Введение

В условиях жесткой конкуренции, когда каждая ошибка на производстве может привести предприятие к банкротству, все большее внимание уделяется качеству режущего инструмента, используемого в производстве.

Именно поэтому к качеству режущего инструмента предъявляются высокие требования, так как он оказывает непосредственное влияние на точность и геометрическую форму обрабатываемого изделия. Поэтому и сам инструмент должен быть изготовлен достаточно точно.

Качество каждого режущего инструмента определяется его надежностью – способностью безотказно работать в соответствии со своим назначением, сохраняя все предусмотренные технологическими требованиями показатели в течении заданного времени и в определенных условиях эксплуатации.

Основные показатели надежности:

- размерная точность;
- точность геометрической формы;
- стойкость;

Изготовление зуборезного инструмента дорогостоящая и трудоемкая операция, и поэтому инструмент должен:

- проработать как можно большее количество времени,
- иметь запас переточек,
- запас стойкости,
- высокую производительность.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА В ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ.

При решении прямой и обратной задачи в инструментальном производстве часто возникает потребность в интерполяции теоретически точных кривых (поверхностей). В литературе имеется ряд частных решений связанных например с проектированием червячных шлицевых фрез и ряда других инструментов [2].

Сплайн кубический – это математическое построение, которое использует кубическую параболу для описания каждого участка кривой от одной точки до другой коэффициенты a_{i1}, … a_{i3} рассчитываются из условия непрерывности 1–ой и 2–ой производной внутренних точках.

$$y = a_{i0} + a_{i1}(x - x_i)^1 + a_{i2}(x - x_i)^2 + a_{i3}(x - x_i)^3 \qquad (1.1)$$

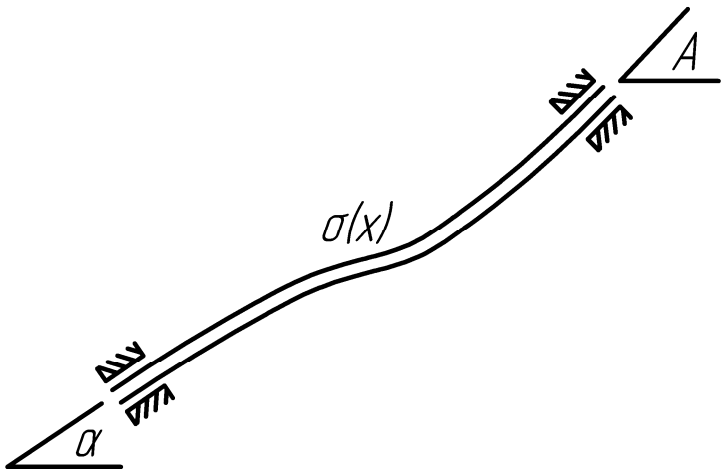


Рис. 1. Геометрическое представление сплайн функции.

Сплайны. Сейчас широкое распространение для интерполяции получило использование кубических сплайн функций – специальным образом построенных многочленов третьей степени. Они представляют собой некоторую математическую модель гибкого тонкого стержня из упругого материала. Если закрепить его в двух соседних узлах интерполяции с заданными углами наклонов α и β (рис.1), то между точками закрепления этот стержень (механический сплайн) примет некоторую

форму, минимизирующую его потенциальную энергию. Пусть форма этого стержня определяется функцией y=S(x). Из курса сопротивления материалов известно, что уравнение свободного равновесия имеет вид S^{IV} (x) == 0, Отсюда следует, что между каждой парой соседних узлов интерполяции функция S(x) является многочленом

$$S'(x) = b_i + 2c_i(x - x_{i-1}) + 3d_i(x - x_{i-1})^2 \quad (1.2)$$

$$S''(x) - 2c_i + 6d_i(x - x_{i-1}) \quad (1.3)$$

Приравнивая в каждом внутреннем узле x = x_t значения этих производных, вычисленные в левом и правом от узла интервалах, получаем 2n − 2 уравнений.

Недостающие два соотношения получаются из условий закрепления концов сплайна.

$$b_{i+1} = b_i + 2h_i c_i + 3h_i^2 d_{i1} \quad (1.4)$$

$$c_{i+1} = c_i + 3h_i d_i, i = 1, 2, \dots, n-1 \quad (1.5)$$

$$S(x_{i-1}) = a_i = y_{i-1,} \quad (1.6)$$

$$S(x_i) = a_i + b_i h_i + c_i h_i^2 + d_i h_i^2 = y_i, \quad (1.7)$$

$$h_i = x_i - x_{i-1}, i = 1, 2, \dots, n. \quad (1.8)$$

$$S(x) = a_i + b(x - x_{i-1}) + c_i(x - x_{i-1})^2 + d_i(x - x_{i-1})^2, x_{i-1} \le x \le x_i \quad (1.9)$$

$$S(x_{i-1}) = a_i = y_{i-1,} \quad (1.10)$$

$$S(x_i) = a_i + b_i h_i + c_i h_i^2 + d_i h_i^2 = y_i, \quad (1.11)$$

$$h_i = x_i - x_{i-1}, i = 1, 2, \dots, n. \quad (1.12)$$

$$S(x) = a_i + b(x - x_{i-1}) + c_i(x - x_{i-1})^2 + d_i(x - x_{i-1})^2, x_{i-1} \le x \le x_i \quad (1.13)$$

