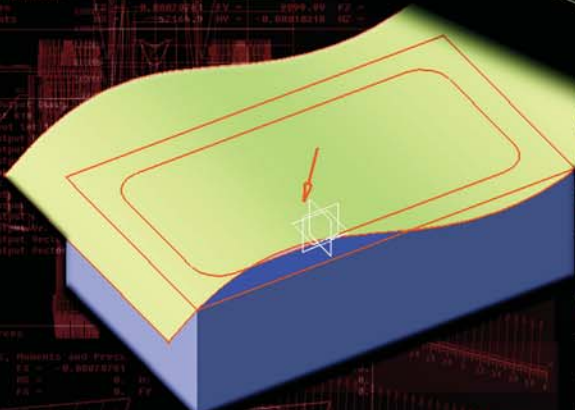


**ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

**Басов К. А.**

# ANSYS и LMS Virtual Lab

## Геометрическое моделирование



**СОЗДАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
СРЕДСТВАМИ CATIA И LMS Virtual Lab**

**ПЕРЕДАЧА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
В СРЕДУ КОМПЛЕКСА ANSYS**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ  
МОДЕЛИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЕТКИ  
КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Для Windows NT/2000/XP**

**ОМК**  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

**УДК 004.4**  
**ББК 32.973.26-018.2**  
**Б27**

**Басов К. А.**  
Б27 ANSYS и LMS Virtual Lab. Геометрическое моделирование. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 240 с., ил.

**ISBN 5-94074-301-3**

Книга посвящена совместному применению возможностей комплекса LMS Virtual Lab, использующего ряд модулей комплекса CATIA, и комплекса МКЭ ANSYS. В книгу входит описание модулей комплекса LMS Virtual Lab, предназначенных для создания геометрической модели, порядка передачи данных в комплекс МКЭ ANSYS и дальнейшего использования геометрической информации для создания расчетной модели – сетки конечных элементов.

Книга предназначена для студентов машиностроительных специальностей технических ВУЗов, инженеров – конструкторов и инженеров – исследователей.

3D – модель легкого танка Т–50, изображение которой размещено на обложке книги, выполнена автором.

УДК 004.4  
ББК 32.973.26-018.2

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 5-94074-301-3

© Басов К. А., 2006  
© Оформление ДМК Пресс, 2006

# Содержание

<b>Введение</b> .....	12
<b>Глава 1</b>	
<b>Каркасное проектирование</b> .....	17
1.1. Создание точек .....	18
1.1.1. Создание точек при помощи указания координат .....	19
1.1.2. Создание точек при помощи ссылочной плоскости и указания координат мышью на экране .....	20
1.1.3. Создание точек при помощи двух существующих точек .....	21
1.2. Построение линий .....	22
1.2.1. Создание отрезков прямых линий .....	22
1.2.2. Создание линии по двум существующим точкам .....	23
1.2.3. Создание линии по существующей точке и направлению .....	24
1.2.4. Создание линии под углом к существующей линии .....	25
1.2.5. Создание линии по касательной к существующей линии .....	26
1.2.6. Создание линии в виде биссектрисы угла между двумя существующими линиями .....	27
1.2.7. Создание полилиний .....	28
1.2.8. Построение дуг окружностей .....	31
1.2.9. Построение дуг окружностей по центру и значению радиуса .....	31
1.2.10. Построение дуг окружностей по центру и точке .....	32
1.2.11. Иные варианты построения дуг окружностей .....	33
1.2.12. Построение осей .....	35
1.2.13. Построение сплайнов .....	36
1.2.14. Построение галтельных переходов между линиями .....	37
1.2.15. Построение сплайновых переходов между линиями .....	38

---

1.2.16. Построение спиралей .....	40
1.2.17. Построение проекций .....	41
1.2.18. Построение пересечений .....	42
1.2.19. Построение точек при помощи существующих линий .....	43
1.3. Создание поверхностей и подобных им объектов .....	43
1.3.1. Построение плоскостей .....	43
1.3.2. Создание поверхности вытягивания .....	45
1.3.3. Создание поверхности вращения .....	47
1.3.4. Создание сферической поверхности .....	47
1.3.5. Создание цилиндрической поверхности .....	48
1.3.6. Создание поверхности эквидистантным движением существующей поверхности .....	48
1.3.7. Создание поверхности ометанием (движением профиля по криволинейной образующей) .....	49
1.3.8. Создание поверхности по набору ее ребер .....	70
1.3.9. Создание поверхности по набору непересекающихся линий .....	71
1.3.10. Создание переходной поверхности .....	72
1.3.11. Создание точек на существующей поверхности .....	74
1.3.12. Создание линии по нормали к существующей поверхности .....	74
1.4. Операции редактирования точек, линий и поверхностей .....	75
1.4.1. Объединение поверхностей или линий .....	75
1.4.2. Исправление формы геометрических объектов .....	76
1.4.3. Восстановление исходной формы поверхности .....	77
1.4.4. Разделение составного объекта .....	77
1.4.5. Обрезка поверхности или линии .....	78
1.4.6. Взаимная обрезка нескольких объектов .....	78
1.4.7. Выделение ребер поверхностей .....	79
1.4.8. Выделение граней объемных тел и ребер поверхностей .....	81

1.4.9. Копирование объектов .....	82
1.4.10. Поворот объектов .....	83
1.4.11. Построение объектов симметричным отражением .....	84
1.4.13. Построение объектов масштабированием .....	85
1.4.14. Построение объектов аффинным преобразованием .....	86
1.4.15. Создание объекта с обратным направлением нормали или направления .....	87
1.4.16. Перенос объекта из одной системы координат в другую .....	87
1.4.17. Продление (экстраполяция) объектов .....	88
1.5. Создание координатной сетки на плоскости .....	89

## **Глава 2**

<b>Создание эскизов .....</b>	<b>91</b>
2.1. Вызов рабочей среды создания эскиза .....	92
2.2. Построение точек – объектов типа Point .....	93
2.3. Построение отрезков прямых линий .....	95
2.4. Построение окружностей и их дуг .....	97
2.5. Построение осей .....	99
2.6. Построение сплайнов .....	99
2.7. Построение линий гладких переходов .....	101
2.8. Построение конических сечений .....	101
2.9. Построение объектов предварительно определенного вида .....	105
2.9.1. Построение прямоугольника, ориентированного вдоль осей координат .....	105
2.9.2. Построение произвольно ориентированного прямоугольника .....	106
2.9.3. Построение параллелограмма .....	107
2.9.4. Построение овала .....	107
2.9.5. Построение цилиндрического овала .....	108
2.9.6. Построение профиля типа замочной скважины .....	109

