

## Розділ 8

## ПЕРЕГЛЯД РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ІНШИХ ВВЕДЕНИХ ДАНИХ

Перегляд результатів розрахунків крайової задачі у MSC.Nastran та інших введених даних забезпечують так звані постпроцесорні інструменти FEMAP.

### 8.1. Завантаження результатів розрахунків крайової задачі

Є два варіанти появи результатів розрахунків крайової задачі у FEMAP:

- результати одержані програмою MSC.Nastran та містяться у файлах проекту \*.mod, \*.f06 та \*.op2 (див. Розділ 1.4);
- імпорт результатів, отриманих із застосуванням інших програмних продуктів.

#### 8.1.1. Імпорт результатів розрахунків крайової задачі іншими програмами

Перший варіант: командою **File→Open...** з файлів проектів, які мають формат *інших* програм. У FEMAP 8.2 читаються формати ABAQUS (\*.inp) та ANSYS (\*.ans, \*.cdb), тобто є прямий інтерфейс із цими програмами, а також формат \*.neu, який деякі програми застосовують як „рідний”, а майже усі – як універсальний формат експорту/імпорту даних.

Інший варіант: за допомогою команди **File→Import→FEMAP Neutral...** з файлів типу \*.neu або \*.fno. Потрібно розпочати новий проект (**File→New**), потім вказаною командою викликати діалог пошуку файлу у файловій системі ПЕОМ.

При відкритті файлу формату \*.neu з'являється діалогова панель (див. рис.8.1-а), на якій потрібно вказати, що імпортувати: геометрію, скінченно-елементну модель, результати.

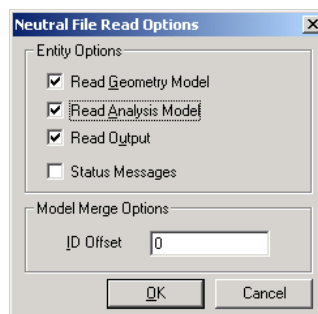
**Увага:** якщо проводити *імпортування* у вже відкритий *інший* проект (не розпочати новий проект командою **File→New**), то можна отримати непередбачені ефекти, якщо за допомогою опції „ID Offset” (див. рис.8.1-а) задати недостатній „зсув” для ID усіх об'єктів, що будуть введені (точок, ліній, поверхонь, тіл, вузлів, елементів, матеріалів та ін.).

Ще один варіант: окремий імпорт CE моделі та результатів. Спочатку командою **File→Import→Analysis Model...** викликається панель, що зображена на рис.8.1-б, вказується програма, яка створювала модель; після команди „OK” здійснюється пошук файлу у файловій системі ПЕОМ. Потім командою **File→Import→Analysis Results...** викликається фактично така ж діалогова панель (див. рис.8.1-б), де обирається назва програми, яка проводила розрахунок; після команди „OK” здійснюється пошук файлу результатів у файловій системі ПЕОМ.

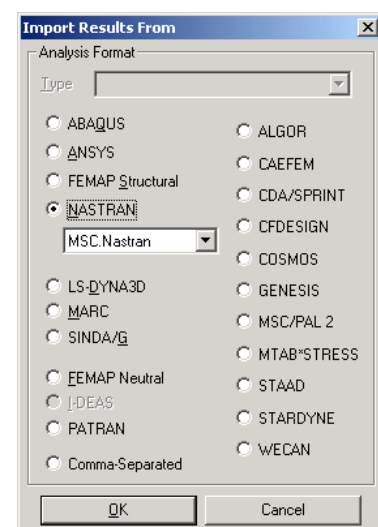
Після імпортування набору результатів у вже відкритий проект новий набір додається до існуючих, тому його можна переглянути таким же чином, як і інші. Про це – у Розділі 8.3.

#### 8.1.2. Завантаження результатів розрахунків MSC.Nastran

У FEMAP для перегляду *інформаційних повідомлень* програми MSC.Nastran потрібно за допомогою команди **File→Import→Analysis Results...** відкрити файл з розширенням імені .f06. З'являється панель з інформацією про наявність повідомлень (див. рис.8.2-а). Для їхнього перегляду дається команда „Show Details...”.



а)



б)

Рис.8.1. Діалогові панелі: а) – опції „нейтральної моделі”; б) – обрання програми

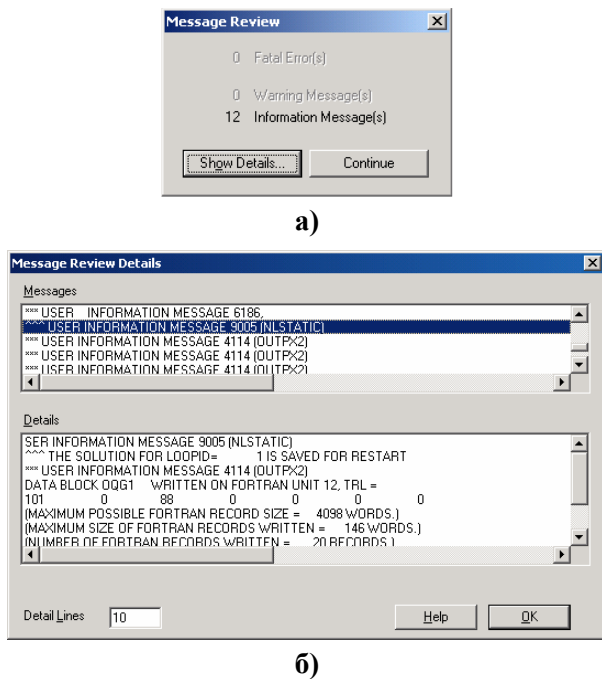


Рис.8.2. Панелі перегляду звіту про процес розв'язування крайової задачі

міщення вздовж осі X, ...) або скінченних елементах (температура у одновимірних СЕ, напруження у характерних точках, ...). Назви основних векторів – результатів розрахунків крайових задач наведені у Додатку 10.

Іноді виникає необхідність у комбінуванні, перетворенні, екстраполяції, навіть у редагуванні таблиць результатів. Для проведення цих дій у FEMAP є група команд (загальну частину **Model→Output→** команди опускаємо):

- **Set...** (встановити): зі списку (див. рис.8.3-а) обирається (активується) набір результатів або створюється новий (пустий) набір для подальшого наповнення (задаються новий „ID” та „Title”, можна додати нотатки). При необхідності змінюється значення „Set Value”. Для дезактивації усіх наборів дається команда „Reset”;
- **Vector...** (обрати вектор): із активізованого списку обирається категорія вектора (див. рис.8.3-б), тип даних з цього вектора (у полі „Type”): значення або амплітудне значення (**0..Value or Amplitude**), фаза (**1..Phase**), дійсна (**2..Real Component**) або мніма (**3..Imaginary Component**) компонента (останні три – для коливань); у списку векторів обраної категорії (нижня частина панелі) – власне вектор;
- модифікації даних у обраному попередньою командою векторі:
  - ♦ **Define...** (змінити значень у вузлах або СЕ): на робочому полі курсором „миші” обирається вузол СЕС (або СЕ), у полі „Data Value” (див. рис.8.3-в) вказується нове значення. Для продовження є кнопка „More...”, для закінчення – „Last One”;
  - ♦ **Fill...** (обчислення значень у вузлах або СЕ за допомогою формульних обчислень): на робочому полі курсором „миші” обираються необхідні вузли СЕС (або СЕ), у полі „Equation” (див. рис.8.3-г) задається формула обчислення величини у залежності від номера вузла або СЕ (**ID**), або постійне значення. Наприклад, вираз **XND(i)** дає координату X вузла; вираз **SQRT (SQR(VEC(1; 31; !i)) + SQR(VEC(2; 31; !i)) + SQR(VEC(3; 31; !i)))** – середнє квадратичне значення температури вузлів з трьох наборів (див. Додаток 2);
  - **Process...** – комплекс команд для маніпуляцій результатами. На діалоговій панелі (див. рис.8.4-а) за допомогою радіокнопок обирається одна з операцій: „Copy” (копіювання), „Combine” (комбінування), „Linear” (лінійне комбінування), „RSS” (Root Sum Square – середньоквадратичне значення), „Convert” (конвертація), „Envelope” (обиранням за умовою),

З’являється панель (див. рис.8.2-б), верхня частина якої містить заголовки, а нижня – короткий опис застереження або повідомлення, зокрема про фатальні помилки. Інформацію про деякі характерні повідомлення MSC.Nastran поміщено в Додатку 9.

MSC.Nastran створює бітовий файл результатів розрахунків з розширенням імені **.op2**. У FEMAP їх необхідно імпортувати за допомогою команди **File→Import→Analysis Results...**, причому проект (файл \*.mod) повинен бути „завантаженим” раніше.