В частности, при свободном закреплении концов (см. рис. 1) можно приравнять нулю кривизну линии в этих точках. Такая функция, называемая свободным кубическим сплайном, обладает свойством минимальной кривизны, т. е. она самая гладкая среди всех интерполяционных функций данного класса. Из условий нулевой кривизны на концах следуют равенства нулю вторых производных в этих точках:

$$S(x_i)=c_i=0, \quad S(x_n) = 2c_n + 6d_n h_n = 0 \quad (1.14)$$

Представленные выше уравнения составляют систему линейных алгебраических уравнений для определения 4n коэффициентов a_i b_i, c, d_t (J — 1, 2, ..., n). Ее можно решить одним из методов, изложенных в гл. 4.Однако с целью экономии памяти ЭВМ и машинного времени эту систему можно привести к более удобному виду. Из условия (1.10)сразу можно найти все коэффициенты а. Далее из (1.13), (1.14) получим

$$d_i = \frac{c_{i+1}-c_i}{3h_i}, i = 1,2,\dots,n-1, d_n = -\frac{c_n}{3h_n}. \quad (1.15)$$

Подставим эти соотношения, а также значения $a_г$ = $y_{\{}$— 1в (1.11) и найдем отсюда коэффициенты (1.16).

$$b_i = \frac{y_i-y_{i-1}}{h_i} - \frac{h_i}{3}(c_{i+1}+2c_i),\ i = 1,2,\dots,n-1.$$

$$b_n = \frac{y_n-y_{n-1}}{h_n} - \frac{2}{3}h_n c_n \quad (1.16)$$

$$c_i = 0,\ c_{n+1} = 0$$

$$+h_i c_{i+1} = 3\left(\frac{y_i-y_{i-1}}{h_i} - \frac{y_{i-1}-y_{i-2}}{h_{i-1}}\right),\ i = 2,3,\dots,n. \quad (1.17)$$

Учитывая выражения (1.15) и (1.16), исключаем из уравнения (1.12) коэффициенты d_t и b. Окончательно получим следующую систему уравнении только для коэффициентов с,: Матрица этой системы трех диагональная, т. е. ненулевые элементы находятся лишь на главной и двух соседних с ней диагоналях, расположенных сверху и снизу. Для ее решения целесообразно использовать метод прогонки [5]. По найденным из системы (1.17) коэффициентам $c_{\{}$ легко вычислить коэффициенты cZ, b.

Позволяет использовать более точные методы замены. Рассмотрим один из таких способов на примере шлицевых фрез [8]. Согласно теореме Чебышева, при наилучшем приближении отклонения А достигают своего максимума на участке приближения п + 2 раза, где п — порядок аппроксимирующей кривой. Так как окружность — уравнение второго порядка, погреш-

ность замены достигает таких максимумов четыре раза, последовательно меняя свой знак.

$$\begin{cases} \rho_1 = \rho_3 \\ \rho_2 = \rho_4 \\ \frac{d\rho}{da} = 0 \end{cases} \quad (1.18)$$

При выполнении условий (1.18) получим:

$$\rho_A = 0{,}5(\rho_1 + \rho_4)$$

$$\Delta = |0{,}5(\rho_1 - \rho_4)|$$

$$\text{при } \Delta = \arcsin\frac{p}{r_w} > 10^{\circ} r_2 - r_w - 0{,}5h, r_0 = r_w - 0{,}9h;$$

$$\text{при } \Delta \leq 10^{\circ}\ r_2 = r_w - 0{,}4h, r_2 = r_w - 0{,}8h$$

Аппроксимация профиля дугами окружностей. Профиль шлицевой фрезы, как правило, заменяется окружностью (одной или двумя). Наиболее простой способ замены, обычно используемый при ручном проектировании, заключается в проведении окружности через три точки.

