

Приложение 1

ОБЪЕКТЫ СПИСКА „Option” ДИАЛОГОВОЙ ПАНЕЛИ „View Options”

Диалоговая панель „View Options” предназначена для управления изображениями разнообразных объектов на рабочем поле FEMAP. Вызывается командой **View→Options...**

Несколько примечаний к таблице П1.1:

- слово „Entity” в полях значений (например, „Entity Colors”) указывает на то, что применяется значение параметра объекта „по умолчанию”, т.е. такое, что установлено на диалоговой панели „Model Parameters”, которая вызывается командой **Tools→Parameters...** Слово „Use”, наоборот, указывает на значение, которое устанавливается на этой панели пользователем;

- цвет объекта задается в секции „View Color”, которая активна почти для всех объектов. Но для некоторых объектов название уточняется: „Light Color” (для объекта 55 таблицы П1.1), „Preview Color” (64), „Monochrome Color” (72), „Beam Diagram Color” (81), „IsoSurface Color” (82), „Axes Color” (88), „Grid Color” (89, 90), „Curve Color” (91);

- опция (справа сверху) чаще всего имеет название „Draw Entity” (изобразить объект), но для некоторых объектов ее изменяет на другое: „Label Prefix” – метка префикса (1), „Show Direction” – отобразить направление (14), „Show Offsets” – отобразить смещение (15), „Show Orientation” – отобразить ориентацию (16), „Show Y Axis” – отобразить ось Y (17), „Draw Diameter” – изобразить диаметр (19), „Draw Symbol” – изобразить символ (20), „All Elements” – все элементы (49), „Option On” – задействовать назначения (50, 55, 56), „Fill On” – заполнить (51), „Curve Transparency” – прозрачность линии (53), „Auto Transparency” – прозрачность изображения (54), „Elements Symbol” – элементы символа (65), „Auto Aspect” – автоматический коэффициент (65), „% Of Model (Actual)” – фактический процент (68), „Arrowheads” – стрелки-указатели (69), „Single Step” – один шаг (70), „Trace Locations” – положение проекции (73), „Double-Sided” – двусторонний (74), „Filled (Online)” – интерактивное заполнение (75), „Animate” – проводить анимацию (76), „Abs Value” – абсолютное значение (78), „Reverse” – проводить реверс (81), „Contour Deformed” – деформировать контур (82), „Draw Isoline” – изобразить изолинию (83), „Draw Start” – изобразить начало линии потока (84), „Adjust Length” – корректировать длину (87), „Grid” – сетка (89, 90);

- метка – сокращенное обозначение объекта. Имеет префикс и номер. Например: **N15** – узел (Node) с номером 15, **E43** – КЭ с номером 43, **C7** – линия с номером 7;

- шрифт (гарнитура), что назначается, должен присутствовать в операционной системе, поскольку FEMAP не имеет собственных шрифтов;

- пометка типа <N> в ячейке указывает на то, что к этой ячейке нужно добавить информацию из предыдущей строки с номером **N** для соответствующей опции;

- некоторые дополнительные сведения относительно объектов таблицы П1.1 приведены в таблице П1.2. Соответствующая ячейка таблицы П1.1 имеет пометку (*).


Внимание: большинство назначений отображаются лишь в режиме „Solid”, некоторые – при других, доступных с помощью кнопки .

Таблица П1.1 – Объекты списка „Option” диалоговой панели „View Options”

№	Наименование объекта, примечание	Параметры (кроме „View Color”)	Возможные значения параметров
Категория: Labels, Entities and Color – Обозначения, объекты и цвета			
1	Label Parameters (параметры метки)	Label Font (шрифт)	Размер, название
		Color/Background (цвет метки, фон)	Entity Colors; Use View Color; Entity, Erase Back; View, Erase Back ^(*)
		Render Offset (выполнить отступление, сдвиг)	1...10
2	Coordinate System (система координат, введенная пользователем)	Label Mode (режим обозначения)	No Labels; ID and Axes, ID Only, Axes Only
		Color Mode (режим цвета)	Entity Color; View Color; Layer Color; RGB ^(*) – для объектов Line, Arrow (стрелка), Solid
3	Point (точка)	<2>	No Labels; ID; Definition CSys; Mesh Size; Mesh Attributes
			Entity Colors; Use View Color; Use Layer Color; Property Colors; Material Colors
4	Curve (линия), Combined Curve	<2>	No Labels; ID; Mesh Attributes
			<3>
5	Curve – Mesh Size (разметка сетки вдоль линии)	Show As (показать как)	Symbols Only; Size and Bias; Symbols (all curves); Symbols and Count ^(*)
		Color Mode	Entity Colors; Use View Color
6	Curve / Surface Directions	Parametric Directions	Off; Show All Arrows; Show Curve Arrows; Show Surface Arrows
7	Surface (поверхность)	<2>	<4>
			<3>
8	Boundary (граничная поверхность, граничный контур)	<2>	<4>
			<3>
9	Solid / Volume (тело / объем)	<2>	<4>
			<3>
10	Text (текст)	Visible Text (видимый текст)	All Text; Model Positioned; View Positioned
		Color Mode	<5>; Use Layer Color
11	Node (узел КЭ)	<2>	No Labels; ID; Definition CSys; Output CSys; Super Element ID
			<10>; Def CSys Color; Output CSys Color
12	Node – Perm Constraint (узел – постоянные связи)	<2>	No Labels; Degree of Freedom (степень свободы); Pins, No Labels; Pins, DOF; Arrows, No Labels; Arrows, DOF; Triangles, No Labels; Triangles, DOF
			<10>; RGB

13	Element (конечный элемент, КЭ)	<2>	No Labels; ID; Property; Material; Element Type; ID, Prop, Matl; Layer
			<3>
14	Element – Directions (КЭ – направление обхода по узлам)	Normal Style	Right-Hand Rule (правило правой руки); Normal Vectors (нормаль); Backface Shading (оттенение невидимой поверхности)
		Color Mode	Entity Colors; Use View Color
15	Element – Offsets / Releases (КЭ – смещения / степени свободы)	Release Labels	No Labels; Degree of Freedom (степень свободы)
		Color Mode	<14>
16	Element – Orientation/Shape (КЭ – ориентация / форма)	Element Shape	Line/Plate Only; Show Fiber Thickness; Show Inertia Ratio; Show Cross Section; Show Stress Recovery ^(*)
		Color Mode	<14>
17	Element – Beam Y-Axis (КЭ – ось Y сечения балки)	Color Mode	<14>
18	Element – Coordinate Systems	<2>	No Labels; ID
			<14>
19	Element – Weld	-	-
20	Element – Rigid	Label Mode (режим обозначения)	No Labels; Degree of Freedom
21	Load Vectors (векторы нагрузки (масштабирование))	Vector Length	Uniform; Scale by Magnitude
		Load Len	0.01...1000...1000
		Min Scale	0... ...100
22	Load – Body	Label Mode	No Labels; Load Value
		Location	View Axes; Model
23	Load – Force and Bearing (нагрузка – сила и опора)	Label Mode	<22>; Load Phase
		Color / Component Mode	<10>; Entity Components; View Components; Layer Components
24	Load – Moment and Torque (нагрузка – момент и вращающий момент)	<23>	<23>
25	Load – Temperature (нагрузка – температура)	<2>	<22>
			<10>
26	Load – Distributed Loads (нагрузка – распределенные силы)	<2>	<23>
			<10>
27	Load – Pressure (нагрузка – давление)	<2>	<23>
			<10>
28	Load – Acceleration (нагрузка – ускорение)	<23>	<23>