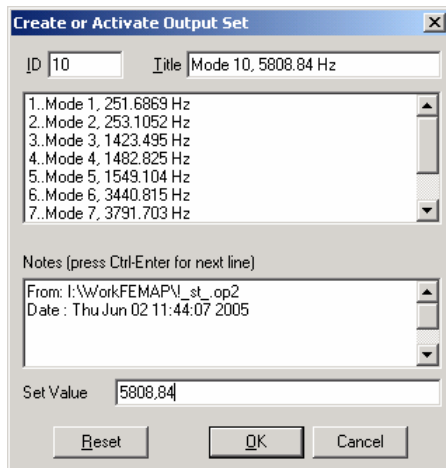
Іноді виникає необхідність у знищенні результатів розрахунків. Це робиться за допомогою команди **Delete→Output**.

## 8.2. Комбінування та редагування результатів розрахунків крайової задачі

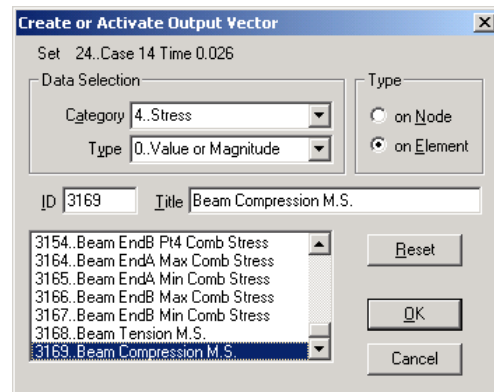
Результати розрахунків MSC.Nastran фактично є таблицями зі стовпцями (векторами) значень у вузлах (температура, пере-

„**Error Estimate**” (оцінка погрішності). У секції „**From**” (звідкіля) за допомогою радіокнопок обирається або „**Output Set**” (повний набір) або „**Output Vector**” (набір та вектор). У секції „**To**” (куди) обирається набір, до якого буде поміщено результати, причому за замовчанням буде створено новий набір. Кнопкою „**Add Operation**” зроблені призначення додаються до списку „**Operations to Process**”. За допомогою кнопки „**Multi Set...**” до цього списку можна додати відразу декілька векторів (обраних раніше командою **Vector...**) наборів. Для редагування списку є кнопки „**Delete**” (видалення обраного рядка) та „**Reset**” (повне очищення списку). Є додаткові опції та призначення:

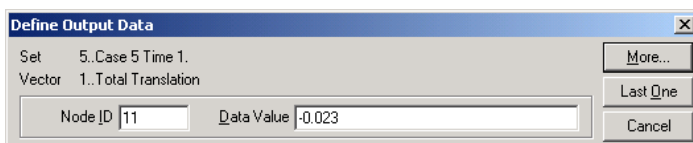
- ♦ „**Overwrite**” (записати із заміною);
- ♦ „**Scale Factor**” (загальний для обраного  $j$ -го набору або вектору коефіцієнт  $a_j$  для лінійного комбінування  $\{V_{ref}\} = \sum a_j \{V_j\}$  та обчислення середньоквадратичного значення  $\{V_{ref}\} = \sqrt{\sum a_j^2 \{V_j\}^2}$ );
- ♦ для варіанту „**Convert**” (обчислення „**0..Avg**” (усередненого) або „**1..Max**” (максимального) значення при конвертації значень від вузлів до центру СЕ або навпаки);
- ♦ для варіанту „**Envelope**” (відбір даних за максимальним (**0..Max**), мінімальним (**1..Min**) або максимальним абсолютним (**2..Max Abs**) значенням), а також опція „**Ply Summary**” (резюме шару, тобто для пластин, зокрема багат шарових, обчислювати сумарну для товщини величину, наприклад, прогину);
- ♦ для варіанту „**Error Estimate**” (метод „**0..Max Diff**” (максимальна різниця), „**1..Diff to Avg**” (різниця від посереднього), „**2..% Max Diff**” (відсоток від максимальної різниці), „**3..% Diff to Avg**” (відсоток різниці від посереднього), „**4..Norm% Max Diff**” (нормалізований відсоток від максимальної різниці) або „**5..Norm% Diff to Avg**” (нормалізований відсоток від різниці від посереднього). Формули можна побачити у розділі „**Command Reference → Post Processing → Output Manipulation → Model, Output, Process**” з „**Help**”. Значення похибки, менші ніж значення у вікні „**Skip Below**” будуть замінюватися на нульове (щоб краще „відтінити” зони з максимальними похибками). Результати поміщуються у той же набір. Використовуються дані усієї СЕС (**Full Model**) або тих СЕ, що були поміщені у обрану групу;



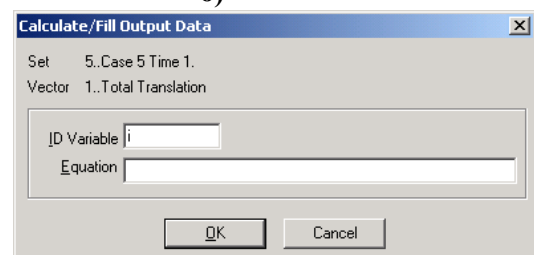
а)



б)



в)



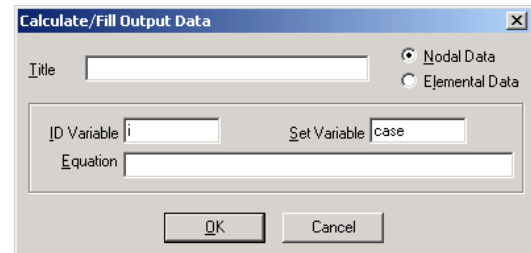
г)

**Рис.8.3.** Діалогові панелі роботи з результатами розрахунків: а) – активізації / деактивізації набору; б) – обирання вектору; в) – зміни значень; г) – заповнення значень

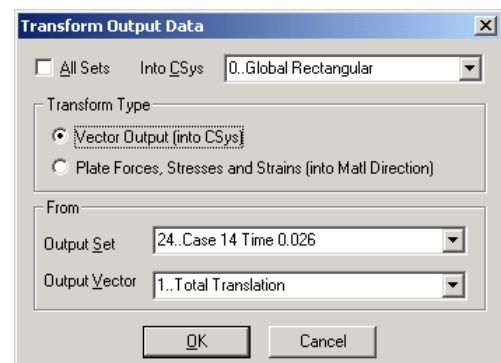
- обчисленням (**Calculate...**): спочатку вказується **ID** нового набору, потім на діалоговій панелі (див. рис.8.4-б) вводиться назва нового вектора (**Title**), тип даних (для вузлів або для CE), вводиться рівняння (див. пояснення до команди **Fill...**). Параметрами рівняння є порядковий номер об'єкту (**ID** вузла або CE) а також порядковий номер набору (у вікні „**Set Variable**”), які автоматично „пробігають” усі значення. Вузли або CE обирається стандартним чином після команди „**OK**”;



а)



б)



в)

**Рис.8.4. Діалогові панелі роботи з результатами розрахунків: а) – комбінована; б) – заповнення обчисленням; в) – перетворення векторів результатів до іншої координатної системи**

- перетворення початкових та граничних умов у вектори результатів (**From Load...**). З'являється діалогова панель „**Select Type of Load**” (ідентична панелі „**Load Options**”, див. рис.4.4-а), обирається необхідний тип ГУ (вузлові, елементні або для рідини);

- перетворення векторів результатів до іншої координатної системи (**Transform...**): на діалоговій панелі (див. рис.8.4-в) обираються набір та вектор (понизу), у секції „**Transform Type**” – тип перетворень. Нові вектори даних створюються у своєму наборі. Якщо встановити опцію „**All Sets**”, то перетворення відбудуться у всіх наявних наборах. Якщо обрано „**Vector Output (into CSys)**”, то ще необхідно вказати нову координатну систему „**Into CSys**” (таким чином перетворюють тривимірні вектори, наприклад, „**Total Translation**”. При цьому з'являються 12 нових компонентів: 3 компоненти глобального вектора, кожна розкладена на 3 додаткових компоненти, усі у новій системі). Якщо обрано „**Plate Forces, Stresses and Strain (into Matl Direction)**”, то перетворення проводяться тільки у *двовимірних* CE для *внутрішніх сил та моментів, напружень або деформацій* до напрямку анізотропії властивостей матеріалів (див. Розділ 3.2). Для завдання іншого напрямку є команда „**Modify→Update Elements→Material Angle...**”. Якщо матеріал у CE – ізотропний, то у процесі перетворень з'явиться діалогова панель „**Transform ...**” (для CE **Tria3**, **Quad4**, **Tria6** або **Quad8**, як це зображено на рис.8.5-а), де необхідно вказати початок координатної системи поточного виводу (**Current Output Orientation**): посередині першого ребра CE (**Element First Edge**), у центрі CE (**Element Midside Locations**) або посередині діагоналі CE (**Element Diagonal Bisector**);