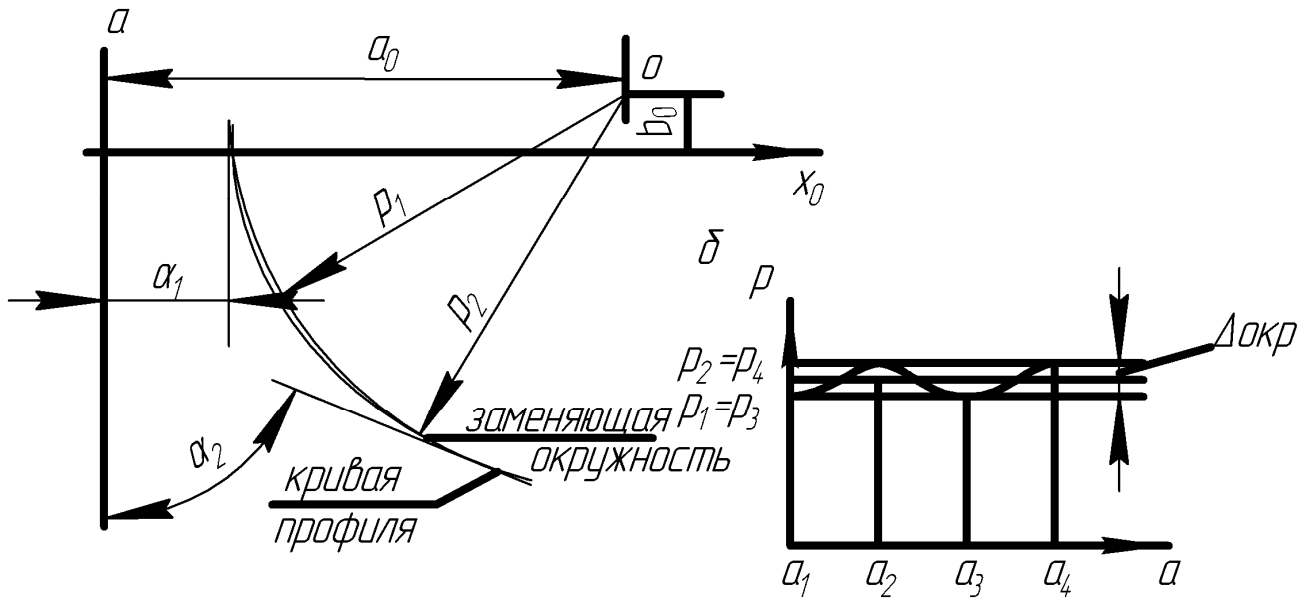


Рис. 2. Аппроксимация профиля шлицевой фрезы дугой окружности: а – схема аппроксимации; б – определение погрешности замены.

Существуют и другие способы аппроксимации. Например, аппроксимация кривой профиля фрезы как эвольвенты. Если

окажется, что погрешность замены, измеряемая в нормали к профилю фрезы, превышает допустимую, производится замена дугами двух окружностей (так называемое двух радиусное исполнение профиля). Профиль разбивается на два участка, из которых один заменяется окружностью, проводимой через три точки, другой окружностью, сопряженной с первой. Описанный способ аппроксимации, хотя и широко применяется при ручном проектировании, не гарантирует наилучшего приближения окружности к аппроксимируемой кривой. Применение ЭВМ позволяет использовать более точные методы замены. Рассмотрим один из таких методов на примере шлицевых фрез.

Применение интерполяции. Интерполяция применяется во многих задачах, связанных с вычислениями [2]. Укажем некоторые из этих задач. Обработка физического эксперимента — построение приближенных формул для характерных величин по табличным данным, полученным экспериментально. Построение приближенных формул по данным вычислительного эксперимента. Здесь возникают нестандартные задачи интерполяции, так как обычно пишутся формулы возможно более простой структуры. Субтабулирование, т. е. сгущение таблиц, применяется в тех случаях, когда непосредственное вычисление функций трудно или когда имеется мало экспериментальных данных. В машину вводится небольшая таблица, а нужные при расчетах значения функции находятся по мере необходимости по интерполяционной формуле. Интерполяция применяется также в задаче обратного интерполирования: задана таблица $y_i = y(x_i)$, найти x_i как функцию от y_i. Примером обратного интерполирования может служить задача о нахождении корней уравнения. Интерполяционные формулы используются также при вычислении интегралов, при написании разностных аппроксимаций для дифференциальных уравнений на основе интегральных тож-

деств. Математическое обеспечение любой ЭВМ содержит стандартные программы интерполирования.

В машиностроении одним из важных приложений теории аппроксимации возможно в полной мере использовать при решении задач определения необходимого профиля инструмента, работающего по методу отгибания.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИНТЕРПОЛЯЦИИ СПЛАЙНАМИ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ.

Во всех известных схемах интерполяции режущих кромок применяемых в инструментальном производстве отсутствует универсальный метод оценки погрешности интерполяции. Дан только ряд частных решений. Поэтому целью представленной выпускной работы магистра является: *повышение точности обработки поверхности детали в основном и инструментальном производстве.*

2.1 Цели и задачи выпускной квалификационной работы магистра.

Задачи:

1. Разработка алгоритма построения линии сечения $Л_c$ исходной поверхности с поверхностью одного из сечений в семействе сечений сопряженной поверхности.
2. Методика расчета погрешности интерполяции при описании поверхности с помощью сплайна двух переменных.