---

2.9.7. Построение правильного шестиугольника .....	110
2.9.8. Построение прямоугольника, ориентированного вдоль осей координат, по точке пересечения диагоналей и вершине .....	110
2.9.9. Построение параллелограмма .....	111
2.10. Построение профилей общего вида .....	112
2.11. Построение фасок .....	113
2.12. Построение галтелей .....	115
2.13. Обрезка линий и иных геометрических объектов .....	116
2.14. Восполнение и построение дополнения объектов .....	118
2.15. Построение симметричных объектов .....	118
2.16. Параллельный перенос и копирование объектов .....	119
2.17. Поворот объектов .....	120
2.18. Масштабирование объектов .....	121
2.19. Построение эквидистантных объектов .....	122
2.20. Проецирование трехмерных (3D) объектов на плоскость эскиза .....	123
2.21. Построение пересечения трехмерного (3D) твердотельного объекта с плоскостью эскиза .....	124
2.22. Проецирование силуэтных ребер .....	125
2.23. Использование привязок при создании эскиза .....	126

## **Глава 3**

### **Создание параметрических твердотельных моделей .....**

3.1. Создание тела экструзии .....	134
3.2. Создание тела экструзии с использованием многоконтурного эскиза .....	136
3.3. Создание тела экструзии с галтелями и уклонами .....	137
3.4. Создание полости экструзией .....	139

3.5. Создание полости экструзией с использованием многоконтурного эскиза .....	140
3.6. Создание полости с галтелями и уклонами экструзией .....	141
3.7. Создание тела вращения .....	142
3.8. Создание полости в форме тела вращения .....	143
3.9. Создание отверстия .....	143
3.10. Создание ребра вытягиванием эскиза вдоль образующей .....	146
3.11. Создание полости вытягиванием эскиза вдоль образующей .....	148
3.12. Создание ребра жесткости .....	149
3.13. Создание пересечения двух тел экструзии .....	151
3.14. Построение твердотельной модели по набору эскизов .....	153
3.15. Построение полости по набору эскизов .....	154
3.16. Создание галтели .....	155
3.17. Создание галтели переменного радиуса .....	156
3.18. Создание галтели между гранями .....	158
3.19. Создание галтели с касанием к трем граням .....	159
3.20. Создание фаски .....	159
3.21. Создание скоса грани .....	161
3.22. Создание скоса граней, без изломов прилегающих к криволинейной грани .....	163
3.23. Создание скоса грани с переменным углом наклона ...	164
3.24. Построение скоса грани с дополнительными возможностями .....	166
3.25. Создание пустотелой твердотельной параметрической модели .....	167

---

3.26. Перемещение грани по нормали .....	168
3.27. Создание резьбы .....	169
3.28. Удаление грани .....	170
3.29. Замена грани .....	170
3.30. Обрезка параметрической твердотельной модели поверхностью .....	172
3.31. Придание поверхности толщины .....	173
3.32. Замыкание поверхности для создания параметрической твердотельной модели .....	175
3.33. Перенос грани параметрической твердотельной модели .....	176
3.34. Перенос параметрической твердотельной модели .....	177
3.35. Поворот параметрической твердотельной модели .....	178
3.36. Симметричное отражение параметрической твердотельной модели .....	179
3.37. Построение зеркального отражения параметрической твердотельной модели .....	180
3.38. Построение прямоугольного массива параметрических элементов .....	181
3.39. Построение полярного массива параметрических элементов .....	183
3.40. Построение пользовательского массива параметрических элементов .....	186
3.41. Масштабирование твердотельной параметрической модели .....	187
3.42. Создание новой твердотельной параметрической модели .....	188
3.43. Сборка двух параметрических твердотельных моделей в одну .....	188



3.44. Объединение параметрических твердотельных моделей.....	189
3.45. Вычитание одной параметрической твердотельной модели из другой .....	190
3.46. Создание пересечения параметрических твердотельных моделей.....	191
3.47. Объединение параметрических твердотельных моделей с удалением избыточных граней .....	192
3.48. Удаление несвязанных частей параметрических твердотельных моделей.....	193
3.49. Создание новой системы координат – системы осей.....	195

## **Глава 4**

### **Интерфейс пользователя и дополнительная информация .....**

	197
--	-----

4.1. Выпадающее меню .....	198
4.2. Панели инструментов .....	207
4.3. Контекстное меню .....	213

## **Глава 5**

### **Импорт и экспорт геометрической информации .....**

	217
--	-----

5.1. Импорт .....	218
5.2. Экспорт .....	222

## **Глава 6**

### **Импорт геометрической модели в среду комплекса ANSYS и ее дальнейшее использование .....**

	223
--	-----

6.1. Импорт геометрической модели из файлов стандарта IGES .....	224
--	-----

---

6.2. Импорт геометрической модели из файлов типа CATPart .....	225
6.3. Операции объединения геометрических объектов и сжатия нумерации объектов .....	226
6.4. Операции изменения топологии импортированных геометрических объектов .....	229
6.5. Средства расчета задач, содержащих отдельно построенные фрагменты сеток (стыковка несвязанных сеток) .....	232
6.6. Средства расчета контактных задач .....	234
<b>Заключение</b> .....	236
<b>Библиография</b> .....	238

Модуль каркасного проектирования и создания поверхностей (иначе – модуль создания линий и поверхностей, **Wireframe and Surface Design**) позволяет создавать точки, линии и поверхности, а также проводить над перечисленными объектами ряд дополнительных операций. В дальнейшем путем определенной последовательности действий из поверхностей можно создавать параметрические твердотельные модели.

