# Розділ 1

# ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

UGS.F93, а вірніше – його частина FEMAP, має всі інструменти, необхідні для підготовки до проведення повного циклу обчислень в іншій його частині – NX Nastran, а також для проведення операцій імпорту (або експорту) як геометричних моделей, так і всього проекту у цілому з інших (або у інші) програми аналогічного призначення (ABAQUS, ALGOR, ANSYS, CAEFEM, GENESIS, LS-DYNA3D, MARC, PATRAN, COSMOS ...).

На рис.1.1. показано *графічний інтерфейс користувача* FEMAP з деякими викликаними мнемонічними меню (панелями електронних кнопок), а саме: "Model" (під меню, ліворуч), "View" (під меню по центру), "Entity Display" (під меню, праворуч), "Custom Tools" (під меню, ще праворуч), "Post" (вертикальна, праворуч поверху), "Select" (вертикальна, праворуч посередині), "Panes" (вертикальна, праворуч внизу). На робочому полі моделі розташовано зображення результатів розрахунків на поверхні деталі (по контуру – Contour) у вигляді ізосмуг (назва величини вказана в лівому нижньому куті вікна з зображенням, тут це Plate Top vonMises Stress – еквівалентні напруження за гіпотезою енергії формозміни (Miseca) на верхній і нижній сторонах CE типу Plate). Тіло показано у здеформованому стані (з перебільшенням для наочності). Крім результатів, на поверхні показано скінченно-елементну сітку, закріплення у вузлах (зліва поверху) і прикладене навантаження (сили). У вікні ще зображено глобальні осі X, Y, Z та кольорову гаму з градаціями величини, яка виводиться.



#### Рис.1.1. Графічний інтерфейс користувача програми FEMAP 9.3

Зліва від робочої площини зображені інформаційні панелі "Model Info", "Entity Editor" та "Entity Info"; на останній виведені відомості про обраний за допомогою "миші" скінченний елемент (на нього вказує перехрестя "миші", він виділений іншим кольором).

Усі інструменти FEMAP можуть бути активовані через головне меню програми, панель швидкого доступу, перемикачі, "гарячі" та функціональні клавіші, застосуванням мнемонічних меню (панелей електронних кнопок).

Активізація **панелі швидкого** доступу проводиться клацанням правою кнопкою "миші" десь на робочому полі. Наповнення цієї панелі залежить від дій, що проводяться. Звичайно у це меню поміщені (див. рис.1.1, праворуч від зображення тіла) виклики деяких діалогів для налаштовування робочої площини, вигляду курсору (**Snap to …**), зображення на робочому полі тощо.

# 1.1. Меню FEMAP

Головне меню (див. рис.1.1, поверху) має такі групи команд та інструментів:

Назва	Призначення
File	Завантаження, збереження, експорт, імпорт, друкування моделей, запуск про-
	грами на виконання розрахунків, запуск макросів (*.prg) та сторонніх програм,
	загальне налаштування інтерфейсу
	Команди Undo і Redo; керування параметрами робочої площини, курсору, мо-
Tools	делі; контроль якості моделі, вимір відстані і кутів, пошук і об'єднання співпа-
	даючих примітивів і інші контрольні функції
Geometry	Побудова геометричної моделі
Connect	Завдання умов контактування тіл, які входять у модель
	Побудова крайової задачі (моделі): введення функцій, теплофізичних і механі-
Model	чних характеристик матеріалів, початкових умов і граничних умов (ГУ); керу-
	вання формуванням результатів розрахунку для їх подальшої обробки
Mosh	Формування умов, проведення автоматичної та напівавтоматичної генерації
WICSH	скінченно-елементної моделі (СЕМ)
Modify	Модифікація (редагування) існуючої геометричної моделі або СЕМ
List	Одержання інформації про різноманітні дані проекту (у вигляді списку)
Delete	Видалення різних складових моделі
Group	Формування різних груп для складних моделей, робота з ними
View	Керування переглядом результатів розрахунків та функцій тощо
Window	Настроювання графічних вікон
Help	Одержання довідкової інформації від фірми-розробника програми

# 1.2. "Гарячі" клавіші FEMAP

"Гарячих" клавіш дуже багато (можна самостійно призначати нові, див. Розділ 1.5). Повний список можна одержати з меню **Help**. Деякі з тих, що застосовуються найчастіше, поміщено в наступну таблицю:

Клавіші	Призначення		
F1, Ctrl+H	Виклик діалогу " <b>Help</b> " (Допомога)		
F2, Ctrl+W	Виклик діалогу "Workplane Management" – зміни робочої площини		
F3	Виклик діалогу друкування		
F4	Команда "Save…" збереження проекту у файлі		
F5 Ctrl+S	Виклик діалогу "View Select" (настроювання перегляду результатів роз-		
r5, Cui+5	рахунків та функцій)		
F6	Виклик діалогу "View Option" (налаштовування зображень)		
F7	Виклик діалогу "View Zoom" (зміна масштабу зображення)		
F8	Виклик діалогу "View Rotate" (повороти зображення)		
Ctrl+D, Ctrl+G	+G Оновлення (регенерація) зображення робочого полю		
Ctrl+Z,	Команди "Undo" (відмова від останньої дії) та "Redo" (відмова від		
Ctrl+Shift+Z	останньої команди "Undo")		
	(Autoscale) – стрибкоподібне переміщення зображення у центр робочого		
CITTA	поля зі зміною масштабу зображення до стандартного		
Ctrl+C	Копіювання зображення активного вікна в буферну пам'ять		

## 1.3. Перемикачі, мнемонічні меню, панелі та кнопки FEMAP

**Перемикачі** розташовані у правій частині панелі стану (горизонтальна смуга понизу, див. рис.1.1). Вони викликають динамічні меню, які служать для активації деяких об'єктів: властивостей СЕ (**Prop**), наборів навантажень (**Ld**), кінематичних граничних умов (**Con**), груп (**Grp**), таблиць для виводу результатів обчислень (**Out**): <u>Prop: 0 Ld: 106 Con: 1 Grp: 1 Out: 1</u>.

Мнемонічні меню (панелі електронних кнопок) можуть викликатися, "прятатися" та переміщуватися у будь-яке місце графічного інтерфейсу. Вони прискорюють пошук та викликання інструментів, до яких є доступ із головного меню, мають деякі додаткові інструменти. Графічне зображення на кнопках допомагає безпомилково обрати необхідний інструмент. Для виклику мнемонічних меню можна застосовувати команду Tools→Toolbars→, або клацанням правою кнопкою "миші" тоді, коли її курсор вказує десь на вільне місце праворуч від команд меню.

Є сенс, щоб мнемонічні меню, які найчастіше застосовуються, були завжди присутні у графічному інтерфейсі. Відразу після інсталяції програми активні мнемонічні меню, що зображені на рис.1.1. Відомості про них поміщено у наступних таблицях.

Вигляд кнопок	Призначення			
	"New" – створення нового робочого вікна (для нової моделі); "Open" – відкриття файлу з моделлю; "Save" – збереження моделі у файлі			
<b>e</b> ®	"Analyze Model" – запуск процесу розв'язування крайової задачі за до- помогою NX Nastran або іншої призначеної програми			
😕 💯 🕼 🥵	"Import Geometry" – імпорт геометрії; "Import Model" – імпорт моделі; "Export Model" – експорт моделі; "Import Results" – імпорт результатів			
- 4	"Copy Picture" – копіювання зображення активного графічного вікна в буфер обміну інформацією (clipboard); "Print" – друкування цього зо- браження			

Таблиця 1.1. Коротка характеристика мнемонічного меню "Model"

#### Таблиця 1.2. Коротка характеристика мнемонічного меню "View"

Вигляд кнопок	Призначення
	"Dyn Rotate" – динамічне переміщення, масштабування або поворот
•	моделі
	"Pan left" – переміщення моделі вліво, "Pan right" – вправо, "Pan up" – нагору Pan down" – вниз (перемішення на $10\%$ – просте натискання на
9909	25% – з натиснутою клавішею "Shift", на $50%$ – з клавішею "Ctrl", на
	100% – з клавішею "Alt")
	"Rotation Direction" – переключення напрямків обертання моделі; "Ro-
	tate X", "Rotate Y", "Rotate Z" – обертання навколо осей X/Y/Z відповід-
+ 🗙 🖉 🗹	но (просте натискання – обертання щодо осей Х, Ү, Ζ; із клавішею
	"Shift" – щодо осей екрана, із клавішею "Ctrl" – поворот на 90° щодо
	осей X, Y, Z; із клавішею "Alt" – поворот на 90° щодо осей екрана)
	"Mag Up" – збільшення, "Mag Down" – зменшення масштабу зображен-
$\odot$ $\odot$	ня моделі (просте натискання – на 110%, із клавішею "Shift" – на 150%,
	із клавішею "Ctrl" – на 200%, із клавішею "Alt" – автомасштабування)
	"Zoom" – збільшення обраної прямокутної області; "Prev Zoom" – пове-
🗔 🖾 🖶 -	рнення до попереднього масштабу зображення; "View and Rotation Cen-
	ter" – центрування та обертання моделі щодо зазначеної точки
	Виклик діалогових панелей: "View Select" – для вибору типу рисунка,
	керування методом відображення моделі і даними для обробки резуль-
	татів; "View Quick Options" – для керування відображенням об'єктів
	моделі і міток; "Layer Management" – для активізація графічних рівнів
	для наступного відображення

	"View Style" – виклик динамічного меню для встановлення стилю зо-
6 -	браження, зображення/прибирання робочої площини, виклик діалогової
	панелі "View Options"