2.2 Интерполяция сплайном в инструментальном производстве

Интерполяция сплайнами получила широкое применение в разных областях техники: авиации, космической техники, при обработке деталей на станках с ЧПУ и так далее [15].

Очень важной проблемой при этом является оценка погрешности интерполяции, особенно в тех случаях, когда кривизна кривых как плоских, так и пространственных существенно изменяется [14].

Разработаны методы, позволяющие дать оценку погрешности интерполяции для кривых имеющих аналитическое представление [6].

При численном моделировании сопряженной поверхности этот прием (метод) практически неприемлем. Поэтому возникает необходимость в разработке методики предварительной оценки погрешности интерполяции сплайнами, а также точном расчете погрешности интерполяции кривой или поверхности описанных сплайнами. При оценке погрешности интерполяции следует учесть, что несмотря на то, что кубический сплайн относится к нелокальным сплайнам, он обладает ярко выраженными локальными свойствами. Формальная не локальность кубического сплайна означает, что его значения в точках, не совпадающих с узловыми, зависят от всей совокупности величины $f_i = f(x_i), \quad i = 0,\ldots,N$ для краевых условий третьего или четвертого типа. Однако наиболее существенное влияние на величину сплайна оказывают те значения числовой функции $f(x_i)$, которые заданы в точках близких к рассматриваемому отрезку $[x_i, x_{i+1}]$. Эти локальные свойства сплайна можно обосновать, разбив выражение на локальную часть в которую входят f_i, f_{i+1} и нелокальную, содержащую f'_i и f'_{i+1}. Локальные свойства кубического сплайна позволяют дать объективную оценку погрешности интерполяции с помощью значения шага и параметра $h_i K_i$.

Первая модификация численного метода заключается в том, что рассчитываются координаты точек пересечения координатных линий базового семейства исходной поверхности (инструментальной поверхности) с выбранной поверхностью сечения сопряженной поверхности.

В том случае если поверхность выступов и впадин представляют собой поверхности вращения, с фиксированным значением углового положения радиуса точки ϑ_{1i} (таблица 1)в этом случае рассчитываются координаты ряда узловых точек на линиях формообразования, задавшись значением z_{1j} для

рассматриваемого ряда торцевых сечений. После этого необходимо выполнить построение сплайнов, описывающих образующую поверхность выступов $S_a(r;z_1)$ или $S_a(r;\bar{s}_0)$, $S_a(z_1;\bar{s}_0)$, а также образующую поверхность впадин $S_f(r;z_1)$, или $S_f(r;\bar{s}_0)$, $S_f(z_1;\bar{s}_0)$.

При формировании семейства сечений поверхностями вращения необходимо задаться рядом торцевых сечений с аппликатами z_j, j=0…N_j. Задавшись количеством $N_{к+1}$ узловых точек для построения образующих, рассчитываем радиальный размер r_{1jk} каждой узловой точки по формуле:

$$r_{1jk} = r_{f1j} + \frac{(r_{a1j} - r_{f1j})k}{N_K},$$

где r_{a1j} – значение радиуса окружности впадин инструмента в j-ом торцевом сечении $r_{f1j} = S_f(r_1; z_{1j})$;

$r_{a1j} = S_a(r_1; z_{1j})$;

к – номер узловой точки к=0,1..N_k.

Далее для каждого к выполняется построение сплайнов $S_k(r;z_1)$ или $S_k(r_1;\bar{s}_0)$, $S_k(z_1;\bar{s}_0)$, которые описывают каждую «к»-ую образующую O_K (рис. 5).