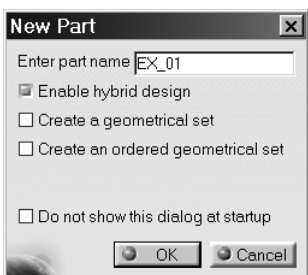


Рис. 1.1. Диалоговая панель **New Part**

При первичном вызове модуля из выпадающего меню (**Start** ⇒ **Mechanical Design** ⇒ **Wireframe and Surface Design**) на экране появляется диалоговая панель **New Part** (Новая твердотельная параметрическая модель), показанная на рис. 1.1.

На данной диалоговой панели в поле **Enter part name** указывается название файла параметрической модели (позже, при сохранении файла, по умолчанию это имя будет использоваться в качестве его названия).

Активизацию или отключение всех имеющихся на данной диалоговой панели кнопок **Enable hybrid design**, **Create a geometrical set**, **Create an ordered geometrical set** и **Do not show this dialog at startup** можно оставить существующей по умолчанию.

После нажатия на диалоговой панели кнопки **OK** на экране открывается рабочая среда (**Workbench**) модуля **Wireframe and Surface Design**.

В общем случае, для создания поверхностей требуется наличие линий, а для создания линий – точки, поэтому точки создаются ранее линий, а линии – раньше поверхностей.

## 1.1. Создание точек

Для создания точек могут применяться две команды – **Point** и **Points Creation Repetition**, входящие в состав панели инструментов **Wireframe**. Поскольку для выполнения части возможностей первой команды и в полном объеме второй команды требуется наличие геометрических объектов более высокого уровня (линий и поверхностей), в данном разделе рассматривается только часть возможностей команды **Point**, остальные будут рассмотрены несколько ниже.

Порядок вызова команды **Point** из панели инструментов **Wireframe** показан на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Вызов команды **Point** (левая иконка) из панели инструментов **Wireframe**

### 1.1.1. Создание точек при помощи указания координат

Для простого создания точки по значениям ее координат применяется команда **Point**, которая открывает на экране диалоговую панель **Point Definition**. В списке **Point type** данной диалоговой панели следует указать опцию **Coordinates** (Координаты), после чего данная диалоговая панель будет иметь вид, показанный на рис. 1.3.

В полях **X**, **Y** и **Z** данной диалоговой панели указываются координаты создаваемой точки.

В поле **Point** раздела **Reference** указывается ссылочная точка, относительно которой создается новая точка. При создании новой точки в данном поле можно оставить применяемое по умолчанию положение начала системы координат (**Default (Origin)**). При наличии созданной ранее точки ее можно указать в качестве ссылочной (исходной) и в поле **Point** указать номер (название, обозначение) этой существующей точки. В последнем случае диалоговая панель **Point Definition** будет иметь вид, показанный на рис. 1.4.

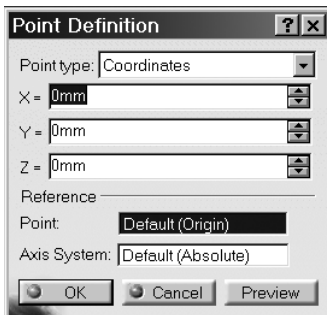


Рис. 1.3. Диалоговая панель Point Definition

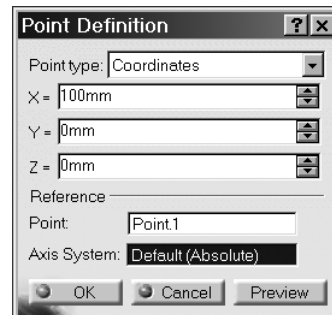


Рис. 1.4. Диалоговая панель Point Definition при использовании ссылочной точки

В поле **Axis System** указывается система координат, применяемая для создания новой точки. По умолчанию в этом поле имеется запись **Default (Absolute)**, то есть По умолчанию (Абсолютная система координат). При использовании иной системы координат в этом поле указывается номер (название) этой применяемой системы координат.

После создания новых точек в иерархической древовидной структуре объектов (дереве объектов), расположенной в левой части экрана, появляются новые объекты типа Point.1, Point.2 и т. д. Создаваемые объекты – точки – имеют вид

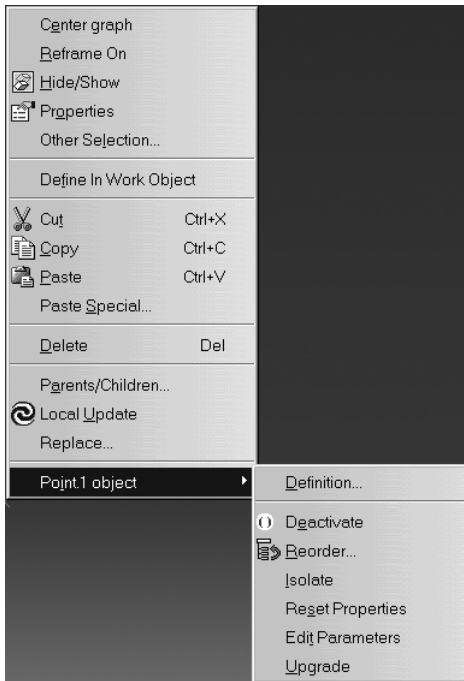
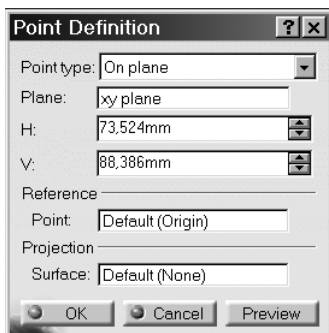


Рис. 1.5. Контекстное меню для объекта типа точка (Point)

косых крестов (или букв X). Для редактирования расположения объекта следует выделить его в иерархической древовидной структуре или на графическом экране и нажать правую кнопку мыши. После этого на экране появится контекстное меню (рис. 1.5). В данном контекстном меню следует выделить строку **Point.1 object** и далее вызвать опцию **Definition...** Разумеется, номер объекта (точки) может быть произвольным. После этого на экране появится та же самая диалоговая панель, при помощи которой создавался объект.

## 1.1.2. Создание точек при помощи ссылочной плоскости и указания координат мышью на экране

Для такой операции создания точки также применяется диалоговая панель **Point Definition**, но в списке **Point type** следует указывать значение **On Plane** (На плоскости). После указания этого значения данная диалоговая панель приобретает вид, показанный на рис. 1.6.



