



SPACE



SPACE

РУКОВОДСТВО ПРОГРАММИСТА

Научно-производственное объединение  
"Центрпрограммсистем"

Вычислительный центр Сибирского отделения  
Академии наук СССР

УТВЕРЖДЕН

3533847.00026-02 33 01-ЛУ

ПАКЕТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ  
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАЧ  
(ППП SPACE)

Руководство программиста

3533847.00026-02 33 01

Страниц 132

Калинин 1988

3533847.00026-02 33 01

## АННОТАЦИЯ

В документе описаны назначение и условия применения ППП SPACE, характеристики и способы обращения к программам.

Работа выполнена авторским коллективом Вычислительного центра Сибирского отделения Академии Наук СССР и Новосибирского государственного университета.

Переработка документа в соответствии со стандартами ЕСПД выполнена в НПО "Центрпрограммсистем".

ППП SPACE разработан ВЦ СО АН СССР.

Авторы разработки: Мацокин А.М., Упольников С.А.

ППП SPACE сопровождается отделом 241 НПО "Центрпрограммсистем" (зав. отделом Цуканов И.Е.).

## СОДЕРЖАНИЕ

1. НАЗНАЧЕНИЕ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ППП.....	5
2. ХАРАКТЕРИСТИКА ППП.....	5
2.1. Структуры представления кривых и поверхностей в архиве.....	5
2.2. Программы описания и преобразования пространственных кривых и участков поверхностей.....	7
2.2.1. Описание пространственных кривых.....	8
2.2.2. Описание участков поверхностей.....	9
2.2.3. Описание тел с криволинейной границей.....	11
2.2.4. Преобразование сдвига, масштабирования и поворота.....	13
2.2.4.1. Сдвиг и масштабирование.....	13
2.2.4.2. Поворот вокруг оси.....	14
2.2.5. Дублирование кривой, порции или набора.....	15
2.3. Программы описания участков поверхностей специального вида.....	16
2.3.1. Поверхность вращения.....	16
2.3.2. Поверхность постоянного сечения.....	21
2.4. Программы вычисления некоторых характеристик кривых, поверхностей и тел.....	23
2.5. Программы преобразования объектов к приближенному линейному представлению.....	25
2.6. Описание служебных подпрограмм для работы с кривыми и поверхностями.....	27
2.7. Векторная алгебра.....	30
2.7.1. Векторная алгебра на плоскости.....	30
2.7.2. Векторная алгебра в пространстве.....	33
2.8. Элементы плоских кривых.....	35
2.8.1. Структура элементов и кривых.....	35
2.8.1.1. Структура примитивов.....	35
2.8.1.2. Структура элемента кривой.....	38
2.8.1.3. Структура кривой.....	38
2.8.2. Построение элементов и кривых.....	39
2.8.3. Аппроксимация элементов и кривых.....	43
2.9. Многоугольники на плоскости.....	45
2.9.1. Структура многоугольника.....	46
2.9.2. Преобразования переноса, поворота и масштабирования.....	46
2.9.3. Теоретико-множественные операции над многоугольниками.....	46
2.10. Многогранники в пространстве.....	49
2.10.1. Структура многогранника.....	49
2.10.1.1. Структура грани.....	49
2.10.1.2. Структура набора граней.....	50
2.10.2. Описание многогранников.....	50
2.10.3. Преобразования переноса, поворота и масштабирования.....	56
2.10.4. Теоретико-множественные операции над многогранниками.....	57
2.11. Вычисление характеристик многоугольников и многогранников.....	58

2.12. Служебные подпрограммы для работы с полиэдрами.....	62
2.13. Использование архива при построении плоских кривых, многоугольников и многогранников.....	71
2.13.1. Структуры хранения объектов в архиве.....	71
2.13.1.1. Плоские кривые.....	71
2.13.1.2. Многоугольники.....	72
2.13.1.3. Многогранники.....	72
2.14. Подпрограммы формирования объектов.....	72
2.14.1. Описание и преобразование плоских кривых.....	72
2.14.2. Описание и преобразование многоугольников.....	76
2.14.3. Описание и преобразование многогранников.....	77
2.14.4. Формирование многогранников специального вида.....	80
2.14.5. Подпрограммы вычисления характеристик.....	83
2.15. Представление объектов с использованием Т-структур.....	84
2.15.1. Представление трехмерных объектов.....	84
2.15.2. Представление плоских образов.....	85
2.15.3. Специальное представление 2Д-моделей трехмерных объектов.....	86
2.16. Описание программ для создания и обработки иерархических представлений трехмерных объектов и их плоских образов.....	87
2.16.1. Формирование иерархического представления 3Д-объектов.....	88
2.16.2. Создание и обработка плоских образов.....	90
2.16.3. Формирование 2Д-моделей.....	93
2.16.4. Вспомогательные подпрограммы.....	103
2.17. Подпрограммы построения и визуализации проекций 3Д-объектов.....	105
2.17.1. Визуализация проекций массива пространственных ребер (ореольный алгоритм).....	106
2.17.2. Визуализация проекции многогранника.....	107
2.17.3. Визуализация проекций параметрически заданных поверхностей.....	107
2.17.4. Визуализация проекций таблично-заданных поверхностей.....	109
2.17.5. Вспомогательные программы.....	111
2.18. Программы визуализации плоских образов 3Д-объектов.....	112
2.18.1. Визуализация наборов ребер и контуров помеченных граней.....	112
2.18.2. Визуализация 2Д-моделей 3Д-объектов.....	113
2.18.3. Вспомогательные подпрограммы.....	114
2.19. Служебные подпрограммы для построения графических образов трехмерных объектов.....	115
2.20. Справочные таблицы.....	118
 3. ОБРАЩЕНИЕ К ППП.....	126
 4. ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ.....	126
 5. СООБЩЕНИЯ.....	126
 6. ОПИСАНИЕ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПРОГРАММ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ.....	126
 7. ОПИСАНИЕ ВХОДНОГО ЯЗЫКА.....	126
 ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОЧНЫХ ДОКУМЕНТОВ.....	127
 ПЕРЕЧЕНЬ СИМВОЛОВ.....	128

## 1. НАЗНАЧЕНИЕ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ППП

ППП SPACE предназначен для решения прикладных задач, связанных с расчетом геометрии трехмерных объектов, а также автоматизации проектных и конструкторских работ на этапе технической подготовки производства.

