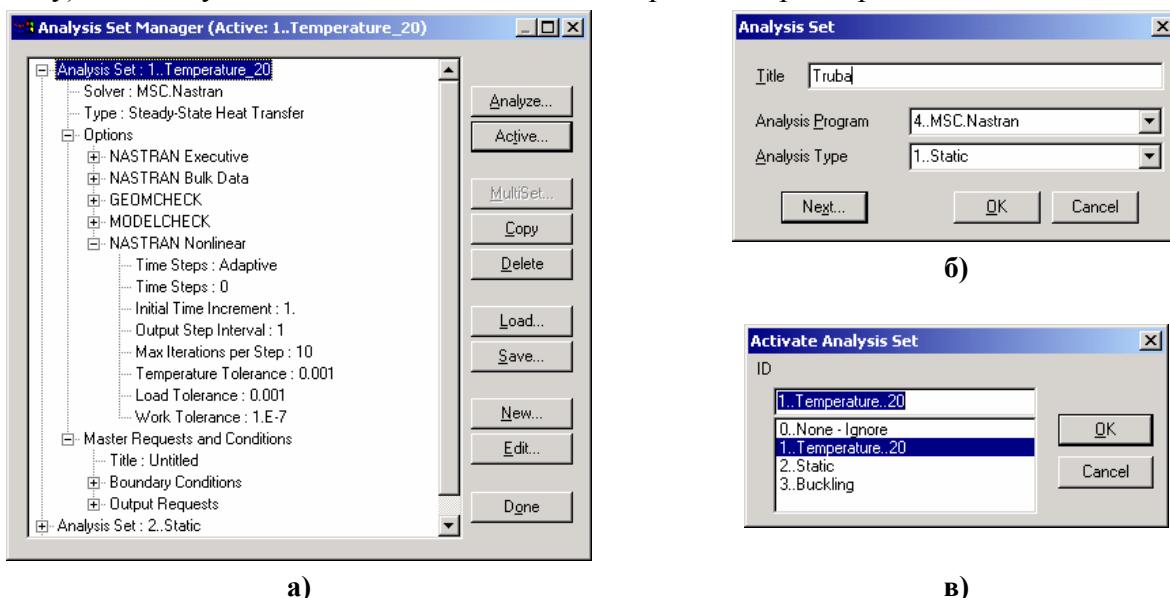


Рис.4.11. Діалогові панелі:

а) – загального керування шаблонами; б) – створення нового шаблону; в) – активізації шаблону

Підрозділ „**NASTRAN Executive**” розділу „**Option**” настроюється за допомогою діалогової панелі „**NASTRAN Executive and Solution Option**” (див. рис.4.12-а). Вона подібна до панелі „**NASTRAN Executive and Solution Control**” (див. рис.4.7), але додатково має дві секції. Секція „**Restart Control**” має опції, які є на діалоговій панелі „**NASTRAN Restart Control**” (див. рис.4.6-б та пояснення у Розділі 4.2.2). За допомогою кнопки „**Browse...**” можна

знайти файл рестарту (з розширенням імені *.MASTER), яке з'явиться у рядку „From”. Секція „Manual Control” має опцію „Skip Standard Executive Control”, яка аналогічна кнопці „Skip” на рис.4.7. Кнопки „Start Text” та „End Text” дозволяють вводити пояснення та параметри (у текстовому режимі) до файлу *.dat на початок або кінець секції „Executive Control” цього файлу.