# Таблиця 1.3. Коротка характеристика мнемонічного меню "Post"

Вигляд кнопок	Призначення
Д. П. П.	Показувати зображення моделі у недеформованому ("Select an Unde- formed View"), здеформованому ("Select an Deformed View") вигляді та із застосуванням анімації ("Select an Animated View") відповідно
	Не показувати (перша кнопка "Select a view with no Contours") та пока- зувати кольором призначену функцію (отриману після проведення ана- лізу): друга кнопка "Select a Contour View" – на контурі, третя кнопка "Select a Criteria View" – середні для скінченного елемента значення
{}	"Post Data" – виклик діалогової панелі "Select PostProcessing Data" для обирання функції, яка буде показуватися кольором, а також іншої функції, на основі якої буде проводитися анімація
(*) (*)	Перехід на інший набір результатів розрахунків: наступний ("Switch Post Data to Next Output Set") або попередній ("Switch Post Data to Previous Output Set") відповідно
(i) (i)	Перехід на іншу функцію з набору результатів розрахунків: наступну ("Switch Contour to Next Output Vector") або попередню ("Switch Contour to Previous Output Vector") відповідно
	"Post Option" – зміна деяких параметрів зображення (для виклику дода- ткового мнемонічного меню необхідно ініціювати праву частину пікто- грами, тобто . Буде розглянуто у Розділі 8.3.2)

# Таблиця 1.4. Коротка характеристика мнемонічного меню "Select "

Вигляд кнопок	Призначення			
- ⊗	Призначення типу об'єктів (точки, лінії, поверхні, об'єми, скінченні елементи та їх вузли, матеріали тощо), відомості про які (обрані на ро- бочому полі) будуть поміщатися на інформаційній панелі "Entity Info". Увага: після такого призначення динамічні зміни зображення моделі (обертання, зміна масштабу, переміщення) можливі тільки після викли- ку панелі "Dynamic Display" кнопкою "Dyn Rotate" (див табл.1.2)			
+b -	"Selector Mode" – для активації інших способів вибору об'єктів моделі			
	"Selector Actions" – для призначення дій, які будуть реалізовані при обиранні об'єктів моделі			
<b>6</b>	"Selector Clear" – для очищення списку активних об'єктів моделі, обраних за допомогою інструментів мнемонічного меню "Select"			
	"Snap Mode" – вибір методу фіксації місця розташування графічного курсору: "Screen" – фіксація виключена; "Grid" – фіксація по найближ- чій точці робочої площини; "Point" – по найближчій геометричній точці; "Node" – по найближчому вузлу скінченно-елементної моделі			

Є значна кількість інших мнемонічних меню (див. таблицю 1.5).

### Таблиця 1.5. Коротка характеристика інших мнемонічних меню

View Orient 👻 X Sy Top ARight 🕼 Front 🏞 Bottom 🕼 Left 💝 Back 🧏 Isometric 🤡 Dimetric 🖖 Trimetric	Орієнтація моделі для огляду
Cursor Position         ▼ ×           X=         1,073923         Y=         2,054375         Z=         0,	Виведення поточних значень ко- ординат курсору

Entity Display 🔹 🗙 S 😻 224 🔸 S 😻 T 💋 🏽 🗶 📲 🏖 🦻	Частина команд панелі "View Quick Options": призначення ти- пів об'єктів моделі, що будуть зо- бражуватися на екрані монітора (також див. передостанній рядок табл.1.2)
Format         ▼ ×           ▲         Tahoma         ▼ 8         ■         B         ✓         U         ■         Ξ <th< th="">         Ξ         Ξ</th<>	Форматування тексту
Solids • × × 🖗 🚱 🖉 🖉 🖉 🖾	Команди для створення твердо- тільної моделі
Surfaces × ×	Команди для створення повер- хонь
	Команди для створення прямих ліній
Circles     ×       〇 〇 〇 八 余 、 二 み ふ 流	Команди для створення окруж- ностей та їх частин (дуг)
<mark>Splines ・ ×</mark> ぞ ね ☆ ☆ ペ ペ	Команди для створення сплайно- вих ліній
Curves On Surfaces ▼ ×       ▼     1       ●     1       ●     1       ●     1	Команди для створення ліній на поверхнях
Curve Edit         ×           2         1	Команди для редагування ліній
Mesh ×× 今 🍫 🜮 🏷 🏷 📜 斑 田 昭 昭 初 徳	Команди для створення сітки скінченних елементів
Loads ▼× ★ 曲 ┿ ≯ ≯ ❤	Команди для завдання наванта- жень
Constraints × X 🛱 🕲 ⊨ 🛧 😓	Команди для завдання закріп- лень
Panes X E E E E E E Z	Команди для зображення/приби- рання інформаційно-навігаційної панелі "Model Info", панелей ре- дагування моделі "Entity Editor" та "Data Surface Editor", інфор- маційних панелей "Entity Info", "Messages" та "Data Table" тощо
SAT V SAToolkit IMG VAL IMG Panel	Команди для виклику інструмен- тів <b>SAToolkit</b> (Structural Analysis Toolkit for Nastran) та <b>TMG</b> (Ad- vanced Nonlinear Theory and Modeling Guide) відповідно

Пояснювальний текст про призначення електронних кнопок (та й інших об'єктів) виводиться, як це прийнято у Windows, на смузі стану, у її лівій частині.

Докладніше команди мнемонічних меню будуть розглядуватися тоді, коли вони будуть потрібні.

FEMAP має інформаційно-навігаційну панель "Model Info", панелі редагування моделі "Entity Editor" та "Data Surface Editor", інформаційні панелі "Entity Info", "Messages" та "Data Table", панелі програмування "API Programming" та "Program File".

Інформаційно-навігаційна панель "Model Info" (див. рис.1.2-а) дозволяє проводити навігацію та розглядати поточний стан кожної з моделі, яка розробляється у FEMAP.

Включає такі об'єкти, як: Coordinate Systems (системи координат); Geometry (геометрія); Connections (з'єднання) з градацією на Properties (властивості), Regions (регіони) та Connections (з'єднання); Model (модель) з градацією на Materials (матеріали), Properties (властивості), Loads (навантаження), Constraints (обмеження), Functions (функції) та Data Surfaces (дані поверхні); Analyses (аналіз); Results (результати); Views (зображення); Groups (групи); Layers (рівні).

Якщо навести курсор "миші" на будь-який об'єкт інформаційно-навігаційної панелі "Model Info" та клацнути правою кнопкою "миші", з'явиться динамічна діалогова панель, набір команд якої відповідає об'єкту. Ці панелі доцільно розглядати в інших Розділах, при необхідності.

На інформаційній панелі "Messages" з'являються всі повідомлення FEMAP, зокрема звіти про результати виконання команд. Звичайно цю панель розташовують нижче робочого поля. Вона не має електронних кнопок, тобто не виконує ніяких команд. Для її повного очищення зручно двічі ініціювати кнопку "Messages" на панелі "Panes" (див. табл.1.5).

Ще одна панель – "Entity Editor" (редактор об'єктів, див. рис.1.2-б). Обирання об'єктів для панелі "Entity Editor" може проводиться на ній, а також із застосуванням: мнемонічного меню "Select" (див. табл.1.4), панелей "Model Info" та "Data Table". На панелі "Entity Editor" можна редагувати значення деяких атрибутів об'єкта, а саме тих, при обиранні яких з'являються кнопки списку обирання або виклику діалогових панелей.

		Entity Eultor	τ ^	Ent	ity Info	д
		🔒 🖺 🛃 🗄	1 2+ 23 🖄 📩	Flem	ent 2 - PARA BFA!	м
		General - Elen	nent 108	Prop	erty 1 - BEAM_01	•
		Prop ID	101Upper Wind	Mate	rial 1 - Steel	
		Туре	PLATE	NOUE	5;237	
<u> </u>		Topology	Quad4			
_		Color	124			
_		Layer				
		Formulation				
	G	Nodes - Eleme	ent 108			
		C1	206			
		C2	107			
		C3	365			
		C4	79			
	G	Element Quali	ty - Element 108			
		Aspect Ratio	1.04485			
		Angle	3.82581		в)	
		Alt Taper	0.012056	i na	ta Tabla	r
		Taper	1.02332	: 04		
		Warping	0.2319		🖺   🗄 - 🛷 🧯	3 世
		Jacobian	0.023824	_		
	G	Postprocess [	)ata - Element 108	Ľ∎.	🗶 🕼 🐼 😽	•
		Output Vector	Plate Top VonMises	ID	🛆 Prop ID	
		Out-Element	3454,959	1	2Solid 01	
		Out-C1	3999,162	- 2	2 Solid 01	
		Out-C2	3395,574	2	250lid_01	
		Out-C3	3183,313	3	23000_01	



На інформаційні панелі "Entity Info" (див. рис.1.2-в) та "Data Table" (див. рис.1.2-г) виводяться повідомлення про об'єкти, обрані "мишею" після обирання типу об'єктів за допомогою мнемонічного меню "Select" (див. таблицю 1.4). Але на панелі "Entity Info" з'являються повідомлення про один об'єкт, а на панелі "Data Table" – про всі послідовно обрані. Панель "Entity Info" має декілька електронних кнопок. Пояснення до них поміщені у таблицю 1.6.

- 10 -

Таблиця 1.6. Коротка характеристика	електронних	кнопок	панелей	"Model	Info",
,Entity Editor", "Entity Info" та "Data Table"					

83	"Collapse/Expand" – згорнути / розгорнути (,,дерево" моделі)
<b>*</b>	"Reload from Model" - повернути попередні значення для (обраної) моделі (у ви-
	падку введення невірних даних)
-	"Send to Data Table" – передати дані до панелі "Data Table"
	"Show When Selected" – показати об'єкти (на робочому полі, іншим кольором),
	що відібрані (має варіанти зображення: "Off" (відключено), "Highlight" (висвітлен-
<i>h</i> 4 -	ня), "Transparent Highlight" (прозоре висвітлення), "Show Selected Only" (показу-
<u>~</u>	вати тільки обраний об'єкт); а також перемикачі "Show Label" (показувати мітки),
	"Show Normals" (показувати нормалі) та команду Highlight Color → для зміни
	кольору висвітлення)
<b>e</b>	"Lock/Unlock" – блокування / розблокування даних
	"Copy to Clipboard" – копіювання таблиці у буферну пам'ять
6	"Clear All" – видалити всі дані
	"Categorized" – сортувати за категоріями
₽₩	"Alphabetic" – сортувати за абеткою
	"Update Model" – оновити модель (стає активною після введення змін). Якщо не
<b>(</b>	дати цю команду, всі зроблені зміни будуть проігноровані після переходу до іншо-
	го об'єкта
∃.	"Show/Hide Columns" – показувати / не показувати у таблиці колонки даних (ви-
	бір назв колонок у списку, що з'являється)
*	"Add Output Columns" – додати колонки з вихідних даних
臣	"Show/Hide Group Header" – показувати / не показувати заголовки груп
¥	"Filter Rows" – викликати фільтр рядків (див. рис.1.3)
*	"Clear Filter" – видалити всі призначення у фільтрі
-2 <sup>1</sup> 2	"Update Selection to Visible Rows" – оновити дані у видимих рядках
1	"Show Visible Rows" – показувати видимі рядки

На панелі "Data Table Filter" (див. рис.1.3) обираються ті атрибути об'єкта, які будуть показуватися в таблиці "Data Table". Після їх обирання є сенс ініціювати кнопку "Toggle Selection", щоб узгодити список обраних атрибутів. У секції "Limit To" (ліміти) радіокнопками "Value" (числове значення) або "Text" (текст) обирається тип об'єкта, а "Any" (будь-який з об-

", v ане (числове значення) або раного типу) та "All" (всі) – які розглядати; для типу "Value" радіокнопками "Above" (вище), "Below" (нижче), "Between" (між) та "Outside" (ззовні) обираються необхідні признаки, а у полях "Minimum" та "Maximum" встановлюються лімітовані значення; для типу "Text" з'являється поле "Contains" (зміст). Є опція "Remove Filtered Rows" (видалити фільтровані рядки).