Более подробно назначение, условия применения, функции пакета описаны в документе "Описание применения" 3533847.00026-02 31 01.

## 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ППП

ППП SPACE разработан как универсальное программное средство для решения трехмерных геометрических задач и опирается на средства языка Фортран. Он состоит из пяти компонентов КП, БП, ПА, АМТТ, ГОТ. Каждый компонент состоит из программ, каждая из которых выполняет определенную функцию. Обращение к программам описано ниже.

Требования к составу технических средств и используемым ресурсам приведены в документе "Описание применения" 3533847.00026-02 31 01.

### 2.1. Структуры представления кривых и поверхностей в архиве

Программы, описываемые в следующих пунктах, формируют описания кривых, участков поверхностей или наборов участков поверхностей в виде архивных объектов с определенным типом, набором связей (ссылок) и фиксированной структурой информационной части. В этом разделе описываются структуры, необходимые для понимания описаний программ.

Объекты идентифицируются переменной целого типа, ненулевое значение которой несет информацию о размещении представления конкретного объекта в архиве. Формирование объекта заключается в выделении памяти необходимых размеров в архиве (создание объекта или его дополнение), занесение в информационную часть (массив) объекта содергательной информации, его характеризующей и установлению ссылок на подобъекты, если это необходимо (например, порция поверхности ссылается на граничные кривые). Сформированные объекты идентифицируются программными переменными, заданными при их формировании.

Правильность работы программ может быть проконтролирована проверкой значения 10-го слова COMMON - блока с именем KIEL. Нулевое значение этого слова свидетельствует о правильности работы соответствующей подпрограммы. Проверку необходимо осуществлять непосредственно после обращения к подпрограмме.

Объект - кривая (линейная интерполяция). Тип объекта 10. Ссылок нет. Информационный массив состоит из  $4*N+1$  слов, где  $N$  - число точек ломаной. Его структура:  $N, U_1, X_1, Y_1, Z_1, \dots, U_m, X_m, Y_m, Z_m$ . Величины  $U_i$  - значения параметра кривой - определяют длину ломаной от начальной точки ( $U_1 = 0$ ). Величины  $X_i, Y_i, Z_i$  - координаты  $i$ -й точки ломаной. Если ломаная достраивается, то новые

точки с соответствующими значениями параметра дописываются в конец массива.

Объект - кривая (кубическая интерполяция). Тип объекта 20. Ссылок нет. Информационный массив состоит из  $7 \times N+1$  слов, где  $N$  - число опорных точек. Его структура:  $N, U_1, X_1, Y_1, Z_1, X'_1, Y'_1, Z'_1, \dots, U_N, X_N, Y_N, Z_N, X'_N, Y'_N, Z'_N$ . Величины  $U_i$  - значения параметра кривой для опорных точек - задаются пользователем при формировании кривой. Величины  $X_i, Y_i, Z_i$  - координаты  $i$ -й опорной точки кривой. Величины  $X'_i, Y'_i, Z'_i$  - координаты вектора производной по параметру в  $i$ -й опорной точке. Если кривая дстраивается, то параметры новых точек (7 слов для каждой точки) дописываются в конец массива.

При работе с кривыми, т.е. вычисления координат точки, лежащей на кривой, или вектора производной независимо от способа ее задания и конкретных значений величин  $U_i$  входной параметр кривой всегда лежит в интервале  $[0, 1]$ , т.е. автоматически нормализуется. Кривая типа 20 рассматривается как пространственный кубический многозвенник.

Объект - участок поверхности. Тип объекта 30 (билинейная интерполяция), или 40 (бикубическая интерполяция). Способ интерполяции задается пользователем при формировании порции. Объект содержит 4 ссылки на граничные кривые. Информационный массив состоит из 20 слов. Его структура:  $K_1, N_{k_1}, \dots, K_4, N_{k_4}, X_0, Y_0, Z_0, \dots, X_6, Y_6, Z_6$ . Величины  $K_1, \dots, K_4$  - значения идентификаторов граничных кривых для данного участка, т.е. дубль ссылок объекта. Величины  $N_{k_1}, \dots, N_{k_4}$  - признаки изменения ориентации для каждой граничной кривой, т.е.  $N_{k_i} > 0$  означает, что ориентация соответствует заданию  $i$ -й кривой и  $N_{k_i} < 0$  означает, что ориентацию  $i$ -й кривой надо изменить на противоположную. Область изменения параметров для участка поверхности  $[0, 1] \times [0, 1]$ . Если поверхность обозначить через  $R(u, v)$ , то соответствие кривых следующее:  $K_1-R(0, v), K_2-R(u, 1), K_3-R(1, v), K_4-R(u, 0)$ . Двенадцать величин  $X_0, Y_0, Z_0$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) представляют собой массив координат начальных точек кривых  $K_1, K_2, K_3, K_4$ . Этот массив заполняется только специальной программой. Таким образом, для участков поверхностей типов 30 и 40 этот массив пуст. Он заполняется по специальной подготовительной подпрограмме и тип делается соответственно 31 и 41. Тип интерполяции, указанный пользователем, учитывается при вычислении координат точки, лежащей на участке поверхности или вектора производной по параметрам.

Объект - участок поверхности (поверхность вращения кривой относительно криволинейной оси). Тип объекта 35. Объект содержит 2 ссылки на кривые - образующую и ось вращения. Информационный массив состоит из 6 слов. Его структура:  $K_1, N_{k_1}, K_2, N_{k_2}, F, NN$ . Величины  $K_1, K_2$  - значения идентификаторов кривой, образующей ( $K_1$ ) и оси вращения ( $K_2$ ). Величины  $N_{k_1}$  и  $N_{k_2}$  - признаки изменения ориентации кривых (как и выше).

Величина  $F$  - угол максимального поворота образующей (в градусах). Величина  $NN$  - признак ориентации поверхности:  $NN=1$  - внешняя нормаль направлена от оси вращения,  $NN=-1$  - наоборот. Если кривая  $K_2$  отличается от прямолинейного отрезка, то параметризации  $K_1$  и  $K_2$  должны быть согласованы. Если поверхность обозначить через  $R(u, v)$ , то соответствие граничным кривым следующее: фиксация  $v$  дает окружность при изменении  $u$  в интервале  $[0, 1]$ .