- екстраполяції результатів з центрів CE до їх вузлів (**Extrapolate...**). Ця операція потрібна лише іноді. Якщо встановити опцію „**All Sets**” (див. рис.8.5-б), то перетворення відбудуться у всіх наявних наборах; якщо „**All Vectors**” – для всіх векторів. Індивідуальний вибір проводиться за допомогою списків „**Output Set**” та „**Output Vector**”. Ще необхідно обрати опції (**Calculation Options**): „**Extrapolate across all Elements**” (екстраполяція для усіх CE)

або „**Segment model before Extrapolating**” (вибіркова екстраполяція; діалогову панель „**Model Segments**”, що з’явиться потім, (див. рис.8.5-в та рис.1.12-а) докладно описано у Розділі 1.7.2. для команди **Group→Operations→Generate**). Ще є опції для встановлення методу екстраполяції: „**Project Centroid onto Edge when Extrapolating**” (проекційний) або „**Use Centroid Value at Midpoint of Edge**” (центроїдальний, рекомендується для нерівномірної СЕС);

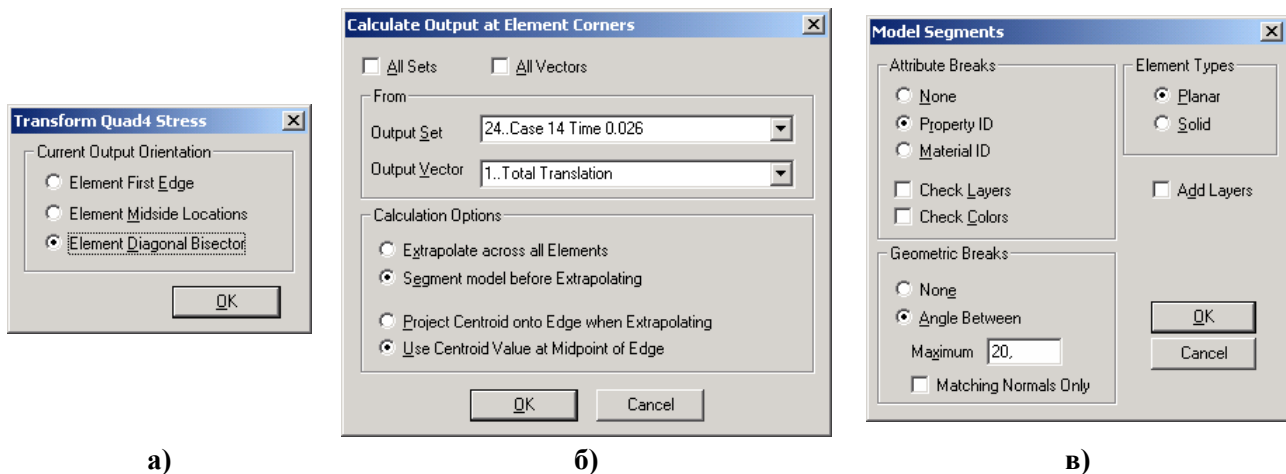


Рис.8.5. Діалогові панелі: а) – вказування початку координатної системи поточного виводу; б) – екстраполяції результатів; в) – сегментації моделі СЕ для екстраполяції результатів

- створення комплексів з амплітудних та фазових значень, які є у вказаних наборах даних та векторах (**Convert Complex...**), а також проведення зворотного перетворення (див. рис.8.6-а). Це буває необхідно при аналізі результатів задачі про власні коливання тіл;
- створення нового комплексного набору даних у вказаних фазових інтервалах (**Expand Complex...**). Основою є вказані набори даних та вектори. Якщо на діалоговій панелі (див. рис.8.6-б) обрати „**Single Phase**” (одна фаза), буде створено набір для вказаного значення „**First Phase**” (початкова фаза). Для випадку „**Phase Range**” (діапазон фаз) ще необхідно вказати „**Last Phase**” (остання фаза) та „**Increment**” (фазовий крок). **Увага:** для значення, яке вказано у полі „**Last Phase**”, нові дані не створюються.

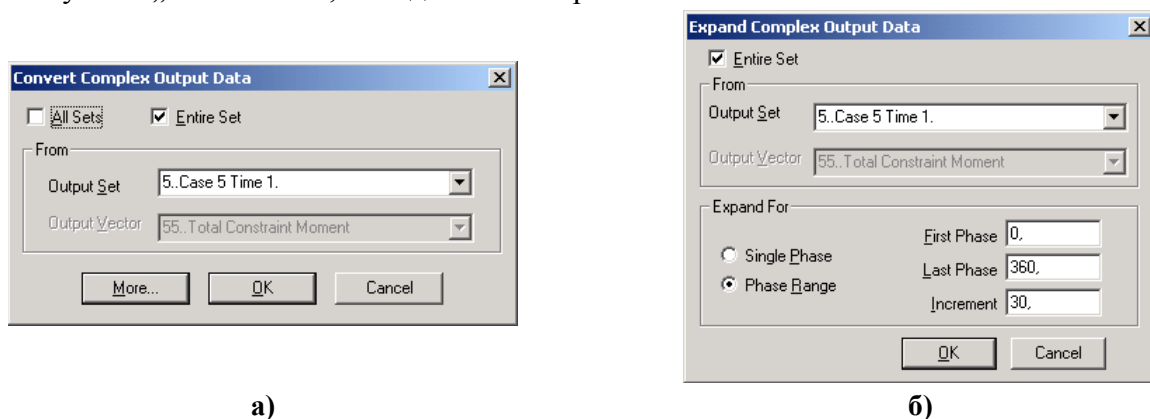


Рис.8.6. Діалогові панелі створення комплексів: а) – звичайних; б) – розширених

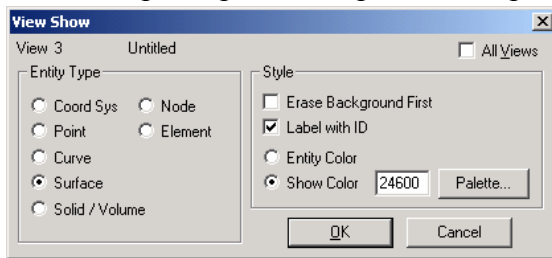
## 8.3. Керування зображеннями на робочому полі FEMAP

### 8.3.1. Команди меню „View”

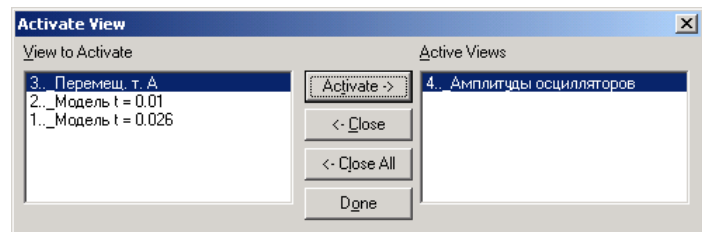
Для керування зображенням різноманітних об’єктів на робочому полі FEMAP є наступні команди меню „**View**”:

- **Redraw** (або „гарячі клавіші” **Ctrl+D**) – оновлення зображення на робочому полі, без оновлення внутрішніх масивів графічної інформації;
- **Regenerate** (**Ctrl+G** або **Ctrl+F12**) – регенерація активного вікна; „**Ctrl+Shift+G**” – регенерація всіх вікон. При регенерації всі масиви графічної інформації створюються знову, тому цю команду рекомендують при наявності проблем із зображенням;

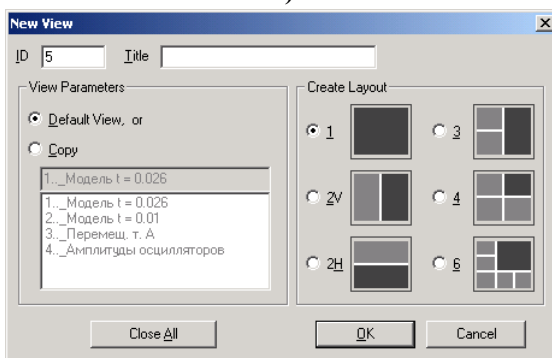
- **Show...** – показ тільки обраних елементів моделі в указаному стилі (див. рис.8.7-а);
- **All Views (Alt+F7)**. Це не команда, а опція. Коли вона встановлена, зміни зображень відбуваються не тільки в активному вікні, а у *всіх* інших *відкритих* вікнах;
- **Activate...** – активізація вікон із зображеннями (див. рис.8.7-б);
- **New...** – створення нових (від 1 до 6) або копіювання раніше створених вікон зображень (див. рис.8.7-в і табл.8.1);
- **Tile, Cascade** – зображення всіх відкритих вікон таким чином, щоб не було закритих частин (**Tile**) або каскадом (**Cascade**);
- **Window...** – встановлення параметрів вікна зображення (див. рис.8.7-г): імені, кольору фону (**Transparent** – прозорий), товстої (**Thick**) або тонкої (**Thin**) товщини границі навколо вікна для поточного або усіх (опція „**All Views**”) вікон. **Увага:** не рекомендується змінювати параметри вікна при повноекранному режимі;



