

Додаток 1

ОБ'ЄКТИ СПИСКУ Option ДІАЛОГОВОЇ ПАНЕЛІ View Options

Діалогова панель „View Options” призначена для керування зображеннями різноманітних об'єктів на робочому полі FEMAP. Викликається командою **View→Options...**

Деякі примітки до таблиці Д1.1:

- слово „Entity” у полях значень (наприклад, „Entity Colors”) вказує на те, що застосовується значення параметра об'єкта „за замовчанням”, тобто таке, що встановлено на діалоговій панелі „Model Parameters”, яка викликається командою **Tools→Parameters...** Слово „Use”, навпаки, вказує на значення, яке встановлюється на цій панелі користувачем;

- колір об'єкту задається у секції „View Color”, яка активна майже для всіх об'єктів. Але для деяких об'єктів назва уточнюється: „Light Color” (для об'єкту 44 таблиці Д1.1), „Left Stereo Color” (45), „Right Stereo Color” (46), „Preview Color” (53), „Monochrome Color” (59), „Beam Diagram Color” (70), „IsoSurface Color” (71), „Axes Color” (75), „Grid Color” (76, 77), „Curve Color” (78);

- опція (справа вверху) найчастіше має назву „Draw Entity” (зобразити об'єкт), але для деяких об'єктів її змінює на іншу: „Label Prefix” – мітка префіксу (1), „Show Direction” – відобразити напрямок (13), „Show Offsets” – відобразити зміщення (14), „Show Orientation” – відобразити орієнтацію (15), „Show Y Axis” – відобразити вісь Y (16), „All Elements” – всі елементи (39), „Option On” – задіяти призначення (40, 44, 45, 46), „Fill On” – заповнити (41), „Curve Transparency” – прозорість лінії (43), „Auto Aspect” – автоматичний коефіцієнт (54), „Curved Beams” – криволінійні балки (55), „% Of Model (Actual)” – фактичний відсоток (57), „Arrowheads” – стрілки-покажчики (58), „Single Step” – один крок (59), „Trace Locations” – положення проекції (62), „Double-Sided” – двосторонній (63), „Filled (Online)” – інтерактивне заповнення (64), „Animate” – проводити анімацію (65), „Abs Value” – абсолютне значення (67), „Reverse” – проводити реверс (70), „Contour Deformed” – деформувати контур (71), „Adjust Length” – коректувати довжину (72), „Grid” – сітка (76, 77);

- мітка – скорочене позначення об'єкта. Має префікс та номер. Наприклад: **N15** – вузол номер 15, **E43** – SE номер 43, **C7** – лінія номер 7;

- шрифт (гарнітура), що призначається, повинен бути присутнім у операційній системі, оскільки FEMAP не має власних шрифтів;

- позначка типу <N> у комірці вказує на те, що до цієї комірки потрібно додати інформацію з попереднього рядка за номером N із відповідного стовпця;

- деякі додаткові відомості щодо об'єктів таблиці Д1.1 наведено в таблиці Д1.2. Відповідна комірка таблиці Д1.1 має позначку (*).

Увага: більшість призначень відображаються у режимі „Enhanced Render”, деякі – тільки у „звичайному” режимі „Render”, деякі – при повному відключенні цих режимів.

Таблиця Д1.1. Об'єкти списку „Option” діалогової панелі „View Options”

№	Найменування об'єкту, примітка	Параметри (окрім „View Color”)	Можливі значення параметрів
Категорія: Labels, Entities and Color – Позначення, об'єкти і кольори			
1	Label Parameters (параметри метки)	Label Font (шрифт)	Назва, розмір
		Color/Background (колір мітки, фон)	Entity Colors; Use View Color; Entity, Erase Back; View, Erase Back (*)
		Render Offset (виконати відступ, зсув)	1 ... 10
2	Coordinate System (система координат, що введена користувачем)	Label Mode (режим позначення)	No Label; ID
		Color Mode (режим кольору)	Entity Colors; Use View Color; Use Layer Color

3	Point (точка)	<2>	<2>; Definition CSys; Mesh Size; Mesh Attributes
			<2>; Property Color, Material Color
4	Curve (лінія)	<2>	<2>; Mesh Attributes
			<3>
5	Curve - Mesh Size (розмітка сітки вздовж лінії)	Show As (показати як)	Symbols Only; Size and Bias; Symbols (all Curves); Symbols and Count ^(*)
		Color Mode	Entity Colors; Use View Color
6	Surface (поверхня)	<2>	<4>
			<3>
7	Boundary (гранична поверхня, граничний контур)	<2>	<4>
			<3>
8	Volume (об'єм)	<2>	<4>
			<3>
9	Text (текст)	Visible Text (видимий текст)	All Text; Model Positioned; View Positioned
		Color Mode	<2>
10	Node (вузол CE)	<2>	<2>; Definition CSys; Output CSys
			<2>; Def CSys Color; Output CSys Color
11	Node – Perm Constraint (вузол – постійні зв'язки)	<2>	No Label; Degree of Freedom (ступінь свободи)
			<2>
12	Element (скінченний елемент, CE)	<2>	<2>; Property; Material; Element Type; ID, Prop, Matl; Layer
			<3>
13	Element – Directions (CE – напрямки обходу по вузлах)	Normal Style	Right-Hand Rule (правило правої руки); Normal Vectors (нормаль); Backface Shading (відтінення невидимої поверхні)
		Color Mode	Entity Colors; Use View Color
14	Element – Offsets / Releases (CE – зміщення / ступені свободи)	Release Labels	<11>
		Color Mode	<13>
15	Element - Orientation/Shape (CE – орієнтація / форма)	Element Shape	Line/Plate Only; Show Fiber Thickness; Show Inertia Ratio; Show Cross Section; Show Stress Recovery ^(*)
		Color Mode	<13>
16	Element – Beam Y-Axis (CE – вісь Y перерізу балки)	Color Mode	<13>
17	Load Vectors (вектори навантаження (масштабування))	Vector Length	Uniform; Scale by Magnitude
		Load Len	0.01 ... 1000
		Min Scale	0 ... 100
18	Load – Force (навантаження – сила)	Label Mode	No Label; Load Value; Load Phase
		Color / Component Mode	<2>; Entity Components; View Components; Layer Components
19	Load – Moment (навантаження – момент)	<18>	<18>
20	Load – Thermal (навантаження – теплове)	<2>	No Label; Load Value
			<2>
21	Load – Distributed Loads (навантаження – розподілені сили)	<2>	<18>
			<2>
22	Load – Pressure (навантаження – тиск)	<2>	<18>
			<2>

23	Load – Acceleration (навантаження – прискорення)	<18>	<18>
24	Load – Velocity (навантаження – швидкість)	<18>	<18>
25	Load – Enforced Displacement (навантаження – несилове (кінематичне) зміщення)	<18>	<18>
26	Load – Nonlinear Force (навантаження – нелінійна сила)	<2>	<20>
27	Load – Heat Generation (навантаження – джерело тепла)	<2>	<20>
28	Load – Heat Flux (навантаження – тепловий потік)	<2>	<20>
29	Load – Convection (навантаження – конвекція)	<2>	<20>
30	Load – Radiation (навантаження – радіація (променевий нагрів))	<2>	<20>
31	Load – Fluid Tracking	<2>	<20> <5>
32	Load – Unknown Condition	Color Mode	Entity Colors; Use View Color
33	Load – Slip Wall Condition	<32>	<32>
34	Load – Fan Curve	<31>	<31>
35	Load – Periodic Condition	<32>	<32>
36	Constraint (зв'язок, тобто гранична умова 1-го роду)	<11>	<11>
37	Constraint Equation (рівняння зв'язку)	<2>	<11>; Coefficient; DOF and Coefficient <2>
38	Contact Segment (контактний сегмент)	<2>	<2>
Категорія: Tools and View Style – Інструменти та стиль зображення			
39	Free Edge and Face (вільні кромки та грані CE)	Parabolic Edge/Face (параболічні ребра / сторони)	Use Midnodes; Skip Midnodes (враховувати чи ні проміжні вузли)
		Free Edge / Backface	<2>
40	Shrink Elements (зобразити CE у стиснутому вигляді)	Shrink To %	0 ... 100
41	Fill, Backfaces and Hidden (заповнення (забарвлення), задні та скриті грані CE)	Backfaces (невидимі поверхні)	Show All Faces; Skip Solid Backfaces; Skip Solid and +Plate; Skip Solid and -Plate
		Hidden Line Options (параметри невидимої лінії)	Free Faces + All Others; Free Face Only; Draw All Faces
42	Filled Edges (забарвлені кромки)	Section Cut Edges	Skip Cut Edges; Section Cut Edges
		Color Mode	<2>; Contrasting Colors