Объект - участок поверхности (поверхность постоянного сечения или смещения кривой вдоль другой кривой). Тип объекта 36. Объект

102 - иллюстрация

содержит 2 ссылки на кривые – образующую и кривую смещения. Информационный массив состоит из 16 слов. Его структура: K1, N<sub>K1</sub>, K2, N<sub>K2</sub>, PNV(3), R(9). Величины K1, K2 – значения идентификаторов объектов кривой образующей (K1) и кривой смещения (K2). Величины N<sub>K1</sub> и N<sub>K2</sub> – признаки изменения ориентации кривых, как и выше. Величины PNV(3) – координаты вектора-нормали к плоскости, содержащей кривую K2. Величины R(9) содержат координаты начальной точки кривой K2, координаты вектора производной от кривой K2 в начальной точке и координаты вектора, являющегося векторным произведением первых двух векторов. Этот массив первоначально пуст и заполняется при обращении к специальной программе. Если поверхность обозначить через R(u,v), то соответствие кривым следующее: K1-R(u,0) и K2-R(0,v) (условно).

Объект – набор участков поверхностей (граница тела). Тип объекта 50. Объект содержит L ссылок соответственно числу участков поверхностей, входящих в набор. Информационный массив состоит из L+1 слова. Его структура: L,K1,...,KL. Величины K<sub>i</sub> – значения идентификаторов объектов – участков поверхностей.

Объект – набор участков поверхностей (табличное представление). Тип объекта – 4. Объект содержит L ссылок на объекты – участки поверхностей, каждая в виде таблицы. Информационный массив состоит из одного слова – число ссылаемых таблиц. Объект – таблица имеет тип 3. Ссылок нет. Информационный массив состоит из 3\*N\*M+2 слов. Его структура: N,M,R(N,M,R), где величины N и M – параметры разбиения параметрического квадрата, а массив R содержит координаты точек, лежащих на участке поверхности, соответствующие этому разбиению.

Представление участка поверхностей в виде таблиц формируется специальной программой из объекта типа 50.

#### Примечания:

1. Описанные выше представления, кроме последнего, содержат в информационном массиве объекта значения (идентификаторы) ссылаемых объектов, т.е. дубли архивных ссылок. Поэтому работы с объектами этого типа возможны только в пределах оперативного архива, поскольку при архивных операциях (откачка, подкачка) происходит изменение идентификаторов подобъектов, которое не отражается в информационном массиве.

2. При выполнении аффинных преобразований над участками и наборами участков поверхностей, типы объектов ссылаемых кривых могут стать 11, 21 и восстанавливаются специальными программами.

Все описываемые программы используют средства для работы с иерархическими структурами данных [1].

## 2.2. Программы описания и преобразования пространственных кривых и участков поверхностей

Комплект программ КП предоставляет средства описания пространственных кривых и участков поверхностей и позволяет применять к описанным объектам преобразования сдвига, масштабирования и поворота вокруг оси на заданный угол. Предполагается, что геометрические объекты задаются в правой декартовой прямоугольной системе координат. Кривая для пользователя представляет собой вектор-функцию параметра U (0,1). Значению параметра U=0 соответствует начало кривой, а значению U=1 – конец кривой. Изменение параметра U в общем случае не является естественной параметризацией

3533847.00026-02 33 01

кривой по ее длине. В комплекте предусмотрена аппроксимация кривых двумя способами: при помощи ломаной и при помощи кубического многозвенника, соответствующие линейной и кубической интерполяционным формулам.

Участок поверхности определяется с помощью интерполяционной формулы по методу Кунса и опирается на четыре заданные граничные кривые.

Пространственное тело можно описать как набор участков его границ, т.е. фактически описывается граница тела. Такого описания достаточно, например, для приближенного вычисления объема, момента инерции или для построения многогранника, аппроксимирующего исходное тело. К сожалению, в комплекте программ нет средств проверки корректности описываемых объектов (самопересечение кривых и поверхностей, описывает ли набор участков поверхностей пространственное тело и др.).

### 2.2.1. Описание пространственных кривых

Пространственная ломаная как геометрический объект задается подпрограммой MC110. В этом случае объекту присваивается тип 10. Обращение:

CALL MC110(KI,N,R)

где KI - идентификатор - числовое имя объекта; значение должно быть равно либо 0, либо память под объект должна быть выделена ранее, т.е. KI - имя объекта с типом 10; в этом случае построение кривой продолжается;

N - целое; количество точек ломаной, которую следует построить или дополнить к ранее построенным;

R - вещественный массив длины 3\*N, R(3\*N), в котором последовательно записаны координаты точек ломаной:

X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>, Z<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>, Z<sub>2</sub>, ..., X<sub>N</sub>, Y<sub>N</sub>, Z<sub>N</sub>.

Результат:

KIEL(10)=0: кривая построена, массив информационной части имеет вид: N, U<sub>1</sub>, X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>, Z<sub>1</sub>, U<sub>2</sub>, X<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>, Z<sub>2</sub>, ..., U<sub>N</sub>, X<sub>N</sub>, Y<sub>N</sub>, Z<sub>N</sub>; его длина - 4\*N+1; параметры U<sub>i</sub> определяют длину ломаной от начальной точки до i-й точки;

KIEL(10)!=0: операция не выполнена.

Задание кубического пространственного многозвенника выполняется подпрограммой MC120 по возрастающей последовательности параметров U<sub>1</sub>, ..., U<sub>N</sub>. Каждому значению параметра соответствуют точки R на кривой и вектор производной RU по этому параметру в этой точке. Объекту присваивается тип 20.

Обращение:

CALL MC120(KI,N,R,RU,U)

где KI - идентификатор; числовое имя объекта; KI=0 - объект определяется; если KI!=0 и тип объекта равен 20 - объект достраивается;

N - количество точек на кривой;

R=R(3\*N) - вещественный массив точек кривой,  
R=(X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>, Z<sub>1</sub>, ..., X<sub>N</sub>, Y<sub>N</sub>, Z<sub>N</sub>);

RU=RU(3\*N) - вещественный массив производных по параметру в точках кривой, RU=(X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>, Z<sub>1</sub>, ..., X<sub>N</sub>, Y<sub>N</sub>, Z<sub>N</sub>);

U=U(N) - вещественный массив значений параметра точек на кривой, U=(U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub>, ..., U<sub>N</sub>).