В поле **Plane** указывается плоскость, на которой строится точка. В общем случае, для такого построения точек можно использовать объекты типа Plane (плоскости), а также плоскости системы координат, определяемые парами осей XY, YZ и ZX. На рис. 1.6 показан вариант построения точки на плоскости XY (**xy plane**). В полях **H** и **V** указываются координаты создаваемой точки относительно

Рис. 1.6. Диалоговая панель **Point Definition** при создании точек на плоскости

системы координат данной плоскости. Значения, имеющиеся в данных полях, при необходимости можно корректировать с клавиатуры. Направление осей плоскости видно на экране при указании расположения точки мышью (рис. 1.7).

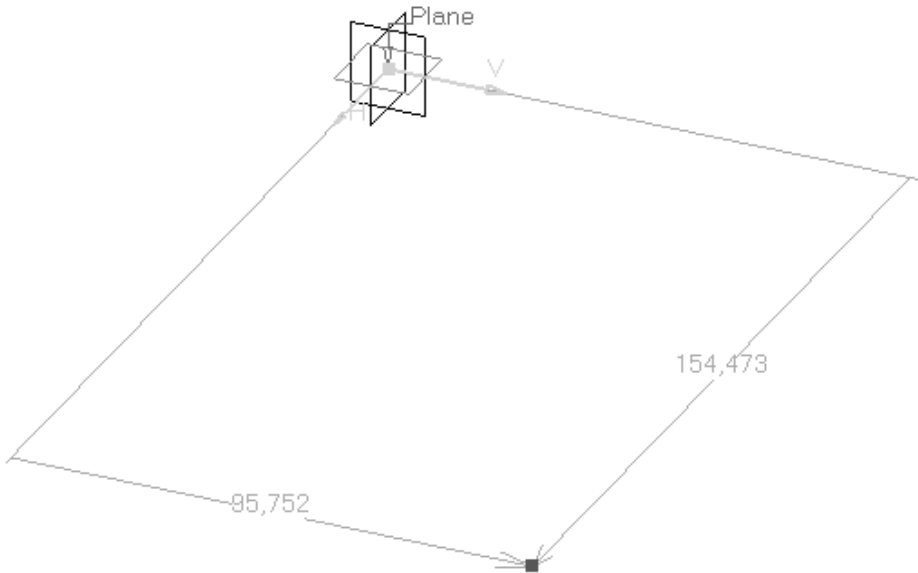


Рис. 1.7. Вид графического экрана при создании точки на плоскости

В поле **Point** раздела **Reference** указывается ссылочная точка, относительно которой создается новая точка (точно так же, как и при построении точки по координатам).

Дополнительная опция, обеспечиваемая полем **Surface** раздела **Projection**, дает возможность указания расположения точки на одной плоскости, но действительного ее создания на другой плоскости или поверхности. По умолчанию эта опция не используется, в поле стоит значение **Default (None)**, то есть По умолчанию (Нет).

### 1.1.3. Создание точек при помощи двух существующих точек

Для такой операции создания точки применяется диалоговая панель **Point Definition**, вызываемая на экран командой **Point**, но в списке **Point type** следует указывать значение **Between**, как показано на рис. 1.8.

При таком создании новой точки в полях **Point 1** и **Point 2** указываются 2 существующие точки, при помощи которых строится новая точка, а в поле **Ratio** указывается отношение расстояния от первой из указанных существующих точек до создаваемой (новой) точки к расстоянию между существующими точками.

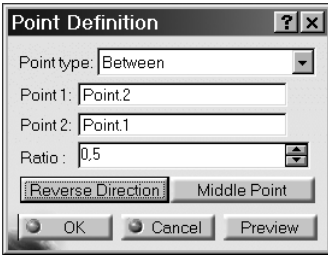


Рис. 1.8. Диалоговая панель **Point Definition** при создании точки по двум существующим

Кнопка **Reverse Direction** позволяет условно менять местами первую и вторую точки (то есть направление линии, на которой создается новая точка), а кнопка **Middle Point** – создавать новую точку точно между двумя существующими.

При создании новой точки на экране отображается положение двух существующих используемых точек и направление условной линии, на которой создается новая точка (рис. 1.9).

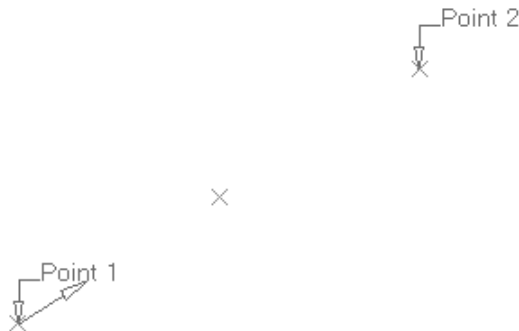


Рис. 1.9. Вид графического экрана при создании точки по двум существующим

После создания точки в иерархической древовидной структуре, расположенной в левой части экрана, появляется объект типа **Point**.

## 1.2. Построение линий

### 1.2.1. Создание отрезков прямых линий

Отрезки прямых линий и топологически подобные им объекты создаются командой **Line**, входящей в состав панели инструментов **Wireframe** (рис. 1.10, левая пиктограмма).

Команда **Line** имеет достаточно большое число вариантов создания новых линий. К данным вариантам относятся следующие:

- создание линии по двум существующим точкам (**Point-Point**);



Рис. 1.10. Вызов команды **Line** (левая иконка) из панели инструментов **Wireframe**

- создание новой линии по исходной точке и направлению (**Point-Direction**);
- создание новой линии по исходной точке и направленной под углом или по нормали к существующей (кривой) линии (**Angle/Normal to curve**);
- создание новой линии по исходной точке и направленной по касательной к существующей (кривой) линии (**Tangent to curve**);
- создание новой линии по исходной точке и направленной по нормали к существующей поверхности (**Normal to surface**);
- создание новой линии по исходной точке и направленной вдоль биссектрисы угла, образованной двумя существующими прямыми линиями (**Bisecting**).

За исключением одного варианта (**Normal to surface**), все версии данной команды описаны в данном разделе. Пропущенная опция будет описана позже.