29	Load – Velocity (нагрузка – скорость)	<23>	<23>
30	Load – Enforced Displacement (нагрузка – не силовое (кинематическое) смещение)	<23>	<23>
31	Load – Nonlinear Force (нагрузка – нелинейная сила)	<2>	<25>
32	Load – Heat Generation (нагрузка – источник тепла)	<2>	<25>
33	Load – Heat Flux (нагрузка – тепловой поток)	<2>	<25>
34	Load – Convection (нагрузка – конвекция)	<2>	<25>
35	Load – Radiation (нагрузка – радиация (лучевой нагрев))	<2>	<25>
36	Load – Bolt Preload (предыдущая нагрузка болта)	<2>	<25>
37	Load – Fluid Tracking	<2>	<25>
			<5>
38	Load – Unknown Condition	Color Mode	Entity Colors; Use View Color
39	Load – Slip Wall Condition	<38>	<38>
40	Load – Fan Curve	<37>	<37>
41	Load – Periodic Condition	<38>	<38>
42	Constraint (связь, т.е. граничное условие 1-го рода)	<12>	<12>
43	Constraint Equation (уравнение связи)	<2>	<15>; Coefficient; DOF and Coefficient
			<10>
44	Connector (контактный объект)	<2>	No Labels; ID; Property; ID, Prop
			<10>; Property Colors
45	Connection Region (контактный регион)	<2>	No Labels; ID
			<10>
46	Combined – Eliminated Points (Объединение – устраненные точки)	Color Mode	<5>

47	Combined – Eliminated Curves (Объединение – устраненные линии)	<46>	<5>
48	Combined – Eliminated Surfaces (Объединение – устраненные поверхности)	<46>	<5>
Категория: Tools and View Style – Инструменты и стиль изображения			
49	Free Edge and Face (свободные кромки и грани КЭ)	Parabolic Edge/Face (параболические ребра / стороны)	Use Midnodes; Skip Midnodes (учитывать или нет промежуточные узлы)
		Free Edge / Backface	Entity Colors; Use View Color; View, Draw Model
50	Shrink Elements (изобразить КЭ в сжатом виде)	Shrink To %	0... ..100
51	Fill, Backfaces and Hidden (заполнение (окраска), задние и скрытые грани КЭ)	Backfaces (невидимые поверхности)	Show All Faces; Skip Solid Backfaces; Skip Solid and +Plate; Skip Solid and -Plate
		Hidden Line Options (параметры невидимой линии)	Free Faces + All Others; Free Face Only; Draw All Faces
52	Filled Edges (окрашенные кромки)	Section Cut Edges	Skip Cut Edges; Section Cut Edges
		Color Mode	<10>; Contrasting Colors
53	Render Options (опции тонирования)	Surface Hatch (штриховка поверхности)	Hatch Surfaces (штриховать поверхности); Hatch Wireframe Surfaces (штриховать каркасные поверхности); Never Hatch Surfaces (не штриховать поверхности)
		Parabolic Edge/Face (параболические ребра / стороны)	Use Midnodes; Skip Midnodes (учитывать или нет промежуточные узлы)
		Offset Factor (множитель смещения)	0... ..500
		Offset (модуль смещения)	0... ..500
54	Transparency (прозрачность)	Percent (0=Opaque) 0=непрозрачность	0... ..100
55	Shading (затемнение, т.е. зависимость яркости изображения поверхности от положения источника освещения)	Shading Mode	Shade Filled Areas; Shade Lines; Shade All
		Light Location/Type	Viewer; Screen; Viewer Spot; Screen Spot; Model; Model Spot
		% Ambient (процент общего окружающего освещения)	0 ... 100
		Distance	≥ 0
		Кнопка „Light...”	Координаты (источника освещения)
56	Perspective (перспектива)	Distance (расстояние до точки сходимости)	≥ 0

57	Axisymmetric Axes (отобразить осесимметричные оси)	Direction	Global (X, Y (и другие комбинации)) Radial
		Color/Draw Mode	View Color; RGB (для Line; Arrow, Solid)
58	View Legend (отобразить легенду: координатная система, положение, нагрузка, ...)	Position (позиция: по умолчанию – „Top Left”, т.е. слева вверху)	Top Left; Top Center; Top Right; Center Left; Center Right; Bottom Left; Bottom Center; Bottom Right
		Legend Style	IDs Only; Titles (только номера; название); Titles and Model Name; Titles, Model Name, Date
59	View Axes (отобразить / скрыть базисные оси)	Show As	No Labels; ID
		Color/Draw Mode	View Color; RGB (для Line; Arrow, Solid)
		Кнопка „Position...”	Положение, в процентах к размеру рабочей плоскости
60	Origin (начало координат, цвет)	-	-
61	Workplane and Rules (рабочая плоскость и шкалы)	Rules (шкала)	Show Rules; Skip Rules
		Plane Fill	None; Fill Interior
62	Workplane Grid (сетка на рабочей плоскости)	-	Настройка сетки: клавиша „F2”, кнопка „Snap Options”
63	Group Clipping Planes (секущие плоскости, для групп)	-	-
64	Symbols (символы: тип, размер и цвет символов, узлов, точек и т.п.)	Symbol Size	Symbol Size (21 значение)
		Nodes, Points and Mesh	Symbols – Node Dots; Dots; Symbols – All
		Load Len	0.01...1000
		Other Vec	0.01...1000
65	View Aspect Ratio (пропорции вида: сжать/растянуть вдоль осей)	Aspect Ratio (коэффициент)	0.01... 100
66	Model Clipping Plane (отсечение модели плоскостью)	Clipped Side (сторона отсечения)	Positive; Negative
Категория: PostProcessing – Результаты			
67	Post Titles (наименование параметров вывода)	Position (позиция: по умолчанию – „Bottom Left”, т.е. слева внизу)	<58>
		Legend Style	IDs Only; Titles (только ID или полные названия)

68	Deformed Style (стиль отображения деформированного состояния)	Deformed Scale	Automatic; Auto – Group
		Default Direction	Global X; Global Y; Global Z
		Scale, % (процент отображения деформированного состояния)	0... ...100
		Scale Act	≥ 0
69	Vector Style (стиль вектора данных вывода)	Label Mode	No Labels; Output Value; Top Percent
		Component Mode	Total Vector; Component Vectors; Solid Total Vector; Solid Component Vectors
		Top Percent	0... ...100
70	Animated Style (стиль анимации)	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 (фреймов)	>0
		Delay (задержка)	>0
71	Deformed Model (деформированная модель)	Deform Relative To	None; Fixed Node
		Color Mode	Entity Colors; Use View Color
		Node ID	
72	Undeformed Model (недеформированная модель)	Color Mode	Entity Colors; Use View Color
		Render Offset %	± 9.99 · 10 ³⁰
73	Trace Style (стиль трассирования в режиме отображения Trace)	Label Mode	No Label; Set ID; Set Value
		Trace Length	Full Length; Animate Growth
74	Contour Type (тип контурных данных: по узлам, по КЭ)	Contour Type	Nodal Contour; Elemental Contour; Match Output
		Rendered Contours	Continuous; Level Colors
75	Contour/Criteria Style (стиль контурных / критериальных данных)	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 (шаг меток)	≥ 0
		Digits (количество знаков, не меньше чем)	0...20
76	Contour/Criteria Levels (уровни контурных / критериальных данных (шкалы))	Level Mode	Automatic; Auto – Group; Max Min; User Defined
		Contour Palette	Standard Palette; User Palette
		# of Levels (количество изополос, цветов)	Целое число > 1 (16 – по умолчанию)
		Minimum, Maximum	Предельные значения
		Кнопка „Set Levels...”	Установление цветов для изополос