3533847.00026-02 33 01

**Результат:**

**KIEL(10)=0:** кривая построена, массив информационной части имеет вид:  $N, U_1, X_1, Y_1, Z_1, X_i, Y_i, Z_i, \dots, U_N, X_N, Y_N, Z_N, X_N, Y_N, Z_N$ , т.е. его длина  $7*N+1$ ;

**KIEL(10)!=0:** операция не выполнена.

При описании кривых параметры могут выбираться произвольными и не обязаны принадлежать интервалу  $(0,1)$ . В дальнейшем пользователь должен знать только имя кривой и то, что она является параметрической, и независимо от ее задания, параметр меняется от 0 до 1.

Вычисление координат точки на кривой или производной по этому параметру в данной точке осуществляется подпрограммами MC115 и MC116.

**Обращение:**

```
CALL MC115(KI,W,R)
```

где KI - идентификатор; числовое имя кривой;

W - вещественное число; параметр, для которого необходимо вычислить координаты точки на кривой  $R=(X(W), Y(W), Z(W))$ ;

$R=R(3)$  - вещественный массив, в который записывается результат работы подпрограммы: координаты точки на кривой, соответствующие параметру W.

**Результат:**

**KIEL(10)=0:** координаты точки вычислены;

**KIEL(10)!=0:** координаты точки не вычислены.

**Обращение:**

```
CALL MC116(KI,W,R)
```

где KI - идентификатор; числовое имя кривой;

W - вещественное число; параметр, для которого необходимо вычислить значение производной в точке на кривой;

$R=R(3)$  - вещественный массив, в который записывается результат: координаты радиус-вектора производной  $R=(X'(W), Y'(W), Z'(W))$ .

**Результат:**

**KIEL(10)=0:** производная в точке вычислена;

**KIEL(10)!=0:** производная в точке не вычислена.

Подпрограммы вычисления координат точки на кривой или значения производной в точке используют шесть служебных подпрограмм MC111, MC112, MC113, MC121, MC122, MC123.

### 2.2.2. Описание участков поверхностей

Участок (порция) поверхности определяется как вектор функции  $R(u,v)$ , где  $u \in (0,1)$  и  $v \in (0,1)$ . Кривые  $R(0,v)$ ,  $R(u,1)$ ,  $R(1,v)$  и  $R(u,0)$  описывают границу порции поверхности при изменении параметров u и v от 0 до 1. Эти кривые (пусть их имена суть K1, K2, K3 и K4) должны быть заданы до определения участка.

Участку поверхности приписывается направление внешней нормали такое, что при обходе границы по кривым K1 и K2 для наблюдателя со стороны внешней нормали порция остается справа (обход по часовой стрелке, рис. 1). Интерполяция по кривым вовнутрь порции может осу-

3533847.00026-02 33 01

ществляться линейно (тип 30) или по методу Кунса (тип 40). Задание порции осуществляется подпрограммой МС3040.

#### Описание участка поверхности

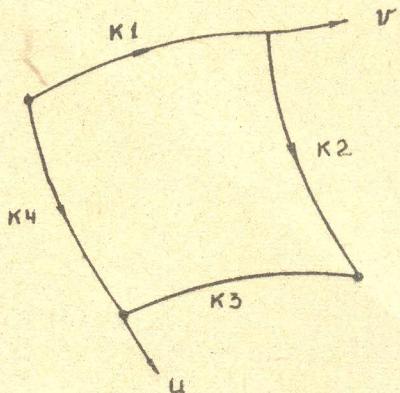


Рис. 1

Обращение:

```
CALL MC3040(KI, KIT, K1, Nk1, K2, Nk2, K3, Nk3, K4, Nk4)
```

где KI - идентификатор; словоное имя объекта; KI=0 - объект создается; KI!=0 - под объект заранее выделена память;

KIT - целое; задается пользователем тип порции 30 или 40 в зависимости от желаемого способа интерполяции;

K1 - имя первой кривой, R(0,v);

Nk1 - целое; Nk1>0 означает, что направление кривой K1 совпадает с направлением R(0,v); Nk1<0 означает, что направление кривой K1 не совпадает с направлением R(0,v);

K2 - имя второй кривой, R(u,1);

Nk2 - целое; определяет, изменять или нет направление кривой K2;

K3 - имя третьей кривой, R(1,v);

Nk3 - целое; определяет, изменять или нет направление кривой K3;

K4 - имя четвертой кривой, R(u,0);

Nk4 - целое; определяет, изменять или нет направление кривой K4.

Результат:

KIEL(10)=0: порция сформирована, массив информационной части содержит последние 8 параметров обращения к подпрограмме и 12 рабочих ячеек, т.е. его длина равна 20; установлены ссылки между объектом KI и объектами K1,...,K4, т.е. у KI как минимум 4 ссылки вниз;

KIEL(10)!=0: объект не сформирован.

Для того, чтобы на участке поверхности KI можно было по параметрам (u,v) определять точку, необходимо произвести подготовительную операцию с помощью подпрограммы МС3031. Необходимость та-

3533847.00026-02 33 01

кой операции вызвана прежде всего тем, что кривые, входящие в описание порций, могут быть переопределены.

Обращение:

CALL MC3031(KI)

где KI - идентификатор; числовое имя участка поверхности.

Результат:

KIEL(10)=0: операция выполнена; вычислены необходимые 12 вспомогательных величин; тип объекта изменился: 30 на 31, 40 на 41;

KIEL(10)!=0: операция не выполнена; не задана ни одна из кривых.

Вычисление координат точки R(u, v) на участке поверхности KI осуществляется подпрограммой MC125.

Обращение:

CALL MC125(KI,u,v,R)

где KI - идентификатор; имя участка поверхности;

u - вещественное,  $u \in (0,1)$ ; задает значение первого параметра;

v - вещественное,  $v \in (0,1)$ ; задает значение второго параметра;

R=R(3) - вещественный массив, в который записывается результат:  $R=(X(u,v), Y(u,v), Z(u,v))$  - координаты точки на участке поверхности.

Результат:

KIEL(10)=0: координаты точки вычислены;

KIEL(10)!=0: координаты точки не вычислены.