43	Render Options (опції тонування)	Surface Hatch (штрихування поверхні)	Hatch Surfaces (штрихувати поверхні); Surfaces Only (чисті поверхні, тобто без штрихування)
		Parabolic Edge/Face (параболічні ребра / сторони)	<39>
		Offset Factor (множник зміщення)	0 ... 500
		Offset Units (модулі зміщення)	0 ... 500
44	Shading (затемнення, тобто залежність яскравості зображення поверхні від положення джерела освітлення)	Shading Mode	Shade Filled Areas; Shade Lines; Shade All
		Color Mode	Light at Viewer; Position Light; SpotLight at Viewer
		% Ambient (відсоток загального навколишнього освітлення)	0 ... 100
		Distance	≥ 0
		Light...	координати
45	Perspective (перспектива)	Distance (відстань до точки збіжності)	≥ 0
46	Stereo (стереозображення, потрібні стереоокуляри)	Eye Separation („відстань” між різнокольоровими зображеннями)	≥ 0; відмінити режим „Render”, включити перспективу
47	View Legend (відобразити легенду: координатна система, положення, навантаження, граничні умови ...)	Position (позиція: за замовчанням – „Top Left”, тобто зліва вверху)	Top Left; Top Center; Top Right; Center Left; Center Right; Bottom Left; Bottom Center; Bottom Right
		Legend Style	IDs Only; Titles (тільки номери; назва)
48	View Axes (відобразити / сховати базисні осі)	Кнопка „Position...”	Положення, у відсотках до розміру робочої площини
49	Origin (початок координат, колір)	-	-
50	Workplane and Rules (робоча площина та шкали)	Rules (шкала)	Show Rules; Skip Rules
51	Workplane Grid (сітка на робочій площині)	-	Налаштовування сітки: клавіша „F2”, кнопка „Snap Options”
52	Clipping Planes (січні площини, для груп)	-	-
53	Symbols (символи: тип, розмір і колір символів, вузлів, точок тощо)	Symbol Size	Symbol Size
		Nodes and Points	Show Symbols; Show Dots
		Load Len	0.01 ... 1000
		Other Vec	0.01 ... 1000
54	View Aspect Ratio (пропорції виду: стиснути/розтягнути вздовж осей)	Aspect Ratio (коефіцієнт)	0.01 ... 100
55	Curve and Surface Accuracy (точність відображення кривих та поверхонь)	Surface Divisions	Entity Divisions; View Divisions; Show Mesh Size
		Parametric Directions	Off; Show Arrows
		Max % Error	0 ... 100
		Divisions	1 ... 254
Категорія: PostProcessing – Результати			
56	Post Titles (найменування параметрів виходу)	Position (позиція: за замовчанням – „Bottom Left”, тобто зліва внизу)	<47> (тільки ID або повні назви)

57	Deformed Style (стиль відображення деформованого стану)	Deformed Scale	Automatic; Auto - Group
		Default Direction	Global X; Global Y; Global Z
		Scale, % (відсоток відображення деформованого стану)	0 ... 100
		Scale Act	≥ 0
58	Vector Style (стиль вектора даних виходу)	Label Mode	No Labels; Output Value; Top Percent
		Component Mode	Total Vector; Component Vectors
		Top Percent	0 ... 100
59	Animated Style (стиль анімації)	Shape	Linear – Full; Linear – Full Abs; Linear – Half; Linear – Half Abs; Sine – Full; Sine – Full Abs; Sine – Half; Sine – Half Abs
		Color Mode	Color Animation; Monochrome Animation
		Frames	
		Delay	
60	Deformed Model (деформована модель)	<32>	<32>
61	Undeformed Model (недеформована модель)	<32>	<32>
		Render Offset %	$\pm 9.99 \cdot 10^{30}$
62	Trace Style (стиль трасування у режимі відображення Trace)	Label Mode	No Label; Set ID; Set Value
		Trace Length	Full Length; Animate Growth
63	Contour Type (тип контурних даних: по вузлах, по елементах)	Contour Type	Nodal Contour; Elemental Contour
		Rendered Contours	Continuous; Level Colors
64	Contour/Criteria Style (стиль контурних / критеріальних даних)	Label Mode	No Label; ID; Max Min
		Data Conversion	Average; Maximum Value; Average, Skip Corner; Max, Skip Corner; Minimum Value; Min, Skip Corner
		Label Freq (крок міток)	≥ 0
		Digits (кількість знаків, не менша ніж)	0 ... 20
65	Contour/Criteria Levels (рівні контурних / критеріальних даних (шкали))	Level Mode	Automatic; Auto - Group; Max Min; User Defined
		Contour Palette	Standard Palette; User Palette
		# of Levels (кількість ізосмуг, кольорів)	Ціле число > 1 (16 – за замовчанням)
		Minimum, Maximum	Граничні значення
66	Contour/Criteria Legend (кольорова шкала для контурних / критеріальних даних)	Position	<47>
		Label Color	Contour Colors; Use View Color
		Label Freq (крок міток)	≥ 0
		Digits (кількість знаків, не менша ніж)	0 ... 20
67	Criteria Limits (межі критеріальних даних)	Limits Mode	No limits; Above Maximum; Below Minimum; Between; Outside
		Minimum, Maximum	
68	Criteria - Elements that Pass (елементи, що сортуванням обрані (призначені межі))	Label Mode	No Labels; Output Value
		Color Mode	Entity Colors; Use View Color; Contour Colors
69	Criteria - Elements that Fail (елементи, що сортуванням не обрані (призначені межі))	<68>	<68>

70	Beam Diagrams (Епюри)	Label Mode	No Labels; Labels at Nodes (мітки при вузлах); Labels at Peaks (мітки на епюрі)
		Default Direction (напрямки орієнтації побудови епюру)	Element Y; Element Z; Global X; Global Y; Global Z; Element Y RevB; Element Z RevB; Global X RevB; Global Y RevB; Global Z RevB
71	IsoSurface (поверхні рівня)	Level Mode	Use Contours; Single Isosurface
		Dynamic Color Mode	Contour Colors; Use View Color
		Isosurface At	$\pm 9.99 \cdot 10^{30}$
72	Contour Vector Style (стиль контурного вектора)	Vector Style	Center, Dual Arrow; Center, Single Arrow; Center, No Arrow; Dual Arrow; Single Arrow; No Arrow
		Color Mode	Contour Colors; Use View Color
73	XY Titles (заголовок XY-діаграми)	Position	<47>
74	XY Legend (легенда XY-діаграми)	<47>	<47>
75	XY Axes Style (стиль осей XY-діаграми)	Plot Type	Rectilinear; Semi-Log (Y-Axis); Log-Log; ; Semi-Log (X-Axis)
		X Tics; Y Tics	
76	XY X Range/Grid (діапазон вздовж осі X / сітка XY-діаграми)	Axis Range	Automatic; Auto - Group; Max Min
		Minimum, Maximum	
77	XY Y Range/Grid (діапазон вздовж осі Y / сітка XY-діаграми)	<76>	<76>
78	XY Curve 1...9 (лінії 1...9 (стиль, колір, мітки) XY-діаграми)	Data Labels	No Labels; ID; Output Value; Max/Min ID; Max/Min Value
		Curve Style	Points Only; Lines; Lines with Points
		Scale	

Таблиця Д1.2. Переклади, значення, пояснення та позначки, які застосовуються в таблиці Д1.1.