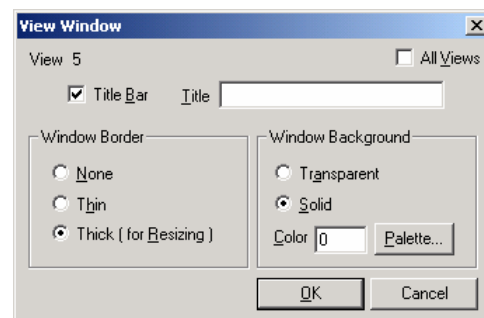
а)



б)



в)



г)

Рис.8.7. Діалогові панелі: а) – показу тільки обраних елементів моделі; б) – активізації; в) – створення нових вікон; г) – налаштування робочого вікна

- **Layers...** – див Розділ 1.7.1;
- **View→Rotate** та **View→Align By, Magnify..., Zoom..., Pan...** – див. Розділ 2.2.1;
- **Autoscale...** (автоматична зміна масштабу зображення до стандартного). Є такі варіанти: „**All**” (Shift+F7), „**Regenerate All**” (Shift+Ctrl+F7) та „**Visible**” (Ctrl+A). Супроводжується стрибкоподібним переміщенням зображення у центр робочого поля;
- **UnZoom** – повернення до попереднього масштабу зображення;

Таблиця 8.1. Орієнтація зображень в залежності від кількості створюваних вікон

| Кількість вікон | Орієнтація                          | Кількість вікон | Орієнтація                                                                                               |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1               | Default (XY або копіювання)         | 4               | XZ, XY, YZ, default (XY або копіювання)                                                                  |
| 2V, 2H          | XY, default (XY або копіювання)     | 6               | Ізометрія (-23, 34, 0 градусів), XZ, XY, YZ, ізометрія (60, 0, 60 градусів), default (XY або копіювання) |
| 3               | XZ, XY, default (XY або копіювання) |                 |                                                                                                          |

- **Center...** (є електронна кнопка ) – поміщення точки зі вказаними координатами, а також одночасно центру повертання для моделі у центр робочої площини. Зображення моде-

лі отримає відповідний зсув. Якщо розглядається графік, то значення (0%, 0%) відповідають лівому верхньому куту, а (100%, 100%) – правому нижньому;

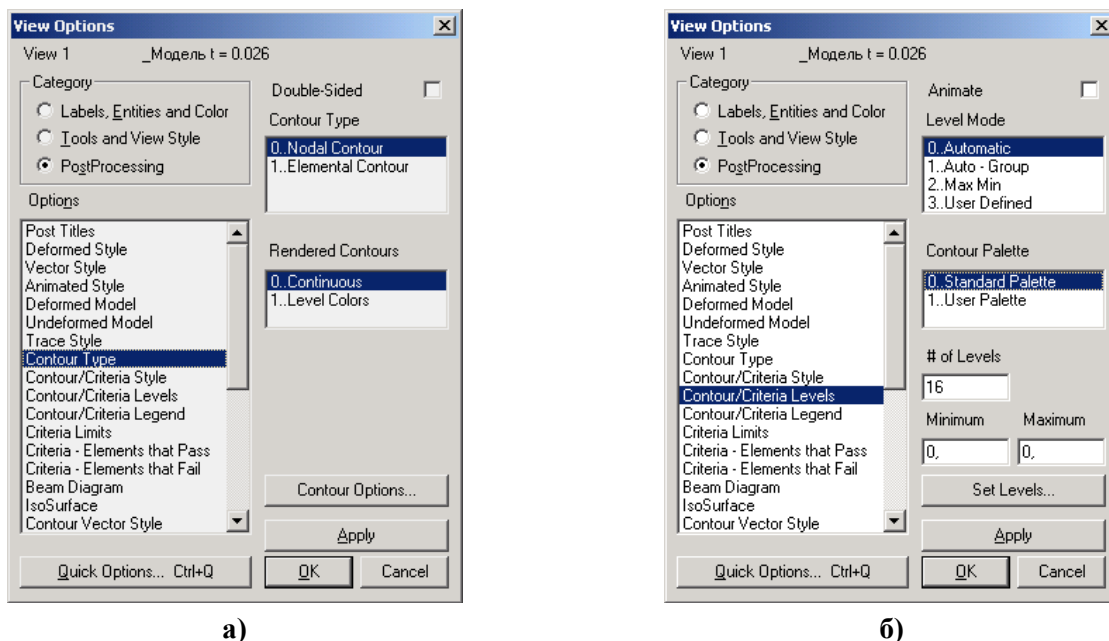
- **Options...** (або клавіша „F6”) – зміна параметрів зображення для окремих елементів моделі. Деякі відомості про ці інструменти наведені у Розділі 1.5, а додаткові до них – у наступному Розділі 8.3.2;

- **Select...** (або клавіша „F5”) – вибір табличних даних (функцій, результатів розрахунків) для їх подальшого зображення (див. Розділ 8.4);

- **Advanced Post ...** – група команд для перегляду результатів розрахунків у скінченно-елементній моделі (див. Розділ 8.4).

### 8.3.2. Діалогова панель „View Options”

Діалогова панель „View Options” (див. рис.1.9-а та рис.8.8) викликається командою **View→Options...** Вона має декілька секцій.



а)

б)

Рис.8.8. Діалогова панель View Option настроювання вигляду об'єктів

У секції „Category” обирається потрібний варіант: „Labels, Entities and Color” (позначення, об'єкти та кольори), „Tools and View Style” (інструменти та стиль вигляду) або „PostProcessing” (результати розрахунку). Потім у списку „Option” вказується необхідний об'єкт. У правій частині панелі з'являються додаткові списки та поля для призначення параметрів зображення об'єкта. Назва та зміст цих списків і полів відповідає обраному об'єкту. Варіантів багато, їх перелік приведено у Додатку 1.

Для швидких групових змін (відображати/не відображати) можна кнопкою „Quick Options...” викликати діалогову панель „View Quick Options” (див. рис.1.9-б).

Як буде виглядати зображення після змін, можна побачити не виходячи з діалогу (кнопка „Apply”). Кнопка „Cancel” скасовує усі нові призначення.

У двох ситуаціях на діалоговій панелі „View Options” з'являються кнопки „Contour Options...” (див. рис. 8.8-а) та „Set Levels...” (див. рис. 8.8-б).

Кнопка „Contour Options...” викликає панель „Select Contour Options” (див. рис. 8.9).

**Примітка 8.1.** У MSC.Nastran система алгебраїчних рівнянь, що породжується методом скінченних елементів, розв'язується відносно вузлових значень температури (задача про ТС) або переміщень (задача про НДС), потім на їх основі розраховуються для кожного з СЕ окремо інші (похідні від основних: тепловий потік, деформації, напруження, ...) величини або у точках чисельного інтегрування, або у геометричних центрах СЕ, або у вузлах СЕ (це залежить від типу СЕ). Оскільки графіка OpenGL будує зображення лише на даних у вузлах, то всі величини, що потрібно відобразити на контурі тіла, потрібно мати у вузлах СЕС. Отже, якщо величина була розрахована не у вузлах СЕС, то її необхідно привести до них.

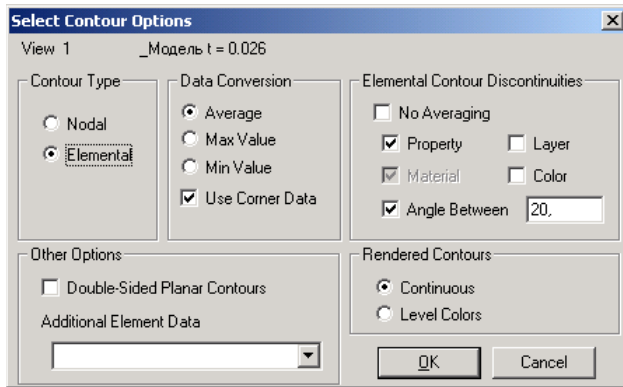


Рис.8.9. Діалогова панель для призначення типу контуру та варіанту перетворень даних

В секції „Type Contour” (тип контуру) обирається варіант „Nodal” або „Elemental”. Секція „Data Conversion” має три варіанта обчислення „еквівалентного” вузлових значення: „Average” (середнє арифметичне), „Max Value” (максимальне) та „Min Value” (мінімальне) з  $N$  значень. Активна опція „Use Corner Data” вказує, що будуть використовуватися первинні дані тільки з *кутових* вузлів СЕС. У секції „Rendered Contours” можна обрати або варіант „Continuous” (безперервний колір. Він має недоліки: по-перше, неможливо буде виявити наявні (можливо, помилкові) розриви у СЕС або природні розриви напружень на стижах різних матеріалів; по-друге, для двовимірних СЕС усереднення декількох даних (у першу чергу – напружень) по товщині, яке при цьому відбудеться, не є вірним варіантом) або „Level Colors” (колір ізосмуг).