Подпрограмма вычисления координат точки на участке поверхности использует служебную подпрограмму MC124, описание которой содержится в комментариях ее текста, а также подпрограммы вычисления координат точек на кривых.

### 2.2.3. Описание тел с криволинейной границей

Пусть границу пространственного тела можно представить как совокупность участков поверхностей, внешние нормали которых совпадают с внешней нормалью относительно тела. Тогда комплект подпрограмм КП предоставляет средства описания таких тел. Прежде всего при составлении описания тела может оказаться необходимым изменить на противоположное направление нормали некоторой порции поверхности. Эту функцию выполняет подпрограмма MC135.

Обращение:

CALL MC135(KI)

где KI - идентификатор; числовое имя участка поверхности.

Результат:

KIEL(10)=0: направление нормали изменилось на противоположное и было обращение к MC3031 для подготовки KI к вычислениям;

KIEL(10)!=0: KI неверно задан.

Набор участков поверхностей в комплекте подпрограмм формируется как объект с типом 50. Массив информационной части имеет длину  $(N+1)$ , где N - количество порций. Кроме того объект имеет как минимум N ссылок вниз. Поэтому перед формированием набора пор-

ций с именем KI рекомендуется выделить память под него, обратившись к соответствующей подпрограмме ПС ИСД [1].

Участки поверхности KP должны иметь тип 31 или 41, т.е. быть полностью определенными. Пополнение набора KI участком KP осуществляется подпрограммой MC150.

Обращение:

**CALL MC150(KI,KP)**

где KI - идентификатор; имя набора; если KI=0, то MC150 образует набор из одного участка;

KP - идентификатор; имя участка поверхности, тип KP равен 31 или 41.

Результат:

KIEL(10)=0: набор пополнен;

KIEL(10)!=0: если KI=0, то нет места под формируемый набор; если KI !=0, то KP не включен в набор KI.

Для вычисления координат точки на поверхности набора необходимо знать: N - количество порций в наборе, KN - имя участка поверхности, которому принадлежат точка и параметры u, v, которые определяют эту точку. Операция реализуется подпрограммами MC151, MC152, MC155.

Обращение:

**CALL MC151(KI,N)**

где KI - идентификатор; имя набора участков поверхностей;

N - целое, выходной параметр.

Результат:

N - количество участков в наборе.

Обращение:

**CALL MC152(KI,N,KN)**

где KI - идентификатор; имя набора;

N - целое, номер (по порядку) участка в наборе;

KN - целое, выходной параметр, имя участка с номером N.

Результат:

KN - идентификатор; имя набора. Необходимо, чтобы участок с номером N (по порядку формирования) существовал.

Обращение:

**CALL MC155(KI,N,u,v,R)**

где KI - идентификатор; имя набора;

N - номер участка в наборе;

u - вещественное; параметр точки;

v - вещественное; параметр точки;

R=R(3) - вещественный массив, в который записывается результат.

Результат:

KIEL(10)=0: точка вычислена; массив-результат имеет следующее строение: R=(X(u,v),Y(u,v),Z(u,v));

KIEL(10)!=0: точка не вычислена: имеется ошибка в данных. Очевидно, что если мы знаем имя KN N-го участка, то координаты точки можно вычислить обращением к подпрограмме MC125.

## 2.2.4. Преобразование сдвига, масштабирования и поворота

### 2.2.4.1. Сдвиг и масштабирование

Указанные операции над кривыми, участками поверхностей и наборами порций осуществляются подпрограммами MC170, MC174 и MC175. Однако перед дальнейшим использованием объектов необходимо обратиться последовательно к подпрограммам MC171 для всех трех типов объектов, MC3031 для участка поверхности и MC176 для набора порций. Кривые, входящие в рассматриваемые объекты, после преобразования метятся, чтобы не быть преобразованными дважды. Подпрограмма MC171 эти метки снимает. Подпрограммы MC3031 и MC176 пересчитывают заново рабочие величины участков поверхностей.

Параметр L этих подпрограмм определяет операцию сдвига ( $L=0$ ) на вектор  $(X, Y, Z)$  или масштабирования ( $L=1$ ), т.е. умножения координат точки объекта на коэффициенты X, Y и Z.

Обращение:

```
CALL MC170(KI,X,Y,Z,L)
```

где KI - идентификатор; имя кривой;

X - вещественное число; параметр преобразования по оси X;

Y - вещественное число; параметр преобразования по оси Y;

Z - вещественное число; параметр преобразования по оси Z;

L - целое; L=0 - сдвиг, L=1 - масштабирование.

Результат:

KIEL(10)=0: операция выполнена, кривая KI преобразована;

KIEL(10)!=0: операция не выполнена.

Обращение:

```
CALL MC174(KI,X,Y,Z,L)
```

где KI - идентификатор; имя участка поверхности;

X - вещественное число; параметр преобразования по оси X;

Y - вещественное число; параметр преобразования по оси Y;

Z - вещественное число; параметр преобразования по оси Z;

L - целое; L=0 - сдвиг, L=1 - масштабирование.

Результат:

KIEL(10)=0: операция выполнена, участок поверхности преобразован;

KIEL(10)!=0: операция не выполнена; объект портится.

Обращение:

```
CALL MC175(KI,X,Y,Z,L)
```

где KI - идентификатор; имя набора участков поверхности;

X - вещественное число; параметр преобразования по оси X;

Y - вещественное число; параметр преобразования по оси Y;

Z - вещественное число; параметр преобразования по оси Z;

L - целое число; L=0 - сдвиг, L=1 - масштабирование.

Результат:

KIEL(10)=0: операция выполнена;

KIEL(10)!=0: операция не выполнена; объект портится.

3533847.00026-02 33 01

Обращение:

CALL MC171

Результат: сняты метки у кривых. Кривые считаются помеченными, если их тип 11 или 21; снятие метки означает изменение типа на 10 или 20.

Обращение:

CALL MC176(KI)

где KI - идентификатор, имя набора участков поверхностей.

Результат:

KIEL(10)=0: набор подготовлен к вычислениям;

KIEL(10)!=0: ошибка в данных набора (например, перед этим не было обращения к MC171 или один из участков набора не определен и не сработало обращение к MC3031).