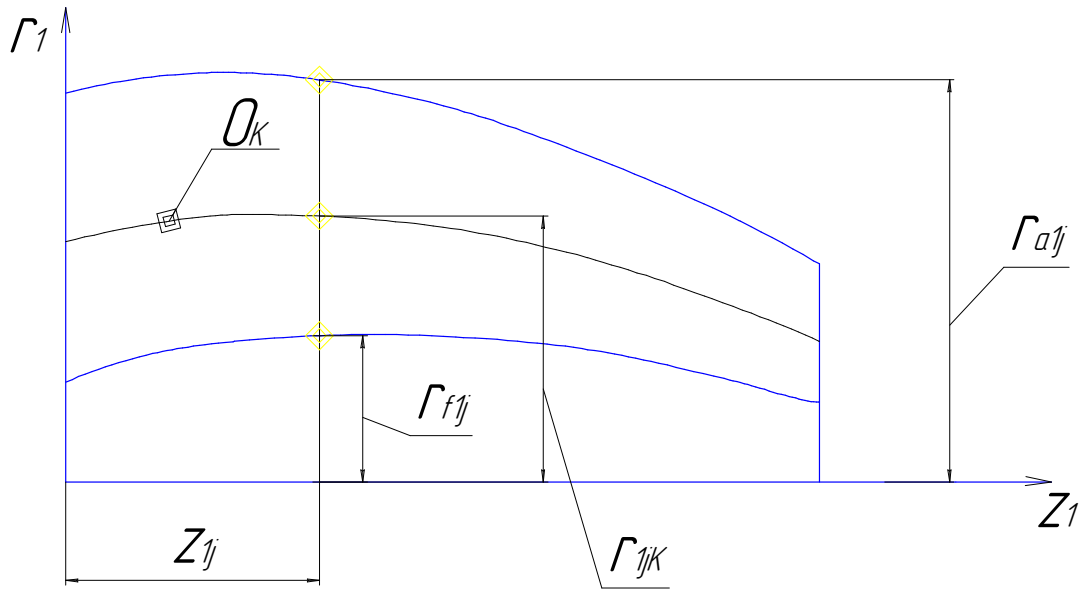


Рис. 5 Схема формирования системы сечений поверхностями вращения.

Приведенный метод формирования семейства сечений прост, очевиден, но пригоден не, во всех случаях. Достаточно часто при решении ряда задач необходимо выполнить оптимизацию количества сечений и их положения. Автоматизация выбора количества сечений и их положения (сетки сечений) с целью обеспечения необходимой точности интерполяции может быть выполнена при условии, что каждое из сечений однозначно определено непрерывно изменяющимся параметром. Для торцевых сечений этим параметром является координата z_{1j} ($\bar{s}_0$), для осевых сечений угол ϑ_{1i}, для нормальных сечений параметр $\bar{s}_n()$.

Применительно к поверхностям вращения в качестве такого параметра удобно взять нормированный параметр $\bar{s}_r \in [0,1]$. Для каждого j-го торцевого сечений необходимо выполнить построение сплайнов $S_j(r_1;\bar{s}_r)$ с применением нормированной параметризации на суммарной длине хорд.

Зафиксировав $\bar{s}_r$ на отрезке [0,1], далее для каждого j-го торцевого сечений $j=0,1,\ldots N_j$ рассчитываем значение r_{1j} по формуле:

$$r_{1j} = S_j(r_1;\bar{s}_r)$$

Используя значения r_{1j} и z_{1j} для соответствующих торцевых сечений, выполняем построение сплайна $S_{\bar{s}r}(r_1;z_1)$ или $S_{\hat{s}r}(r;\bar{s}_0)$, $S_{\bar{s}r}(z_1;\bar{s}_0)$, которые однозначно определят образующую, а соответственно и поверхность вращения т.о. в итоге параметр $\bar{s}_r$ будет однозначно определять форму и размеры поверхности вращения.

Таблица 1 Системы сечений

Код	Поверхность сечения 1-го семейства (на которой лежит координатная линия)	Поверхность сечения 2-го семейства	Линия формообразования	Параметр, по которому проводится оптимизация
1	2	3	4	5
1	Плоскость осевая	Плоскость торцевая $z=z_т$	прямая перпендикулярная к оси	Аппликата $z_т$
2	Плоскость осевая	Цилиндрическая поверхность с радиусом r	прямая перпендикулярная к оси	радиус r
3	Плоскость осевая	Поверхность вращения с образующей описанной сплайном	образующая описанная сплайном	Параметр Sr
4	Плоскость торцевая	Плоскость осевая $y=x*tg(\vartheta)$	прямая перпендикулярная к оси	Угол ϑ
5	Плоскость торцевая	Цилиндрическая поверхность с радиусом r	Окружность с радиусом r	радиус r
6	Плоскость нормальная	Поверхность вращения с образующей описанной сплайном	Кривая описанная параметрическим сплайном	Параметр Sr
7	Цилиндрическая поверхность с радиусом r	Плоскость торцевая $z=z_т$	Окружность с радиусом r	Аппликата $z_т$
8	Цилиндрическая поверхность	Плоскость осевая $y=x*tg(\vartheta)$	прямая параллельная оси	Угол ϑ
9	Поверхность вращения с образующей описанной сплайном	Плоскость торцевая $z=z_т$	Окружность с радиусом S(R,Zт)	Аппликата $z_т$
10	Поверхность вращения с образующей описанной сплайном	Плоскость осевая $y=x*tg(\vartheta)$	образующая описанная сплайном S(R,Z)	Угол ϑ

При решении прямой задачи исходной поверхностью является поверхность детали, сопряженной поверхностью производящая поверхность инструмента. При решении обратной задачи исходная поверхность это производящая поверхность (Пп), а сопряженная (Пд).

Для ряда полученных точек пересечения координатных линий с Пс выполняется построение параметрических сплайнов описывающих Лс. На втором этапе рассчитываются координаты точки пересечения Лс и Лф в качестве последней удобно взять линию пересечения поверхности 1-го и 2-го семейства сечения сопряженной поверхности.