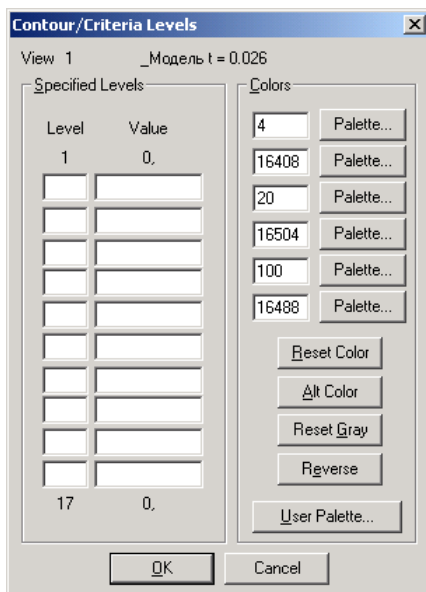


Рис.8.10. Діалогова панель для призначення базових та додаткових кольорів ізосмуг

Кнопка „Set Levels...” (див. рис. 8.8-б) викликає панель „Contour /Criteria Levels” (див. рис. 8.10). В секції „Colors” призначається 6 базових кольорів. Кнопка „Reset Color” встановлює їх „за замовчанням” (від червоного до фіолетового), „Alt Color” – альтернативну палітру (від червоного до темно-синього), „Reverse” змінює їх порядок на оборотний. Якщо у полі „# of Levels” (див. рядок 65 таблиці Д1.1. Додатку 1) кількість ізосмуг є більшою або меншою, ніж 6, то FEMAP проводить інтерполяцію кольорів між ізосмугами. Для подальшого друку на *монохромному* принтері можна кнопкою „Reset Gray” встановити *cіру* палітру. В

У MSC.Nastran реалізовано два варіанти. У першому спочатку її приводять до вузлів (варіант „Nodal”), у другому – до центру (варіант „Elemental”) кожного СЕС. Потім послідовно розглядаються всі вузли СЕС тіла та, якщо якісь вузол СЕС входить до  $N > 1$  СЕС, то з  $N$  значень величини, розрахованих у цих  $N$  СЕС (вузлових або „центрових”), обчислюється єдине („еквівалентне”) значення величини для даного вузла як об’єкта СЕС тіла. Є декілька варіантів обчислення єдиного значення. Для обирання всіх цих варіантів і створено діалогову панель „Select Contour Options”, що розглядається.

Для варіанта „Elemental” активні ще дві секції. У секції „Elemental Contour Discontinuities” можна опцією „No Averaging” відмінити усі усереднення або іншими опціями вказати вибіркові принципи відбору: згідно з „Property”, „Material”, „Layer”, „Color” (коли їх декілька), „Angle Between” (кут розбіжності орієнтації СЕС, у межах ... градусів). Це має сенс при розривах величини, що зображається, наприклад, коли стикуються пластини різної товщини. У секції „Other Options” опція „Double-Sided Planar Contours” вказує, що потрібно одночасно зобразити два контури (тільки для двовимірних СЕС: зверху та знизу пластини). У вікні „Additional Output Vector” можна обрати вектор результатів, який додатково буде відображатися (звичайно це актуально, коли стикуються поверхнями двовимірний та тривимірний СЕС).

**Примітка 8.2.** Значна різниця між мінімальним (максимальним) та середнім значенням у вузлі вказує на значну погрішність розрахунків, особливо там, де немає різких змін геометрії тіла або локально прикладених навантажень. У таких випадках потрібно змінювати СЕС (зменшувати розміри СЕС).

секції „Specified Levels” можна вказати ще до 10 додаткових *проміжних* рівнів (крайні значення „Level” – вказані) та значень, яким вони будуть відповідати (зверху вниз – зменшувати; суперечливі (зокрема, й відносно вказаним на панелі „View Options” значенням „Minimum” та „Maximum”) значення (Value) будуть ігноруватися). За допомогою кнопки „User Palette” можна настроїти або зчитати з файлу з розширенням імені .cnt нову (іншу) палітру. Щоб її застосувати, потрібно обрати для „Contour/Criteria Levels” (див. рис. 8.8-б) значення „User Palette”.

Командою **List→View...** можна вивести всі поточні призначення панелі „View Options” у вікно „Messages and Lists”.

#### 8.4. Перегляд функцій та результатів розрахунків крайової задачі

У FEMAP всі дані поміщені у таблиці, кожний стовпчик якої зветься вектором.

Результати розрахунків крайової задачі у FEMAP можна відобразити у вигляді графіків функцій, ізоповерхонь у об’ємі скінченно-елементної моделі тіла або на його поверхні, а також у вигляді епюр вздовж одновимірної скінченно-елементної сітки. Майже всі дії для цього здійснюються за допомогою діалогової панелі „View Select” (див. рис.8.11), яка викликається командою **View→Select...** (або клавішею „F5”, або кнопкою ). На ній є 4 секції.

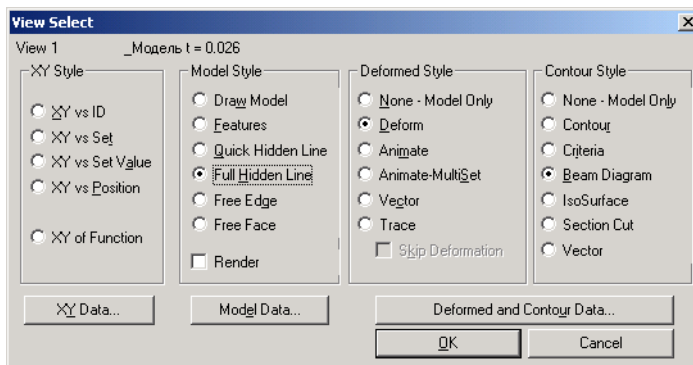


Рис.8.11. Діалогова панель „View Select”

Секція „XY Style” (координатний стиль) має такі варіанти створення графіків:

- „XY vs ID” – як функції „ID” („Node ID” або „Element ID”, в залежності від величини, що переглядається) для вектора виводу з *одного* набору результатів;

- „XY vs Set” – для вказаного вектора та одного „ID” як функції від номера набору (у *декількох* наборах результатів, наприклад, зміна темпе-

ратури вузла у наборах);

- „XY vs Set Value” – подібно „XY vs Set”, тільки не від номера набору, а від параметра „X” набору (коли він передбачений), наприклад, зміна температури вузла у часі (тоді параметр „X” – температура);

- „XY vs. Position” – зміни положення всіх вузлів або СЕ в напрямку вказаної осі для вектора в *одному* наборі результатів;

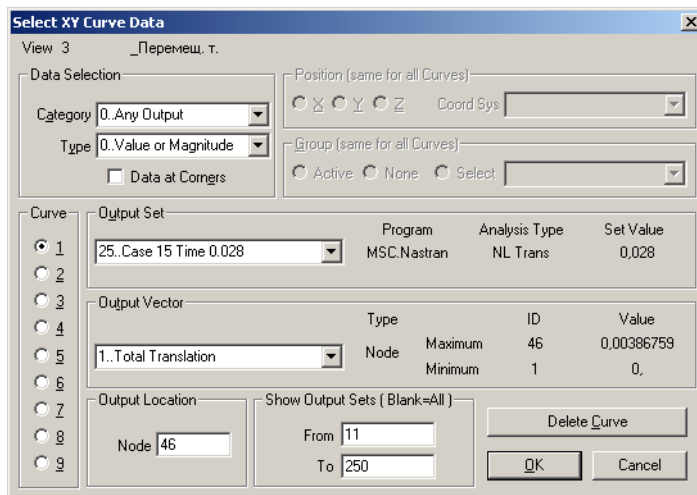
- „XY of Function” – графік функції: створених користувачем або результатів розрахунків, представлених у вигляді функцій.

Після обиравання одного з варіантів (окрім останнього) кнопкою „XY Data” викликається діалогова панель „Select XY Curve Data” (див. рис.8.12-а). На ній обирається категорія та тип даних, може встановлюватися опція „Data at Corners” (дані в кутах). У списках „Output Set” та „Output Vector” обираються необхідні набір та вектор результатів. Для варіантів „XY vs Set” та „XY vs Set Value” є активними поля „Node” або „Element” (вказується номер вузла або СЕ) та „From”, „To” (вказується (єдиний для всіх кривих) діапазон номерів наборів, якщо використовуються не всі набори). Можна створити до 9 кривих (відобразяться на одному графіку різними кольорами). **Увага:** для довідки на панелі з’являються можливі значення „ID”, а також максимальні та мінімальні значення величини (Value), вказаної у списку „Output Vector”, *лише у тому наборі*, який обрано у списку „Output Set”.