#### 2.2.4.2. Поворот вокруг оси

Пусть задана ось, проходящая через упорядоченную пару точек  $(X_0, Y_0, Z_0)$  и  $(X_1, Y_1, Z_1)$  и угол F. Обозначим  $\cos=\cos(F)$ ,  $\sin=\sin(F)$ . Тогда кривую, участок поверхности или набор порций можно повернуть вокруг данной оси против часовой стрелки на угол F, если смотреть от точки  $(X_1, Y_1, Z_1)$  в направлении точки  $(X_0, Y_0, Z_0)$ . В случае, если  $F < 0$ , тот же поворот осуществляется по часовой стрелке. Такая операция реализуется подпрограммами MC180, MC184 и MC185. Однако перед дальнейшим использованием объектов необходимо последовательно обратиться к подпрограммам MC171 - для всех трех типов объектов, MC3031 - для участка поверхности и MC176 - для набора порций.

Обращение:

CALL MC180(KI, X0, Y0, Z0, X1, Y1, Z1, COS, SIN)

где KI - идентификатор, имя кривой;

X0 )

Y0 |

Z0 | - вещественные параметры, определяющие ось

X1 > вращения;

Y1 |

Z1 |

)

COS - косинус угла поворота;

SIN - синус угла поворота.

Результат:

KIEL(10)=0: поворот объекта выполнен;

KIEL(10)!=0: ошибка в данных (например, не снята метка).

Обращение:

CALL MC184(KI, X0, Y0, Z0, X1, Y1, Z1, COS, SIN)

где KI - идентификатор, имя участка поверхности;

3533847.00026-02 33 01

```

X0 )
Y0
Z0 - вещественные параметры, определяющие ось
X1 > вращения;
Y1
Z1
)
COS - косинус угла поворота;
SIN - синус угла поворота.

```

**Результат:**

KIEL(10)=0: поворот объекта выполнен;  
 KIEL(10)!=0: поворот объекта не выполнен; объект портится.

**Обращение:**

```
CALL MC185(KI,X0,Y0,Z0,X1,Y1,Z1,COS,SIN)
```

где KI - идентификатор, имя набора участков поверхности;

```

X0 )
Y0
Z0 - вещественные параметры, определяющие ось
X1 > вращения;
Y1
Z1
)
COS - косинус угла поворота;
SIN - синус угла поворота.

```

**Результат:**

KIEL(10)=0: поворот объекта выполнен;  
 KIEL(10)!=0: поворот объекта не выполнен; объект портится.

### 2.2.5. Дублирование кривой, порции или набора

Дублирование объектов может понадобиться, например, при конструировании нового объекта при помощи преобразований ранее заданного объекта. Поэтому в комплекте подпрограмм КП предусмотрена возможность дублирования кривой, порции или набора участков поверхности. Эти действия выполняются соответственно подпрограммами MC190, MC194 и MC195. В этих подпрограммах используется подпрограмма MC191, описание которой дано в подразд. 2.6.

Обращение ко всем трем подпрограммам дублирования практически одинаково.

**Обращения:**

```

CALL MC190(KI,KD)
CALL MC194(KI,KD)
CALL MC195(KI,KD)

```

где KI - идентификатор, имя кривой в MC190, имя участка поверхности в MC194, имя наборов участков поверхности в MC195;

KD - идентификатор, имя дубля кривой в MC190, имя дубля участка поверхности в MC194, имя дубля набора участков поверхностей в MC195, начальное значение KD=0.

**Результат:**

KIEL(10)=0: дубль создан;  
 KIEL(10)!=0: дубль не создан;

### 2.3. Программы описания участков поверхностей специального вида

В этом подразделе вводятся два новых типа участков поверхности. Наша цель заключается в том, чтобы на примере осесимметричных порций поверхности показать, насколько сложно или просто пополняется описываемый комплект подпрограмм. Именно по этой причине описание средств задания поверхностей приводится в п.2.3.1-2.3.2.

#### 2.3.1. Поверхность вращения

Будем считать, что образующая поверхности вращения задана кривой  $K_1$ , а ось вращения - кривой  $K_2$ . Естественно предполагать, что кривые  $K_1$  и  $K_2$  задаются подпрограммами описываемого комплекта, т.е. являются вектор-функциями параметра  $v \in [0,1]$ . Поверхность  $K_1$  как вектор-функция двух параметров  $(u,v) \in (0,1) \times (0,1)$  получается ориентированным поворотом образующей  $K_1$  вокруг оси  $K_2$  (против часовой стрелки). Максимальный угол поворота  $F$  (в градусах) соответствует значению параметра  $u=1$ . Угол  $F$  можно задавать как положительным, так и отрицательным. Внешняя нормаль к порции вращения может быть направлена либо от оси, либо к оси вращения. Итак, параметр  $v$  определяет пространственную точку кривой  $K_1$ , параметр  $u$  определяет угол поворота  $(u*F)$  этой точки вокруг кривой  $K_2$  - оси и мы получаем точку поверхности вращения.

Для того, чтобы включить в комплект подпрограмм новый тип объекта, необходимо выполнить следующее:

- разработать подпрограмму построения объекта типа поверхность вращения, которая должна:
  - завести объект в архив;
  - присвоить ему тип (выбрали значение 35);
  - сформировать массив информационной части, содержащий, например, имя кривой-образующей и определяющий ее направление параметр, имя кривой-оси и определяющий ее направление параметр, максимальный угол поворота и параметр, определяющий направление нормали;
  - разработать подпрограмму определения точки на поверхности по параметрам  $(u,v)$ , а подпрограмму MC125 дополнить обращением к разработанной подпрограмме, если тип объекта равен 35;
  - подпрограмму MC135 дополнить группой операторов переопределения нормали к поверхности;
  - подпрограмму MC150 дополнить группой операторов, разрешающих включать в набор порций объект с типом 35;
  - подпрограммы MC174 и MC184 дополнить группой операторов, разрешающих преобразование кривых порций с типом 35;
  - подпрограмму MC194 дополнить группой операторов дублирования порции типа 35;
  - подпрограмму MC200 дополнить группой операторов, разрешающих вычислять характеристики порции с типом 35;
  - подпрограмму MC3031 дополнить, если необходимо, группой операторов подготовки рабочих величин в информационном массиве.