Data Table Filter	
Columns to Check           ModelID         C1         C8         M15           Set ID         C2         M9         M16           Ø ID         C3         M10         M17           Ø Prop ID         C4         M11         M18           Color         C5         M12         M19           Layer         C6         M13         M20           Formulation         C7         M14	Limit o Value Any Text All Above Minimum Below Below Detween Maximum Outside
Toggle Selection Remove Filtered Rows	<u>D</u> K Cancel

Рис.1.3. Діалогова панель фільтра таблиці даних

Заголовки колонок таблиці "**Data Table**" ще містять вказівники напрямку сортування: вверх або вниз. Для зміни напрямку достатньо зробити на заголовку щиглик лівою кнопкою "миші".

Подвійний щиглик лівою кнопкою "миші" на назві панелей переводять їх послідовно у "вбудований" або "відокремлений" стан.

На панелях FEMAP 9.3 з'явилися кнопки "забудькуватого" користувача (див. табл.1.7), що викликають діалоги для створення, вибору, пошуку або відображення об'єктів, без яких подальша робота на панелях є неможливою.

Вид	( Пояснення		Пояснення
fxy	Створення функції	٩	Створення контактного Property
GEV	Створення матеріалу		Створення таблиці
I	Створення Property для майбутніх CE	$\mathbf{L}$	Створення координатної системи
	Створення шарів для СЕ типу Laminate		Створення рівня
×	Створення точки	M	Вибір "твердих" тіл зі списку
	Пошук у файловій системі	3	Відображення обраних об'єктів

Таблиця 1.7. Кнопки "забудькуватого" користувача на діалогових панелях FEMAP



Рис.1.4. Панель обирання об'єктів за координатами

На багатьох панелях є кнопка "**Pick** ^", за допомогою якої змінюється принцип обирання об'єктів. Зокрема, якщо після її ініціації обрати варіант "**Coordinate**", то з'явиться панель "**Coordinate Selection**", зображена на рис.1.4.

На ній зі списку "In CSys" обирається координатна система, ініціюються опції "Х", "Y" та/або "Z" (ті, що є у обраній системі), призначається принцип обирання: "Above" (більше), "Below" (менше), "Outside" (ззовні), "Between" (між) або "At Location" (у місці), задаються значення "Min", "Max", "Location" (положення) та/або "Tolerance" (точність при пошуку). Після команди "OK" на ді-

алоговій панелі, з якої викликалася описана панель "Coordinate Selection", буде сформовано список об'єктів, що відповідають вказаним критеріям.

# 1.4. Файли FEMAP та NX Nastran

У папці ...\Femap93\Examples фірма-розробник надає користувачу приклади застосування програми (у вигляді робочих файлів проектів різних форматів); у папках ...\Femap93\ pdf, ...\Femap93\TMG\doc\femap, ...\Femap93\TMG\doc\femap\tutorials – тексти описівінструкцій у форматах .pdf та .html, а також відповідні файли моделі у форматі .mod.

FEMAP застосовує декілька файлів-бібліотек (з розширенням імені .esp) для збереження даних про матеріали, функції, властивості скінченних елементів та інше. Вони розташовані у папках ...\Femap93, ...\Femap93\SAToolkit\femap, ...\Femap93\TMG\femap\bas, ...\Femap93\TMG\femap\com, ...\Femap93\TMG\femap\exe. При необхідності їх розташування можна змінити (див. Розділ 1.5).

Кожний проект, що розглядається у FEMAP, зберігається в одному файлі (бітового формату), розширення імені якого .mod. Можна створити (операція експорту) інший файл проекту – з розширенням .neu (FEMAP Neutral). Він текстовий, часто менший за розміром, ніж .mod, тому рекомендується для тривалого збереження проектів, а також застосовується при переносі проектів в інші програми.

FEMAP може створювати ще такі типи файлів:

- .pro, .prg програмні файли макроси (відформатований запис або ні);
- .bas або .bax сценарії, що створюються мовою сценаріїв FEMAP BASIC.

Геометричну частину проектів можна передавати в інші програми (експорт) або отримувати від них (імпорт). Для цього можуть застосовуватися декілька форматів: файли з розширенням імені .sat, .x\_t, .igs, .stp, .stl, .dfx та інші (докладніше див. Розділ 2.2).

У FEMAP є процедура обслуговування файлу для збереження проекту (з розширенням імені .mod). Її рекомендують застосовувати:

- 12 -

• після імпорту моделі з іншої програми (див. Розділ 2.1) для перевірки її цілісності;

• відразу після видалення якісь об'єктів моделі з метою їх відновлення, якщо це чомусь неможливо зробити командою відкатки "Undo" (або комбінацією клавіш "Ctrl"+"Z"); або після краху системи чи програми. Справа у тому, що при видаленні об'єктів насправді видаляється не уся інформація про об'єкт, а лише посилання на нього. Простір з інформацією про видалений об'єкт може бути застосований для збереження інших даних лише згодом, тому гарантій відновлення видаленого об'єкта немає, але існує імовірність цього;

• для зменшення розміру файлу збереження моделі .mod (у ньому видаляються усі незайняті та вивільнені при видаленні об'єктів місця).

Для цього дається команда File→Rebuild..., з'являється діалогова панель із запитанням ...OK to Fully Rebuild and Compact Database? Choosing No will just verify that all entities reference other existing entities" (OK, щоб цілком відновити й ущільнити базу даних? Вибір No тільки перевірить, що всі посилання на інші об'єкти існують) та кнопками "Yes", "No", "Cancel". Звіт про результати з'являється у вікні повідомлень.

Увага: після зменшення розміру файлу (ущільнення) відновлення видалених об'єктів командою "Undo" стає неможливим.

При проведенні обчислень NX Nastran створює інформаційні файли у робочій папці, а також тимчасові файли в робочій папці та в папці .... Тетр операційної системи. Це файли з розширеннями імен:

• .dat, .nas – дані про крайову задачу (текстовий формат, створюється для передачі сформульованої крайової задачі в програму NX Nastran, а також внаслідок операції експорту крайової задачі для деяких інших програм);

• .op2, .xdb – результати розрахунку крайової задачі програмою NX Nastran: температури, переміщення, напруження, ... (бітові);

- .f04 інформація про умови виконання розрахунків (текстовий);
- .f06 повідомлення про попередження, помилки, ... (текстовий);
- .master, .dball файли рестарту;
- .log, .scr, .tmp, .plt, .pch, ... інші допоміжні файли.

При кожному запуску процесу розрахунку створюються нові версії допоміжних файлів. Тому їх час від часу необхідно переглядати та видаляти непотрібні, особливо .master, .dball.

Примітка 1.1. Будь-яку останню команду можна швидко викликати у такий спосіб: права кнопка "миші", в динамічному меню обрати "Previous Command…" (попередня команда).

### 1.5. Настроювання FEMAP

У FEMAP є параметри, що діють для всієї моделі. Їх можна встановлювати (змінювати) будь-коли: на початку або у процесі створення проекту. Є сенс робити це на початку, потім змінювати при необхідності. Настройки, що діють на усю модель, проводяться через діалогову панель "Preferences" (викликається командою File→Preferences…), яка має 9 панелей:

• "Messages" – оформлення повідомлень та списків. Параметр "Max Text Lines" (див. рис.1.5-а) вказує максимальну кількість рядків повідомлень, що можна побачити на панелі "Messages" (повідомлень), оскільки не завжди кількість рядків, що встановлена за замовчанням, достатня;

• "Views" – встановлення деяких параметрів зображення моделі, зокрема, початкових значень кутів для ізометрії, диметрії та триметрії (див. рис.1.5-б);

• "Render" – встановлення опцій та призначення величин, що налаштовують швидкісний якісний графічний режим зображення елементів моделей (див. рис.1.5-в). Опції: "Hardware Accel" - підключити апаратне прискорення (якщо воно передбачено відеокартою ПЕОМ), "Memory Optimization" – оптимізувати пам'ять, "Beam Facet Edges" – змінювати вигляд перерізу балочного СЕ, "Smooth Lines" – згладжувати лінії, "Auto Regenerate" – автоматично регенерувати зображення (після будь-якої зміни). Опція "Use Midside Nodes" (використовувати проміжні вузли скінченно-елементної сітки) дозволяє ще покращити зображення геометрії об'єктів, але й цей режим потребує більші ресурси від ПЕОМ. Опція "Vertex 