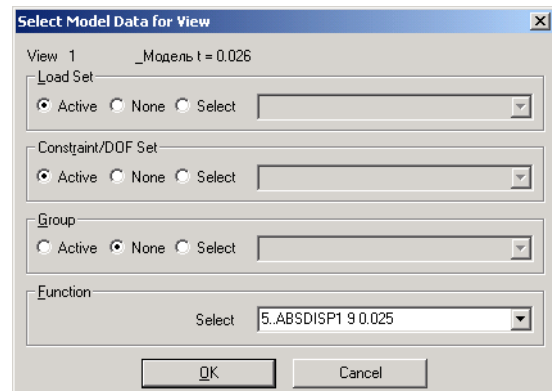
Для варіанту „XY vs. Position” у секції „Position” необхідно вказати напрямок та координатну систему. Для варіантів „XY vs ID” та „XY vs. Position” у секції „Group” у якості обмеження можна обрати групу об’єктів (активну або зі списку).

Деякі результати розрахунків у FEMAP представляються як функції, які можна переглянути за допомогою варіанту „XY of Function”. Тоді кнопкою „Model Data” (див. рис.8.11) потрібно викликати діалогову панель „Select XY Curve Data” (див. рис.8.12-б), де у

секції „**Function**” потрібно у списку „**Section**” обрати необхідний вектор. Аналогічно проводиться перегляд графіків функцій, створених за допомогою команди **Model→Function...** (див. Розділ 1.8.2).



а)



б)

Рис.8.12. Діалогові панелі налаштування перегляду результатів розрахунків у вигляді графіків

**Увага:** для масштабування графіків зручно користуватися кнопками панелі „**View Magnify**” (викликається командою **View→Magnify...**, або гарячими клавішами „**Ctrl+M**”): „**Fill View**” – 100% заповнення поля графіка; „**Down 10%**” або „**Up 10%**” – зменшення або збільшення відразу на 10%. Останні дії можна також виконувати електронними кнопками . Кнопка  (**Zoom**) може прислужитися для „вирізання” частини графіка.

У секції „**Model Style**” (див. рис.8.11) обирається стиль зображення: „**Draw Model**” (геометрична модель – дротова); „**Features**” (врахування призначень графічного режиму Windows); „**Quick Hidden Line**” (швидкий (не точний) алгоритм видалення невидимих ліній); „**Full Hidden Line**” (повне видалення невидимих ліній); „**Free Edge**” (вільні грані); „**Free Face**” (вільні лицьові поверхні). Останні два режиму застосовують для перевірки якості моделі, оскільки вільні грані та лицьові поверхні часто вказують на локальні розриви моделі. Є опція „**Render**”, яка дозволяє застосовувати можливості графічного режиму OpenGL, зокрема динамічної зміни зображення твердого тіла. Вказані стилі зображення та ті, що встановлюються за допомогою кнопки , у сукупності забезпечують практично всі варіанти, які можуть бути потрібні для роботи з об'єктами моделі. **Увага:** у кожному з трьох варіантів графічного режиму: без „**Render**” (див. рис.11), „**Render Original**” та „**Render Enhanced**” (див. рис.1.5-а) є свої можливості та обмеження (див. „**Help**”).

У секції „**Deformed Style**” (див. рис.8.11) обирається стиль відображення деформацій тіла: „**None – Model Only**” (без деформацій); „**Deform**” (з деформаціями, ступень утрирування встановлюється на діалоговій панелі „**View Options**”, див. Розділ 8.3.2 та Додаток 1); „**Animate**” (анімація з деформаціями); „**Animate Multi-Set**” (анімація на основі декількох послідовних наборів); „**Vector**” (без деформацій, але з векторами напрямку деформування); „**Trace**” (подібно до „**Animate Multi-Set**”, але без відображення з'єднаних ліній). Для відображення скалярних величин для двох стилів активна опція „**Skip Deformations**”.

У секції „**Contour Style**” (див. рис.8.11) обирається стиль відображення результатів розрахунків у вигляді кольорових ізосмуг, ізоповерхонь та епюр: „**None – Model Only**” (не відображати); „**Contour**” (апроксимоване зображення на контурі, тобто на поверхні CE, яка є зовнішньою для тіла); „**Criteria**” (як „**Contour**”, але не апроксимоване, а усереднене для CE); „**Beam Diagram**” (епюри або подібні їм діаграми); „**IsoSurface**” (внутрішні ізоповерхні в тривимірних CE моделях); „**Section Cut**” (відсікання площинами частин тіла); „**Vector**” (вектор у центрі CE).

**Увага:** по-перше, зображення може дещо змінитися при обиранні інших варіантів секції „**Model Style**”; по-друге, кількість ізосмуг (колірів) встановлюється на діалоговій панелі

„View Options” у категорії „PostProcessing” для „Contour/Criteria Levels” у полі „# of Levels”. За замовчанням ця кількість дорівнює 16. Можна її збільшити, наприклад, до 32, але значно її збільшувати немає сенсу.

Коли призначені режими „Deformed Style” та „Contour Style”, потрібно кнопкою „Deformed and Contour Data...” викликати діалогову панель „Select PostProcessing Data” (див. рис. 8.13). Ще цю панель можна викликати кнопкою  (Post Data) з панелі команд, комбінацією „Shift+F5” або командою „Post Data...” на динамічній панелі, яка викликається правою кнопкою „миші” (тоді застосовуються ті призначення на діалоговій панелі „View Select”, що були зроблені при останньому її виклику). Ліва її частина нагадує діалогову панель „Select XY Curve Data” (див. рис.8.12-а). У вікні „Output Set” обирається набір результатів; у вікні „Deformation” – вектор результатів, на основі якого буде створюватися стиль відображення деформацій тіла „Deformed Style”; у вікні „Contour” – той, на основі якого буде створюватися стиль відображення „Contour Style”. Якщо у секції „Deformed Style” було обрано „Animate Multi-Set” або „Trace”, то будуть активними вікна „Final Output Set” (останній набір з діапазону наборів) та „Output Set Increment” (крок по номерам наборів).

У секції „Section Cut Options” (є активною лише для варіанту „Section Cuts” секції „Contour Style”, див. рис.8.11) є три варіанти. Перший (Cut Model) дозволяє призначити одну площину розсічення твердого тіла (за допомогою кнопки „Define Section...”), після чого зображення однієї частини тіла (що на боці з додатною нормаллю до площини) зникає, а на площині розсічення і на поверхнях, що залишилися, з’являється кольорове зображення. Другий (Parallel Sections) дозволяє призначити одну або декілька паралельних площин розсічення, причому зображення всього тіла стає прозорим, і лише на площинах розсічення є зображення ізосмуг. У полі „Number” вказується кількість площин, а у „Spacing” – відстань між ними у напрямку додатної нормалі до першої площини (зі знаком мінус – у оборотному напрямку). Зображення моделі залежить від вибору варіанта у секції „Model Style” (див. рис.8.11), якщо є включеною опція „Render”.

Третій (Multiple Sections) дозволяє призначити до трьох площин розсічення твердого тіла з незалежною орієнтацією за допомогою кнопок „Section 1...”, „Section 2...” та „Section 3...” (див. рис.8.14).

Для режиму „Trace” (див. рис.8.11) кнопкою „Trace Locations...” можна викликати діалогову панель „Trace Locations”, на якій – обрати один з трьох варіантів для вузлів: „All” (всі, варіант „за замовчанням”), „ID” (конкретний вузол) або „Group” (заздалегідь створена група вузлів).

Кнопкою „Contour Options...” можна викликати діалогову панель „Select Contour Options” (див. рис.8.9), яка вже описана у Розділі 8.3.2.

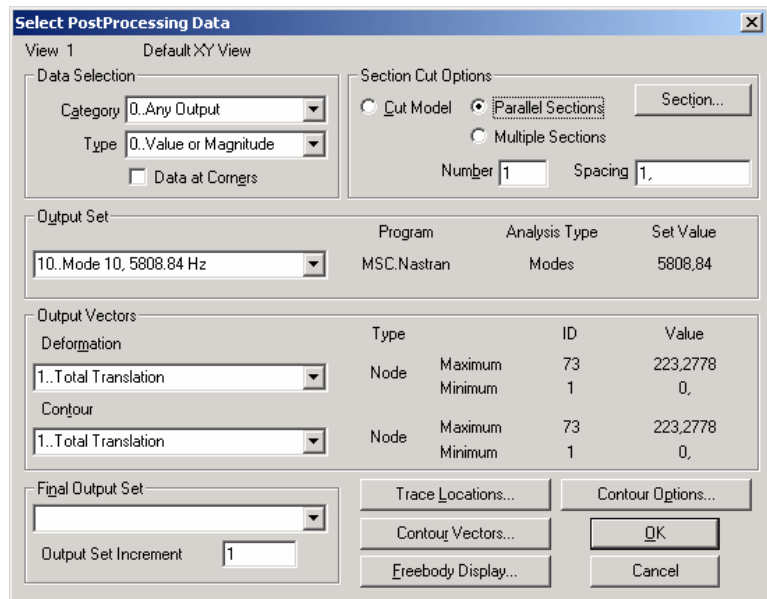


Рис.8.13. Діалогова панель призначення наборів та векторів результатів розрахунків для відображення у вигляді кольорових ізосмуг, ізоповерхонь та епюр