77	Contour/Criteria Legend (цветная шкала для контурных / критериальных данных)	Position	<58>
		Label Color	Contour Colors; Use View Color; Contour Colors, Exponent; View Color, Exponent
		Label Freq (шаг меток)	≥ 0
		Digits (количество знаков, не меньше чем)	0...20
		Кнопка „Legend Shrink...”	% сжатия, 1 ... 100
78	Criteria Limits (границы критериальных данных)	Limits Mode	No limits; Above Maximum; Below Minimum; Between; Outside
		Minimum, Maximum	
79	Criteria – Elements that Pass (КЭ, избранные сортировкой (назначенные границы))	Label Mode	No Labels; Output Value
		Color Mode	Entity Colors; Use View Color; Contour Colors
80	Criteria – Elements that Fail (КЭ, не избранные сортировкой (не назначенные границы))	<79>	<79>
81	Beam Diagrams (эпюры)	Label Mode	No Labels; Labels at Nodes (метки при узлах); Labels at Peaks (метки на эпюре); Contour Only
		Default Direction (направления ориентации построения эпюр)	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
82	IsoSurface (поверхности уровня)	Level Mode Dynamic Color Mode IsoSurface At	Use Contours; Single Isosurface Contour Colors; Use View Color $\pm 9.99 \cdot 10^{30}$
83	IsoLine (линии уровня)	IsoLine Width	Texture Width (128 значений) Use Background Color; Use View Color; Background Greater; View Greater; Background Less; View Less
		Color Mode	
		IsoLine At	$\pm 9.99 \cdot 10^{30}$
84	Streamline (линия потока)	Color Mode Max Length Min Speed Кнопка „Streamline Location...”	Contour Colors; Use View Color Максимальная длина Минимальная скорость Точка – начало линии потока
85	XY Titles (заголовок XY-диаграммы)	Position	<58>
		Кнопка „Titles...”	Введение заголовка и подзаголовка
86	XY Legend (легенда XY-диаграммы)	Position	<58>
		Legend Style	IDs Only; Titles; Titles and Model Name; Titles, Model Name, Date

87	Contour Vector Style (стиль контурного вектора)	Vector Style	Center, Dual Arrow; Center, Single Arrow; Center, No Arrow; Dual Arrow; Single Arrow; No Arrow; Solid Center Dual; Solid Center Single; Solid Center No Arrow; Solid Dual Arrow; Solid Single Arrow; Solid No Arrow
		Color Mode	Contour Colors; Use View Color; Contour Colors; View Color, Exponent
		Digits	0 ... 10
		Length	0.01 ... 1000
88	XY Axes Style (стиль осей XY-диаграммы)	Plot Type X Tics; Y Tics (количество линий вдоль X и Y)	Rectilinear; Semi-Log (Y-Axis); Log-Log; Semi-Log (X-Axis) > 1
89	XY X Range/Grid (диапазон вдоль оси X / сетка XY-диаграммы)	Axis Range Minimum, Maximum	Automatic; Auto – Group; Max Min
90	XY Y Range/Grid (диапазон вдоль оси Y / сетка XY-диаграммы)	<89>	<89>
91	XY Curve 1...9 (линии 1...9 (стиль, цвет, метки) XY-диаграммы)	Data Labels	No Labels; ID; Output Value; Max/Min ID; Max/Min Value; DataPair; Max/Min DataPair
		Curve Style	Points Only; Lines; Lines with Points
		Scale	

Таблица П1.2 – Некоторые переводы, значения, объяснения и обозначения, применяемые в таблице П1.1.

№	Название в FEMAP	Перевод, значения, объяснения, обозначения
1	Erase Back	„Очистка” поля (на рабочем поле FEMAP) под значение, которое будет выводиться, т.е. создание фона
2	RGB	Красный, зеленый, синий – не только цвета, а и порядок следования
5	Symbols Only; Size and Bias; Symbols (all Curves); Symbols and Count	Только назначенные метки; назначенное количество КЭ и смещение; метки на всех кривых (назначенные, и те, что соответствуют установленному командой Mesh→Default Size значению); все метки, а также количество КЭ, что назначены
16	Line/Plate Only; Show Fiber Thickness; Show Inertia Ratio; Show Cross Section; Show Stress Recovery	Показывать: только линии/поверхности КЭ; толщину (для двумерных КЭ); инерционный момент, сечение, точки вычисления напряжений (для одномерных КЭ)

Приложение 2

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ФУНКЦИИ FEMAP (Function reference)

Здесь фактически приведен перевод FEMAP→User→C. **Function reference** из „Help” программы FEMAP 10.2.0.

Элементарные функции FEMAP могут использоваться, чтобы создать уравнения для любого возможного числового расчета.

Функции приведены в алфавитном порядке. Все аргументы функций всегда нужны. Множественные аргументы должны быть отделены точкой с запятой (;), десятичный знак в действительном числе – запятая (,).

ABS(x) – возвращает абсолютное значение аргумента x . Если $x > 0$, то $ABS(x) = x$.

ACOS(x) – возвращает обратный косинус (арккосинус) x . Обратный косинус – угол, между 0 и 180 градусами, который имеет косинус, равный x .

ACTID(type) – возвращает активный набор или идентификатор **ID** для избранного типа объекта. Значение аргумента должно быть одним из определенных типов объекта (см. табл. П2.1). Любое другое значение „type” возвращает неопределенный результат.

Таблица П2.1 – Индексные значения (Index Value) и соответствующие им значения типов объектов

1	Coordinate System (система координат)	2	Point (точка)
3	Curve (кривая)	4	Surface (поверхность)
5	Volume (объем)	6	Text (текст)
7	Boundary (граница)	8	Node (узел)
9	Element (элемент)	10	Material (материал)
11	Property (свойство)	12	Load Set (набор нагрузок)
13	Constraint Set (набор ограничений)	14	View (представление, вид)
15	Output Set (набор вывода)	16	Report Format (формат сообщения)
17	Connection (соединение)	18	Connection Property (свойство соединения)

ASIN(x) – возвращает обратный синус (арксинус) x . Обратный синус – угол, между -90 и 90 градусами, который имеет синус, равный x .

ATAN(x) – возвращает обратный тангенс (арктангенс) x . Обратный тангенс – угол, между 0 и 180 градусами, который имеет тангенс, равный x .

CNPR(cnpropID; index) – возвращает значение „Property” параметра **cnpropID**. Значение **index** определяет значение „Property”, которое будет возвращено. О значении „Property” – см. сведения о блоке данных 918 из документации о файле FEMAP формата *.neu.

CNPRID(cnID) – возвращает значение ID „Property” связи, на которую ссылается **cnID**. Возвращает 0, если связь не имеет „Property”.

COS(theta) – возвращает косинус угла „theta”. „Theta” должен быть определен в градусах.

COUNT(type) – возвращает номер объектов избранного типа в текущей модели. Типом должен быть один из определенных типов объекта (см. функцию **ACTID()**).

ELND(index; elemID) – возвращает **nodeID**, на который ссылается элемент. Например **ELND(3, 45)** возвращает идентификатор третьего по порядку узла элемента **45**. Если элемент не существует или индекс – слишком большой, будет выдаваться сообщение об ошибке, а результат будет неопределенным.

EXP(x) – возвращает значение показательной функции, e^x .

FNI(functionID; x) – возвращает интерполированное значение функции с ID, которое соответствует **functionID**, в точке x . Если x задано за диапазоном функции, то для интерполирования используются две ближайших точки функции (линейная экстраполяция на основе двух точек).

FNV(functionID; x) – возвращает значение функции с ID, которое соответствует **functionID**, в точке, ближайшей к точке **x**. Если **x** задано за диапазоном функции, то возвращает ближайшее крайнее значение.

INT(x) – возвращает ближайшее целое значение (целое число), меньшее действительного числа **x**.

LN(x) – возвращает значение натурального логарифма **x**.

LOG(x) – возвращает основу десятичного логарифма **x**.

MAT(matlID; index) – возвращает значение характеристики материала „**matlID**”. Значение „**index**” определяет материальную характеристику, которая будет возвращена. В отличие от функции **PROP()**, значение „**index**” в этом случае одинаковое, независимо от того, на какой материал ссылаются (изотропный, ортотропный, анизотропный, ...). Нужно использовать значения для „**index**”, что приведены в таблицы П2.2.

Таблица П2.2 – Индексные значения (Index Value) и соответствующие им значения свойств материала

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

MAX(x; y) – возвращает большее из значений **x** или **y**. Положительные числа всегда больше отрицательных. Если необходимо сравнить в абсолютном значении, используют запись **MAX(ABS(x); ABS(y))**.

MAXID(type) – возвращает максимальный идентификатор в текущей модели избранного типа объекта. „**Type**” должен быть один из определенных типов объекта (см. функцию **ACTID()**).