№	Назва у FEMAP	Переклад, значення, пояснення
1	Erase Back	„Очищення” поля (на робочому полі FEMAP) під значення, що буде виводитися, тобто створення фону
5	Symbols Only; Size and Bias; Symbols (all Curves); Symbols and Count	Тільки призначені мітки; призначені кількість СЕ і зміщення; мітки на всіх кривих (призначені, та ті, що відповідають встановленому командою Mesh→Default Size значенню); усі мітки, а також кількість СЕ, що призначена
15	Line/Plate Only; Show Fiber Thickness; Show Inertia Ratio; Show Cross Section; Show Stress Recovery	Показувати: тільки лінії/поверхні СЕ; товщину (для двовимірних СЕ); інерційний момент, переріз, точки обчислення напружень (для одновимірних СЕ)
44	Light at Viewer; Position Light; SpotLight at Viewer	Координати проекції на екран монітору джерела освітлення, розташованого дуже далеко (Light at Viewer); вказуються за допомогою кнопки „Light...” (Position Light); джерело освітлення – прожектор (SpotLight at Viewer, тільки для режиму „Render”)

Додаток 2

ЕЛЕМЕНТАРНІ ФУНКЦІЇ FEMAP (Function reference)

Тут наведено переклад розділу „**Function reference**” з „**Help**” програми FEMAP.

Елементарні функції FEMAP можуть використовуватися, щоб створити рівняння для будь-якого можливого числового розрахунку. Частіше за всього це робиться при завданні граничних умов.

Функції перелічені за алфавітом. Всі аргументи функцій завжди потрібні. Множинні аргументи повинні бути відокремлені крапкою з комою (;), десятковий знак у дійсному числі – кома (,).

ABS(x) – повертає абсолютне значення аргументу *x*. Якщо *x* був позитивний, **ABS(x) = x**.

ACOS(x) – повертає зворотний косинус (арккосинус) *x*. Зворотний косинус – кут, між 0 і 180 градусами, який має косинус, рівний *x*.

ACTID(type) – повертає активний набір або ідентифікатор **ID** для обраного типу об'єкта. Значення аргументу повинне бути одним з визначених типів об'єкта (див. табл.Д2.1). Будь-яке інше значення „*type*” повертає невизначений результат.

Таблиця Д2.1. Індексні значення (Index Value) та відповідні їм значення типів об'єктів

1	Coordinate System (система координат)	2	Point (точка)
3	Curve (крива)	4	Surface (поверхня)
5	Volume (об'єм)	6	Text (текст)
7	Boundary (границя)	8	Node (вузол)
9	Element (елемент)	10	Material (матеріал)
11	Property (властивість)	12	Load Set (набір навантажень)
13	Constraint Set (набір обмежень)	14	View (представлення, вигляд)
15	Output Set (набір виводу)	16	Report Format (формат повідомлення)

ASIN(x) – повертає зворотний синус (арксинус) *x*. Зворотний синус – кут, між -90 і 90 градусами, який має синус, рівний *x*.

ATAN(x) – повертає зворотний тангенс (арктангенс) *x*. Зворотний тангенс – кут, між 0 і 180 градусами, який має тангенс, рівний *x*.

COS(theta) – повертає косинус кута „*theta*”. „*Theta*” повинен бути визначеним у градусах.

COUNT(type) – повертає номер об'єктів обраного типу в поточній моделі. Типом повинний бути один з визначених типів об'єкта (див. функцію **ACTID()**).

ELND(index; elemID) – повертає **nodeID**, на який посиляється елемент. Наприклад **ELND(3, 45)** повертає ідентифікатор третього за порядком вузла елемента **45**. Якщо або елемент не існує, або індекс – занадто великий, буде видаватися повідомлення про помилку, а результат буде невизначеним.

EXP(x) – повертає значення показової функції, e^x .

INT(x) – повертає найближче ціле значення (цілий номер), що нижче дійсного числа *x*.

LN(x) – повертає значення натурального логарифму *x*.

LOG(x) – повертає основу десятичного логарифму *x*.

MAT(matID; index) – повертає значення з матеріалу „*matID*”. Значення „*index*” визначає матеріальну характеристику, що буде повернуто. На відміну від функції **PROP()**, значення „*index*” у цьому випадку однакове, незалежно від того, на який матеріал посиляються (ізотропний, ортотропний, анізотропний, ...). Потрібно використовувати значення для „*index*”, що приведені у таблиці Д2.2.

MAX(x; y) – повертає значення або *x* або *y*, яке є більшим. Позитивні числа завжди більші негативних. Якщо необхідно порівняти в абсолютному значенні, використовують запис **MAX(ABS(x); ABS(y))**.

MAXID(type) – повертає максимальний ідентифікатор у поточній моделі обраного типу об'єкта. „Type” повинний бути один з визначених типів об'єкта (див. функцію **ACTID()**).

MID(propID) – повертає ідентифікатор матеріалу, на який посилається властивість „propID”. Ця функція не повинна використовуватися для багатошарового CE: для цього потрібно використовувати функцію **MLAM()**.

Таблиця Д2.2. Індексні значення (Index Value) та відповідні їм значення властивостей матеріалу

Index Value	Returns	Index Value	Returns	Index Value	Returns
0	Ex	1	Ey	2	Ez
3	Gx	4	Gy	5	Gz
6	NUxy	7	NUyz	8	NUzx
9	G_3D[1,1]	10	G_3D[1,2]	11	G_3D[1,3]
12	G_3D[1,4]	13	G_3D[1,5]	14	G_3D[1,6]
15	G_3D[2,2]	16	G_3D[2,3]	17	G_3D[2,4]
18	G_3D[2,5]	19	G_3D[2,6]	20	G_3D[3,3]
21	G_3D[3,4]	22	G_3D[3,5]	23	G_3D[3,6]
24	G_3D[4,4]	25	G_3D[4,5]	26	G_3D[4,6]
27	G_3D[5,5]	28	G_3D[5,6]	29	G_3D[6,6]
30	G_2D[1,1]	31	G_2D[1,2]	32	G_2D[1,3]
33	G_2D[2,2]	34	G_2D[2,3]	35	G_2D[3,3]
36	alpha[1,1]	37	alpha[1,2]	38	alpha[1,3]
39	alpha[2,2]	40	alpha[2,3]	41	alpha[3,3]
42	k[1,1]	43	k[1,2]	44	k[1,3]
45	k[2,2]	46	k[2,3]	47	k[3,3]
48	thermal cap	49	density	50	damping
51	ref Temp	52	tension limit[1]	53	tension limit[2]
54	compression limit[1]	55	compression limit[2]	56	shear limit

MIN(x; y) – повернення або x або y , яке є меншим. Негативні числа завжди менші ніж позитивні числа. Якщо необхідно порівняти в абсолютному значенні, використовують запис **MIN(ABS(x); ABS(y))**.