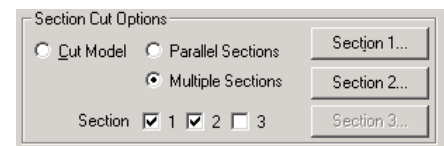


Рис.8.14. Зображення секції „Section Cut Options” діалогової панелі „Select PostProcessing Data” для варіанту „Multiple Sections”

Для режиму „Vector” (див. рис.8.11) кнопкою „Contour Vectors...” можна викликати діалогову панель „Contour Vectors Options” (див. рис.8.15-а) для настроювання контурних векторних графіків (до трьох різних векторів (зі списків), позначених різними кольорами на одному графіку). **Увага:** це працює вірно в графічному режимі „Render”. Є такі типи графіків: „Standard Vectors” (один з векторів типу „Total”), „Single Value” (один з векторів „Total” або один з компонентів), „2-D Components” (два) та „3-D Components” (три логічно пов’язаних вектора). Наприклад, для двох векторних графіків типу „3-D Components” необхідно обрати 6 векторів. Для двовимірних та тривимірних СЕ у секції „Output Relative To” можна обрати один із п’яти варіантів напрямків: „Element Edge / Solid CSys or Nodal Output Csys” (у двовимірних СЕ напрямком **X** – вздовж 1-го ребра СЕ; для тривимірних СЕ – відповідно введеної локальної системи координат); „Element Midside Locations” (у двовимірних СЕ напрямком **X** – від середнього вузла 2-го ребра до середнього вузла останнього (3-го або 4-го) ребра); „Element Diagonal Bisector” (у двовимірних СЕ з 4-ма кутами напрямком **X** – вздовж бісектриси кута між діагоналями, причому кут – у трикутнику при 1-му ребрі); „Element Material Direction” (напрямок **X** – вздовж орієнтації властивостей матеріалу); „CSys” (в обраній глобальній системі координат). **Увага:** FEMAP не перевіряє відповідність цих призначень ситуації, тому можливі невірні зображення.

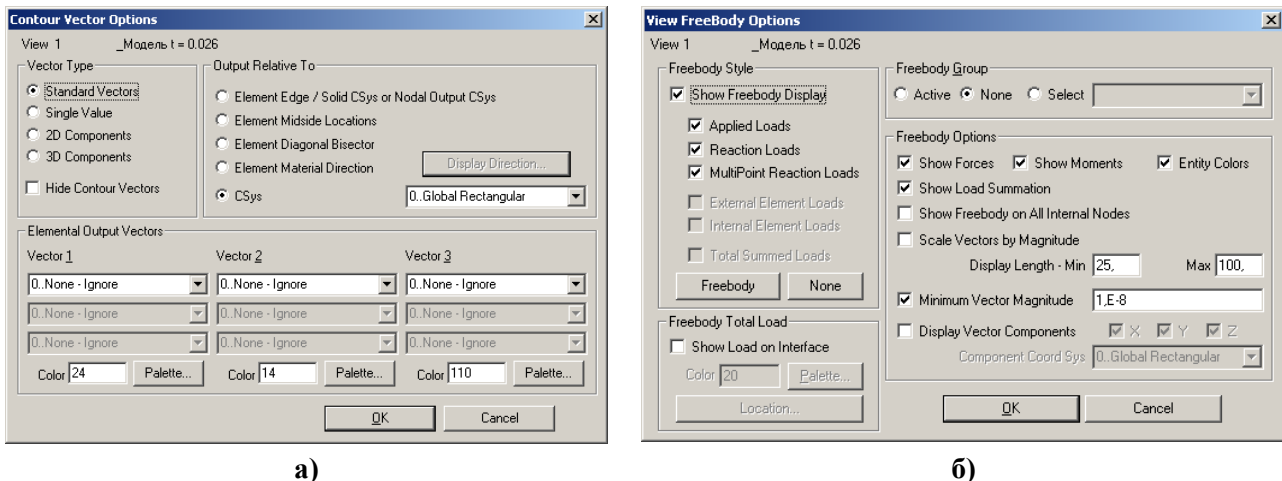


Рис.8.15. Діалогові панелі для настроювання:  
а) – контурних векторних графіків; б) – режиму Freebody

Для всіх режимів, окрім „Free Edge” (див. рис.8.11), кнопкою „Freebody display...” можна викликати діалогову панель „View FreeBody Options” (див. рис.8.15-б) для настроювання ще одного типу графічного зображення результатів розрахунків – контурних векторів (після ініціації опції „Show Freebody Display”). Типова діаграма „freebody” буде включати прикладені навантаження (**Applied Loads**), реакції зв’язків (**Reaction Loads** та **Multipoint Reaction Loads**), зовнішні (**External Element Loads**) та внутрішні (**Internal Element Loads**) елементні навантаження, сума всіх сил, тобто рівноважна „**Total Summed Load**” (дозволяє перевірити, чи є тіло урівноваженим?), які відображені у вигляді векторів. Для прояснення зображення може прислужитися зображення СЕ у стиснутому вигляді (див. рядок 40 Таблиці Д1.1. Додатку 1). Є можливість обмежити об’єкти (СЕ) заздалегідь створеною групою. У секції „Freebody Options” потрібно вказати, які вектори зображати: сил та/або моментів. Опція „Entity Colors” вказує, що буде застосовано колір зображення векторів, призначений для „Vector Style” (див. рис.8.8-б). Опцією „Show Load Summation” вказується, що вектори кожного вузла зводяться до єдиного; при цьому з’являється можливість у секції „Freebody Total Load” вказати їх особливий колір та (кнопкою „Location...” – локалізацію. Опцією „Show Freebody on All Internal Nodes” (для всіх внутрішніх вузлів) рекомендують користуватися при незначній кількості таких вузлів. За допомогою опції „Scale Vectors by Magnitude” та полів „Display Length” можна вказати мінімальну та максимальну довжину векторів. У полі „Minimum Vector Magnitude” можна вказати обмеження знизу на величини век-

торів, що будуть відображені, а за допомогою опції „**Display Vector Components**” – видалити вектори, направлені вздовж осей **X**, **Y** та/або **Z** обраної основної координатної системи.

Для перегляду результатів розрахунків у *тривимірній* скінченно-елементній моделі ще можна застосовувати групу команд **View→Advanced Post...** (тільки в графічному режимі „**Render**”):

- **Dynamic Cutting Plane...** – динамічне розсічення тривимірної СЕ моделі 1-ю (за замовчанням – площина **XY**), 2-ю (**YZ**) або 3-ю (**ZX**) площинами, орієнтацію яких можна змінити за допомогою кнопки „**Plane...**” на діалоговій панелі „**Dynamic Section Cut Control**” (див. рис.8.16-а). Поточне положення площин змінюється движком смуги прокручування або з клавіатури в полі „**Value**”. У полі „**Delta**” можна встановити крок для стрибкоподібного переміщення площин;

- **Dynamic IsoSurface...** – динамічне відображення результатів тривимірного розрахунку у вигляді *однієї* внутрішньої ізоповерхні. На діалоговій панелі „**Dynamic IsoSurface Control**” (див. рис.8.16-б) за допомогою движка смуги прокручування або з поля „**Value**” можна встановити будь-яке значення функції, яка переглядається, у діапазоні її змінювання. На тривимірній моделі тіла відображається відповідна ізоповерхня. Її колір або буде відповідати значенню функції (**Contour Colors**), або буде незмінним (**Use View Color**) та відповідати значенню „**IsoSurface Color**” (див. рядок 71 таблиці Д1.1. Додатку 1);

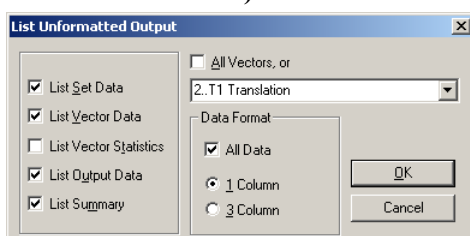
- **Animation...** – перегляд анімаційних зображень (у режимі „**Animate**”, див. рис.8.11). Є регулювання швидкістю анімації (за допомогою кнопок „**Faster**” та „**Slower**”, а також значення „**Delay**”, див. рис.8.16-в). У режимі „**Half**” половина зображень пропускається (є ще „**Full**” – повний).