Arrays" (апаратна обробка масивів вершин, може не підтримуватися відеокартою), має три значення: "No", "Partial" (часткова) та "Full" (повна обробка). Опції секцій "Include in Dynamic Rotation" (додати до динамічного обертання) та "Advanced/Debug Options" (виведення у файли інформації про проблеми з відеоадаптером або дисплеєм) не потребують особливих пояснень; хоча значення у полях "Bitmap Alignment" та "Pixel Format" – стандартні, їх можна змінювати лише за вказівкою програми. Опції секцій "Textures" дозволяють використовувати двовимірну текстуру замість одновимірної (2D Mapping) або згладжувати одновимірні (Smooth Textures), всі чотирикутні грані зображати за допомогою трикутних (Force All Triangles), обирати максимальний розмір текстури (Max Number). Увага: при виникненні проблем з якістю зображення потрібно встановити або відмінити відповідну опцію;



Рис.1.5. Діалогові панелі настроювання: а) – оформлення повідомлень; б) – встановлення деяких параметрів зображення моделі; в) – настроювання графічного оформлення елементів; г) – оформлення меню та панелей інструментів

• "User Interface" – оформлення меню та панелей інструментів (див. рис.1.5-г);

• "Database" – налаштовування взаємодії FEMAP з файлом даних проекту \*.mod (див. рис.1.6-а). Опція "Backup before Save (immediate)" вказує на створення резервної копій файлу даних проекту. Опція "Delete Model Scratch File" вказує на те, що тимчасова копія

файлу даних проекту буде видалятися при завершенні роботи програми. Використання цих опцій додає надійності у роботі з проектом. Параметр "Low Disk Warning" вказує, при яких розмірах вільної пам'яті на магнітному носії програма почне видавати застереження. Параметр "Undo Levels" вказує на максимальне можливу кількість кроків назад (до 90). Параметри "Cache Pages" та "Blocks/Page" призначають розмір оперативної пам'яті ПЕОМ, яка може бути виділеною для кеширування файлу проекту (потрібно значення 4 Кбт (у FEMAP 9.3 це розмір одного блоку пам'яті) помножити на значення цих двох параметрів), причому цей розмір рекомендують встановлювати не більше, ніж той, що вільний при роботі операційної системи (запустити "Диспетчер задач", зчитати дані з поля "Фізична пам'ять"), а також відповідно до рекомендацій таблиці 1.8. Параметр "Max Cached Label" визначає максимально можливий номер (ID) будь-якого об'єкта моделі. У секції "Timed Save" вказується, чи проводити автоматично збереження моделі у файлі (Notify), чи повідомляти про це (On), з яким інтервалом це робити (Interval, хв.) або після виконання скількох команд (Commands). У секції "Scratch Directory" можна вказати (змінити) шляхи до тимчасових файлів проекту;

Preferences	X	Preferences
Geometry/Model Interfaces Messages Views Render	Library/Startup Color User Interface Database	Messages Views Render User Interface Database Geometry/Model Interfaces Library/Startup Color
Database Preferences are only applied at startup       Database Options       Bgckup before Save (immediate)       Ø Dglete Model Scratch File       Preserve Next ID during Rebuild       Low Disk Warning (0=Never)       IO       May Cached Label       1000000	Timed Save □ On Interval 10 ♥ Notify Commands 25 Scratch Directory If the scratch directory is blank, scratch files will be placed in the directory specified by the TEMP Environment variable. H:\scratch Recover Scratch Directory Database Options Help	Geometry Preferences         Geometry Preferences         Geometry Preferences         Solid Geometry Scale Factor         Q.Inches         Y Automatically Adjust Geometry Scale Factors         Load Expansion on Midside Nodes         Along Edges         O.6666667         Dn Tri Face         O.333333         On Quad Face         O.333333         V Midside Node Adjustment Default         Meshing and Propetties         V Surface Meshing in Memory         V Use Fast Tri Mesher         U Use Length Based Mesh Sizing         Alternate Section Property Calculation
		б)

Рис.1.6. Діалогові панелі настроювання: а) – бази даних та параметрів запуску; б) – параметрів геометричного ядра та імпорту геометрії

RAM, Mb	Cache pages	Blocks/Page
64	6000	1
128	8000	2
256	12000	3
512	15000	5
1024	15000	11

таолиця 1.0. Гекомендації щодо встановлення розмірів Cacile pages та Diocks/1	Рекомендації щодо встановлення розмірів Cache pages та Blocks/H	Page
---	---	------

• "Geometry/Model" – встановлення параметрів геометричного ядра та імпорту геометрії (див. рис.1.6-б). У вікні "Geometry Engine" можна змінити тип ядра побудови геометрії (0.Standard або 1.Parasolid). Параметр "Solid Geometry Scale Factor" – коефіцієнт перерахунку розмірів при імпортуванні геометрії, коли змінюється метрична система. Значення 39.37 - при переході з міліметрів до дюймів та навпаки. "Рідна" для FEMAP система - англійська (дюйми). Тому при імпортуванні "своєї" геометрії змін (при значенні 39.37) не відбувається. При імпортуванні геометрії з програм, де система – міліметри, для збереження метричної системи коефіцієнт повинен бути рівним 1000, або йому кратним (наприклад, 1.0 при перетворенні з мм до м). Встановлена опція "Surface Meshing in Memory" вказує, що процес створення скінченних елементів (СЕ) на поверхні тіла буде проводитися в операційній пам'яті ПЕОМ, а опція "Use Fast Tri Mesher" – що для створення трикутних СЕ буде використовуватися швидкий алгоритм;

• "Interfaces" – зміна деяких призначень в діалогах, які діють "за замовчанням" (див. рис.1.7-а): "Interface" – програма-аналізатор, яка буде застосовуватися; "Analysis Type" – тип крайової задачі; "Non-FEMAP Neutral Version" – встановлення версії файлу типу "FEMAP Neutral" (з розширенням імені .neu) для експорту моделі до програм CAEFEM, CDA/Spring, CFDesign, SINDA/G або інших; "Neutral Digits" – кількість значущих цифр у дійсних числах (у файлі \*.neu); "Interface Style" – відповідність інтерфейсу FEMAP (команд

Preferences	X	Preferences		×
Messages Views Rende Geometry/Model Interfaces	User Interface Database Library/Startup Color	Messages \ Geometry/Model	/iews Render User Interface Interfaces Library/Startup	Database Color
Interface     45NX Nastran       Analysis Type     1Static       Non-Femap Neutral Version     9.3       Neutral Digits     8       Interface Style     0Structural       Enable Old Analysis Interfaces       Analysis Monitor Options       Automatically Load Results       Max Lines to Monitor	File Reference Options         ✓ Check References on Open         ✓ Check References         Create Geometry References         Create Analysis Model References         Create Analysis Results References         General Solver Options         Run Analysis using VisQ         Skip Comments when Exporting         ✓ Compute Principal Stress/Strain         ✓ Assume Engineering Shear Strain	Libraries View Material Property Layup Connection Property Function Analysis	view.esp material.esp property.esp layup.esp conprop.esp function.esp analysis.esp	
Nastran Solver Options Output Set Titles OStandard Solver Memory (Mb 0=Auto) O	Read Comments as Titles     Read DirCos for Solid Stress/Strain     Always Read Nonlinear Stress/Strain     Using MSC/MD Nastran 2004 or later	Startup Program File / E	mat_def.esp mat_def.esp asic Script / Executable and Custom Tools Dr\FFMdP93\ani	
Direct Output To O.Current Directory	32-bit NX Nastran on 64-bit Windows Scratch Directory     0.Nastran Default       0K Cancel	Program Reset All	Run for Every New Model	Cancel
	)		آ)	

Рис.1.7. Діалогові панелі настроювання: а) – інтерфейсу; б) - шляхів до бібліотечних файлів та програм з параметрами запуску

меню, діалогів) типу крайової задачі: "0..Structural" – повний інтерфейс, "1..Thermal" або "2..Advanced Thermal" – тільки для задач теплопровідності (останнє – для створення моделі для програми SINDA/G); "Enable Old Analysis Interface" – включити старий інтерфейс запуску процесу аналізу. Опції секції "Analysis Monitor Options": "Automatically Load Results" – автоматично читати результати розрахунку при застосуванні "Analysis Monitor"; "Max Lines to Monitor" – максимальна кількість рядків повідомлення. Опції секції "Nastran Solver Options" (опції структурного аналізатора Nastran): "Output Set Titles" – вводити заголовки наборів результатів (із файлу .op2); "Solver Memory (Mb 0=Auto)" – фіксований або автоматично розрахований розмір пам'яті для проведення аналізу, у Мбт; "Direct Output То" – напрям для виводу результатів (0..Current Directory – поточна папка, 1..Model File Directory – папка з моделлю, 2...Specified Directory – призначена папка: стає активним поле "Output Directory" та кнопка для призначення папки); "Read Comments as Titles" – читати коментарії як заголовки; "Read DirCos for Solid Stress/Strain" – читати напрямні косинуси для напружень та деформацій тривимірного СЕ; "Always Read Nonlinear Stress/Strain" завжди читати нелінійні напруження/деформації; "Using MSC/MD Nastran 2004 or later" використовувати MSC/MD Nastran 2004 або пізніші версії; "Scratch Directory" - папка для тимчасових файлів з варіантами: 0..Nastran Default, 1..Femap Scratch, 2..Output Directory; "32-bit NX Nastran on 64-bit Windows" – використовувати 32-бітну версію NX Nastran у 64бітній версії Windows. Опції секції "File Reference Options" (опції посилання на файли): "Check References of Open" – перевіряти посилання при відкритті; "Create Geometry References" - створювати посилання для геометрії; "Create Analysis Model References" - створювати посилання для моделі; "Create Analysis Result References" – створювати посилання для результатів аналізу. Опції секції "General Solver Options": "Run Analysis using VisQ" - використовувати менеджер візуальної черги (VisQ – від Visual Queue Manager for FEMAP);

"Skip Comments when Exporting" – пропустити коментарії при експортуванні моделі; "Compute Principal Stress/Strain" – обчислити головні та середні напруження, інтенсивність напружень (Мізес), максимальний зсув тощо (при введенні результатів розрахунків); "Assume Engineering Shear Strain" – обчислювати деформацію зсуву за інженерною моделлю;



Рис.1.8. Діалогові панелі настроювання: а) – кольорів для елементів геометричної та фізичної моделі; б) – кольорової палітри

• "Library/Startup". Опції секції "Libraries" – шляхи до бібліотечних файлів (з розширенням імен .esp, див. рис.1.7-б та Розділ 1.4). Можна змінити їх розташування в цьому діалогу, але цього не достатньо: FEMAP сам не може створити такий файл на новому місці. Тому потрібно його туди переписати або створити новий (спочатку пустий) за допомогою іншої програми. FEMAP буде на початку роботи автоматично запускати для виконання файл, вказаний у секції "Startup Program File / Basic Script / Executable", причому опцією "Run for Every New Model" можна вказати, що це потрібно робити для кожної нової моделі (у такий спосіб можна виконувати деяку підготовчу роботу). У тій же секції можна обрати/змінити папку, в якій знаходяться файли з програмами для різноманітних інструментів FEMAP (Custom Tools Path).