MINID(type) – повертає мінімальний ідентифікатор у поточній моделі обраного типу об'єкта. Типом повинний бути один з визначених типів об'єкта (див. функцію **ACTID()**).

MLAM(propID; ply) – повертає ідентифікатор матеріалу, на який посилається шар „ply” властивості „propID”. Ця функція може використовуватися тільки якщо „propID” вибирає багатошаровий CE. „Ply” повинен бути між 1 і максимальним номером припустимих „ply” багатошарового CE. Буде повернене 0, якщо обрано шар „ply”, відсутній у обраному CE.

NEXTID(type) – повертає ідентифікатор наступного об'єкта вказаного типу. Типом повинний бути один з визначених типів об'єкта (див. функцію **ACTID()**).

PID(elemID) – повертає ідентифікатор властивості, на яку посилається ідентифікатор CE, тобто „elemID”. Повернення завжди буде 0, якщо такого CE немає.

POW(x; y) – повертає значення x^y .

PROP(propID; index) – повертає значення властивості з властивості „propID”. Значення „index” визначає значення властивості, що буде повернуто. Повний список значень „index” знаходиться у блоці 402 Даних документації FEMAP Neutral File (Додаток G). Значення „index” відрізняються в залежності від типу CE. Наприклад, якщо **propID** вибирає CE **Bar** (Брус), то для значення **index = 0** поверне **Area**, **index = 4** поверне **J**, що є константою скручування. Для пластини, **index = 0** поверне **thickness** (товщину).

RND(x) – повертає найближче ціле значення, яке або нижче або вище ніж дійсне число x .

SIN(theta) – повертає синус кута **theta**. „Theta” повинен бути визначеним у градусах.

SQR(x) – повертає квадрат x . Тобто **SQR(x) = x * x**.

SQRT(x) – повертає квадратний корінь з позитивного числа x .

TAN(theta) – повертає тангенс кута **theta**. „Theta” повинен бути визначеним у градусах.

VEC(setID; vectorID; entityID) – повертає значення результатів розв’язування крайових задач. „SetID” визначає набір результатів, що буде обраний. „VectorID” вибирає вектор результатів в тім наборі. „EntityID” є або ідентифікатором СЕ, або ідентифікатором вузла (у залежності від типу вектора). Наприклад, **VEC(2,1,33)** повертає значення результатів для вузла 33, у таблиці результатів **Output Set 2, Output Vector 1** (це буде „Total Translation”, тобто „повне переміщення”).

XEF(elemID; faceID) – повертає координату *X* середньої точки обраної поверхні СЕ. Координата *X* завжди повертається в активній системі координат. У циліндричній або сферичній системі, це – радіус. Доступні значення для „faceID” залежать від типу СЕ (див. Додаток 3).

XEL(elemID) – повертає координату *X* середньої точки обраного елемента, в активній системі координат. У циліндричній або сферичній системі це – радіус.

XND(nodeID) – повертає координату *X* обраного вузла, в активній системі координат. У циліндричній або сферичній системі це – радіус. Якщо задати від’ємне значення „nodeID”, MSC/N4W вибирає вузол ідентифікатором, що дорівнює ідентифікатору наступного вузла, що буде створений, мінус абсолютне значення аргументу. Наприклад, якщо задати **XND(-14)**, і наступний вузол, що буде створений, є **43**, повернеться координата *X* вузла **43-14=29**, якщо вузол **29** існує.

XPT(pointID) – те ж саме як **XND()**, тільки повертає координату *X* точки.

YEF(elemID; faceID) – те ж саме як **XEF()**, тільки повертає координату *Y*.

YEL(elemID) – те ж саме як **XEL()**, тільки повертає координату *Y*.

YND(nodeID) – повертає координату *Y* обраного вузла, в активній системі координат. У циліндричній системі це – кутове значення „theta”, у градусах. Див. **XND()** для додаткової інформації.

YPT(pointID) – те ж саме як **YND()**, тільки повертає координату *Y* точки.

ZEF(elemID; faceID) – те ж саме як **XEF()**, тільки повертає координату *Z*.

ZEL(elemID) – те ж саме як **XEL()**, тільки повертає координату *Z*.

ZND(nodeID) – повертає координату *Z* обраного вузла, в активній системі координат. Див. **XND()** для додаткової інформації.

ZPT(pointID) – те ж саме як **ZND()**, тільки повертає координату *Z* точки.

Додаток 3

БІБЛІОТЕКА СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У цьому додатку дані короткі відомості про бібліотеку скінченних елементів (CE) у MSC.vN4W. Описана геометрія кожного типу CE, можливі види їх навантаження, основні параметри елементів, а також області їх застосування.

Докладніші відомості можна отримати за допомогою меню „**Help**”: переглянути Розділ **MSC.Nastran Solver Guide → Element Reference** та Розділ **MSC.Nastran Solver Guide → Common Q & A → Elements**.

Д3.1. Одновимірні елементи

У MSC.Nastran одновимірні CE зв'язують між собою два вузли CEC (1-го порядку наближення). Різні типи таких елементів використовують для моделювання відповідних їм типів конструкцій.

Д3.1.1. Стрижневий елемент типу ROD

Сприймає тільки розтяг/стиск або кручення. Не „працює” на згин, а зсув не враховується.

Застосування: для розрахунку елементів ферм і рам у відсутності згину.

Форма: пряма лінія, що з'єднує два вузли.

Внутрішня система координат: вісь X спрямована від першого вузла до другого.

Параметри: площа поперечного перерізу або полярний момент інерції та коефіцієнт для розрахунку напружень від кручення, неконструкційна маса на одиницю довжини, периметр перерізу, а для гнучких ниток (Cable): сила початкового натягу, допустиме напруження розтягу, момент інерції площини, початкове послаблення.

Д3.1.2. Елемент труби типу TUBE

Є різновидом стрижневих елементів з поперечним перерізом у вигляді труби. Сприймає тільки розтяг/стиск або кручення.

Застосування: для моделювання прямолінійних конструкцій, що мають трубчастий перетин.

Форма та внутрішня система координат: як у **ROD**.

Параметри: внутрішній і зовнішній діаметр, неконструкційна маса на одиницю довжини.

Д3.1.3. Криволінійний елемент труби типу CURVED TUBE

Нейтральна вісь цього CE являє собою дугу, що з'єднує вузли. Замість цього елемента можна використати декілька прямолінійних елементів труби, розміщуючи їх по дузі, що описує нейтральну лінію. Сприймає тільки розтяг/стиск або кручення.

Застосування: моделювання вигнутих частин і колін трубчастих конструкцій.

Форма: дуга, що з'єднує два вузли.

Внутрішня система координат: така ж, що й у CE типу BEAM, CURVED BEAM. Елемент скривлений у площині XY елемента, а вектор радіуса спрямований до третьої точки, іншими словами – у напрямку вектора орієнтації (див. рис.Д3.1).

Параметри: зовнішній діаметр, внутрішній діаметр, радіус кривизни, неконструкційна маса на одиницю довжини.

Примітка. На відміну від CE типу BEAM не має можливостей зсуву нейтральної осі від вузлів, завдання точок на перетині для розрахунку напружень, а також керування ступенями свободи для моделювання шарнірних з'єднань.

Д3.1.4. Балочні елементи типу BAR, BEAM

Сприймають розтяг, стиск, кручення та згин.

Застосування: при моделюванні більшості балочних і рамних конструкцій (ферм).

Форма: лінія, що з'єднує два вузли.

Внутрішня система координат: вісь X спрямована від першого вузла до другого. Вісь Y розташовується перпендикулярно осі X и лежить у площині, обумовленої першим, другим

і додатковим третім вузлом (або заданим вектором орієнтації осі Y). Вісь Z визначається векторним добутком осей X і Y елемента.