Ще один варіант перегляду результатів – за допомогою команд меню „**List→Output**”:

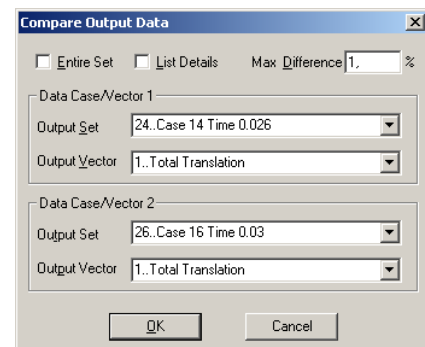
- **Query...** (запит про дані в одиночному об’єкті) – на діалоговій панелі (див. рис.8.17-а) обирається набір результатів („**All Sets**” – всі), категорія (всі, або переміщення, швидкість/прискорення, напруження ...), об’єкт (вузол або СЕ), вказується його номер (**ID**). Кнопка „**More**” дозволяє продовжувати виведення даних без виходу з діалогу;



а)



б)



б)

Рис.8.17. Діалогові панелі створення запиту:

а) – для одиночного об’єкта; б) – порівняльного; в) – для вектора, спрощений формат

- **Compare...** (порівняння) – на діалоговій панелі (див. рис.8.17-б) обираються два набору результатів та, якщо відключити опцію „**Entire Set**” (повний набір) – вектори. Також вказується граничне значення різниці (у відсотках), яке не буде вважатися різницею. Можна встановити опцію „**List Details**” (детальне виведення). У заключному рядку повідомлення ще

наводяться **ID** і максимальна різниця (**MxDiff**), **ID** і максимальна різниця у відсотках (**MxPct**), а також скалярний добуток (**Dot**) двох векторів (останнє можна використовувати для перевірки ортогональності векторів);

- **Unformatted...** (спрощене виведення) – на діалоговій панелі (див. рис.8.17-в) встановлюється опція „**All Vectors**” або обирається вектор (з поточного набору), а також вказуються, які дані виводити та до скількох стовпчиків (1 або 3);

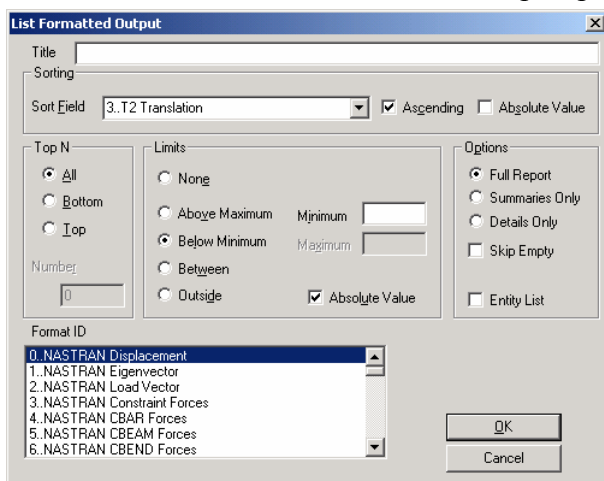
- **Standard...** (стандартне виведення) – для обраного набору результатів на діалоговій панелі (див. рис.8.18-а) можна ввести заголовок (**Title**), у списку „**Sort Field**” – обрати вектор результатів; опціями „**Ascending**” (збільшення) та „**Absolute value**” (абсолютне значення) – призначити принцип сортування; у секторі „**Top N**” (для вузлів або CE) – кількість значень, з яких буде сформований список („**Top**” – максимальні або „**Bottom**” – мінімальні значення); у секторі „**Limits**” – обмеження: „**Above Maximum**”, „**Below Minimum**”, „**Between**” або „**Outside**” (вище, нижче, в діапазоні або за границями вказаних значень); у секторі „**Options**” – „**Full Report**” (повний звіт), „**Details Only**” (тільки деталі) або „**Summaries Only**” (тільки резюме). Зі списку „**Format ID**” потрібно обрати один із стандартних форматів виводу даних (увага: він повинен відповідати вектору). Опція „**Skip Empty**” вказує, що не треба виводити поля з відсутніми даними (коли замість очікуваних цифр виводяться „зірочки” \*\*\*\*\*); опція „**Entity List**” – список ідентифікаторів вузлів або CE, для яких виведені дані;

- **Use Format...** (формат користувача) – після обиравання набору результатів з’являється діалогова панель „**List Formatted Output**” (див. рис.8.17-а). Але на якій є дві нові кнопки: „**Modify Format...**” та „**New Format...**”, які викликають панель „**Define Output Format**” (див. рис.8.18-б). На ній кнопкою „**Load**” викликається список стандартних форматів або кнопкою „**Copy**” – один з раніше обраних; обирається один з них із списку, потім формат можна змінити потрібним чином. Значення у дужках <> такі: номер вектору, кількість цифр, указник E-формату (**Y** або **N**), вирівнювати зліва (**Y** або **N**). Більш докладно – у „**Help**”;

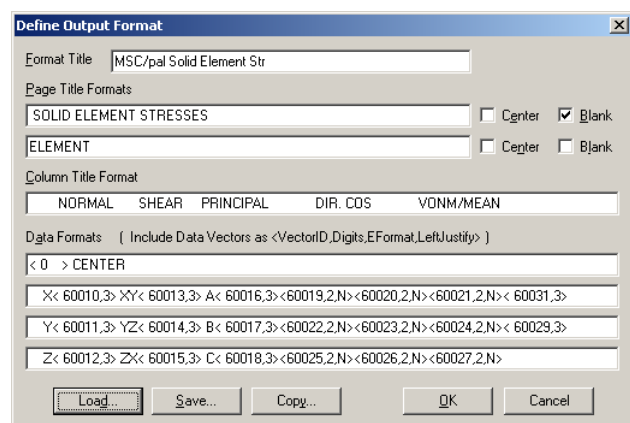
- **Force Balance...** (баланс сил) – послідовно обираються набір результатів, вузол та система координат для виводу всіх сил, що діють на вузол;

- **XY Plot...** (графік у вигляді таблиці) – необхідно послідовно побудувати графік (**F5→XY vs. Set**), задати ім’я файлу для виводу з розширенням імені **.lst** (якщо це потрібно, **List→Destination...**), дати команду для виведення (**List→Output→XY Plot**);

- **Format...** – виводяться дані про призначені раніше формати виводу результатів.



а)



б)

Рис.8.18. Діалогові панелі: а) – стандартного формату виводу; б) – настроювання формату

Повідомлення з’являються у вікні „**Messages and Lists**”. **Увага:** за допомогою команди **List→Destination...** можна вказати й інші шляхи виводу: на принтер або у файл, але потрібно пам’ятати, що туди будуть виводитися *всі* повідомлення. Виділену у вікні „**Messages and Lists**” частку повідомлення можна зберегти у файлі з розширенням імені **.lst** за допомогою команди **File→Messages→Save...**, або скопіювати в буферну пам’ять.

Нагадаємо про ще одну дуже зручну можливість – застосування перемикачів, що розташовані в правій частині панелі стану (горизонтальна смуга понизу, див. рис.1.1. Розділу 1.3). Зокрема, правий перемикач (**Prop: 4 | Ld: 1 | Con: 1 | Grp: 0 | Out: 2 | Off**) викликає діалогову панель, на якій можна вказати тип об'єкту, для якого будуть виводитися дані, якщо на робочому полі обрати конкретного представника обраного типу об'єкту (вузол, матеріал, СЕ, ...).

Повну статистику для всієї моделі можна отримати командою **List→Model Info**.

У FEMAP реалізована можливість передавання результатів розрахунків у вигляді текстових таблиць, наприклад, до табличного редактора **Excel**. Потрібно командою **File→Export→Analysis Model...** викликати діалогову панель „**Export To**”, обрати на ній варіант „**Comma-Separated**”. Після призначення імені файлу з'явиться панель (див. рис.8.19), де необхідно обрати набір результатів (**Output Set**), перший (**First**) та останній (**Last**) із векторів, що потрібні (вони повинні мати однаковий тип: вузловий або елементний). У секції „**Format**” є опції „**First Row Contains Titles**” (перший рядок – назва) та „**First Column Contains IDs**” (перший стовпчик – номери), а також поле „**Significant Digits**” (кількість значущих знаків у результатах). Після обрання необхідних вузлів або СЕ буде створено файл \*.csv.

Дані з цього текстового файлу до редактора **Excel** можна імпортувати за допомогою команди (російськомовний інтерфейс): **Данные→Импорт внешних данных→Импортировать данные...**, у подальшому вказати, що формат даних – з роздільником, символ-роздільник – кома; на наступній панелі ініціювати кнопку „**Подробнее...**” та вказати, що роздільник цілою та дробової частини – точка.

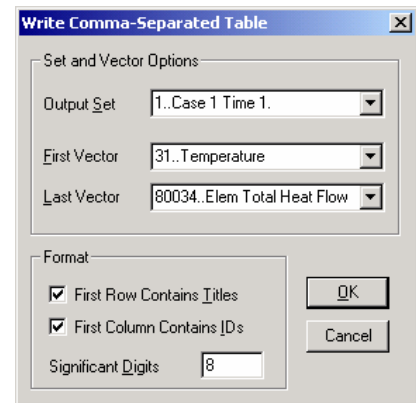


Рис.8.19. Діалогова панель виводу результатів до текстового файлу у вигляді таблиць