• "Colors" – встановлення кольорів для елементів геометричної та фізичної моделі крайової задачі (див. рис.1.8-а). Кнопки "Palette" викликають панель настроювання кольорової палітри (див. рис.1.8-б).

Якщо зміни проведені невдало, можна повернутися до вихідних значень – є кнопка "Reset All".

Командою **Tools→Toolbars→Customize** викликається діалогова панель "**Customize**", на якій є п'ять вкладок:

• "Toolbars" – виклик/скасування мнемонічних меню (панелей електронних кнопок);

• "Commands" – додавання/виключення команд меню (шляхом "перетаскування" за допомогою "миші") – див. рис.1.9-а;

• "Keyboard" – призначення "гарячих клавіш": потрібно у вікнах "Category" та "Command" обрати команду, встановити курсор "миші" у вікні "Press new shortcut Key", натиснути одну клавішу або їх комбінацію, дати команду "Assign" – нова комбінація з'явиться у полі "Key assignments" (див. рис.1.9-б). Кнопками "Remove" або "Reset All" можна позбутися від одного або всіх невдалих призначень. Кнопками "Load…" або "Save All…" відповідно можна завантажити призначення з файлу \*.key або зберегти всі призначення у такому ж файлі;

• "User Commands" – створення команди користувача. У полі "Command Name" призначається назва команди; у полі "Program" за допомогою кнопки знаходиться у файловій

системі необхідний файл (зокрема, це може бути файл запуску програми NX Nastran, або макросу). Кнопки "Add", "Update", "Remove" служать відповідно для додавання, редагування або видалення команди. Після додавання ім'я команди з'являється у полі вкладки. На рис.1.9-в показано, як приклад, створення команди AxiSvm на основі створеного раніше макросу (див. Розділ 1.8.3);

Customize	Customize
Toolbars Commands Keyboard User Commands Options	Toolbars Commands Keyboard User Commands Options
To add a command to a toolbar: select a category and drag the	Category: Key assignments:
command out of this dialog box to a toolbar.	File F4
User Commands	Commands:
File AviSvm	Open
Geometry	Close All ≣
Model	Save As
Mesh Modify	Save All
List	Import->Geometry
Group	Import->Analysis Model
Window	Import->Femap Neutral
View Popup	Export->Analysis Model Save All
All Commands Built-in Menus	Description: Load
Additional Commands	Reset All
Close	Close
a)	<u>(</u> )
Customize	Customize
Toolbars Commands Keyboard User Commands Options	Toolbars Commands Keyboard User Commands Options
AxiSym	Personalized Menus and Toolbars
	Always show full me <u>n</u> us
	Show full menus after a short <u>d</u> elay
	Other
	Show Screen <u>T</u> ips on toolbars
Lommand Name: Axisym	Show shortcut keys in Screen Tips
Program: D:\FEMAP92\Axis.PRO	
Arguments:	Turn Off Menu Icons Turn On Menu Icons
Initial Directory:	
Add Update Remove	
Close	Close

Рис.1.9. Діалогові панелі: а) – призначення "гарячих клавіш"; б) – створення меню користувача; в) — команд користувача; г) — додаткових опцій налаштовування мнемонічних панелей

• "Options" – додаткове налаштування мнемонічних панелей (див. рис.1.9-г). Опції "Always show full menus" та "Show full menus after a short delay" у цій версії FEMAP ще не задіяні. Опція "Large icons" збільшує розмір іконок. Є опції "Show Screen Tips on toolbars" (показувати екрани підказки на панелях інструментів) та "Show shortcut keys in Screen Tips" (показувати гарячі клавіші на екранах підказки). Є декілька варіантів "Menu animations" (анімації меню): "System default" (системна), "Random" (випадкова), "Unfold" (розгорткою), "Slide" (слайдом), "Fade" (зникаюча) та "None" (немає). Кнопками "Turn Off Menu Icons" та "Turn On Menu Icons" можна відключити/включити мнемонічні зображення навпроти команд меню.

Коли викликана діалогова панель "Customize", з'являється можливість для редагування зображень електронних кнопок. Для цього достатньо клацнути правою кнопкою миші на кнопці та на панелі "Customize Icon Menu" (меню налаштування іконок), що з'явиться, обрати одну з опцій або команд. Зображення кнопок можна доповнювати текстом (опція "Image and Text"), замінити на текст (опція "Text Only"), знов повернутися до одного зображення (опція "Default Style"). Якщо дати команду "Edit Button Image…", то з'явиться редактор кнопок "Button Editor" (див. рис.1.10) з майже стандартним набором інструментів. Є й інші команди, які дозволяють очистити, видалити, копіювати, змінити назву кнопок тощо.

Налаштування запам'ятовуються у файлі з розширенням імені .esp.

Налаштування, що діють на окремі елементи моделі, проводяться через діалогову панель "View Options" (викликається командою View→Options..., або клавішею "F6") – див. рис.1.11-а.

Для внесення змін у зображенні об'єктів моделі потрібно у секції "Category" обрати варіант "Labels, Entities and Color" (позначення, об'єкти та колір), "Tools and View Style" (інструменти і стиль зображення) або "PostProcessing" (результати розрахунків), потім у списку "Options" – необхідний об'єкт, а у списках, що з'являться праворуч (мають змінні назви), – яку характеристику об'єкта відображати додатково (верх-



Рис.1.10. Редактор зображення кнопок

ній список), який стиль та колір призначати зображенню об'єкта. Повний перелік об'єктів списку "**Option**" приведено у Додатку 1.

Якщо потрібно убрати з робочого поля усі зображення якогось об'єкта, потрібно зняти опцію "Draw Entity" (відобразити об'єкт). Для швидких групових змін (відображати/не відображати) можна кнопкою "Quick Options…" викликати діалогову панель "View Quick Options" (див. рис.1.11-б).





Як буде виглядати зображення після змін, можна побачити, не виходячи з діалогу (кнопка "Apply"). Наприклад, після обирання у списку "Option" для об'єктів "Curve" (криві) та встановлення у списку "Label Mode" значення "1..ID" біля кожної з кривих на робочому полі буде зображено її номер. Ще приклад: для відображення орієнтації та форми лінійних CE на панелі "View Options" потрібно в категорії "Labels, Entity and Color" для параметра "Element – Orientation/Shape" (орієнтація и форма CE) включити опцію "Show Orientation" (показати орієнтацію), а у списку "Element Shape" (форма CE) – варіант "1..Show Fiber Thickness" (показати товщину). Більш докладна інформація – у Розділі 8.3.

Командою Tools→Parameters... викликається діалогова панель "Model Parameters", за допомогою якої можна змінити основні параметри *поточної* моделі: колір зображення об'єктів, наступний ID об'єктів, крок прирощення ID об'єктів, назви активних наборів навантажень (Load Set), закріплень (Constraint Set) та виводу результатів (Output Set); активних координатної системи (CoordSys), рівня (Layer), групи (Group), матеріалу (Material), "властивості" (Property), формат виводу результатів (Output Format) та встановлену величину допуску на проведення операцій злиття (Merge Tolerance).

Увага: якщо величина (Merge Tolerance) – більша або менша, ніж потребують об'єкти, що беруть участь у операції, то її результат буде непередбаченим. Інакше кажучи: якщо результат перетворень – незадовільний, то потрібно зменшити або збільшити значення параметра "Merge Tolerance".

Іноді в поточному проекті необхідно багато разів застосовувати деякі константи або змінні, які розраховуються за допомогою формул. Їх можна створити один раз, потім використовувати. Командою **Tools→Variables...** викликається діалогова панель "**Define Variables**" (див. рис.1.12-а). На ній з клавіатури вводяться ім'я (тільки з букв, перші 5 знаків повинні бути оригінальними) та значення або формула. Результат переглядається за допомогою кнопки "Show Result". Дії потрібно закінчити командою "OK". Кнопкою "Equation Editor" викликається однойменна панель (див. рис.1.12-б), де формулу можна ввести за допомогою діалогів у секціях "**Variables**", "**Opt**" і "Function" та кнопок "**Insert …**". Ім'я майбутньої змінної потрібно ввести у полі "**Save Variable**". Після команди "OK" змінна з'явиться у списку введених змінних (див. рис.1.12-в), буде доступною у подальшому у відповідних діалогових полях.



Рис.1.12. Діалогові панелі створення постійних або змінних

## 1.6. Про створення розрахункової моделі

Початок нового проекту (моделі тіла та крайової задачі) здійснюється командою File→New. З'являється робоче поле із зображенням глобальних осей.

Як це було позначено у Вступу, початковим етапом проведення обчислення елемента конструкцій є аналіз геометрії тіла, умов його навантаження, властивостей матеріалу, з якого тіло зроблено, створення розрахункової моделі.

**Розрахункова модель** – це деяке *наближення* до реального тіла з реального матеріалу з реальними умовами експлуатації. Вона дозволяє провести чисельний розрахунок тіла. Тобто це теж геометрія, матеріал, початкові та граничні умови, але пристосовані до розрахунків.