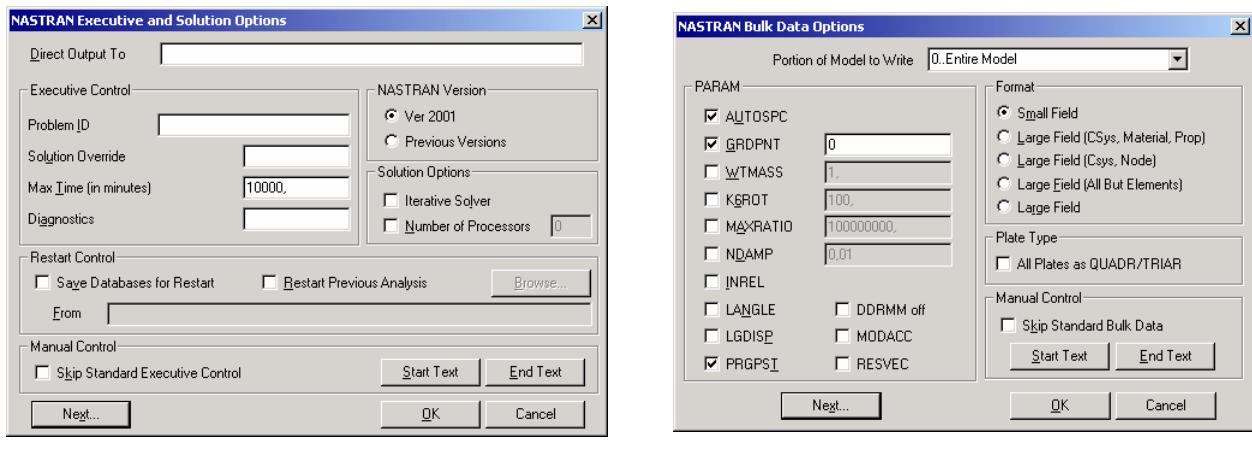


Рис.4.12. Діалогові панелі настроювання даних та параметрів секцій „Executive Control” (а) та „Bulk Data” (б) файлу *.dat

Підрозділ „NASTRAN Bulk Data” розділу „Option” настроюється за допомогою діалогової панелі „NASTRAN Bulk Data Option” (див. рис.4.12-б), яка майже подібна панелі „NASTRAN Bulk Data” (див. рис.4.9-б та пояснення у Розділі 4.2.3.3). Ще є секція „Manual Control”, така ж, як й на рис.4.12-а.

Підрозділ „GEOMCHECK” (перевірка геометрії) розділу „Option” настроюється за допомогою діалогової панелі „GEOMCHECK” (див. рис.4.13). На ній є опції для активації параметрів (стовпці „Test”), початок назв яких вказує на тип СЕ: **Q4** – 4-х та **T3** – 3-х кутові (двовимірні); **TET** – 4-х, **HEX** – 6-ті та **PEN** – 5-ті гранні (тривимірні). Пояснення до параметрів і їхні значення за замовчанням поміщені до таблиці 4.3. У стовпцях „Tolerance” вказуються значення параметрів, які є допустимими. У стовпці „Msg Type” обирається тип повідомлення: фатальна помилка (**Fatal**), інформаційне (**Inform**) або застереження (**Warn**).

Увага: тип „Fatal” приводить до неможливості продовження аналізу, інші – ні. Звіт у вигляді таблиць поміщується у файл *.f06.

На панелі є ще опція та радіо-кнопки 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 List**).

Примітка 4.5. Деякі з цих інструментів для перевірки якості СЕС (а також й інші) вже розглядалися в Розділі 3.6.

Підрозділ „MODELCHECK” (перевірка моделі) розділу „Option” настроюється за допомогою діалогової панелі „Model Check” (див. рис.4.14). Опції секції „Weight Check” призначенні для контролю приведення мас. Тут у частині „DOF SET” можна обрати для перевір-

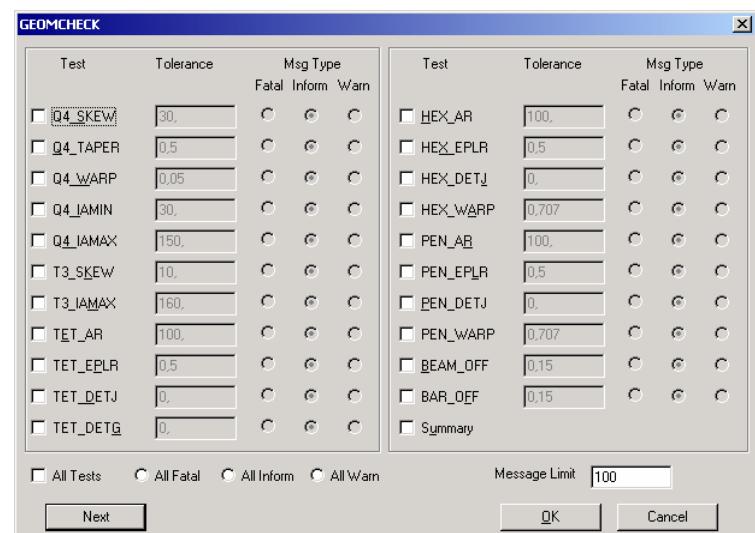


Рис.4.13. Діалогова панель параметрів контролю геометрії СЕ

ки множини ступенів свободи вузлів (кодові позначення множин – у табл.4.2, пояснення – у Розділі 4.2.3.3), 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 центру тяжіння тіла.