Последний этап для поверхности вращения отсутствует. Объем всех дополнений не превышает 50 операторов. Подпрограмма построения поверхности вращения содержит не более 25 операторов, подпрограмма вычисления точки на поверхности вращения содержит не более

3533847.00026-02 33 01

- 25 операторов. На рис.2-5 иллюстрируется построение поверхности вращения.

Поверхность вращения кривой  $K_1$  вокруг оси  $K_2$ ,  $F > 0$ ; нормаль направлена от оси  $K_2$

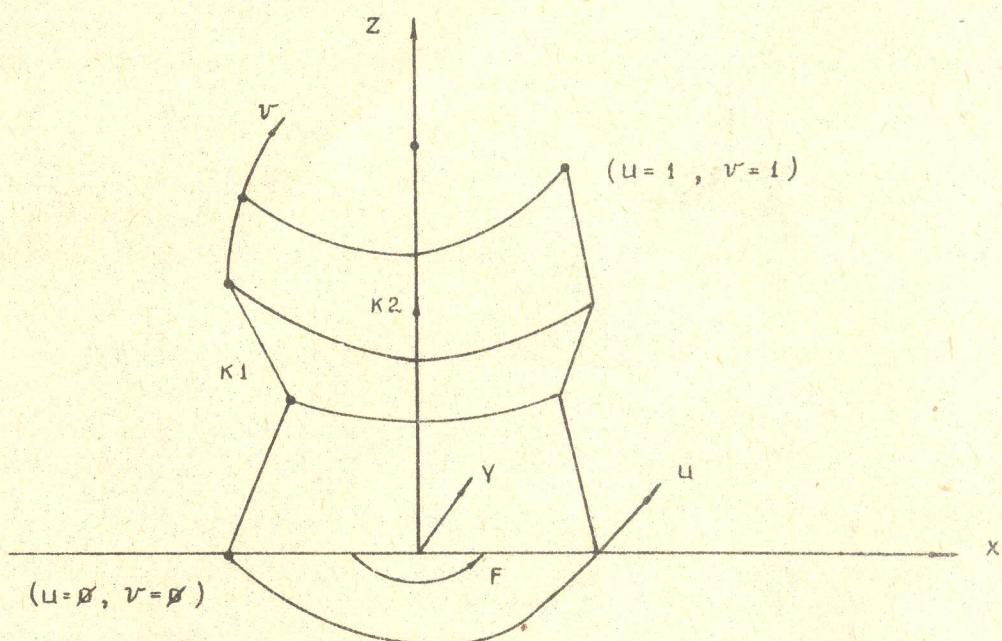


Рис. 2

3533847.00026-02 33 01

Поверхность вращения кривой  $K_1$  вокруг оси  $K_2$ ,  $F < 0$ ; нормаль направлена от оси  $K_2$

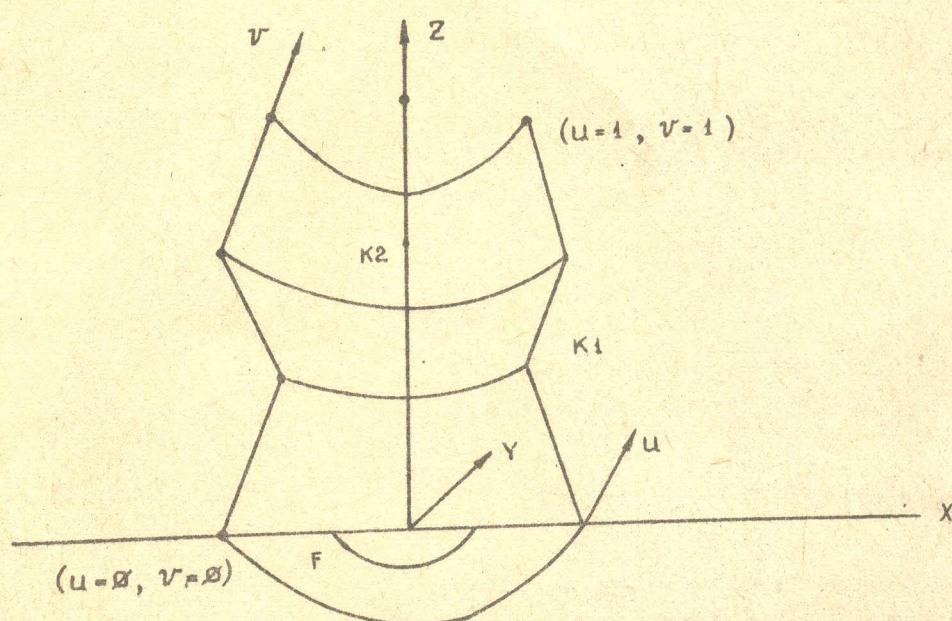


Рис. 3

Поверхность вращения кривой  $K_1$  вокруг оси  $K_2$ ,  $F > 0$ ; нормаль направлена к оси  $K_2$

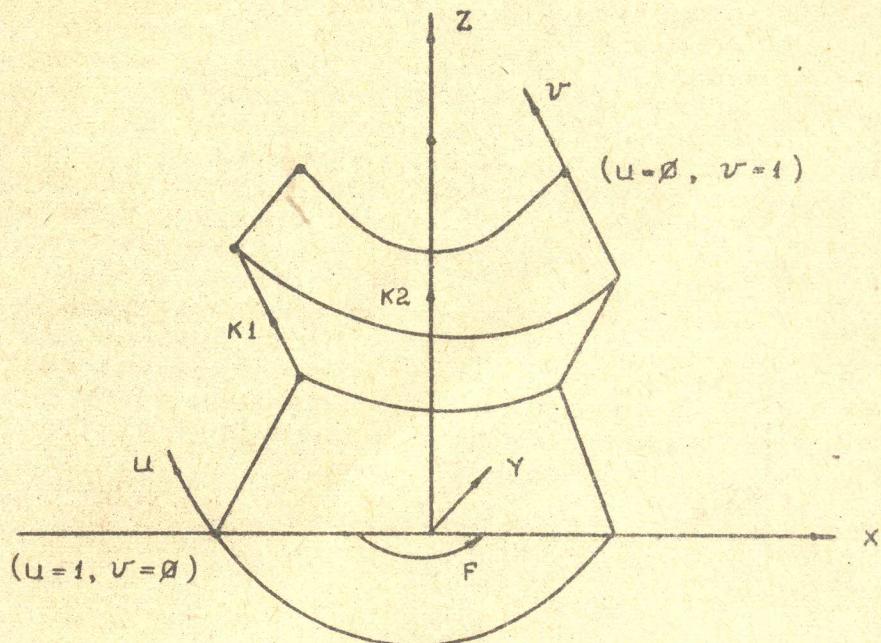


Рис. 4

Поверхность вращения кривой  $K_1$  вокруг оси  $K_2$ ,  $F < 0$ ; нормаль направлена к оси  $K_2$