Основні рекомендацій щодо створення розрахункової моделі:

• NX Nastran має обмежений набір типів крайових задач, які може розв'язувати (див. Вступ). Якщо потрібного варіанта немає, потрібно вирішити, чи можна замінити бажаний варіант на інший, яка буде погрішність від такої заміни;

• NX Nastran має обмежений каталог скінченних елементів (СЕ). Усі СЕ мають свої властивості. Тому ще до створення скінченно-елементної сітки (СЕС) потрібно ознайомитися з каталогом СЕ (див. Додаток 3), обрати СЕ, що задовольняють умовам задачі. Потрібно також вирішити, скільки їх мати у різних частинах тіла. У місцях концентрації напружень та в околі прикладення граничних умов сітку СЕ потрібно згущати, в інших – розріджувати;

оскільки метод скінченних елементів (МСЕ) дозволяє майже точно описати геометрію тіла за допомогою СЕ, то можна зберегти усі геометричні подробиці. Але для наближеного розрахунку деякі несуттєві деталі можна й опустити, особливо ті, що не є концентраторами напружень (не викликають виникнення значних локальних напружень), або не є критичними з огляду на міцність або жорсткість (їх опускання або спрощене моделювання не приведе до значного перерозподілу деформацій та напружень у тілі або тієї його частини, що представляє інтерес);

• тривимірними СЕ можна описувати будь-яке тіло, але це може потребувати невиправдані витрати пам'яті ПЕОМ та часу. Тому завжди потрібно шукати можливість щодо "зниження" розмірності тіла та/або його частин. Наприклад, якщо тіло має стрижневі та тонкостінні частини, то їх бажано моделювати одновимірними (стрижневими) або двовимірними (пластинчатими) СЕ відповідно. Якщо тіло має геометричну вісь симетрії та всі умови навантаження теж симетричні відносно цієї осі, то задача є вісесиметричною і її бажано розраховувати із застосуванням вісесиметричних СЕ;

• якщо тіло має геометричну площину симетрії та всі умови навантаження теж симетричні відносно цієї площини, то симетричну частину потрібно "відкинути", замінивши "видалену" частину граничними умовами симетрії: заборонити ступені свободи вузлів скінченно-елементної сітки (що будуть розташовані на цій площині) в напрямку, перпендикулярному до цієї площини. Таких площин може бути декілька: 1, 2 або 3.

• якщо задача характеризується повною циклічною симетрією (коли циклічно повторюються як геометрія, так і умови навантаження), то необхідно моделювати лише характерну частину конструкції (вирізати поверхнями), створювати таку СЕС, щоб вузли на цих поверхнях розташувалися однаково, потім для відповідних вузлів СЕС на цих поверхнях вводити зв'язки (щоб вони мали однакові розв'язки);

• зосереджені сили у МСЕ можна прикладати тільки у вузлах скінченно-елементної сітки (СЕС). Тому при побудові СЕС в цьому місці потрібно передбачити наявність такого вузла. Але потрібно пам'ятати, що у реальності зосереджених сил не буває, що прикладена у вузлі зосереджена сила викличе значну місцеву концентрацію напружень. Тому бажано уникати прикладень зосереджених сил, замінювати їх на розподілені на деякій площі навантаження;

• у залежності від моделі матеріалу: лінійно-пружний або пружно-пластичний, ізотопний або неізотропний (та інші) потребуються різні термофізичні (задачі теплопровідності) та термомеханічні характеристики матеріалів, з яких "зроблено" СЕ. Їх потрібно мати.

Отже, процес створення розрахункової моделі – не простий, навіть творчий.

Від нього залежить багато що, зокрема відповідність моделі реальної ситуації, точність та час проведення розрахунків. Щоби створити модель вірною, а також оцінити результати розрахунків, необхідно мати фахові знання з таких дисциплін, як опір матеріалів, теорія пружності, теорія пластичності та повзучості, будівельна механіка, теорія коливань, чисельні методи тощо.

## 1.7. Рівні та групи

Рівні та групи – допоміжні інструменти FEMAP. Розподілені у різних рівнях та зібрані у різних групах об'єкти моделі легше переглядати, редагувати, обробляти тощо.

### 1.7.1. Рівні

Для зручності роботи з моделлю окремі її частини можна створювати в окремих рівнях (Layers), як це звичайно робиться в інших САД-програмах. Рівні доцільно застосовувати:

- при імпортуванні у модель додаткових об'єктів з файлів;
- коли модель складна, має незмінні об'єкти та такі, у яких можливі зміни;
- коли модель має об'єкти, зображення яких на екрані заважають друг другу.

Для роботи з рівнями зручно використовувати електронну кнопку ≡ на панелі інструментів, що під головним меню (або команду View→Layers...). З'являється діалогова панель "Layer Management" (див. рис.1.13-а).

Для створення нового рівня кнопкою "New Layer..." (інший варіант – командою Tools→Lavers...) викликається діалогова панель "Create Laver" (див. рис.1.13-б). На ній необхідно призначити відсутні у списку нові "ID" та "Title"; за допомогою кнопки "Palette" (або редагуванням цифрового значення) можна призначити основний колір рівня (потім у секції "Color Mode" діалогової панелі "View Option" його можна обрати параметром "2..Use Layer Color"). Завжди присутні рівні 1..Default Layer та 9999..Construction Layer. Останній служить для збереження об'єктів, що створюються програмою автоматично як основа для об'єктів вищого рівня (точки – для ліній, лінії – для поверхонь, поверхні – для об'ємів). Саме цей рівень поміщується у список "NoPick Layer" (рівень, що не відображається).

Layer Management	×		
View 1 Untitled	Active Layer	Create Layer	
<ul> <li>Show Visible Layers Only</li> <li>Show Changes</li> </ul>	NoPick Layer	ID 3 <u>Title</u> Layer 03	<u>C</u> olor 124 <u>P</u> ale
Hidden Layers	Visible Layers	1Default Layer 2Layer 02 3Layer 03	
9999. Construction Layer	2now ->	9999.Construction Layer	
	<- <u>H</u> ide		
New Layer Apply	<u>D</u> K Cancel		
	a)	ნ)	

#### Рис.1.13. Діалогові панелі роботи з рівнями: а) – встановлення активного рівня та рівнів, що розглядаються; б) – створення нового рівня

На діалоговій панелі "Layer Management" (див. рис.1.13-а) один з рівнів встановлюється активним (у списку "Active Layer"). Саме в нього з цього моменту будуть вводитися нові об'єкти. Але на екрані відображаються об'єкти не активного рівня, а тих рівнів, що обрано на діалоговій панелі (див. рис.1.13-а): або усіх рівнів (радіокнопка "Show All Layers") або деяких (радіокнопка "Show Visible Layers Only", потім зі списку "Hidden Layers" (сховані рівні) необхідно перекинути потрібні рівні в список "Visible Layers" (рівні, що відображаються)). Опція "Show Changes" та кнопка "Apply" дозволяють побачити зміни, не виходячи з діалогу.

Видалення рівнів проводиться у діалогу "Entity Selection – Select Layer(s) to Delete", що викликається командою Delete Tools >Lavers... Потрібно вписати відповідний рівню "ID", натиснути на кнопку "More" (ID додається у список), натиснути "OK" та підтвердити видалення. Увага: об'єкти, що були "приписані" до видаленого рівня, не видаляються. Їх необхідно обрати, та передати в рівень, що існує, або видалити, якщо вони вже непотрібні. Ці об'єкти можна побачити, лише обравши для відображення усі рівні ("Show All Layers").

Для *передачі* об'єктів іншому рівню командою Modify→Layer→Point... (або інші об'єкти) викликається діалогова панель "Entity Selection – Select Point(s) to Modify Layer" (відповідна типу об'єктів), на екрані обираються необхідні об'єкти та після команди "ОК" на діалоговій панелі "Select Laver", що з'явиться, вказується рівень, в який обрані об'єкти передаються.

### 1.7.2. Групи

Групи – інший варіант відокремлювання об'єктів, методом їх групування. Але на відміну від рівнів об'єкти можуть одночасно входити в декілька груп і на екрані одночасно можна побачити об'єкти або усіх груп (груп немає або проведена дезактивація групи), або тільки однієї групи. Як і рівні, обрана та активна група – різні речі: на екрані відображається об'єкти обраної групи, нові об'єкти вносяться в активну групу.

Майже усі дії з групами проводяться через команди меню "Group".

Командою Group→Set... викликається діалогова панель для *створення* групи (вводяться нові номер "ID" та назва "Title") або активації групи (обирається група, що існує). Кнопкою "Reset" на цій панелі проводиться дезактивація групи. Видалення групи – командою **Delete→Group...** (вказати **ID**), причому об'єкти з проекту не видаляються.

Обирання групи для відображення: командою View→Select... (або клавішею "F5", або кнопкою кнопкою ) викликається діалогова панель "View Select", на ній обирається радіокнопка "Draw Model" та кнопкою "Model Data" ініціюється панель "Select Model Data for View" (інший варіант: права кнопка "миші", команда Model Data...), на якій потрібно обрати варіант "Active" (відображати активну групу) або у списку "Select" секції "Group" обрати потрібну групу та дати команду "OK". У робочому вікні будуть показані тільки об'єкти обраної групи, а у лівому верхньому куті – номер групи (починається з букви G, наприклад, G2).

Робота з активною групою у *неавтоматичному* режимі проводиться за допомогою відповідних об'єктам команд меню "Group": "Text..." (текст), "Point..." (точки), "Curve..." (лінії), "Surface..." (поверхні), "Volume..." (об'єми), "Solid..." ("тверді" тіла), "CoordSys..." (координатні системи), "Node..." (вузли), "Element..." (елементи), "Property..." (властивості), "Load..." (навантаження), "Constraint..." (закріплення), "Connection Property...", "Connection Region..." або "Connector..." (контактні умови) тощо. При цьому необхідно обрати метод обирання об'єкта: "ID..." (номер), "Color..." (колір), "Layer..." (рівень), "Property..." (властивість), "Surface..." (поверхня) та інші. З'явиться відповідна методу стандартна діалогова панель обирання об'єктів. Для додавання обраних об'єктів у активну групу необхідно обрати радіокнопку "Add", для виключення з групи – "Exclude", для переміщення в іншу групу – "Remove".