MID(propID) – возвращает идентификатор материала, на который ссылается свойство „**propID**”. Эта функция не должна использоваться для многослойного КЭ: для этого нужно использовать функцию **MLAM()**.

MIN(x; y) – возвращает меньшее из значений **x** или **y**. Отрицательные числа всегда меньше положительных. Если необходимо сравнить в абсолютном значении, используют запись **MIN(ABS(x); ABS(y))**.

MINID(type) – возвращает минимальный идентификатор в текущей модели избранного типа объекта. Типом должен быть один из определенных типов объекта (см. функцию **ACTID()**).

MLAM(propID; ply) – возвращает идентификатор материала, на который ссылается слой „**ply**” свойства „**propID**”. Эта функция может использоваться только в случае, если „**propID**” выбирает многослойный КЭ. „**Ply**” должен быть между **1** и максимальным номе-

ром допустимых „ply” многослойного КЭ. Будет повернуто θ , если избран слой „ply”, отсутствующий в избранном КЭ.

NEXTID(type) – возвращает идентификатор следующего объекта указанного типа. Типом должен быть один из определенных типов объекта (см. функцию **ACTID()**).

PID(elemID) – возвращает идентификатор свойства, на которое ссылается идентификатор КЭ, т.е. „elemID”. Возвращение всегда будет θ , если такого КЭ нет.

POW(x; y) – возвращает значение x^y .

PROP(propID; index) – возвращает значение свойства из свойства „propID”. Значение „index” определяет значение свойства, которое будет возвращено. Полный список значений „index” находится в блоке 402 Данных документации FEMAP Neutral File (Приложение G). Значения „index” отличаются в зависимости от типа КЭ. Например, если **propID** выбирает КЭ типа **Bar** (Брус), то для значения **index** = θ возвратит **Area**, для **index** = 4 возвратит **J**, что является константой скручивания. Для пластины, **index** = θ возвратит **thickness** (толщину).

RND(x) – возвращает ближайшее целое значение, которое или ниже или выше, чем действительное число x .

SIN(theta) – возвращает синус угла **theta**. „Theta” должен быть определен в градусах.

SQR(x) – возвращает квадрат x . Т.е. **SQR(x)** = $x * x$.

SQRT(x) – возвращает квадратный корень из положительного числа x .

TAN(theta) – возвращает тангенс угла **theta**. „Theta” должен быть определен в градусах.

VEC(setID; vectorID; entityID) – возвращает значение результатов решения краевых задач. „SetID” определяет набор результатов, который будет избран. „VectorID” выбирает вектор результатов в том наборе. „EntityID” является или идентификатором КЭ, или идентификатором узла (в зависимости от типа вектора). Например, **VEC(2,1,33)** возвращает значение результатов для узла 33, в таблице результатов **Output Set 2, Output Vector 1** (это будет „Total Translation”, т.е. „полное перемещение”).

XEF(elemID; faceID) – возвращает координату X средней точки избранной поверхности КЭ. Координата X всегда возвращается в активной системе координат. В цилиндрической или сферической системе, это – радиус. Доступные значения для „faceID” зависят от типа КЭ (см. Приложение 3).

XEL(elemID) – возвращает координату X средней точки избранного элемента, в активной системе координат. В цилиндрической или сферической системе это – радиус.

XND(nodeID) – возвращает координату X избранного узла, в активной системе координат. В цилиндрической или сферической системе это – радиус. Если задать отрицательное значение „nodeID”, FEMAP выбирает узел идентификатором, который равен идентификатору следующего узла, что будет создан, минус абсолютное значение аргумента. Например, если задать **XND(-14)**, и следующий узел, что будет создан, будет иметь номер **43**, возвратится координата X узла **43-14=29**, если узел **29** существует.

XPT(pointID) – то же самое как **XND()**, только возвращает координату X точки.

YEF(elemID; faceID) – то же самое как **XEF()**, только возвращает координату Y .

YEL(elemID) – то же самое как **XEL()**, только возвращает координату Y .

YND(nodeID) – возвращает координату Y избранного узла, в активной системе координат. В цилиндрической системе это – угловое значение „theta”, в градусах. См. **XND()** для дополнительной информации.

YPT(pointID) – то же самое как **YND()**, только возвращает координату Y точки.

ZEF(elemID; faceID) – то же самое как **XEF()**, только возвращает координату Z .

ZEL(elemID) – то же самое как **XEL()**, только возвращает координату Z .

ZND(nodeID) – возвращает координату Z избранного узла, в активной системе координат. См. **XND()** для дополнительной информации.

ZPT(pointID) – то же самое как **ZND()**, только возвращает координату Z точки.

Приложение 3

БИБЛИОТЕКА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В этом приложении приведены короткие сведения о библиотеке конечных элементов (КЭ) в SPLMS.Fv10.2.0. Описана геометрия каждого типа КЭ, возможные виды их нагрузки, основные параметры элементов, а также области их применения.

Сведения о КЭ можно получить с помощью меню „**Help**“: просмотреть Раздел **FEMAP→User→6. Element Reference** и книгу **NX Nastran. Element Library Reference Manual** (файл ...\\FEMAPv102\\pdf\\user.pdf). Есть еще файл ...\\FEMAPv102\\nastranhlp\\NXNastran\\nast\\misc\\doc\\docs\\pdf\\element.pdf с книгой **NX Nastran 7 Element Library Reference**, содержащей более подробные сведения о КЭ NX Nastran.

П3.1 Одномерные конечные элементы

В Nastran одномерные КЭ связывают между собой два или три узла КЭС (1-го или 2-го порядка аппроксимации). Разные типы таких элементов используют для моделирования соответствующих им типов конструкций.

П3.1.1 Стержневой элемент типа ROD

Воспринимает только растяжение/сжатие или кручение. Не „работает“ на изгиб, а сдвиг не учитывается. Только первого порядка аппроксимации.

Применение: для расчета элементов ферм и рам в отсутствии изгиба.

Форма: прямая линия, соединяющая два узла.

Внутренняя система координат: ось X направлена от первого узла ко второму.

Параметры: площадь поперечного сечения или полярный момент инерции и коэффициент для расчета напряжений от кручения, неконструкционная масса на единицу длины, периметр сечения, а для гибких нитей (**Cable**): сила начального натяжения, начальное ослабление, допустимое напряжение растяжения, момент инерции плоскости.

П3.1.2 Элемент трубы типа TUBE

Является разновидностью стержневых элементов с поперечным сечением в виде трубы. Воспринимает только растяжение/сжатие или кручение. Только первого порядка аппроксимации.

Применение: для моделирования прямолинейных конструкций, имеющих трубчатое сечение.

Форма и внутренняя система координат: как в **ROD**.

Параметры: внутренний и внешний диаметр, неконструкционная масса на единицу длины. Дополнительные параметры для трубы (**Pipe**): внутреннее давление и опция „**Close Ends**“ (закрытые концы).

П3.1.3 Криволинейный элемент трубы типа CURVED TUBE

Нейтральная ось этого КЭ представляет собой дугу, соединяющую узлы. Вместо этого элемента можно использовать несколько прямолинейных элементов трубы, размещая их по дуге, описывающей нейтральную линию. Воспринимает только растяжение/сжатие или кручение. Только первого порядка аппроксимации.

Применение: моделирование выгнутых частей и колен трубчатых конструкций.

Форма: дуга, соединяющая два узла.

Внутренняя система координат: такая же, что и в КЭ типа **BEAM**, **CURVED BEAM**. Элемент искривлен в плоскости **XY** элемента, а вектор радиуса направлен к третьей точке, другими словами – в направлении вектора ориентации (см. рис.П3.1).

Параметры: внешний диаметр, внутренний диаметр, радиус кривизны, неконструкционная масса на единицу длины.

Примечание. В отличие от КЭ типа BEAM не имеет возможностей сдвига нейтральной оси от узлов, задания точек на сечении для расчета напряжений, а также управления степенями свободы для моделирования шарнирных соединений.

П3.1.4 Балочные элементы типа VAR, BEAM

Воспринимают растяжение, сжатие, кручение и изгиб.