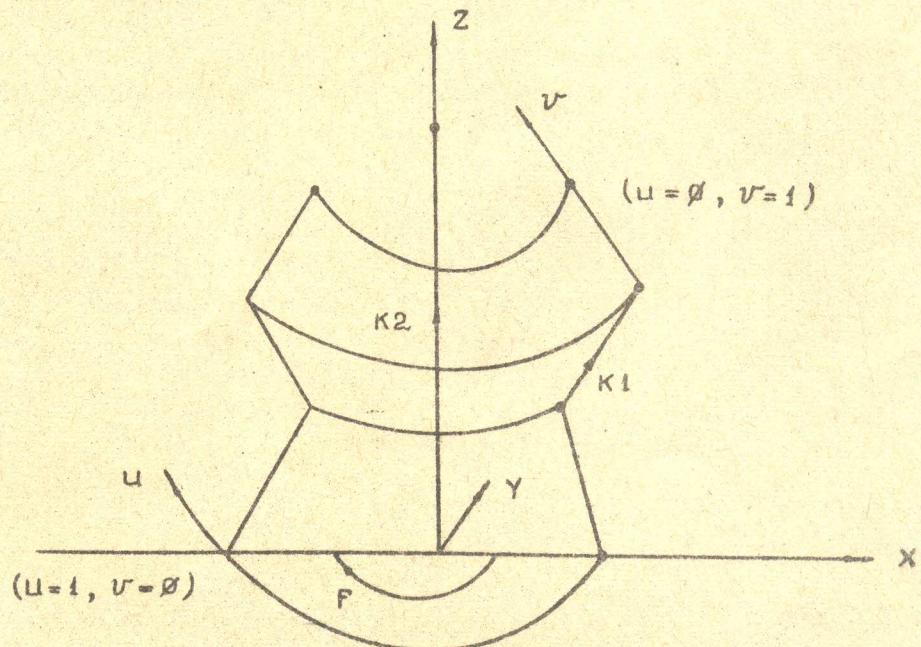


Рис. 5

Ось вращения может отличаться от прямолинейного отрезка. Построение поверхности вращением кривой  $K_1$  вокруг криволинейной оси  $K_2$  не отличается по программной реализации от случая прямолинейной оси. Однако кривая  $K_2$ , определяющая ось вращения, должна иметь непрерывные производные до второго порядка включительно. Кроме того, параметрические задания образующей  $K_1$  и оси  $K_2$  должны быть согласованы. Отрезок, соединяющий точки  $K_1(v)$  и  $K_2(v)$ , должен быть ортогонален касательной к оси  $K_2$  в точке  $K_2(v)$ . Точка  $K_1(v)$  будет вращаться вокруг этой касательной. Более того, максимальное удаление точки  $K_1(v)$  от  $K_2(v)$  определяется радиусом кривизны  $K_2$ . Чем меньше этот радиус, тем меньше должно быть удаление. Геометрически это требование можно сформулировать следующим образом. Пусть  $R(v)$  - радиус круга с центром в точке  $K_2(v)$  и ортогонального касательной к кривой  $K_2$  в этой же точке. Пусть никакие два круга  $R(v_1)$  и  $R(v_2)$  не имеют общих точек, если  $v_1 \neq v_2$ . Предположим, что для каждого  $v$ ,  $R(v)$  является максимально возможным радиусом. Через  $O(K_2)$  обозначим объединение всех полученных кругов. Тогда образующая  $K_1$  должна не выходить из  $O(K_2)$  (рис.6).

Поверхность вращения кривой  $K_1$  вокруг  
криволинейной оси  $K_2$

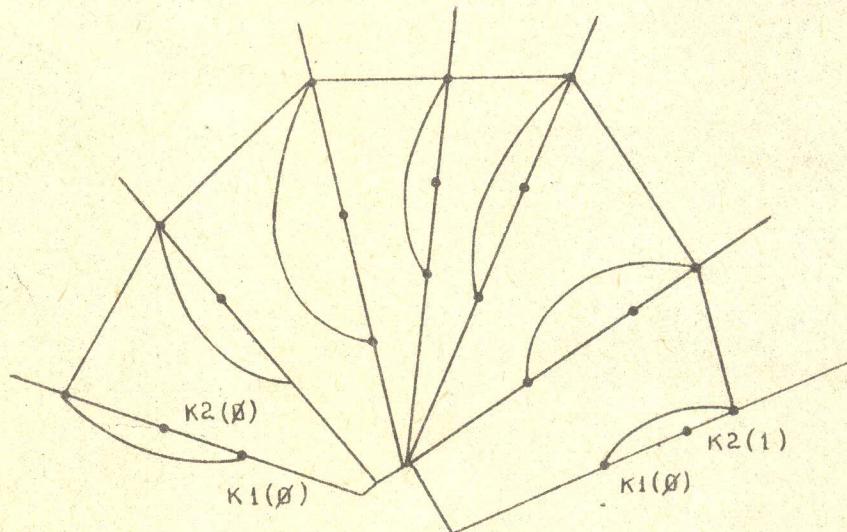


Рис. 6

Построение поверхности вращения кривой  $K_1$  вокруг оси  $K_2$  осуществляется подпрограммой MC3540.

Обращение:

CALL MC3540(KI, K1, Nk1, K2, Nk2, F, N)

где KI - идентификатор, имя объекта, начальное значение: KI=0;  
 $K_1$  - идентификатор, имя кривой-образующей поверхности;  
 $N_{k1}$  - целый параметр,  $N_{k1}=1$  означает, что направления кривой  $K_1$  и образующей совпадают,  $N_{k1}=-1$  означает, что они не совпадают;  
 $K_2$  - идентификатор, имя кривой-оси поверхности;