## 1.2.2. Создание линии по двум существующим точкам

Для такой операции создания линии применяется показанная на рис. 1.11 диалоговая панель **Line Definition**, вызываемая на экран командой **Line**. Для создания линии требуется существование двух точек.

На данной диалоговой панели в списке **Line type** указывается вариант **Point-Point**. В поле **Point 1** указывается первая точка, через которую проходит создаваемая линия, в поле **Point 2** – вторая точка, через которую проходит создаваемая линия. В поле **Support** указывается поверхность, на которой должна лежать создаваемая линия (если дополнительно требуется, чтобы создаваемый объект дополнительно лежал на указанной поверхности). В поле **Start** указывается расстояние от первой точки до начала линии (то есть собственно линия физически может начинаться вне данной точки и даже вообще не проходить через данную точку); в поле **Up-to 1** можно указать объект, до которого следует продлить данную создаваемую линию со стороны ее начала (разумеется, одновременно применяется только одна из опций **Start** и **Up-to 1**); в поле **End** указывается расстояние от второй точки до конца линии; в поле **Up-to 2** указывается объект, до которого следует продлить данную создаваемую линию со стороны ее конца (аналогично описанию для начальной точки линии).

Далее, в разделе **Length Type** содержится 5 кнопок, управляющих видом создаваемых линий:

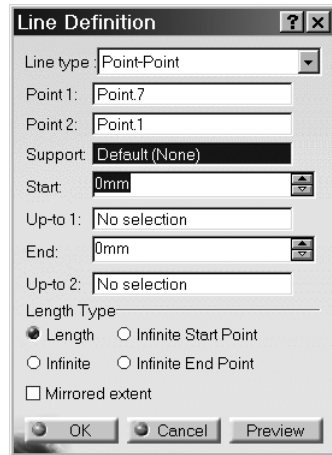


Рис. 1.11. Диалоговая панель **Line Definition** при построении линии по двум точкам



- **Length** – строится отрезок прямой линии, имеющий конечную длину, определяемую в соответствии с данными, указываемыми в диалоговой панели, или топологически эквивалентный ему объект;
- **Infinite** – строится не ограниченная с обоих концов линия, проходящая через 2 указанные точки;
- **Infinite Start Point** – строится линия, не имеющая ограничений по длине со стороны первой точки;
- **Infinite End Point** – строится линия, не имеющая ограничений по длине со стороны второй точки;
- **Mirrored extent** – вариант, когда создаваемая линия продляется за вторую точку (или не доходит до второй точки) на размер, указанный для первой точки.

При создании линии на экране отображается положение двух существующих используемых точек, а также направление и характерные размеры создаваемой линии (рис. 1.12).



Рис. 1.12. Вид графического экрана при создании линии по двум существующим точкам

### 1.2.3. Создание линии по существующей точке и направлению

Для такой операции создания линии применяется показанная на рис. 1.13 диалоговая панель **Line Definition**, вызываемая на экран командой **Line**. Для создания новой линии требуется существование одной точки и одной прямой линии.

На данной диалоговой панели в списке **Line type** указывается вариант **Point-Direction**. В поле **Point** указывается точка, через которую проходит линия. В поле **Direction** указывается обозначение существующей линии, которой будет параллельна создаваемая линия.

Поля **Support**, **Start**, **Up-to 1**, **End**, **Up-to 2**, а равно кнопки **Length**, **Infinite**, **Infinite Start Point**, **Infinite End Point** аналогичны по функциям соответствующим полям и кнопкам, показанным на рис. 1.11. Кнопка **Mirrored extent** позволяет

Рис. 1.13. Диалоговая панель **Line Definition** при построении линии по существующим точке и линии

располагать создаваемую линию так, чтобы середина создаваемой линии совпадала с используемой при создании линии точкой.

Кнопка **Reverse Direction** позволяет изменять направление создаваемой линии на противоположное.

При создании линии на экране отображается положение существующей используемой точки, линии, определяющей направление новой линии, а также направление и характерные размеры создаваемой линии (рис. 1.14).

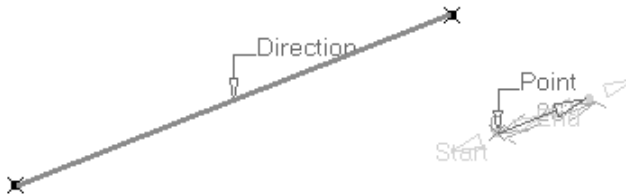
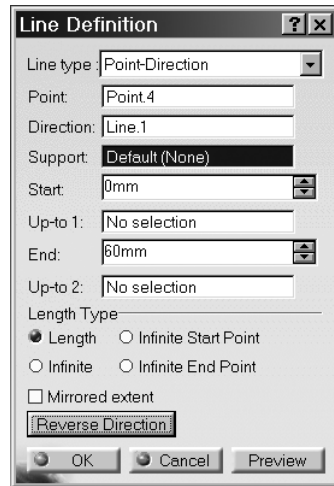


Рис. 1.14. Вид графического экрана при создании линии по существующей точке и направлению

### 1.2.4. Создание линии под углом к существующей линии

Для такой операции создания линии применяется показанная на рис. 1.15 диалоговая панель **Line Definition**, вызываемая на экран командой **Line**. Для создания новой линии требуется существование одной точки и одной линии.

На данной диалоговой панели в списке **Line type** указывается вариант **Angle/Normal to curve**. В поле **Curve** указывается обозначение объекта, под углом к которому создается новая линия.

Точка, через которую проводится новая линия, указывается в поле **Point**.

Значение угла (в градусах) указывается в поле **Angle**.

Поля **Support**, **Start**, **Up-to 1**, **End**, **Up-to 2**, а равно кнопки **Length**, **Infinite**, **Infinite Start Point**, **Infinite End Point** аналогичны по функциям соответствующим полям и кнопкам, показанным на рис. 1.11.