Применение: при моделировании большинства балочных и рамных конструкций (ферм).

Форма: линия, соединяющая два (VAR), два или три (BEAM) узла.

Внутренняя система координат: ось X направлена от точек A к B (см. рис.П3.1), которые являются узлами КЭ. Ось Y располагается перпендикулярно оси X и лежит в плоскости, обусловленной первым, вторым и дополнительным третьим узлом (или заданным вектором ориентации оси Y). Ось Z определяется векторным произведением осей X и Y элемента.

Параметры: площадь поперечного сечения, моменты инерции (I1, I2, I12), полярный момент инерции, факторы расстояния (сдвига) в соответствующих плоскостях, неконструкционная масса на единицу длины, точки на поперечном сечении для расчета напряжений, координаты нейтральной оси (Nax, Naz, Nbx и Nbz). Все параметры считаются постоянными для всего элемента типа VAR. КЭ типа BEAM может иметь переменное сечение (профиль сечения – сохраняется), т.е. можно задать разные значения параметров для каждого из его концов. Для этого нужно инициировать опцию „Tapered Beam” (коническая балка). Геометрические характеристики сечения можно рассчитать с помощью инструмента „Shape...” диалога „Define Property” (см. рис.3.4, рис.3.5).

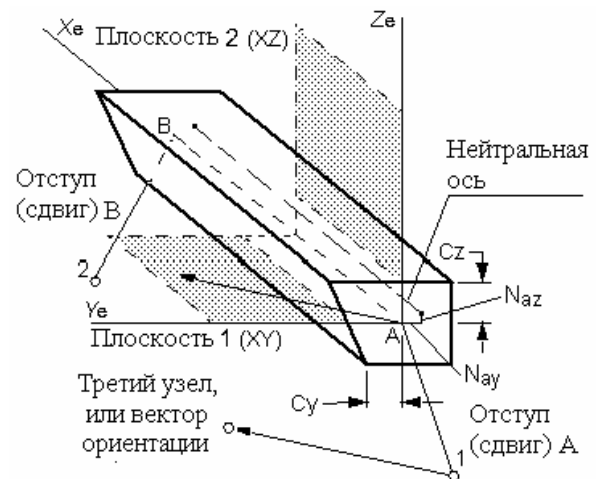


Рис.П3.1.

Балочные элементы типа VAR, BEAM

Примечания.

В КЭ типа BEAM нейтральный слой может не содержать продольную ось симметрии. При этом на диалоговой панели „Define Property – BEAM Element Type” (см. рис.3.5-б) необходимо установить опцию „Compute Shear Center Offset” (вычислить смещение от центра изгиба). Кроме переменного сечения КЭ типа BEAM еще может представлять модель „тонкостенный стрежень”. Для этого, кроме указанной выше, необходимо установить опцию „Compute Warping Constant” (вычислить секторальный момент инерции).

В элементах типа VAR и BEAM можно руководить степенями свободы в узлах элемента, например, для моделирования разного типа шарнирных соединений. Достигается это путем освобождения соответствующих степеней свободы через команду **Modify→Update Elements→Releases**. Так, например, освобождение степени свободы 4 (поворот вокруг оси X элемента) в каком-нибудь узле приведет к тому, что крутящий момент не будет передаваться через этот узел.

Векторы расстояний (сдвигов) задаются через команду **Modify→Update Elements→Offsets**. Они смещают нейтральную ось от узлов в указанном направлении на заданное расстояние. Если расстояние (сдвиг) не задано (по умолчанию), то считается, что нейтральная ось располагается непосредственно между узлами. Сдвиг нейтральной оси не влияет на ориентацию элемента в пространстве, поскольку ось определяется относительно конечно-элементных узлов.

Точки на сечении для расчета напряжений задаются на усмотрение пользователя в плоскости YZ системы координат элемента.

Задание моментов инерции для элементов типа VAR и BEAM может привести к ошибке. Дело в том, что в Nastran момент инерции I1 является моментом инерции относительно

оси Z элемента. Это момент инерции в плоскости **1** (см. рис.П3.1). Соответственно, **I2** – это момент инерции в плоскости **2** относительно оси Y элемента.

П3.1.5 Элемент криволинейной балки типа CURVED BEAM

Разновидность элемента типа **BEAM**. Криволинейный. Нейтральная ось представляет собой дугу, соединяющую узлы. Вместо этого элемента можно применить несколько прямолинейных элементов типа **BEAM**, размещая их по дуге, аппроксимирующей нейтральную линию.

Применение: моделирование гибов и колен трубопроводов, а также других криволинейных элементов балочных систем.

Форма: дуга, соединяющая два узла.

Внутренняя система координат: аналогична системе координат элемента типа **BEAM**. Элемент выгнут в плоскости **X Y** элемента, а вектор радиуса направлен к третьей точке, другими словами – в направлении вектора ориентации.

Примечание: управление степенями свободы в узлах для этого типа КЭ не доступно.

Параметры: радиусгиба, площадь поперечного сечения, моменты инерции (**I1**, **I2**, **I12**), полярный момент инерции, факторы сдвига в соответствующих плоскостях, неконструкционная масса на единицу длины, точки на поперечном сечении для расчета напряжений.

П3.1.6 Элемент типа LINK

КЭ полной (жесткой) связи с 6-тью степенями свободы. Для программ MSC/PAL и CDA/SPRINT I.

Применение: моделирование абсолютно жестких связей.

Форма: линия, соединяющая два узла.

Внутренняя система координат: ось X элемента направлена от первого узла ко второму.

Параметры: 6 степеней свободы в каждом из узлов.

П3.1.7 Упругий элемент типа SPRING/DAMPER

Элемент, объединяющий упругий (пружина) и демпфирующий элементы. Воспринимает растяжение/сжатие или кручение. Для других случаев предусмотрен альтернативный вариант этого элемента, описанный в следующем разделе.

Применение: для моделирования элементов конструкции, работающих или только на растяжение (сжатие), или только на кручение.

Форма: линия, соединяющая два узла.

Внутренняя система координат: ось X элемента направлена от первого узла ко второму.

Параметры: жесткость, коэффициент демпфирования.

П3.1.8 Упругий элемент типа DOF SPRING

КЭ, что объединяет упругий (пружина) и демпфирующий элементы. Он соединяет любую выбранную (из шести) степень свободы в первом узле с любой степенью свободы во втором узле.

Применение: используется для соединения двух степеней свободы с заданной жесткостью. В зависимости от степеней свободы, которые соединяются, и расположения узлов в пространстве с помощью такого КЭ можно моделировать как части конструкции, работающие только на растяжение-сжатие, так и более сложные ее компоненты.

Форма: соединяет два узла. Изображается в виде линии, но на самом деле является более сложным элементом и находится в зависимости от соединяемых степеней свободы.

Внутренняя система координат: определяется узловыми степенями свободы.

Параметры: степень свободы (для каждого из узлов), жесткость, коэффициент демпфирования.

П3.1.9 Контактный элемент типа GAP (зазор)

КЭ для нелинейного анализа (большие перемещения), который может иметь разные жесткости для моделирования работы на растяжение, сжатие и сдвиг.

Применение: в контактных задачах для моделирования зазоров (сближения контактирующих поверхностей) и мест, где зазоры могут появиться (расхождение контактирующих поверхностей). Кроме того, в определенных границах может моделироваться скольжение

контактирующих поверхностей относительно друг друга (более подробную информацию об этом КЭ можно найти в полной документации об Nastran).

Форма: линия, соединяющая два узла.

Внутренняя система координат: ось **X** элемента направлена от первого узла ко второму. Ось **Y** располагается перпендикулярно оси **X** и лежит в плоскости, обусловленной первым, вторым и дополнительным третьим узлом (или вектором ориентации). Ось **Z** определяется векторным произведением осей **X** и **Y** элемента.

Параметры: величина начального зазора, жесткость на сжатие, жесткость на растяжение, поперечная жесткость при закрытом зазоре, коэффициенты трения вдоль осей **Y** и **Z** при закрытом зазоре, предыдущая нагрузка, а только для программы ABAQUS – направляющие косинусы нормали к плоскости **XY** КЭ и ширина/площадь сечения КЭ.