Узловая точка сопряженной поверхности определяется как экстремальное положение точки в общем случае при многопараметрической параметризации.

Вторая модификация численного метода заключается в том, что исходная поверхность описывается сплайном двух переменных [8] координаты точки L рассчитываются непосредственно при взаимодействии исходной поверхности и линии формообразования, сопряженная поверхность таким же образом может быть представлена с помощью сплайна двух переменных.

2.2.1 Разработка алгоритма расчета координатной линии

По изложенной выше методике разработан алгоритм (рис. 6) расчета координат точек пересечения координатной линии (участка граничной линии), имеющей гармонический характер с плоскостью.

В зависимости от исходных данных поиск может происходить до определения первой точки или до определения координат всех точек. То есть происходить в прямом или обратном направлении. За это отмечает элемент блок-схемы 3.

Так же поиск может начинаться не от начала участка, а от какой либо заданной точки на кривой. За это отвечает элемент блок-схемы 6.

После этого производится расчет координат точки, используя в качестве параметра по которому можно производить оценку разность длин хорд ε_s. За это отвечают элементы 9-22.

После расчета производится вывод массива содержащего координаты точек.

В приведенном алгоритме многократно используется процедура расчета координат точек пересечения координатной линии с поверхностью сечения.

Причем в качестве поверхности сечения может быть выбрана осевая, торцевая, нормальная, плоскость или поверхность, полученная вращением вокруг оси детали или инструмента.