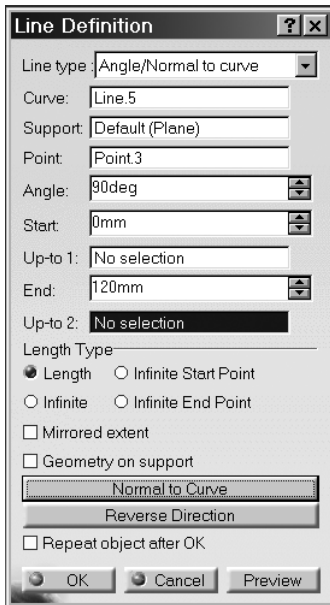


Рис. 1.15. Диалоговая панель **Line Definition** при построении линии по существующей точке и под углом к существующей линии

Кнопка **Mirrored extent** позволяет располагать создаваемую линию так, чтобы середина создаваемой линии совпадала с используемой при создании линии точкой.

Кнопка **Normal to Curve** соответствует созданию новой линии под прямым углом к существующей используемой линии.

Кнопка **Reverse Direction** позволяет изменять направление создаваемой линии на противоположное.

Кнопка **Geometry on support** позволяет строить объект на ссылочной плоскости (при использовании таковой).

Кнопка **Repeat object after OK** позволяет создавать круговой массив линий, а не одну линию.

При создании линии на экране отображается положение существующей используемой точки, линии, определяющей направление новой линии, а также направление и характерные размеры создаваемой линии (рис. 1.16).

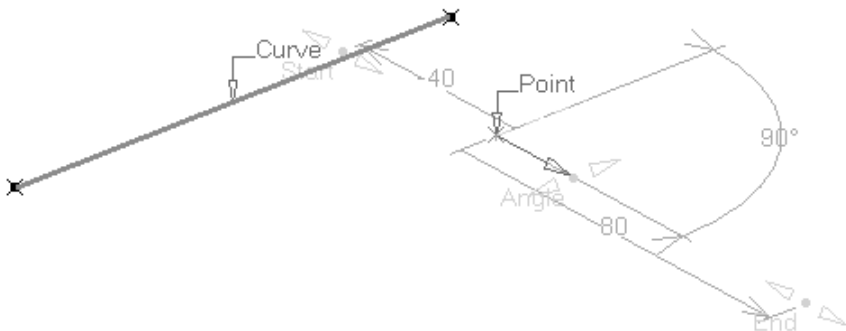


Рис. 1.16. Вид графического экрана при создании линии по существующей точке и под углом к существующей линии

### 1.2.5. Создание линии по касательной к существующей линии

Для такой операции создания линии применяется показанная на рис. 1.17 диалоговая панель **Line Definition**, вызываемая на экран командой **Line**. Для создания новой линии требуется существование одной точки и одной линии.

Рис. 1.17. Диалоговая панель **Line Definition** при построении линии по существующей точке и по касательной к существующей линии

На данной диалоговой панели в списке **Line type** указывается вариант **Tangent to curve**. В поле **Curve** указывается обозначение объекта, к которому строится касательная.

В поле **Element 2** указывается либо точка, через которую проходит касательная, либо второй элемент типа дуги окружности, к которому также строится касательная.

В разделе **Tangency options** указываются опции касания: в списке **Type** указывается тип проведения касательной (**Mono-Tangent** – через точку параллельно касательной к линии и **Bi-Tangent** – через точку по касательной к линии).

Кнопка **Next solution** позволяет выбрать один из нескольких вариантов в случае, когда можно построить несколько линий.

При создании линии на экране отображается положение существующей используемой точки, линии, к которой строится касательная, а также направление и характерные размеры создаваемой линии (рис. 1.18).

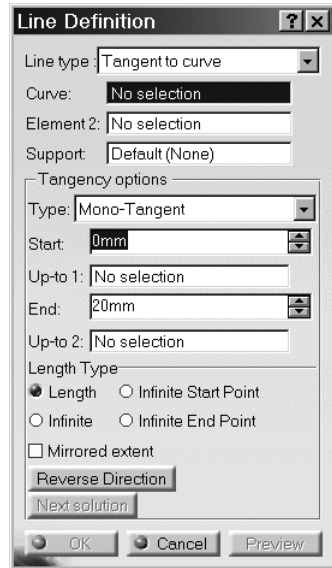


Рис. 1.18. Вид графического экрана при создании линии по существующей точке, касательной к существующей линии

### 1.2.6. Создание линии в виде биссектрисы угла между двумя существующими линиями

Для такой операции создания линии применяется показанная на рис. 1.19 диалоговая панель **Line Definition**, вызываемая на экран командой **Line**. Для создания новой линии требуется существование двух линий.

На данной диалоговой панели в списке **Line type** указывается вариант **Bisecting**. В полях **Line 1** и **Line 2** указывается обозначение линий, между которыми строится биссектриса.

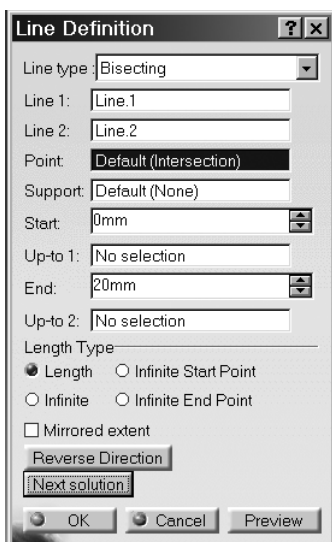


Рис. 1.19. Диалоговая панель **Line Definition** при построении линии в виде биссектрисы

В поле **Point** указывается точка, через которую должна проходить создаваемая линия. По умолчанию используется точка пересечения двух используемых линий.

Назначение остальных кнопок аналогично описанному выше.

При создании линии на экране отображается положение существующих линий, определяющих направление новой линии, а также направление и характерные размеры создаваемой линии (рис. 1.20).

После создания линии в иерархической древовидной структуре, расположенной в левой части экрана, появляется объект типа **Line**.