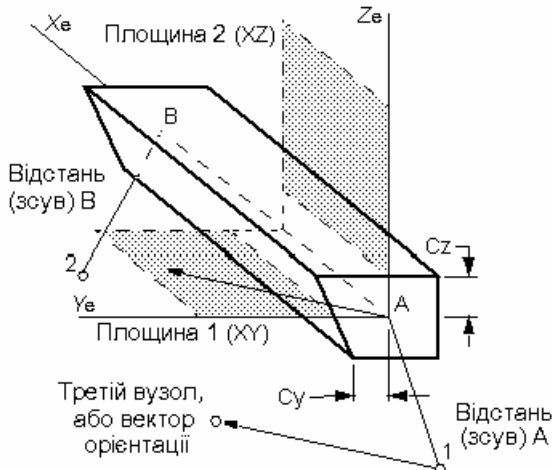


Рис.Д3.1. Балочні елементи типу BAR, BEAM

Примітки.

У SE типу **BEAM** нейтральний шар може не містити повздовжню вісь симетрії. При цьому на діалоговій панелі „Define Property – BEAM Element Type” (див. рис.3.5-б) необхідно встановити опцію „Compute Shear Center Offset” (обчислити зміщення від центру згину). Крім змінного перерізу SE типу **BEAM** ще може представляти модель „тонкостінний стрижень”. Для цього, окрім вказаної вище, необхідно встановити опцію „Compute Warping Constant” (обчислити секторальний момент інерції).

В елементах типу **BAR** і **BEAM** можна керувати ступенями свободи у вузлах елемента, наприклад, для моделювання різного типу шарнірних з’єднань. Досягається це шляхом звільнення відповідних ступенів свободи через команду **Modify→Update Elements→Releases**. Так, наприклад, звільнення ступеня свободи 4 (поворот навколо осі X елемента) у якому-небудь вузлі приведе до того, що крутильний момент не буде передаватися через цей вузол.

Вектори відстаней (зсувів) задаються через команду **Modify→Update Elements→Offsets**. Вони зміщують нейтральну вісь від вузлів у зазначеному напрямку на задану відстань. Якщо відстань (зсув) не задана (за замовчуванням), то нейтральна вісь розташовується безпосередньо між вузлами. Зсув нейтральної осі не впливає на орієнтацію елемента в просторі, оскільки вона визначається щодо скінченно-елементних вузлів.

Точки на перетині для розрахунку напружень задаються на розсуд користувача в площині YZ системи координат елемента.

Завдання моментів інерції для елементів типу **BAR** і **BEAM** може привести до помилки. Справа в тому, що в MSC.Nastran момент інерції **I1** є моментом інерції щодо осі Z елемента. Це момент інерції в площині 1 (див. рис.Д3.1). Відповідно, **I2** – це момент інерції в площині 2 щодо осі Y елемента.

Д3.1.5. Елемент криволінійної балки типу CURVED BEAM

Різновид елемента типу **BEAM**. Криволінійний. Нейтральна вісь являє собою дугу, яка з’єднує вузли. Замість цього елемента можна застосувати множину прямолінійних елементів типу **BEAM**, розміщуючи їх по дузі, що апроксимує нейтральну лінію.

Застосування: моделювання вигинів і колін трубопроводів, а також інших криволінійних елементів балочних систем.

Форма: дуга, що з’єднує два вузли.

Внутрішня система координат: аналогічна системі координат елемента типу **BEAM**. Елемент вигнутий у площині XY елемента, а вектор радіуса спрямований до третьої точки, іншими словами – у напрямку вектора орієнтації.

Примітка: керування ступенями свободи у вузлах для цього типу SE не доступно.

Параметри: радіус вигину, площа поперечного переріза, моменти інерції (I_1 , I_2 , I_{12}), полярний момент інерції, фактори зсуву у відповідних площинах, неконструкційна маса на одиницю довжини, точки на поперечному перерізі для розрахунку напружень.

Д3.1.6. Елемент типу LINK

СЕ повного (жорсткого) зв'язку з 6-тю ступенями свободи. Для програм MSC/PAL та CDA/SPRINT I.

Застосування: моделювання абсолютно жорстких зв'язків.

Форма: лінія, що з'єднує два вузли.

Внутрішня система координат: вісь X елемента спрямована від першого вузла до другого.

Параметри: 6 ступенів свободи у кожному з вузлів.

Д3.1.7. Пружний елемент типу SPRING

Елемент, що поєднує пружний (пружина) і демпфуючий елементи. Сприймає розтяг/стиск або кручення. Для інших випадків передбачений альтернативний варіант цього елемента, що описаний у наступному розділі.

Застосування: для моделювання елементів конструкції, що працюють або тільки на розтяг (стиск), або тільки на кручення.

Форма: лінія, що з'єднує два вузли.

Внутрішня система координат: вісь X елемента спрямована від першого вузла до другого.

Параметри: жорсткість, коефіцієнт демпфування.

Д3.1.8. Пружний елемент типу DOF SPRING

СЕ, що поєднує пружний (пружина) і демпфуючий елементи. Він з'єднує будь-яку обрану (з шести) ступінь свободи в першому вузлі з будь-яким ступенем свободи в другому вузлі.

Застосування: використовується для з'єднання двох ступенів свободи з заданою жорсткістю. У залежності від ступенів свободи, що з'єднуються, і розташування вузлів у просторі за допомогою такого СЕ можна моделювати як частини конструкції, що працюють тільки на розтяг-стиск, так і більш складні її компоненти.

Форма: з'єднує два вузли. Зображується у вигляді лінії, але насправді є більш складним елементом і знаходиться в залежності від ступенів свободи, що з'єднуються.

Внутрішня система координат: визначається вузловими ступенями свободи.

Параметри: ступінь свободи (для кожного з вузлів), жорсткість, коефіцієнт демпфування.

Д3.1.9. Контактний елемент типу GAP (зазор)

СЕ для нелінійного аналізу (великі переміщення), який може мати різні жорсткості для моделювання роботи на розтяг, стиск і зсув.

Застосування: в контактних задачах для моделювання зазорів (зближення контактуючих поверхонь) і місць, де зазори можуть з'явитися (розходження контактуючих поверхонь). Крім того, у визначених межах може моделюватися ковзання контактуючих поверхонь відносно один одного (більш докладну інформацію про цей СЕ можна знайти в повній документації про MSC.Nastran).

Форма: лінія, що з'єднує два вузли.

Внутрішня система координат: вісь X елемента спрямована від першого вузла до другого. Вісь Y розташовується перпендикулярно осі X і лежить у площині, обумовленої першим, другим і додатковим третім вузлом (або вектором орієнтації). Вісь Z визначається векторним добутком осей X і Y елемента.

Параметри: величина початкового зазору, жорсткість на стиск, жорсткість на розтяг, поперечна жорсткість при закритому зазорі, коефіцієнти тертя вздовж осей Y і Z при закритому зазорі, попереднє навантаження.

Д3.1.10. Графічний елемент типу PLOT ONLY

Цей елемент не призначений для моделювання елементів конструкції. Він не має жорсткості та маси.

Застосування: тільки в графічних цілях, для графічного представлення частин конструкції. Не будуть піддаватися аналізу, але можуть допомогти у візуалізації моделі.

Форма: лінія, що з'єднує два вузли.

Внутрішня система координат: відсутня.

Параметри: не має.