Таблиця 4.3. Параметри перевірки геометрії СЕ

Параметр	Переклад, 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. параметр „ 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 якобіану (пропорційне об'єму СЕ)	0.0
HEX_WARP, PEN_WARP Face warp coefficient	Коефіцієнт викривлення поверхні СЕ: максимальний косинус кута між нормальними векторами у кутових вузлах грані СЕ	0.707
BEAM_OFF, BAR_OFF Offset length ratio	Відношення (до довжини СЕ) зміщення нейтральної осі	0.15

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. **Увага:** ця інформація формується лише після проведення аналізу.

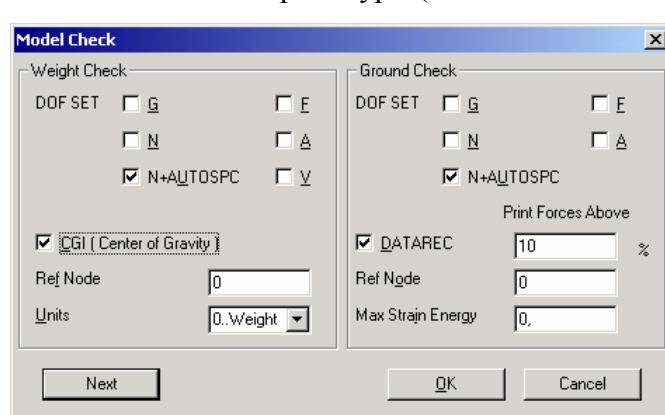


Рис.4.14. Діалогова панель контролю ступенів свободи вузлів

(див. рис.7.2-а та пояснення в Розділі 7.3.1);

У залежності від типу задачі розділ „**Option**” може мати й інші підрозділи:

- „**NASTRAN Modal/Buckling**” – настроюється за допомогою діалогової панелі „**NASTRAN Dynamic Analysis**”

- „**NASTRAN Modal XYPlot**” – настроюється за допомогою діалогової панелі „**NASTRAN XY Output for Modal Analysis**” (див. рис.7.2-б та пояснення в Розділі 7.3.1);
- „**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 Response Spectrum Application**” – настроюється за допомогою діалогової панелі „**NASTRAN Dynamic Analysis**” (див. рис.7.5 та пояснення в Розділі 7.3.2.5);
- „**NASTRAN Random Output2**” – настроюється за допомогою діалогової панелі „**NASTRAN Output for Random Analysis**” (див. рис.7.6-а та пояснення в Розділі 7.3.4);
- „**NASTRAN PSD Correlation**” – настроюється за допомогою діалогової панелі „**NASTRAN Power Spectral Density Factors**” (див. рис.7.7 та пояснення в Розділі 7.3.4);
- „**NASTRAN Nonlinear**” – настроюється за допомогою діалогової панелі „**Nonlinear Control Option**” (див. рис.4.9-а та пояснення до нього).

Останній розділ шаблону – „**Master Requests and Conditions**” (основні вимоги та умови). На однайменній діалоговій панелі (див. рис.4.15) можна задати ім’я набору, а при активній опції „**Skip Standard**” за допомогою кнопок „**Start Text**” та „**End Text**” – внести текстові рядки на початок або кінець секції „**Case Control**” файлу *.dat.

Наступна діалогова панель – „**Boundary Conditions**” (див. рис.4.16-а). На ній у секції „**Primary Sets**” обираються основні набори навантажень (Loads), закріплень (Constraints), початкових умов (Initial Conditions) і рівнянь зв’язків (Constraints Equations). У секції „**Other DOF Sets**” підключаються інші набори зі ступенями свободи вузлів (аналогічна секції „**Analysis Set**” на рис.4.9-б).