Для *автоматичних* дій з елементами груп є такі команди та опції (загальну частину команди, а саме **Group→Operations→**, опускаємо):

• "Evaluate...": оновити дані про об'єкти групи після видалень та змін правил (виконувати перед додаванням нових об'єктів);

• "Evaluate Always…" (опція): режим автоматичного оновлення даних у групі. Значно сповільнює роботу програми, не дає змоги обирати об'єкти графічним способом;

• "Automatic Add..." (опція): додавання нових об'єктів автоматично в активну (Active) або вказану (Select) або ніяку (None) групу. Після включення цього режиму давати команду Evaluate... або встановлювати опцію "Evaluate Always..." не потрібно;

• "Renumber…": перенумерувати об'єкти групи після зміни її вмісту (вказати "Yes", оскільки, судячи з інформації у "Help", вказування "No" може привести до втрати об'єктів при додаванні нових);

• "Copy…": створити копію активної групи (з новими "ID" та "Title"). Є опція "Evaluate" (оновити), однак, судячи з інформації у "Help", оновлення проводиться завжди;

• "Condense…" (стиснути): також створюється нова група, але правило вибору об'єктів буде перетворено до "ID" об'єктів;

• "Booleans..." (логічні). З'являється панель "Group Booleans" для створення нової групи (для неї пропонується "ID" та ввести "Title"; інакше буде створена назва з назвою команди та номерами груп, що використовувалися, наприклад "Add 1,3,5"), в яку будуть включені об'єкти з декількох обраних груп (зі списку, за допомогою клавіш "Ctrl" або "Shift") за призначеним логічним правилом: "Add / Combine" (додавати / комбінувати), "Subtract" (вичитати; "основну" групу потрібно обрати у вікні "Subtract From"), "In All" (з об'єктів, які одночасно є у всіх обраних групах), "Only in One" (з об'єктів, які зустрічаються тільки у одній групі, тобто тільки з унікальних об'єктів), "Not in Any" (з об'єктів не обраних груп, але без об'єктів, які є у обраних групах), "Not In All" (не включати загальні для обраних груп об'єкти; потрібно обирати не менш трьох груп, інакше результат буде співпадати з варіантом "Only in One");

• "Add Related Entities…" (додати зв'язані об'єкти). З'являється панель "Select Groups for Add Related Entities", на якій обираються групи зі списку за допомогою клавіш "Ctrl" або "Shift"). Об'єкти з обраних груп зв'язуються;

• "Generate...": автоматично генерувати групи зі скінченних елементів (двовимірних або тривимірних) різних властивостей. Обираються СЕ, з'являється діалогова панель (див. рис.1.14-а), де у трьох секціях встановлюються признаки сортування:

- у секції "Attribute Breaks" (за атрибутами): "None" (ігнорувати), "Property ID" (за номером властивості) або "Material ID" (за номером матеріалу). Додаткові умови: "Check Layers" та "Check Colors" (за рівнями та кольором);
- у секції "Geometric Breaks" (за геометричними параметрами, тільки для двовимірних СЕ): "None" (ігнорувати), "Angle Between" (за кутом між двома нормалями до поверхонь СЕ: якщо кут менше, ніж значення у полі "Maximum", то нормалі вважаються паралельними). Застосування опції "Matching Normals Only" (обчислювати тільки нормалі) може прискорити генерацію у складних моделях;
- "Element Types" (за типами CE): "Planar" (двовимірні) або "Solid" (тривимірні). Якщо встановити опцію "Add Layers", створяться рівні з відокремленими типами CE;

Model Segments	X	Group Operations Peel	
Attribute Breaks <u>N</u> one     Property ID <u>M</u> aterial ID	Element Types Planar Solid	Number of Element Layers to Peel       Image: Cancel         Image: Make Group from Remaining Elements       Cancel	
Check Layers	Add Layers	6) Entity Selection - Select Elements to Peel	-
<ul> <li>Nong</li> <li>▲ngle Between</li> <li>Magimum 20,</li> <li>Matching Normals Only</li> </ul>	<u>QK</u> Cancel	Add Remove Exclude      ID 128 to by 1     Group     ISolid/Volume 1     2.Peel 1 Elements     3.Peel 1 Elements	Pick ^ Of Can
a)		в)	

Рис.1.14. Діалогові панелі: а) - автоматичного генерування групи із СЕ; б), в) - зняття верхніх шарів тривимірних СЕ

• "Generate Property…", "Generate Material…" та "Generate ElemType…": генерувати групи СЕ з обраними властивостями, матеріалами та типами СЕ відповідно; "Generate Solids…": генерувати групу з обраних "твердих" тіл;

Select Based on Output	
Output Sets         Any Set         All Sets         Set         Output Vectors         From         60010Solid X Normal Stress         Thru         60012Solid Z Normal Stress         Include Components / Corners         Include All Layers         Selection Criteria         Above         Below       Minimum         Between       Maximum         Outside	Title       Stress X Z         Specified Selection Criteria         Set 1, 60010 Solid X Normal Stress, Comp, A         And, Set 1, 60011 Solid Y Normal Stress, Comp, At         And, Set 1, 60012 Solid Z Normal Stress, Comp, At         And, Set 1, 60012 Solid Z Normal Stress, Comp, At
Nodal     Elemental	Add Criteria     Delete     Reset       Update <u>D</u> K     Cancel

Рис.1.15. Діалогова панель генерування груп результатів розрахунків

• "Generate With Output...": генерувати групи з результатами розрахунків. У секції "Output Set" (див. рис.1.15) потрібно вказати, які набори результатів будуть задіяні: "Any Set" (будь-який), "All Sets" (всі), "Set" (обрати зі списку конкретний набір). У секції "Output Vector" вказується діапазон функцій: "From" (від), "Thru" (через). При необхідності ініціюються опції "Include Components / Corners" (включати компоненти / вузли) та/або "Include Layers" All (включати всі рівні). У секції "Selection Criteria" (критерії обирання) – обрати одну з радіокнопок:

"Above" (вище), "Below" (нижче), "Between" (між), "Outside" (зовні), при необхідності – ввести значення "Minimum" та/або "Maximum". У секції "Entity Selection" (вибір об'єкта) вказати "Nodal" (вузлові) або "Elemental" (елементні) значення. У секції "Select If" (обрати, якщо) встановити або "All Criteria Met (And)" (всі критерії, що зустрілися (I)) або "This Criteria Met (Or)" (ці критерії, що зустрілися (Або)). Кнопками "Add Criteria", "Delete", "Update" та "Reset" створюється та редагується список у полі "Specified Selection Criteria". Для закінчення є команда "OK";

• "Generate Superelements..." (генерувати суперелементи): з'явиться панель "Femap with NX Nastran" із запитанням "OK to Make Groups of all Superelements including Residual ?" (Зробити групу зі всіх суперелементів включно з останнім?). Якщо дати команду "No", то з'явиться панель "Superelement ID (0=Residual)", на якій у полі "SE ID" потрібно вказати номер майбутнього суперелемента. Створюється суперелемент зі всіх не задіяних у інших суперелементах вузлів, які задовольняють вимогам вузлів суперелемента;

• "Generate Entities on Layer..." (генерувати об'єкти на рівні): створюється група, в яку входять всі об'єкти, що належать до обраного зі списку, що з'явиться, рівня. Ще буде потрібно відповісти на запитання "OK to Select Only Entities Currently on Layers (NO=Update when Layers change)?", тобто якщо "OK", то у подальшому зміст групи не буде оновлюватися;

• "Move to Layer ...": переміщувати обрані групи у один з існуючих рівнів;

• "Peel...": надає можливість переглянути глибинні тривимірні СЕ після зняття верхніх шарів СЕ. Обираються СЕ, з'являється діалогова панель "Group Operations Peel" (див. рис.1.14-б). На ній вказується кількість шарів СЕ, що буде зніматися (Numbers of Element Layers to Peel) та опції для створення груп: усіх обраних СЕ (... Outer ...) та тих, що залишилися (... Remaining ...). При знятті наступного шару СЕ потрібно обрати зі списку "Group" останню групу (див. рис.1.14-в). Обирання групи для відображення описано на початку цього Розділу.

• "Select Model…", "Select Mesh…" та "Select Region…": додати в активну групу всі об'єкти моделі, сітки скінченних елементів або контактного регіону за правилом: від 1-го до 99999999-го;

• "Reset Rules…": видалити всі об'єкти активної групи та всі правила їх занесення (очистити групу).

Group Selection by Coordinate Clipping	Group Selection by Screen Clipping
Clip     Coordinate Value     Coordinate System       ○ Mone     Minimum     0.5       ○ Below Minimum     0.5       ○ Between     2       ○ Outgide     1.3	Clip         Method         B         I         I         Z         Preview           O Dutgide         O 2 Point         B         T         Z         Image         Image <t< th=""></t<>
a)	б)
Group Selection by Plane Clipping	
Clip     Clipping Plane          • Positive Side         • 1           • Megative Side         • 4           • Megative Side         • 4             • Megative Side         • 1	Limit Group to Selected Layers       Select Layers       All       Maximum
в)	C Single Layer
Group Selection by Volume Clipping         Clip       Method         Image: Inside Volume       Image: Ima	<ul> <li>○ Equal or Below Minimum</li> <li>○ Between (include Min/Max)</li> <li>○ Dutside (not Min/Max)</li> <li>○ Cancel</li> </ul>
Г)	д)



Декілька команд **Group→Clipping...** дозволяють встановлювати правила *відмовлення* введенню *нових* об'єктів в *активну* групу (вирізка об'єктів). На діалогових панелях (див. рис.1.16) обирається один із варіантів правил:

• "Coordinate..." (за координатами): "None" (немає обмежень), "Above Maximum" (вище), "Below Minimum" (нижче), "Between" (між), "Outside" (за межами) вказаних значень координати (X, Y або Z) обраної координатної системи (див. рис.1.16-а);

• "Screen..." ("екраном", тобто замкненої областю). "Екран" задається прямокутником (Rectangle), прямою лінією (2 Point), трикутником (3 Point) або чотирикутником (4 Point) за допомогою кутових точок (див. рис.1.16-б). Обирається один з варіантів: за межами (Outside) або усередині (Inside) "екрану";

• "Plane…" (площинами див. рис.1.16-в). Обирається номер (один з шести) площини, вказується напрямок вирізання: позитивний або негативний (відносно нормалі до площини). Після команди "ОК" вказується площина одним із стандартних методів;

• "Volume…" (об'ємом). Обирається варіант введення об'єму: двома точками (точки задають діагональ паралелепіпеда) або 8 кутових точок (див. рис.1.16-г). Також вказується напрямок вирізання: за межами (Outside) або усередині (Inside) об'єму;

• "Reset Clip…": відмінити правила вирізання для активної групи. Для кожного варіанта правил можна зробити вибір: відміняти чи ні.