Д3.2. Двовимірні (плоскі) елементи

Загальні зауваження. Плоскі елементи використовуються для моделювання мембран, оболонкових конструкцій і пластин. Усі вони подібні за принципами побудови і порядку нумерації вузлів у СЕ (див. рис.Д3.2). Найпростішими типами таких елементів є трикутний елемент із трьома вузлами і чотирикутний елемент із чотирма вузлами. Крім того, є більш складні „параболічні” трикутники з 6 вузлами й чотирикутники з 8 вузлами.

Звичайно навантаження для плоских елементів прикладаються до грані **1** (вона позначена символом **F1** на рис.Д3.2-б). У цьому випадку позитивний напрямок тиску збігається з напрямком нормалі до елемента, що визначається за правилом правої руки. І, навпаки, якщо тиск прикладений до грані **2**, то позитивний його напрямок – протилежний напрямкові нормалі. Таким чином, позитивний тиск на грань **1** еквівалентний негативному тиску на грань **2**.

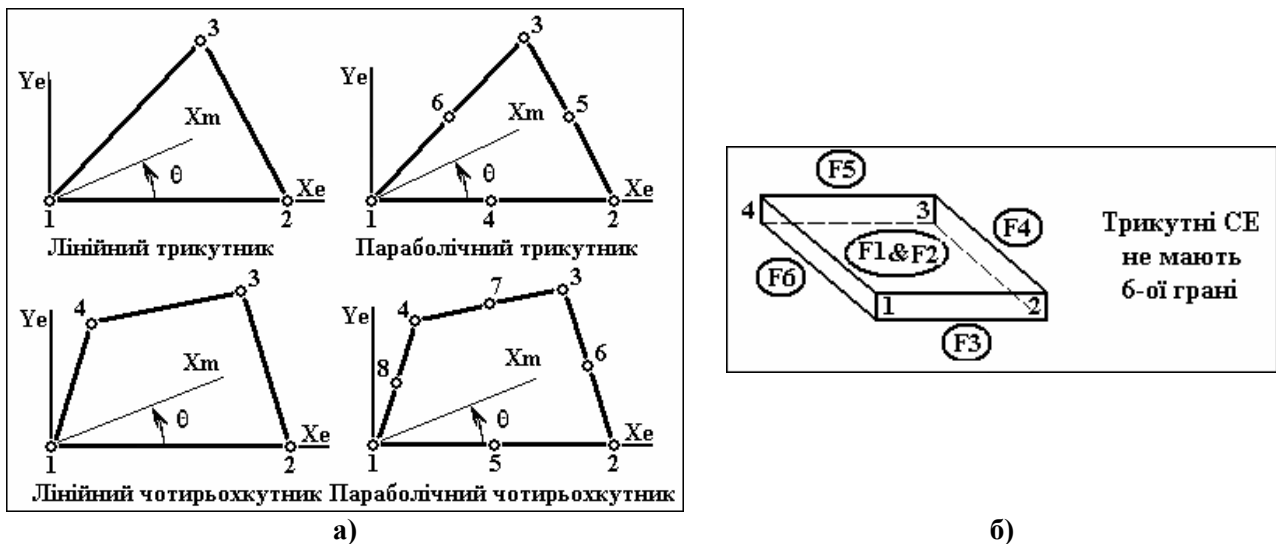


Рис.Д3.2. Двовимірні СЕ: а) – шаблон нумерації вузлів, кут орієнтації властивостей матеріалу; б) – шаблон нумерації граней

При моделюванні конструкцій за допомогою плоских елементів рекомендується прагнути до того, щоб їхня форма наближалася до рівносторонніх трикутників або чотирикутників. У цьому випадку отримані результати будуть найбільш точними.

Д3.2.1. Елемент типу SHEAR PANEL (зсувна панель)

Плоский елемент, який сприймає тільки зсувні зусилля – тангенціальні сили, прикладені до граней елемента. Цей елемент може сприймати також і нормальні сили, для врахування яких використовуються додаткові ребра жорсткості, властивості яких задаються коефіцієнтами приведеної площі перерізу.

Застосування: використовується для моделювання конструкцій, що містять дуже тонкі пружні листи, що звичайно підкріплюються додатковими жорсткостями.

Форма: 4-х вузловий чотирикутник.

Внутрішня система координат: показана на рис.Д3.2-а.

Параметри: товщина, коефіцієнти приведеної площі перерізу додаткових ребер жорсткості, неконструкційна маса на одиницю площі.

Д3.2.2. Мембранний елемент типу MEMBRANE

Плоский елемент, що сприймає навантаження, які діють у площині елемента.

Застосування: для моделювання дуже тонких пружних листів.

Форма: плоский 3-х вузловий або 6-ти вузловий трикутник, 4-х вузловий або 8-ми вузловий чотирикутник.

Внутрішня система координат: показана на рис.Д3.2-а. Установка потрібного напрямку властивостей матеріалу здійснюється шляхом повороту осі орієнтації матеріалу **Xm**.

Параметри: товщина, неконструкційна маса на одиницю площі.

Д3.2.3. Елемент згину типу BENDING ONLY

Плоский елемент, що сприймає тільки згинаючі навантаження.

Застосування: для моделювання пластин, які тільки згинаються.

Форма: плоский 3-х вузловий або 6-ти вузловий трикутник, 4-х вузловий або 8-ми вузловий чотирикутник.

Внутрішня система координат: показана на рис.Д3.2-а. Установка потрібного напрямку властивостей матеріалу здійснюється шляхом повороту осі орієнтації матеріалу **Xm**.

Параметри: товщина, неконструкційна маса на одиницю площі, параметр згинальної жорсткості, відстань від нейтральної лінії до верхнього і нижнього волокон для розрахунку напружень.

Д3.2.4. Універсальний оболонковий елемент типу PLATE

Комбінований плоский оболонковий елемент. Цей елемент може сприймати мембранне, зсувне і згинальне навантаження.

Застосування: будь-які конструкції, що складаються з тонких пластин або оболонок.

Форма: плоский 3-х вузловий або 6-ти вузловий трикутник, 4-х вузловий або 8-ми вузловий чотирикутник.

Внутрішня система координат: показана на рис.Д3.2-а та рис.Д3.3. Установка потрібного напрямку властивостей матеріалу здійснюється шляхом повороту осі орієнтації матеріалу **Xm**.

Параметри: товщина (як середня по елементі, так і різна в кожному вузлі), неконструкційна маса на одиницю площі, параметр згінної жорсткості, відношення товщини поперечного зсуву до товщини мембрани, згінні, зсувні та мембранні параметри матеріалу (у більшості випадків однакові), відстань від нейтральної лінії до верхнього і нижнього волокон для розрахунку напружень.

Примітка: у випадку перемінної товщини в кожному вузлі СЕ можна задавати різну товщину оболонок. Але можна використовувати і більш простий варіант – вводити усереднену товщину елемента **T1**.

Д3.2.5. Шаруватий елемент типу LAMINATE

Подібний елементу типу **PLATE**, за винятком того, що цей елемент складається з одного або декількох шарів: *layers* (див. рис.Д3.4). Кожний із шарів може мати свої параметри матеріалу. MSC.Nastran допускає використання елементів, що включають у себе до 45 шарів.

Застосування: звичайно – для моделювання багатошарових композитних оболонок.

Форма: плоский 3-х вузловий або 6-ти вузловий трикутник, 4-х вузловий або 8-ми вузловий чотирикутник.

Внутрішня система координат: аналогічна елементам типу **PLATE**. Установка потрібного напрямку властивостей матеріалу здійснюється шляхом повороту осі орієнтації властивостей матеріалу **Xm**. Крім того, осі орієнтації властивостей матеріалу для кожного із шарів можуть бути повернені в площині **XY** елемента на різні кути.