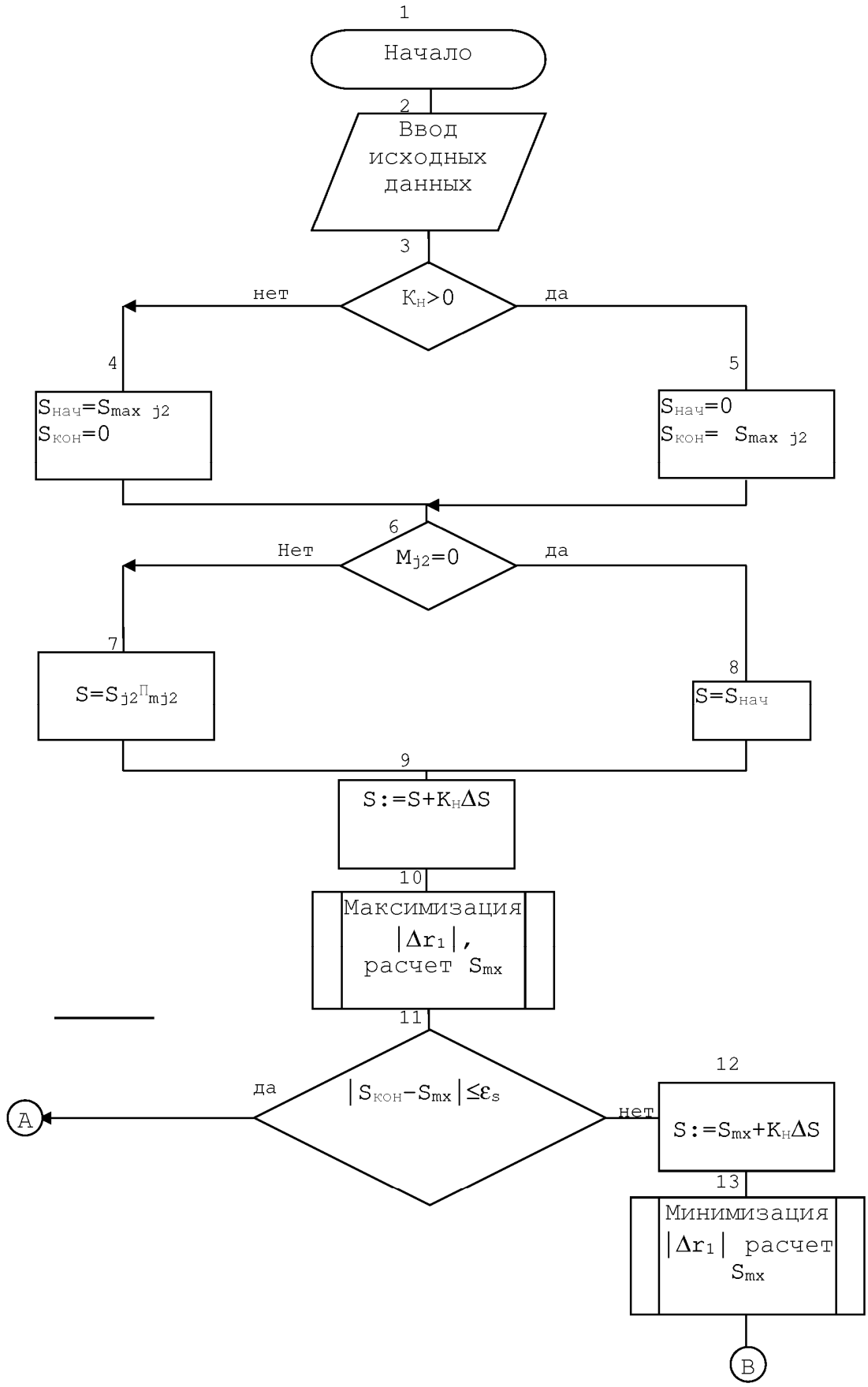
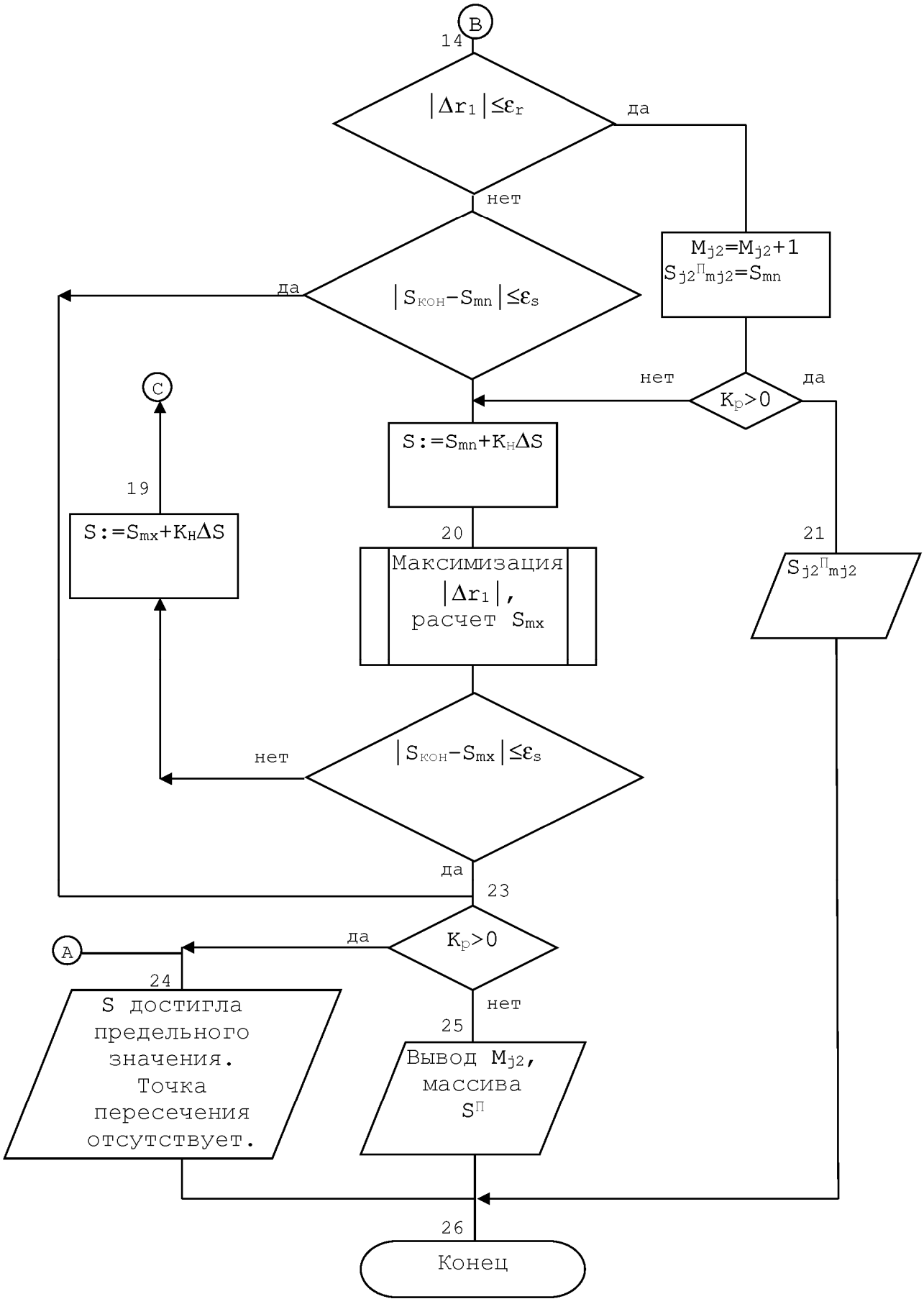


Рис. 6. Алгоритм расчета координат точек пересечения координатной линии (участка граничной линии), имеющей гармонический характер с плоскостью.



Продолжение рис.6.

2.2.2 Разработка алгоритма определения точек пересечения исходной поверхности с секущей поверхностью

В разрабатываемом алгоритме принимается допущение, что каждая «базовая» координатная линия I_2 имеет не более одной точки пересечения с поверхностью сечения.