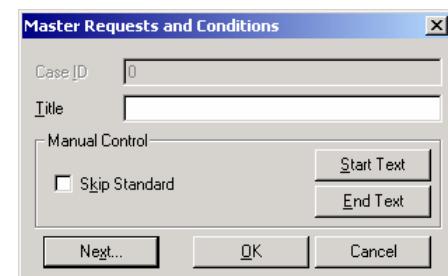
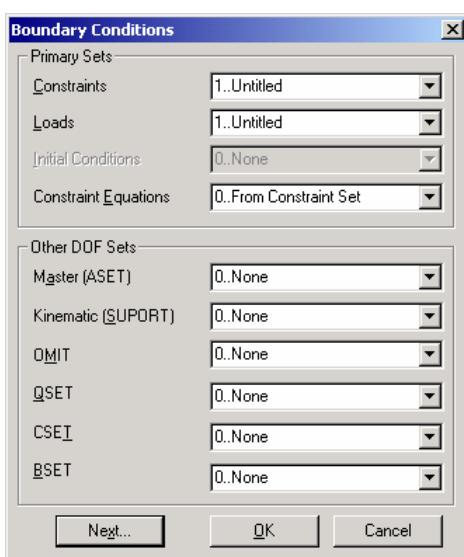
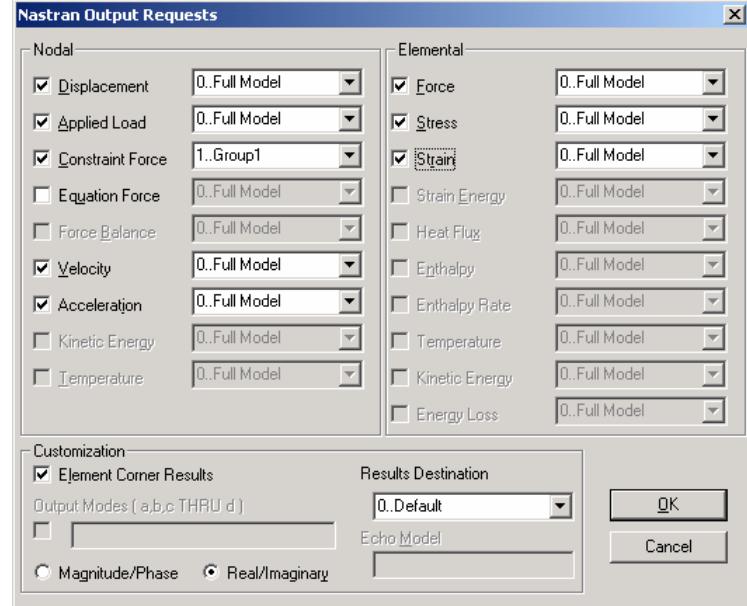


Рис.4.15. Діалогова панель розділу „**Master Requests and Conditions**”



а)



б)

Рис.4.16. Діалогові панелі призначення: а) – вхідних наборів; б) – вихідних наборів

Остання діалогова панель – „**Output Requests**” (див. рис.4.16-б). На ній вказуються набори для результатів аналізу, що потрібно створити для вузлів (Nodal) та елементів (Elemental). На відміну від секції „**Output Requests**” діалогової панелі „**NASTRAN Case Control**” (див. рис.4.8) тут можна вказати „**0..Full Model**” (повна модель) або обрати заздалегідь створену групу (вузлів або СЕ). 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/мніма). У списку „Results Destination” можна обрати варіант виводу даних (0..Default, 1..Print Only, 2..PostProcess Only, 3..Print and PostProcess, 4..Punch Only, 5..Punch and PostProcess). Коли активне поле „Echo Model”, можна вказати варіант моделі (див. Розділ 4.2.3.2).

Якщо потрібно створити шаблон багатоваріантного аналізу, то потрібно спочатку кнопкою „New...” створити пустий шаблон (тільки перша дія) та ініціювати кнопку „MultiSet...”. Почергово будуть з'являтися стандартні діалогові панелі для обирання наборів зачіплень та навантажень, після чого шаблон буде містити всі можливі варіанти аналізу, які тепер можна налаштовувати окремо.

Увага: якщо у проекті є активний шаблон, то після команди **File→Analysis...** та завдання імені файлу *.dat програма MSC.vN4W відразу же починає аналіз.

4.2.6. Майстер створення моделі

У FEMAP 8.2 з'явився новий інструмент, призначений для полегшення освоювання процесу створення моделі та для швидкого розрахунку простих тіл типу „Solid”. Командою **Tools→Stress Wizard** викликається діалогова панель „Stress Wizard” (див. рис.4.17). На ній є 4 кнопки „Step 1”, „Step 2”, „Step 3” та „Step 4” з поясненнями, тобто процес розбито на 4 кроки. Кожному кроцю відповідають деякі основні дії, які можна робити за допомогою інших кнопок з відповідними написами. Але це не значить, що можна користуватися тільки ними: доступні всі команди меню FEMAP. Коли мінімально необхідні дії якогось кроцю виконано, навпроти кнопки „Step ...” з'явиться зображення „пташки” (див. рис.4.17). **Увага:** це зовсім не гарантує правильність дій! Кнопки секції „View Control” (понизу) дозволяють швидко змінити орієнтацію моделі.