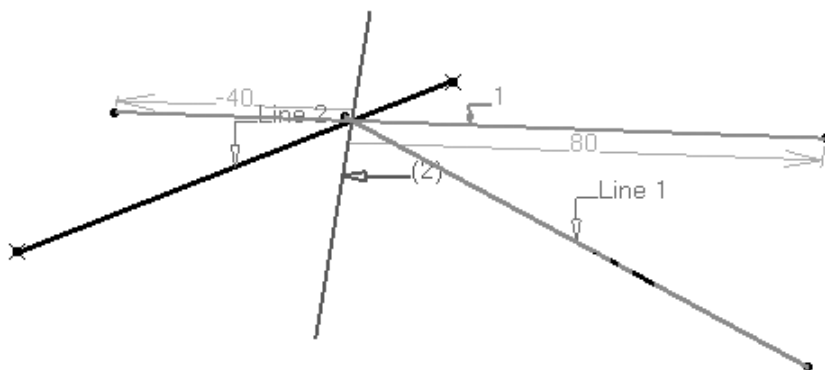


Рис. 1.20. Вид графического экрана при создании линии в виде биссектрисы

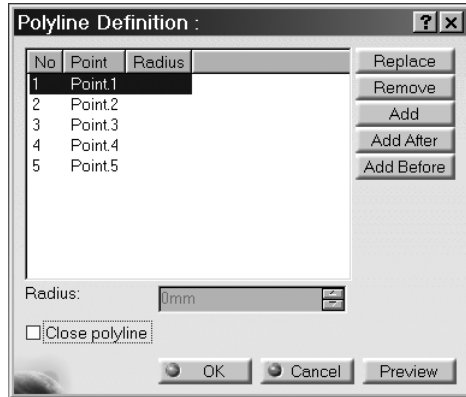
### 1.2.7. Создание полилиний

Полилиния является замкнутой или незамкнутой единой набором отрезков прямых линий и дуг окружностей.

Полилиния создается при помощи диалоговой панели **Polyline Definition**, показанной на рис. 1.21, вызываемой из панели инструментов **Wireframe** командой **Polyline**.

На данной диалоговой панели указываются точки, через которые должна проходить полилиния. Каждая точка, определяющая вершину полилинии, может указываться только один раз.

Рис. 1.21. Диалоговая панель Polyline Definition



Кнопка **Radius** и активизируемое ею поле **Radius** предназначены для указания радиуса галтели, создаваемой между двумя участками полилинии, прилегающими к данной точке, – вершине полилинии (в данном случае полилиния физически перестает проходить через указанную точку – пересечение двух соседних прямых участков).

Нажатие кнопки **Close polyline** вызывает замыкание полилинии.

Кнопки **Replace**, **Remove**, **Add**, **Add After** и **Add Before** предназначены, соответственно, для замены, удаления и добавления точек в последовательности вершин полилинии.

На рис. 1.22 показаны примеры незамкнутой полилинии, замкнутой полилинии и полилинии с галтелью.

После создания полилинии в иерархической древовидной структуре, расположенной в левой части экрана, появляется объект типа Polyline (с порядковым номером).