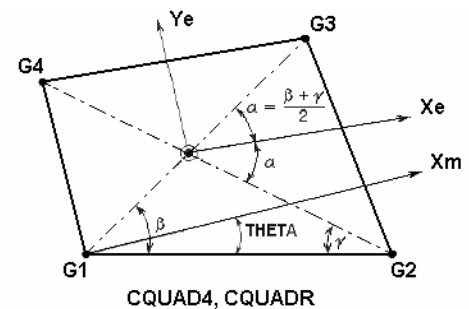


Рис.Д3.3. Двовимірні 4-х кутовий оболонковий СЕ типу Plate

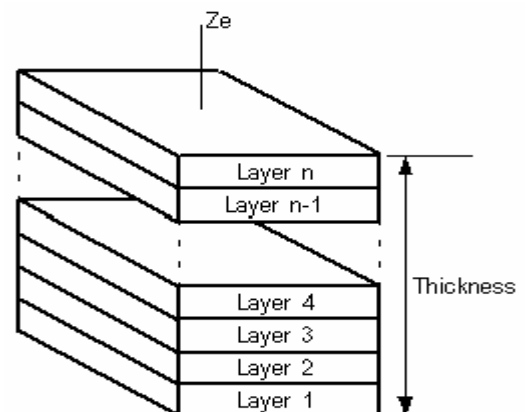


Рис.Д3.4. Шаруватий СЕ

Параметри: для кожного шару задаються: матеріал, кут орієнтації властивостей матеріалу і товщина шару. Крім цього вводяться загальні дані: відстань від нейтральної площини до нижньої поверхні, неконструкційна маса на одиницю площі, припустимі відносний зсув між шарами і теорія руйнування.

Д3.2.6. Елемент, що деформується плоско, типу PLANE STRAIN

Це двохосьовий плоский елемент. За його допомогою формуються двовимірні моделі конструкцій, що працюють однаково в кожному своєму поперечному перерізі (умова плоских деформацій), і, таким чином, просторова задача зводиться до плоскої.

Застосування: моделювання товстостінних об'ємних тіл з постійним поперечним перерізом.

Форма: елемент зображується на екрані у вигляді площини, але насправді описує поперечний переріз об'ємного тіла. Використання трикутників при розбивці перетину еквівалентно використанню об'ємних елементів типу п'ятигранної призми; чотирикутні плоскі елементи відповідають об'ємним елементам типу шестигранної призми. При розбивці плоских перетинів можна використовувати 3-х вузлові або 6-ти вузлові трикутники, 4-х вузлові або 8-ми вузлові чотирикутники.

Внутрішня система координат: аналогічна елементам типу **PLATE**. Установка потрібного напрямку властивостей матеріалу здійснюється шляхом повороту осі орієнтації властивостей матеріалу **Xm**.

Параметри: товщина і відстань від нейтральної лінії до верхнього і нижнього волокон (звичайно не використовується), неконструкційна маса на одиницю площі.

Д3.2.7. Вісесиметричний оболонковий елемент типу AXISYMMETRIC SHELL

Вісесиметричний оболонковий SE являє собою двовимірний елемент для моделювання перетинів вісесиметричних оболонок.

Застосування: моделювання вісесиметричних оболонок з вісесиметричними закріпленнями і навантаженнями.

Форма: 2-х вузлові (1-го порядку апроксимації) або 3-х вузлові (параболічні) елементи зображуються у вигляді лінії, але насправді являють собою вісесиметричні поверхні.

Внутрішня система координат: співпадає з глобальною: **Z** – вісь обертання, **X** – радіальна.

Параметри: товщина.

Д3.2.8. Графічний елемент типу PLOT ONLY

Цей елемент не призначений для моделювання елементів конструкції. Він не має жорсткості та маси.

Застосування: тільки в графічних цілях, для графічного представлення частин конструкції, що не будуть піддаватися аналізу, але можуть допомогти у візуалізації моделі.

Форма: трикутна або чотирикутна.

Внутрішня система координат: відсутня.

Параметри: відсутні.

Д3.3. Просторові (об'ємні, тривимірні) елементи

Всі елементи цього типу використовуються при формуванні тривимірних моделей об'ємних конструкцій. Всі елементи цього типу забезпечують одержання більш докладних і точних результатів розрахунку, але вимагають великих витрат часу і зусиль при моделюванні й аналізу моделі.

Д3.3.1. Вісесиметричний елемент типу AXISYMMETRIC

Вісесиметричний SE являє собою двовимірний елемент для моделювання перетинів об'ємних вісесиметричних тіл обертання.

Вісесиметричні SE можуть бути згенеровані в площинах **XY** або **XZ** базової системи координат, оскільки в препроцесорі передбачена можливість автоматичного приведення моделі в потрібну для отримання правильного розв'язку площина (у MSC.Nastran це площина **XZ**).

Примітка. У MSC.Nastran для розв'язування вісесиметричних задач використовуються тільки *параболічні* трикутні елементи з вузлами на середині сторін, але користувач може

застосовувати при генерації сітки і будь-які інші форми елементів, оскільки препроцесор FEMAP перед виконанням аналізу автоматично перетворює них в елементи потрібного вигляду.

Застосування: моделювання вісесиметричних об'ємних тіл з вісесиметричними закріпленнями і навантаженнями.

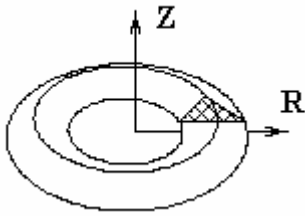


Рис.Д3.5. Вісесиметричний СЕ

Форма: елементи зображуються у вигляді площини, але насправді являють собою вісесиметричні кільця (див. рис.Д3.5): 3-х або 6-ти вузлові трикутники.

Внутрішня система координат: див. рис.Д3.2. Для завдання орієнтації властивостей матеріалу використовується кут повороту осі X_m . Потрібно звернути увагу на розходження у відліку кутів для вісесиметричних і 2-вимірних СЕ. У випадку вісесиметричної задачі кути відраховуються відносно глобальної (базової) системи координат, а не від першої грані елемента, як це було у випадку 2-вимірних СЕ.

Параметри: відсутні.

Д3.3.2. Об'ємний елемент типу SOLID

Тривимірний об'ємний елемент (див. рис.Д3.5).

Застосування: моделювання будь-яких тривимірних конструкцій.

Форма: 4-х вузловий тетраедр, 6-ти вузлова п'ятигранна призма, 8-ми вузловий гексаедр, 10-ти вузловий тетраедр, 15-ти вузлова п'ятигранна призма та 20-ти вузловий гексаедр.

Внутрішня система координат: може бути прив'язана до яких-небудь вузлів або приводитися у відповідність з глобальною (базовою) системою координат.

Параметри: осі орієнтації властивостей матеріалу, порядок інтегрування.

Примітка: для завдання навантаження у вигляді тиску необхідно вказувати номер грані елемента. На рис.Д3.6 показана нумерація граней для всіх різновидів елементів типу **SOLID**. Позначено номери символами від **F1** до **F6**, що обведені окружностями. Позитивний тиск завжди вважається спрямованим до центра елемента.