П3.1.10 Графический элемент типа PLOT ONLY

Этот элемент не предназначен для моделирования элементов конструкции. Он не имеет жесткости и массы.

Применение: только в графических целях, для графического представления частей конструкции. КЭ не будут подвергаться анализу, но могут помочь в визуализации модели.

Форма: линия, соединяющая два узла.

Внутренняя система координат: отсутствует.

Параметры: не имеет.

П3.2 Двумерные (плоские) конечные элементы

Общие замечания. Плоские элементы используются для моделирования мембран, оболочковых конструкций и пластин. Все они подобны по принципам построения и порядка нумерации узлов в КЭ (см. рис.П3.2). Простейшими типами таких элементов является треугольный элемент с тремя узлами и четырехугольный элемент с четырьмя узлами. Кроме того, есть более сложные „параболические” треугольники с 6 узлами и четырехугольники с 8 узлами.

Часто нагрузка для плоских элементов прикладывается к грани **1** (она обозначена символом **F1** на рис.П3.2-б). В этом случае положительное направление давления совпадает с направлением нормали к элементу, которое определяется по правилу правой руки. И, наоборот, если давление приложено к грани **2**, то положительное его направление – противоположно направлению нормали. Итак, положительное давление на грань **1** эквивалентно отрицательному давлению на грань **2**.

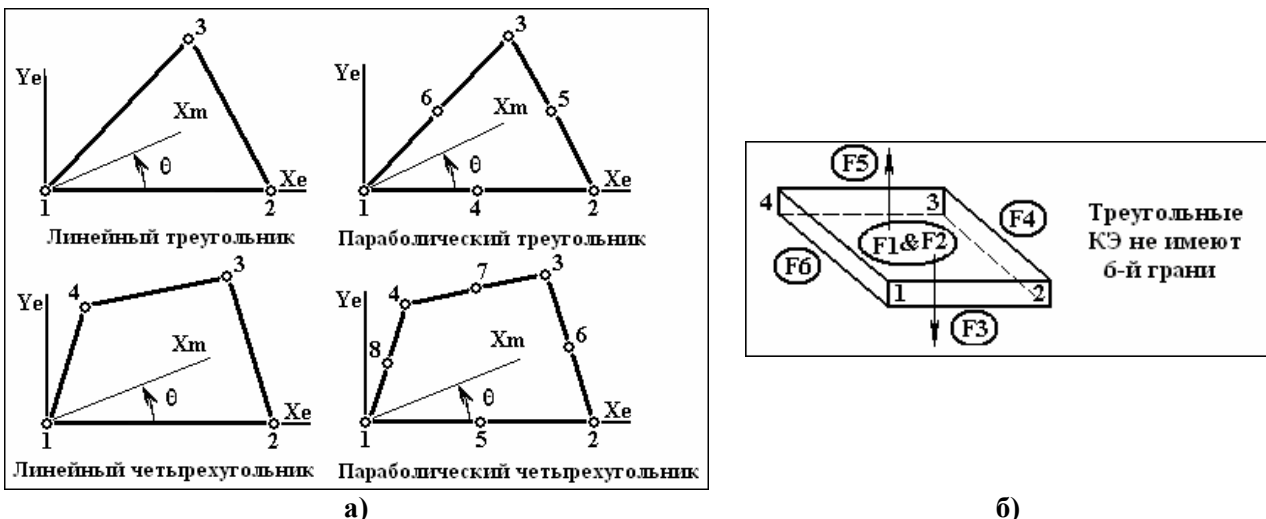


Рис.П3.2 – Двумерные КЭ: а) – шаблон нумерации узлов, угол ориентации свойств материала; б) – шаблон нумерации граней

При моделировании конструкций с помощью плоских элементов рекомендуется стремиться к тому, чтобы их форма приближалась к равносторонним треугольникам или четырехугольникам. В этом случае полученные результаты будут наиболее точными.

П3.2.1 Элемент типа SHEAR PANEL (сдвиговая панель)

Плоский элемент, который воспринимает только сдвиговые усилия – тангенциальные силы, приложенные к граням элемента. Этот элемент может воспринимать также и нормальные силы, для учета которых используются дополнительные ребра жесткости, свойства которых задаются коэффициентами приведенной площади сечения.

Применение: используется для моделирования конструкций, содержащих очень тонкие упругие пластины, которые обычно подкрепляются дополнительными жесткостями.

Форма: 4-х узловой четырехугольник.

Внутренняя система координат: показана на рис.П3.2-а.

Параметры: толщина, неконструкционная масса на единицу площади, коэффициенты приведенной площади сечения дополнительных ребер жесткости (F1, F2, F3 и F4).

П3.2.2 Элемент типа MEMBRANE (мембранный)

Плоский элемент, воспринимающий нагрузки, действующие в плоскости элемента.

Применение: для моделирования очень тонких упругих пластин.

Форма: плоский 3-х узловой или 6-ти узловой треугольник, 4-х узловой или 8-ми узловой четырехугольник.

Внутренняя система координат: показана на рис.П3.2-а. Установка нужного направления свойств материала осуществляется путем поворота оси ориентации материала **Xm**.

Параметры: толщина, неконструкционная масса на единицу площади.

П3.2.3 Элемент типа BENDING ONLY (изгибный)

Плоский элемент, воспринимающий только изгибающие нагрузки.

Применение: для моделирования пластин, которые только изгибаются.

Форма: плоский 3-х узловой или 6-ти узловой треугольник, 4-х узловой или 8-ми узловой четырехугольник.

Внутренняя система координат: показана на рис.П3.2-а. Установка нужного направления свойств материала осуществляется путем поворота оси ориентации материала **Xm**.

Параметры: толщина, неконструкционная масса на единицу площади, параметр сгибающей жесткости, отступ от нейтральной линии до верхнего (**Top Fiber**) и нижнего (**Bottom Fiber**) волокон для расчета напряжений.

П3.2.4 Универсальный оболочечный элемент типа PLATE

Комбинированный плоский оболочечный элемент. Этот элемент может воспринимать мембранную, сдвиговую и изгибающую нагрузки.

Применение: любые конструкции, состоящие из тонких пластин или оболочек.

Форма: плоский 3-х узловой или 6-ти узловой треугольник, 4-х узловой или 8-ми узловой четырехугольник.

Внутренняя система координат: показана на рис.П3.2-а и рис.П3.3. Установка нужного направления свойств материала осуществляется путем поворота оси ориентации материала **Xm**.

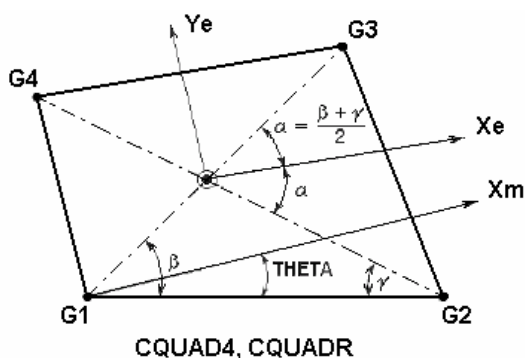


Рис.П3.3 – Двумерный 4-х узловой оболочечный КЭ типа Plate

Примечание: в случае переменной толщины в каждом узле КЭ можно задавать разную толщину оболочки. Но можно использовать и более простой вариант – вводить усредненную толщину элемента **T1**.

Параметры: толщина (как средняя по элементу, так и разная в каждом узле), неконструкционная масса на единицу площади, параметр изгибной жесткости, отношение толщины поперечного сдвига к толщине мембраны, изгибные, сдвиговые и мембранные параметры материала (в большинстве случаев одинаковые), отступ от нейтральной линии до верхних и нижних волокон для расчета напряжений.

Примечание: в случае переменной толщины в каждом узле КЭ можно задавать разную толщину оболочки.