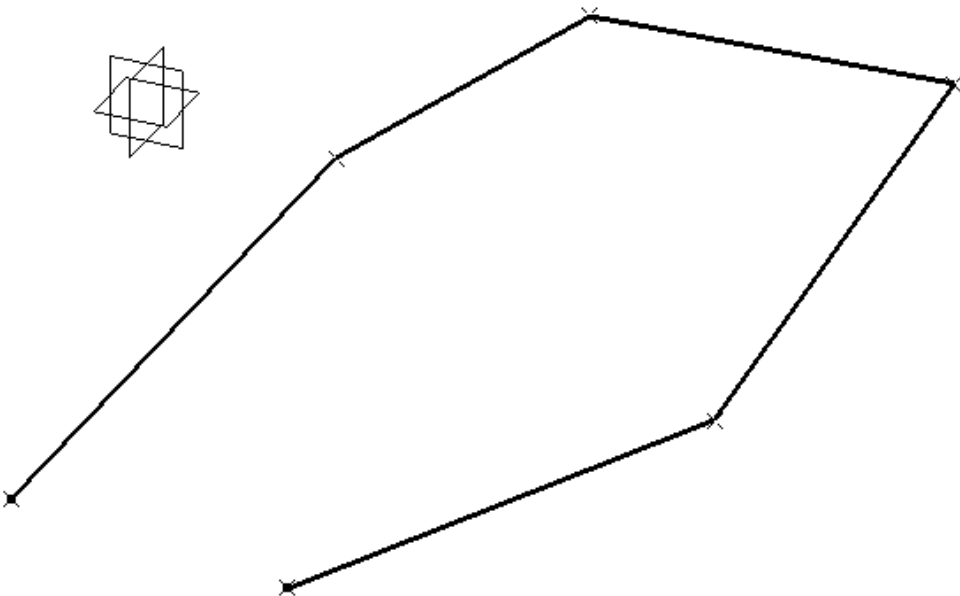


Рис. 1.22. Примеры полилиний

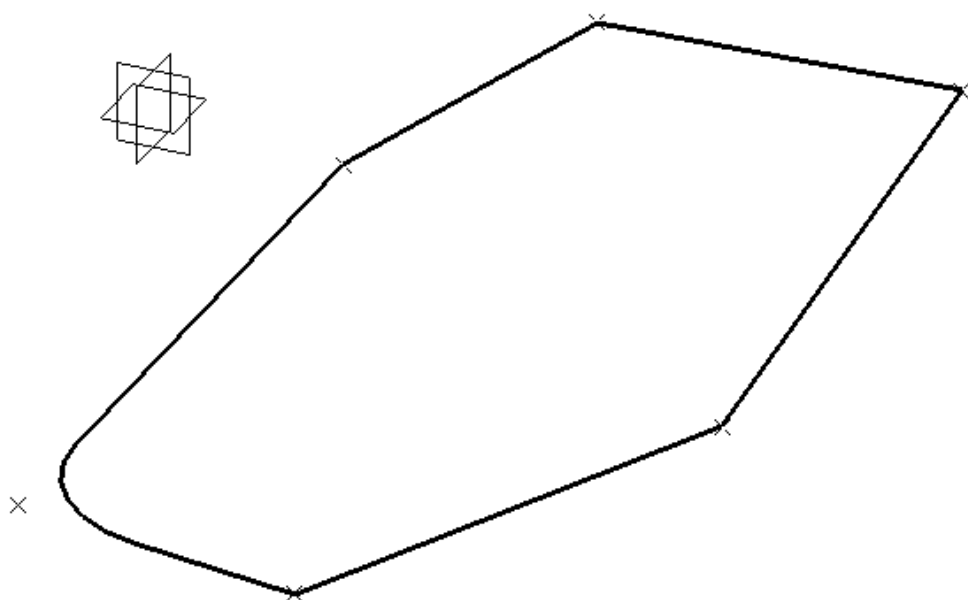
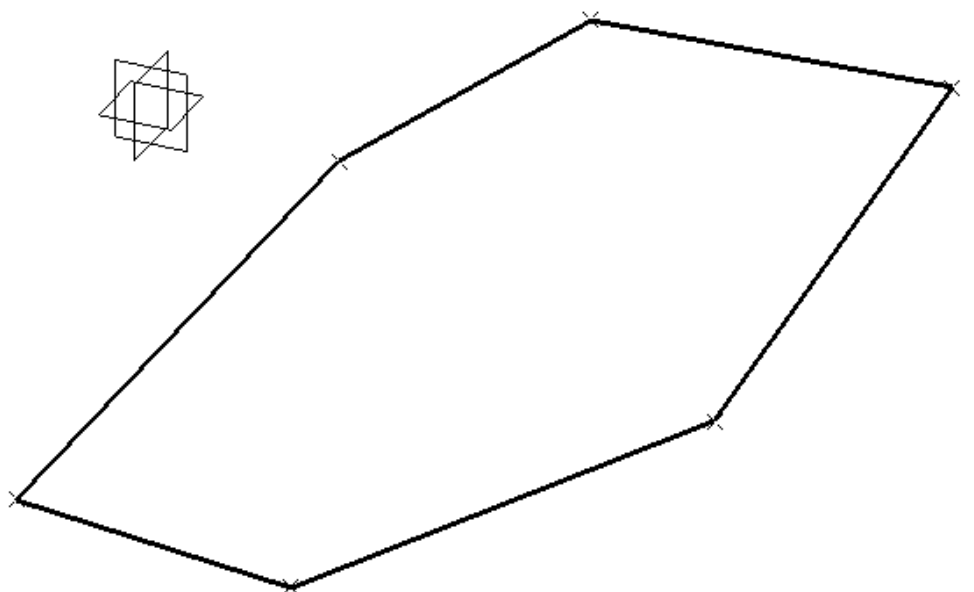


Рис. 1.22. Примеры полилиний (окончание)

## 1.2.8. Построение дуг окружностей

Для создания дуг окружностей или полных окружностей применяется диалоговая панель **Circle Definition**, вызываемая из панели инструментов **Wireframe** командой **Circle**.

Дуги окружностей и окружности могут создаваться следующими способами:

- по центру и значению радиуса (**Center and radius**);
- по центру и точке (**Center and point**);
- по двум точкам и значению радиуса (**Two points and radius**);
- по трем точкам (**Three points**);
- по центру и оси (**Center and axis**);
- по касанию с двумя линиями и значению радиуса (**Bitangent and radius**);
- по касанию с двумя линиями и точке (**Bitangent and point**);
- по касанию с тремя линиями (**Tritangent**);
- по центру и касательной (**Center and tangent**).

Ниже описаны все опции команды **Circle**.

## 1.2.9. Построение дуг окружностей по центру и значению радиуса

Как указывалось выше, после вызова команды **Circle** на экране появляется диалоговая панель **Circle Definition**, показанная на рис. 1.23. Для построения окружности или дуги окружности по точке центра и значению радиуса в выпадающем списке **Circle type** указывается вид создания объекта: **Center and radius** (По центру и значению радиуса).

Для построения окружности требуются точка и опорная плоскость (или опорная поверхность).

В поле **Center** указывается точка, являющаяся центром окружности.

В поле **Support** указывается плоскость, которой будет параллельна создаваемая окружность. Формально в качестве опорной поверхности можно использовать

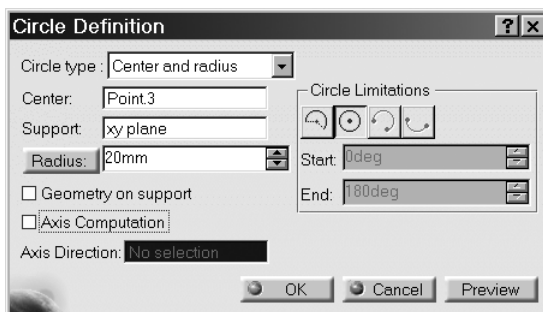


Рис. 1.23. Диалоговая панель **Circle Definition**



любую поверхность, но в этом случае плоскость, в которой строится окружность, будет ориентирована по касательной к этой опорной поверхности.

В поле **Radius** указывается радиус окружности. Если нажать на кнопку **Radius**, она меняет наименование на **Diameter**, и в этом случае в поле можно указывать уже диаметр. Если же на кнопку нажать еще раз, она снова меняет название на **Radius**.

Кнопку (переключатель) **Geometry on support** можно использовать в том случае, когда точка центра не лежит на указанной опорной плоскости, а окружность строится именно на этой опорной поверхности. При использовании в качестве опорных поверхностей объектов, не являющихся плоскими, создаваемая линия фактически не будет являться окружностью.

Кнопка (переключатель) **Axis Computation** позволяет вместе с окружностью строить еще один объект – ось (объект типа Axis).

Расположенный правее раздел **Circle Limitations** содержит поля и кнопки опций, позволяющих создавать дугу или полную окружность. Крайняя левая кнопка соответствует опции дуги окружности (для указания начальной и конечной угловых координат дуги применяются поля **Start** и **End**). Вторая слева кнопка соответствует полной окружности. В описываемом режиме две правые кнопки недоступны.

При создании окружности на экране отображается центр окружности и иные ее характерные элементы (рис. 1.24).



Рис. 1.24. Вид графического экрана при создании окружности по центру и значению радиуса

## 1.2.10. Построение дуг окружностей по центру и точке

При использовании такого варианта создания окружности диалоговая панель **Circle Definition** имеет вид, показанный на рис. 1.25. В выпадающем списке **Circle type** указывается вид создания объекта: **Center and point** (По центру и точке).

Для построения окружности требуются две точки и опорная плоскость (или опорная поверхность).

В отличие от предыдущего варианта создания окружности, в данном случае в поле **Point** указывается точка, лежащая на окружности. Назначение всех остальных кнопок и опций аналогично описанному выше. Вид графического экрана при