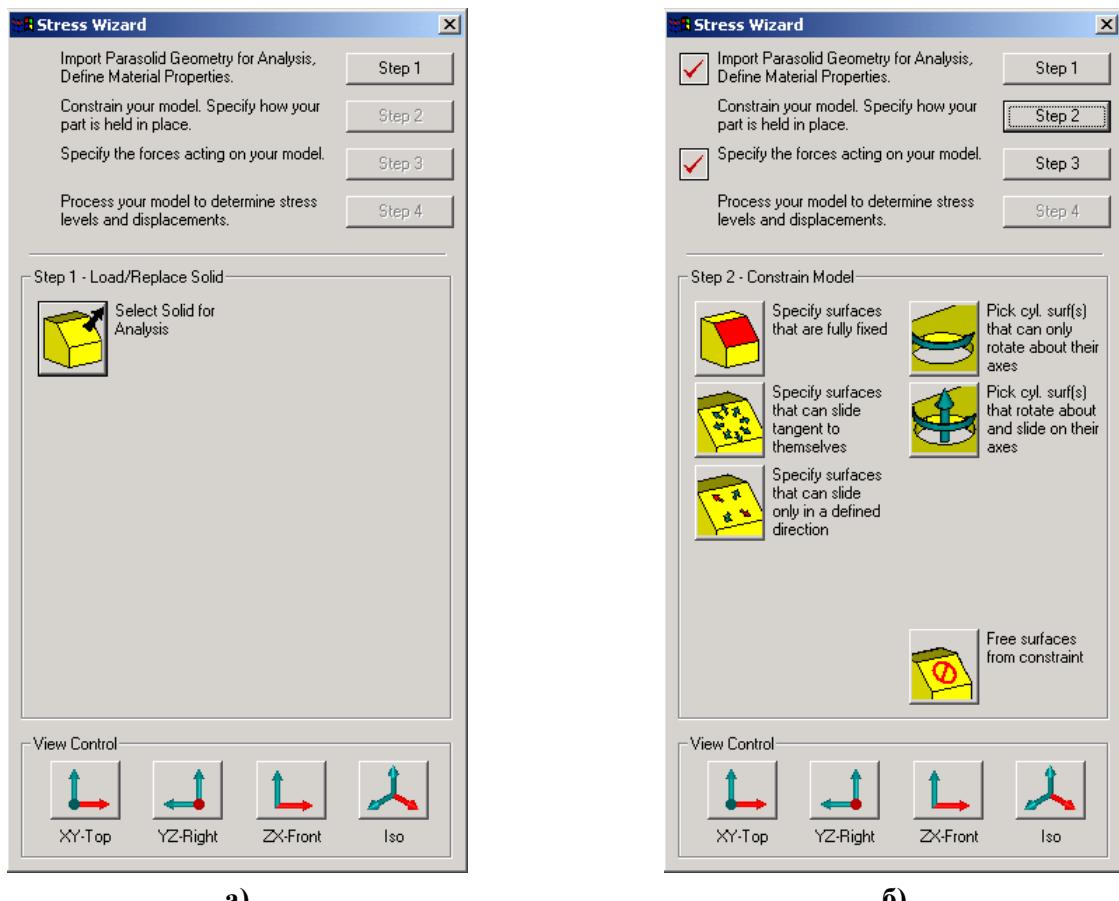


Рис.4.17. Діалогова панель „Stress Wizard”: а) – крок 1; б) – крок 2

До застосування майстра необхідно встановити бажане значення „Solid Geometry Scale Factor” (команда **File→Preferences→Geometry...**). 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.4.17-а) викликається стандартний діалог відкриття файлу, причому будуть читатися тільки файли Parasolid–формату (*.X_T). Буде необхідно обрати з бібліотеки FEMAP матеріал. Результат первого кроку: зчитано геометрію, створено СЕС зі СЕ типу SOLID другого порідку наближення (**Parabolic**) зі вказаного матеріалу, створено завдання аналізу (**Analysis Set: 1..Untitled**) і порожні списки навантажень (**Stress Wizard Load Set**) та закріплень (**Stress Wizard Const Set**).