П3.2.5 Элемент типа LAMINATE (слоистый)

Подобный элементу типа **PLATE**, за исключением того, что этот элемент состоит из одного или нескольких слоев: *layer* (см. рис.П3.4). Каждый из слоев может иметь свои параметры материала. NX Nastran допускает использование элементов, включающих в себя до 90 слоев обычных и 180 – симметричных.

Применение: обычно – для моделирования многослойных композитных пластин и оболочек.

Форма: плоский 3-х узловой или 6-ти узловой треугольник, 4-х узловой или 8-ми узловой четырехугольник.

Внутренняя система координат: аналогична элементам типа **PLATE**. Установка нужного направления свойств материала осуществляется путем поворота оси ориентации свойств материала **Xm**. Кроме того, оси ориентации свойств материала для каждого из слоев могут быть повернуты в плоскости **XY** элемента на разные углы.

Параметры: для каждого слоя задаются: материал, угол ориентации свойств материала и толщина слоя. Кроме этого вводятся общие данные: расстояние от нейтральной плоскости до нижней поверхности, неконструкционная масса на единицу площади, допустимые относительный сдвиг между слоями и избирается одна из теорий разрушения.

П3.2.6 Элемент типа PLANE STRAIN (плоская деформация)

Это двухосный плоский элемент. С его помощью формируются двумерные модели конструкций, работающие одинаково в каждом своем поперечном сечении (условие плоских деформаций), и благодаря этому пространственная задача сводится к плоской.

Применение: моделирование толстостенных объемных тел с постоянным поперечным сечением.

Форма: элемент изображается на экране в виде плоскости, но на самом деле описывает поперечное сечение объемного тела. Использование треугольников при разбижке сечения эквивалентно использованию объемных элементов типа пятигранной призмы; четырехугольные плоские элементы соответствуют объемным элементам типа шестигранной призмы. При заполнении сеткой конечных элементов плоских сечений можно использовать 3-х узловые или 6-ти узловые треугольники, 4-х узловые или 8-ми узловые четырехугольники.

Внутренняя система координат: аналогична элементам типа **PLATE**. Установка нужного направления свойств материала осуществляется путем поворота оси ориентации свойств материала **Xm**.

Параметры: толщина и расстояние от нейтральной линии до верхнего и нижнего волокон (обычно не используется), неконструкционная масса на единицу площади.

П3.2.7. Осесимметричный оболочечный элемент типа AXISYMMETRIC SHELL

Осесимметричный оболочечный КЭ представляет собой двумерный элемент для моделирования сечений осесимметричных оболочек.

Применение: моделирование осесимметричных оболочек с осесимметричными закреплениями и нагрузками.

Форма: 2-х узловые (1-го порядка аппроксимации) или 3-х узловые (параболические) элементы изображаются в виде прямой или кривой линии, но на самом деле представляют собой поверхности вращения.

Внутренняя система координат: совпадает с глобальной: **X** – радиальная ось, **Z** – ось вращения (для ABAQUS – ось **Y** вместо **Z**), а нормаль – внешняя, в сторону радиальной оси.

Параметры: толщина.

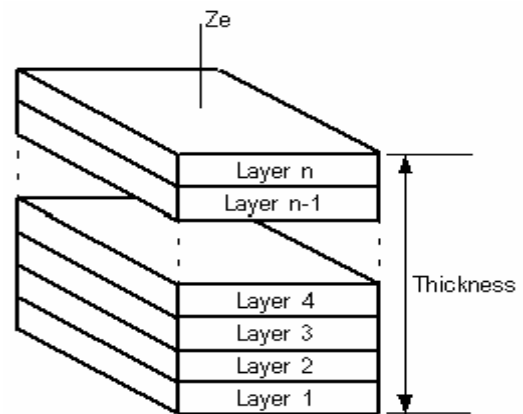


Рис.П3.4 – Слоистый КЭ

П3.2.8 Графический элемент типа PLOT ONLY

Этот элемент не предназначен для моделирования элементов конструкции. Он не имеет жесткости и массы.

Применение: в графических целях, для графического представления частей конструкции, которые не будут подвергаться анализу, но могут помочь в визуализации модели. Еще применяются во вспомогательных целях самой программой для передачи поверхностной нагрузки на трехмерные КЭ.

Форма: треугольная или четырехугольная.

Внутренняя система координат: отсутствует.

Параметры: отсутствуют.

П3.3 Пространственные (объемные, трехмерные) конечные элементы

Все элементы этого типа используются при формировании трехмерных моделей объемных конструкций. Все элементы этого типа обеспечивают получение более подробных и точных результатов расчета, но требуют больших затрат времени и усилий при моделировании и анализе модели.

П3.3.1 Осесимметричный элемент типа AXISYMMETRIC

Осесимметричный КЭ представляет собой кольцеобразный элемент с треугольным или четырехугольным сечением (см. рис.П3.2-а и рис.П3.5), предназначен для моделирования сечений объемных осесимметричных тел вращения.

Примечание. Для решения осесимметричных задач разного типа некоторые варианты осесимметричных КЭ могут не использоваться. В таком случае FEMAP выдаст предупреждение сразу после запуска процесса создания задания на счет.

Осесимметричные КЭ могут быть сгенерированы в плоскостях **XY** или **XZ** базовой системы координат, поскольку в препроцессоре предусмотрена возможность автоматического приведения модели в нужную для получения правильного решения плоскость (в NX Nastran это плоскость **XZ**). Для разных программ в **Help** есть таблица:

Программа	Глобальная площадь модели	Радиальное направление (ось)
NASTRAN	XZ	X
FEMAP Structural	XZ	X
MSC/pal & CDA/Sprint	XZ	X
STARDYNE	XY	X
ANSYS	XY	X
COSMOS	XY	X
ALGOR, mTAB & SAP	YZ	Y
WECAN	XY	X
ABAQUS	XY	X
MARC	XY	Y
LS-DYNA3D	XY	X

Применение: моделирование осесимметричных объемных тел с осесимметричными закреплениями и нагрузками.

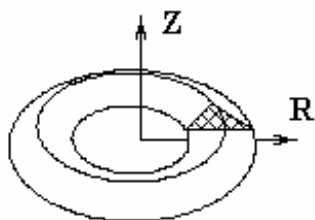


Рис.П3.5 – Осесимметричный КЭ с треугольным сечением

Форма: элементы изображаются на плоскости в виде 3-х или 6-ти узловых треугольников, но на самом деле представляют собой осесимметричные кольца (см. рис.П3.5).

Внутренняя система координат: см. рис.П3.2. Для задачи ориентации свойств материала используется угол поворота оси **Xm**. Нужно обратить внимание на различия в отсчете углов для осесимметричных и двумерных КЭ. В случае осесимметричной задачи углы отсчитываются относительно гло-

бальной (базовой) системы координат, а не от первой грани элемента, как это было в двумерных КЭ.

Параметры: отсутствуют.

П3.3.2 Объемный элемент типа SOLID

Трехмерный объемный элемент (см. рис.П3.6).

Применение: моделирование любых трехмерных конструкций.

Форма: 4-х узловой тетраэдр, 6-ти узловая пятигранная призма, 8-ми узловой гексаэдр, 10-ти узловой тетраэдр, 15-ти узловая пятигранная призма и 20-ти узловой гексаэдр.

Внутренняя система координат: может быть привязана к каким-нибудь узлам или приводиться в соответствие с глобальной (базовой) системой координат.

Параметры: оси ориентации свойств материала, порядок интегрирования.

Примечание: для задания нагрузки в виде давления необходимо указывать номер грани элемента. На рис.П3.6 показана нумерация граней для всех разновидностей элементов типа **SOLID**. Обозначены номера символами от **F1** до **F6** (обведены окружностями). Положительное давление всегда считается направленным к центру элемента.