Ще одна команда: Group→Layers... викликає діалогову панель для обмежень номерів рівнів для об'єктів активної групи (див. рис.1.16-д): усі (All); один вказаний рівень (Single Layer); зі значеннями, що є більшими або рівними (Equal or Above Maximum), меншими або рівними (Equal or Below Minimum) вказаному у активному полі "Maximum" або "Minimum" відповідно; між (Between (include Min/Max), тобто включно з граничними); за межами інтервалу (Outside (not Min/Max)).

Ще раз нагадаємо, що рівні та групи застосовуються виключно для полегшення роботи з різноманітними об'єктами моделі. Коли модель – складна, то таких об'єктів – багато або дуже багато, тому застосування рівнів та груп стає просто необхідністю.

### 1.8. Функції та макроси

#### 1.8.1. Створення функцій

Функції бажано створюватися завчасно, оскільки можна посилатися лише на функцію, що в моделі існує. Командою Model→Function... викликається діалогова панель "Function Definition" (див. рис.1.17).

Обов'язково потрібно обрати тип функції (**Туре**, див. таблицю 1.8), вказати ім'я функції (**Title**), при необхідності встановити інший "**ID**" функції.

Function Defin	ition	
ID 1	Title F01vs. Time	Type 1vs. Time
X -Time 0. 1. 1. 1.	Y - Factor	Data Entry            • Single Value         • Edit Phase (X)         • Linear Bamp         • Edit Magnitude (Y)         • Elita X 1         • Eguation         • Periodic         XVariable X         X         1         Y         1         To X         To Y         • Cancel         Equation         Equation         Equation         Equation         Put

Рис.1.17. Діалогова панель введення функцій

Коли призначається функція на властивість матеріалів або навантаження, значення функції Y використовуються, щоб помножити *постійні* значення, що визначені тими об'єктами.

Увага: якщо тип функції обрано невірно, задачу не буде розв'язано. Наприклад, для властивостей матеріалів потрібно обирати тип функції "2..vs.Temperature" (vs. – від чого функція залежить, тут від температури). Для еволюційних процесів (що протікають у часі: нестаці-

онарна теплопровідність, повзучість тощо) слід призначати тип функції "1..vs.Time".

Внутрішнє представлення усіх функцій є табличним. Але вводитися функція може точками (Single Value), кусково-лінійним способом з кроком "DeltaX" (Linear Ramp), за допомогою рівняння (Equation). У останньому випадку можна застосовувати й елементарні функції FEMAP (див. Додаток 2).

Введені значення функції автоматично сортуються відповідно до зростання аргументу.

- 26 -

	T V	
Назва функци	Тип аргументу Х	Тип функції У
0Dimensionless (безрозмірна)	немає	немає
1vs. Time	час	значення (будь-який тип)
2vs. Temperature	температура	значення
3vs. Frequency	частота	значення
4vs. Stress	напруження	деформація або значення
5Function vs. Temp	температура	ID функції
6 Structural Damp vs. Freq	частота	Еквівал. в'язкість демпфірування
7Critical Damp vs. Freq	частота	критичне демпфірування
8Q Damping vs. Freq	частота	коефіцієнт посилення
9vs. Strain Rate	швидкість деформування	значення
10Function IDs vs. Strain Rate	швидкість деформування	ID функції
11vs. Curve Length	довжина кривій	значення
12vs. Curve Param	параметрична координата	значення
13Stress vs. Strain	деформація	напруження
14Stress vs. Plastic Strain	пластична деформація	напруження
15Function vs. Value	значення	ID функції
16Function vs. Critical Damp	ID функції	критичне демпфірування
17vs. Angle of Incidence	Так/Ні (належність куту)	кут
18vs. Direction of Incidence	Так/Ні (належність напрямку)	напрямок

#### Таблиця 1.9. Функції FEMAP

Введені значення можна модифікувати у режимах "Edit Phase (X)" – значення аргументу X, та "Edit Magnitude (Y)" – значення функції Y: у полях "X" та "To X" вказуються початкове та кінцеве значення X, потім вказуються значення "Scale" – множника, або/та "Add" – доданка. Введену функцію можна зробити періодичною (Periodic): вказати діапазон (X, To X) і крок (Inc X) копіювання та кількість копій (Copies).

Електронні клавіші діалогової панелі "Function Definition" такі: "More" (продовження, тобто ввести наступні значення функції), "Delete" (видалити виділений рядок значень), "Reset" (видалити всі значення), "Load…" (завантажити функцію, що існує), "Save…" (зберегти функцію у базі даних, тобто у файлі функцій function.esp), "Copy…" (копіювати значення із функції, що існує та на яку буде вказано), "Get" (отримати значення з буферної пам'яті, наприклад, від табличного редактора MS Excel), "Put" (помістити в буферну пам'ять).

Коли функцію повністю сформовано, можна її зберегти (Save...). Команда "OK" дозволяє почати введення нової функції.

У режимі введення функції за допомогою рівнянь (режим "Equation") можна самостійно призначати назви аргументів функції, тобто застосовувати не тільки *x*, а й, наприклад, *t*. Увага: змінній повинен передувати знак ! або @. Останній варіант – коли задіяна змінна, яка була описана раніше через функцію. Наприклад, *!w=sin(!x)* та потім *!y=2\*@w*.

**Примітка 1.2**. Якщо при розв'язуванні задачі поточне значення аргументу **X** функції вийде за границі, передбачені у функції, що застосовується, то NX Nastran буде використовувати відповідне крайнє значення функції **Y**.

#### 1.8.2. Перегляд графіків функцій

У FEMAP є інструменти перегляду функцій, введених або отриманих у результаті розв'язування крайової задачі.

Командою View→Select... (або клавішею "F5", або кнопкою È) викликається діалогова панель "View Select", на ній обирається радіокнопка "XY of Function" та кнопкою "Model Data" ініціюється панель "Select Model Data for View", на якій потрібно у діалоговому вікні "Select" секції "Function" обрати потрібну функцію (за допомогою кнопки Multiple... – декілька функцій) та двічі дати команду "OK". Буде створено нове вікно зі зображенням обраної функції, яку можна, як і геометричне зображення, масштабувати або зміщувати (роликом "миші", кнопками 🍋 та 🍽 🔍 ). Для швидкого доступу до діалогу обирання іншої функції можна застосовувати такий варіант: права кнопка "миші", команда Model Data….

Якщо потрібно, оформлення графіка функції можна змінити. Потрібно командою View→Options... (або клавішею "F6") викликати діалогову панель "View Options" (див. puc.1.11-а), на ній у секції "Category" обрати радіокнопку "PostProcessing", у вікні "Options" – опцію "XY Axes Style", у вікні "Plot Type" – тип координатної сітки (звичайна, напівлогарифмічна або логарифмічна), у вікнах "Axel color" (колір осей), "X Tics" (кількість нумерованих ліній вздовж осі X) та "Y Tics" вказати потрібні значення. Переглянути результат можна не виходячи з діалогу: натиснути кнопку "Apply".

Щоб швидко повернутися до відображення моделі тіла, достатньо натиснути електронну кнопку "View Style" 😰 та обрати потрібний стиль зображення.

### 1.8.3. Створення макросів

Макрос – послідовність команд, яка записана у файлі та може виконуватися автоматично після ініціації. Макроси є сенс створювати для ланцюга команд (дій), що часто повторюються. Створення макросу дуже просте, містить 3 етапи:

• дається команда Tools → Program File. З'являється панель програмування "Program File". Після ініціації кнопки FEMAP готовий до створення макросу;

• виконуються всі потрібні команди, що увійдуть у макрос. Увага: для команд потрібно використовувати клавіші клавіатури та/або команди *меню*, а не їхні дублери у вигляді кнопок інструментів. Послідовність дій зберігається на панелі програмування у вигляді відповідного коду, який можна редагувати за допомогою клавіатури;

• дається команда закінчення створення макросу: знов ініціюється кнопка .

• дається команда для збереження макросу. З'являється стандартна діалогова панель запису файлу (з розширенням імені .pro). Потрібно знайти йому місце у файлової системі та ввести ім'я файлу.

Створений макрос є сенс викликати командою. Для цього потрібно створити відповідну команду на вкладці "User Commands" діалогової панелі "Customize" (див. Розділ 1.5 та рис.1.9-в), потім зі вкладці "Commands" (див. рис.1.9-а) перетягнути її до меню FEMAP.



Рис.1.18. Панель програмування з прикладом тексту макросу

Наприклад, на початку процесу створення вісесиметричної моделі необхідно розвернути глобальні осі так, щоб вісь Z була горизонтальною, а вісь Х – вертикальною, а потім – робочу площину розташувати в площині ХД, для чого – повернути її навколо осі Х на 90 градусів. Звичайно це потребує багато команд "мишею" та час для їх виконання, а макрос, виклик якого поміщено до "Users Menu", – лише одну команду "мишею", причому макрос ніколи не помиляється. Другий етап створення макросу буде містити такі дії: дати команду View→Rotate→Model... (або натиснути клавішу "F8"); на діалоговій панелі "View Rotate" внести за допомогою клавіатури значення **X=90**, **Y=90**, **Z=0**; дати команду "OK". Потім дати команду **Tools** $\rightarrow$ **WorkPlane...** (або натиснути клавішу "F2"), встановити опцію "Draw Workplane", ініціювати кнопку "Global Plane...", обрати варіант "ZX Plane" і дати команду "OK". Потім дати команду Tools > Parameters..., обрати для

опції "Coord Sys" значення 1..Basic Cylindrical (щоб у всіх діалогах, де у цьому є потреба, автоматично обиралася циліндрична система координат). На рис.1.18 зображено панель програмування "Program File" зі змістом цього макросу.

На панелі програмування макросу "**Program File**" є кнопка **Д**ля запуску макросу у роботу з метою перевірки.