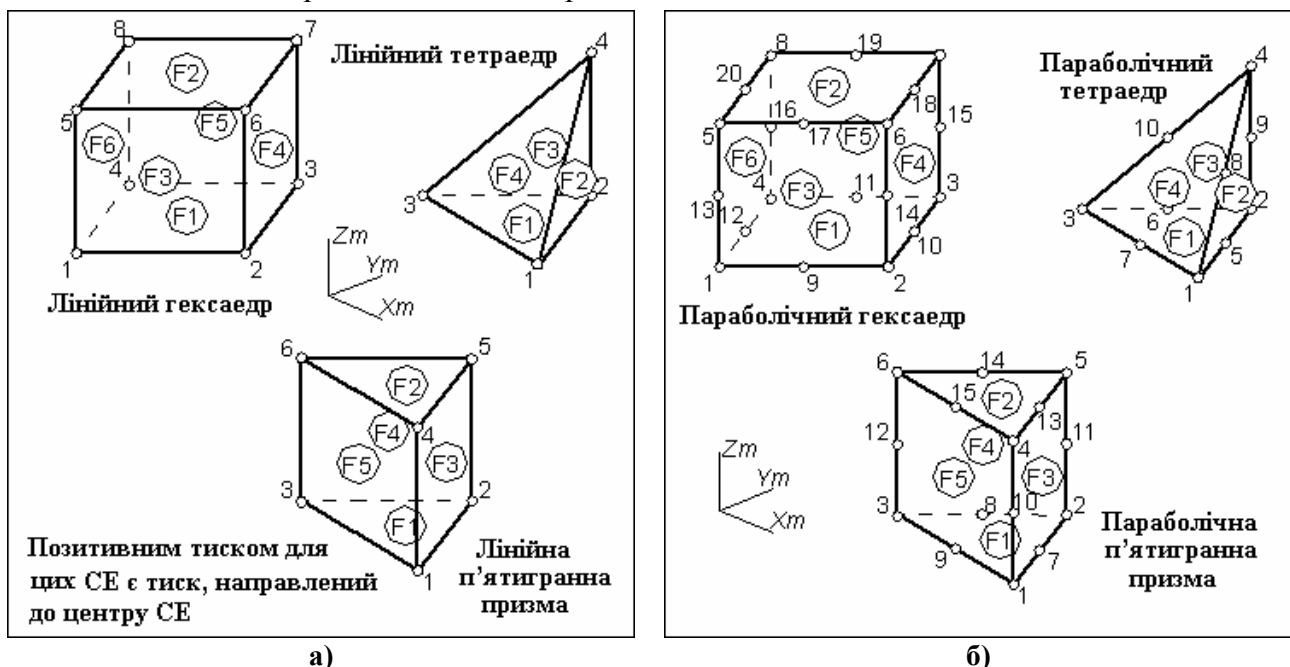


Рис.Д3.6. Тривимірні СЕ та шаблони нумерації вузлів і повернь: а) – першого (лінійні) та б) – другого (параболічні) порядку апроксимації

Д3.4. Інші елементи

Ця категорія елементів дозволяє задавати зосереджені маси, жорсткі зв'язки і жорсткості в загальному вигляді (матриці жорсткості).

Д3.4.1. Елемент типу MASS

Узагальнений тривимірний масовий і/або інерційний елемент, який розміщується у вузлі СЕС. Центр мас можна зсунути відносно вузла. Більш загальною формою цього елемента є елемент типу MASS MATRIX (матриця мас).

Застосування: для моделювання частин конструкцій, що мають масу, але не мають жорсткості.

Форма: точка, з'єднана з одним з вузлів сітки.

Внутрішня система координат: погоджується зі зазначеною системою координат.

Параметри: маса, моменти інерції (**Ixx, Iyy, Izz, Ixy, Iyz, Ixz**), зсув центра мас відносно вузла, ефективний діаметр (для задачі теплопровідності).

Д3.4.2. Елемент типу MASS MATRIX

Узагальнений тривимірний масовий і/або інерційний елемент. Масові й інерційні параметри записуються у вигляді матриці мас розміром 6х6. Часто простіше використовувати елемент типу MASS.

Застосування: для моделювання частин конструкцій, що мають масу, але не мають жорсткості.

Форма: точка, з'єднана з одним з вузлів сітки.

Внутрішня система координат: погоджується зі зазначеною системою координат.

Параметри: верхня трикутна частина матриці мас розмірністю 6х6.

Д3.4.3. Елемент типу RIGID

Моделює два варіанта зв'язків: По-перше, абсолютно жорсткий зв'язок між обраним „головним” вузлом і одним або декількома іншими вузлами. По-друге, інтерполює жорсткість від „головного” вузла до інших вузлів СЕ. **Увага:** MSC.Nastran допускає використання не більш 12 вузлів в одному СЕ цього типу.

Застосування: моделювання зв'язків, що є дуже жорсткими в порівнянні з іншими елементами конструкції, наприклад, щоб зробити якусь площину незмінною (жорсткою) у якісь напрямках. Використовується також для з'єднання між собою елементів, що мають різну кількість ступенів свободи у вузлі. Ще інтерполює прикладену до „головного” вузла граничну умову (силу, переміщення тощо) на інші вузли СЕ.

Форма: один „головний” вузол, з'єднаний з додатковими вузлами (від 1 до 12).

Внутрішня система координат: відсутня. Робота елемента зв'язана з заданими вузловими ступенями свободи.

Параметри: відсутні.

Д3.4.4. Контактний елемент типу SLIDE LINE

Контактний елемент, що дозволяє задавати вихідними даними параметри тертя і жорсткості між поверхнями в зоні контакту. Для визначення контактуючих поверхонь за допомогою елементів цього типу задаються набори головних (**master**) і залежних (**slave**) вузлів.

Застосування: моделювання взаємодії між контактуючими (з ковзанням) поверхнями двох тел, що деформуються.

Форма: зображується у вигляді лінії між головними і залежними вузлами.

Внутрішня система координат: відсутня. Усе зв'язано із системою координат вузлів.

Параметри: ширина поверхонь, що контактують, масштабний множник жорсткості, жорсткість контакту без ковзання і статичний коефіцієнт тертя.

Д3.4.5. Елемент типу STIFFNESS MATRIX

Узагальнений елемент жорсткості. СЕ цього типу задається у вигляді матриці жорсткості розмірністю 6х6, яка може бути симетрично прикладена (розширена до розміру 12х12) до двох вузлів сітки.

Застосування: моделювання зв'язків необхідної жорсткості між двома вузлами у випадку, якщо ці зв'язки не можуть бути адекватно змодельовані за допомогою елементів інших типів.

Форма: зображується лінією. Насправді конкретної форми не має.

Внутрішня система координат: залежить від кількості ступенів свободи у вузлі.

Параметри: верхня трикутна частина матриці жорсткості розмірністю 6х6.

Д3.4.6. Елемент типу CONTACT

Цей елемент дозволяє описати контактну пару для аналізу в програмах **ABAQUS**, **LS-DYNA3D**, **MARC**, **ABAQUS**, **LS-DYNA3D** та **ANSYS** і визначається, використовуючи діалогову панель „**Contact Pair**” елемента. Можна також визначити цей тип елемента безпосередньо командою **Model→Contact→Contact Pair**. Має загальні та індивідуальні (для програм) параметри.

Д3.5. Примітки

Доволі часто ще при генерації СЕ необхідно зменшити кількість ступенів свободи в кожному вузлі СЕ. У загальному випадку їх шість: три для переміщень вузлів (**TX**, **TY**, **TZ** для декартової системи координат або **TR**, **TT**, **TZ** для циліндричної і сферичної) та три для обертань вузлів навкруг осей, що проходять через вузол (**RX**, **RY**, **RZ** або **RR**, **RT**, **RZ** для вказаних вище систем координат відповідно). Для цього передбачена діалогова панель „**Node Parameters**”, яка викликається з діалогової панелі „**Automesh ...**”. В інших місцях ці шість ступенів свободи можуть позначатися цифрами **123456** відповідно.

Для одновимірних СЕ на панелі є кнопка „**Releases...**”, яка дозволяє змінювати кількість ступенів свободи СЕ на різних його кінцях, причому вони позначаються як **123456/123456**: ліва частина – для вузлів першого кінця, права частина – для другого.