Примітка 4.6. Є сенс перевірити координати точок тіла або відстані у тілі, щоб визначитися у правильності значення коефіцієнту „Solid Geometry Scale Factor”. „**Stress Wizard**” сам не висвітлює СЕС, оскільки бажає працювати з „твірдим” 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.4.17-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 cul. surf(s) that can only rotate about their axes** (обирання циліндричних поверхонь, які будуть у змозі тільки повернатися навколо своєї осі);
- **Pick cul. surf(s) that rotate about and slide on their axes** (обирання циліндричних поверхонь, які будуть у змозі повернатися навколо своєї осі та переміщуватися вздовж неї);
- **Free surfaces from constraint** (звільнити поверхні від закріплень).

Крок 3 – створення навантажень. Варіанти (див. рис.4.18-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.4.18-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** (проводити 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).

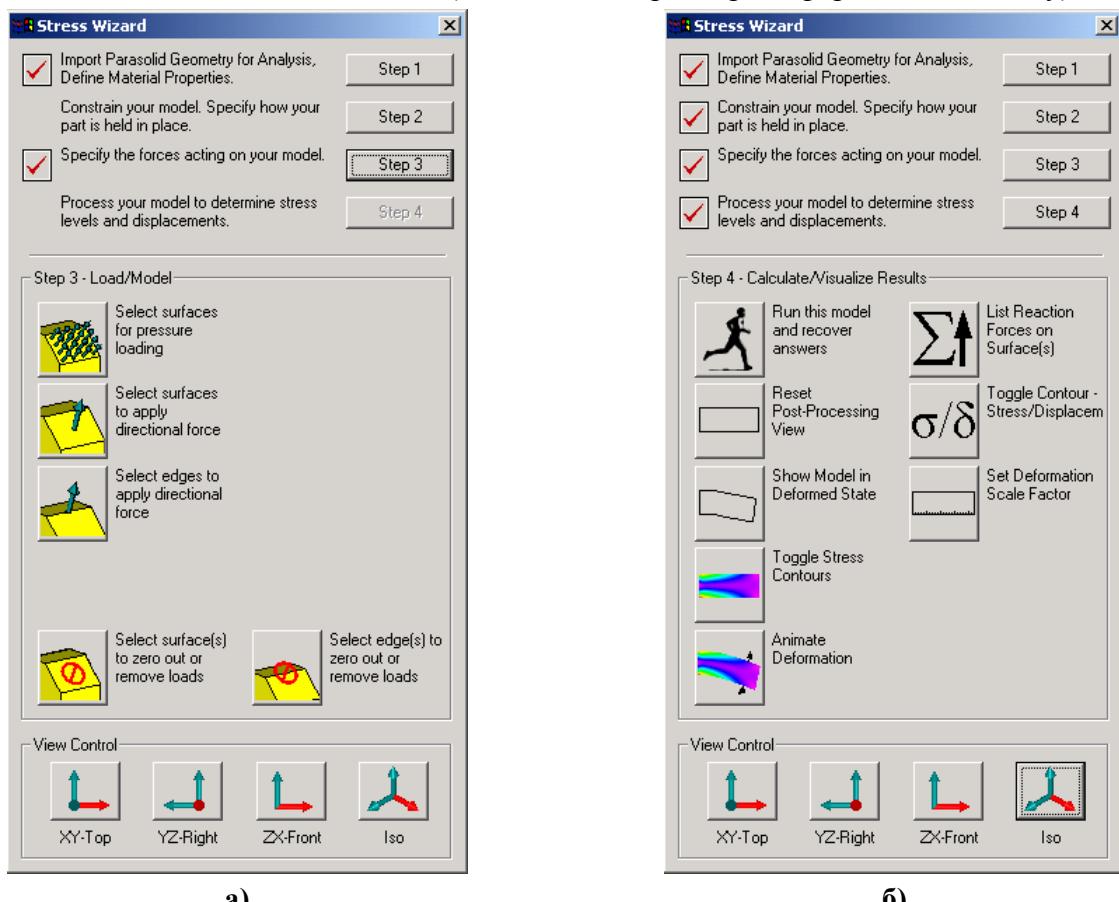


Рис.4.18. Діалогова панель „Stress Wizard”: а) – крок 3; б) – крок 4

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