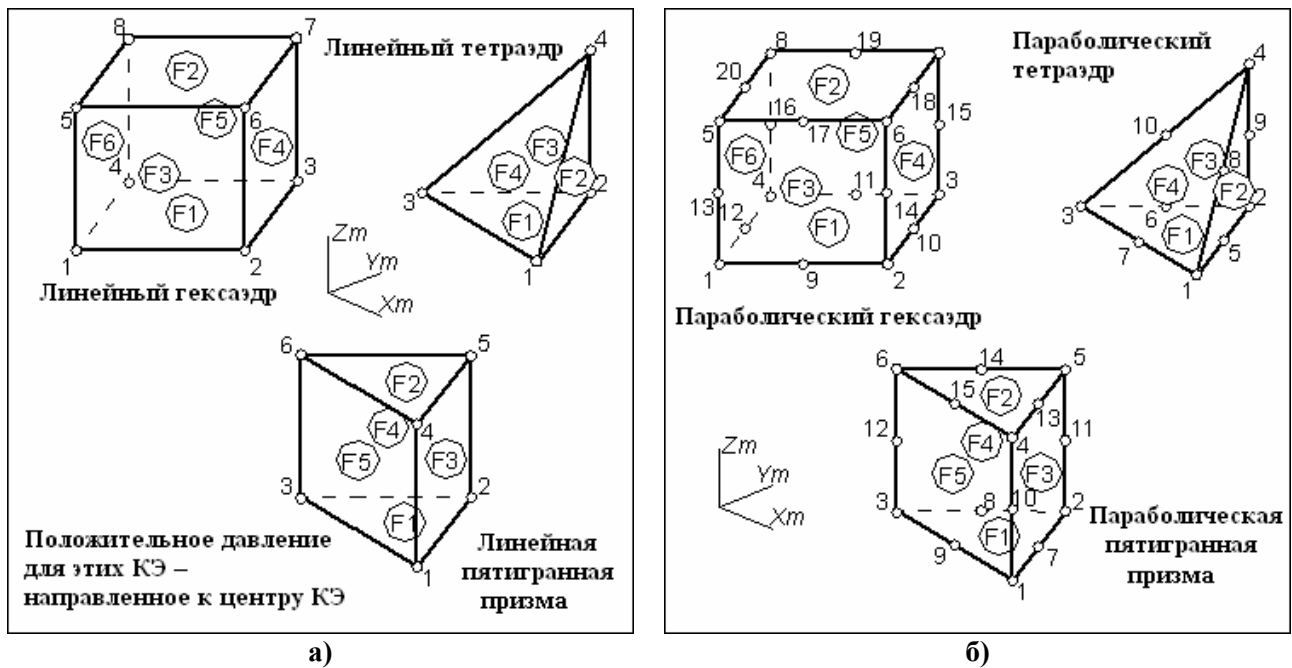


Рис.П3.6 – Трехмерные КЭ и шаблоны нумерации узлов и поверхностей:
 а) – первого (линейные) и б) – второго (параболические) порядка аппроксимации

П3.4 Другие конечные элементы

Эта категория элементов позволяет задавать сосредоточенные массы, жесткие связи и жесткости в общем виде (матрицы жесткости).

П3.4.1 Элемент типа MASS

Обобщенный трехмерный массовый и/или инерционный элемент, который размещается в узле конечно-элементной сетки. Центр масс можно сдвинуть относительно узла. Более общей формой этого элемента является элемент типа MASS MATRIX (матрица масс).

Применение: для моделирования частей конструкций, что имеют массу, но не имеют жесткости.

Форма: точка, соединенная с одним из узлов сетки.

Внутренняя система координат: согласуется с указанной системой координат.

Параметры: массы (M_x, M_y, M_z), моменты инерции ($I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}, I_{xy}, I_{yz}, I_{zx}$), сдвиг центра масс относительно узла, эффективный диаметр (для задачи теплопроводности).

П3.4.2 Элемент типа MASS MATRIX

Обобщенный трехмерный массовый и/или инерционный элемент. Массовые и инерци-

онные параметры записываются в виде матрицы масс размером 6×6 . Часто проще использовать элемент типа **MASS**.

Применение: для моделирования частей конструкций, что имеют массу, но не имеют жесткости.

Форма: точка, соединенная с одним из узлов сетки.

Внутренняя система координат: согласуется с указанной системой координат.

Параметры: верхняя треугольная часть матрицы масс размерностью 6×6 .

П3.4.3 Элемент типа RIGID

Моделирует два варианта связей. Во-первых, абсолютно жесткая связь между избранным „головным” узлом и одним или несколькими другими узлами. Во-вторых, интерполирует жесткость от „головного” узла к другим узлам КЭ.

Применение: моделирование связей, которые являются очень жесткими по сравнению с другими элементами конструкции, например, чтобы сделать какую-то плоскость неизменной (жесткой) в некоторых направлениях. Используется также для соединения между собой элементов, имеющих разное количество степеней свободы в узле. Еще передает приложенное к „головному” узлу граничное условие (силу, перемещение и т.п.) на другие узлы КЭ.

Форма: один „головной” узел, соединенный с дополнительными узлами (от 1 до 18).

Внутренняя система координат: отсутствует. Работа элемента связана с заданными узловыми степенями свободы.

Параметры: отсутствуют.

П3.4.4 Элемент типа STIFFNESS MATRIX

Обобщенный элемент жесткости. КЭ этого типа задается в виде матрицы жесткости размерностью 6×6 , которая может быть симметрично приложена (расширенная до размера 12×12) до двух узлов сетки.

Применение: моделирование связей необходимой жесткости между двумя узлами в случае, если эти связи не могут быть адекватно смоделированы с помощью элементов других типов.

Форма: изображается линией. На самом деле конкретной формы не имеет.

Внутренняя система координат: зависит от количества степеней свободы в узле.

Параметры: верхняя треугольная часть матрицы жесткости размерностью 6×6 .

П3.4.5 Контактный элемент типа SLIDE LINE

Контактный элемент, позволяющий задавать исходными данными параметры трения и жесткости между поверхностями в зоне контакта. Для определения контактирующих поверхностей с помощью элементов этого типа задаются наборы главных (**Master**) и зависимых (**Slave**) узлов.

Применение: моделирование взаимодействия между контактирующими (со скольжением) поверхностями двух тел.

Форма: изображается в виде линий между главными и зависимыми узлами.

Внутренняя система координат: отсутствует. Все связано с системой координат узлов.

Параметры: ширины контактирующих поверхностей, масштабный множитель жесткости, жесткость контакта без скольжения и статический коэффициент трения.

П3.4.6 Элемент типа WELD/FASTENER

Этот элемент (**WELD** – сваривание, **FASTENER** – застежка) позволяет соединить КЭ, узлы или группы узлов с помощью стрежня указанного диаметра.

Применение: моделирование пятна сварки (точечного сваривания). Соединяет две группы объектов (КЭ, узлы или группы узлов).

Форма: изображается в виде линии.

Внутренняя система координат: отсутствует. Все связано с системой координат узлов.

Параметры: для **WELD**: диаметр пятна сваривания, опция признака пятна сваривания („Spot Weld”), опция: удалить (или нет) наборы степеней свободы („Eliminate M-Set DOF”); для **FASTENER**: диаметр, приведенные жесткости, система координат для них, признак абсолютности/относительности системы координат, масса, структурное демпфирование.

П3.5 Примечания

Довольно часто еще при генерации КЭ необходимо уменьшить количество степеней свободы в каждом узле КЭ. В общем случае их шесть: три для перемещений узлов (**TX**, **TY**, **TZ** для декартовой системы координат или **TR**, **TT**, **TZ** для цилиндрической и сферической) и три для вращений узлов вокруг осей, что проходят через узел (**RX**, **RY**, **RZ** или **RR**, **RT**, **RZ** для указанных выше систем координат соответственно). Для этого в FEMAP предусмотрена диалоговая панель „**Node Parameters**”, вызываемая из диалоговой панели „**Auto-mesh...**”. В других местах эти шесть степеней свободы могут обозначаться цифрами **123456** соответственно.

Для одномерных КЭ на панели „**Curve Mesh Attribute**”, вызываемой командой **Mesh→Mesh Control→Attributes Along Curve...**, есть кнопка „**Releases...**”, позволяющая изменять количество степеней свободы КЭ на разных его концах, причем они обозначаются как **123456/123456**: левая часть – для узлов первого конца, правая часть – для второго.