Данные допущения хоть и ограничивают область применения алгоритма, но в подавляющем своем большинстве линии пересечения исходной и секущей поверхности могут быть определены при помощи данного алгоритма и лишь очень незначительная часть возможных линий сечения подпадает под введенные ограничения.

Все возможные варианты пересечения двух поверхностей с учетом ранее приведенных ограничений можно представить с помощью нескольких «элементарных» вариантов. Остальные варианты будут представлять собой одну или более комбинацию нескольких «элементарных» вариантов пересечения или их частей.

Все «элементарные» варианты приведены на рис 7.

Рассмотрим первый вариант расположения линии сечения, он представлен на рис. 7 под номером I, когда линия сечения проходит через всю исходную поверхность, пересекая только первую ($I_2=0$) и последнюю ($I_2=N_{i2}$) координатную линию базового семейства образующих.

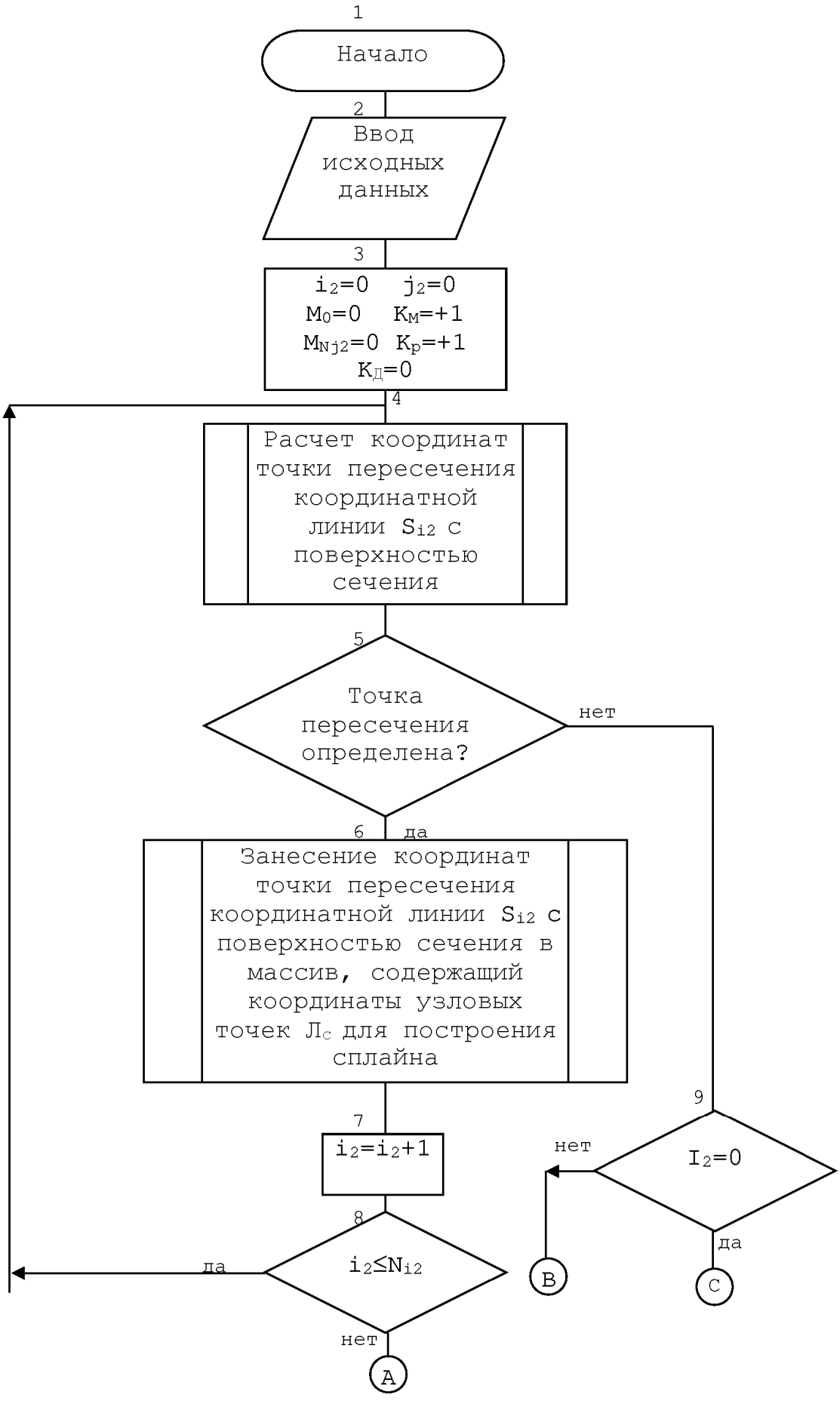


Рис. 10. Блок-схема алгоритма расчета параметров точки пересечения линии сечения (Лс) и линии формообразования (Лф).

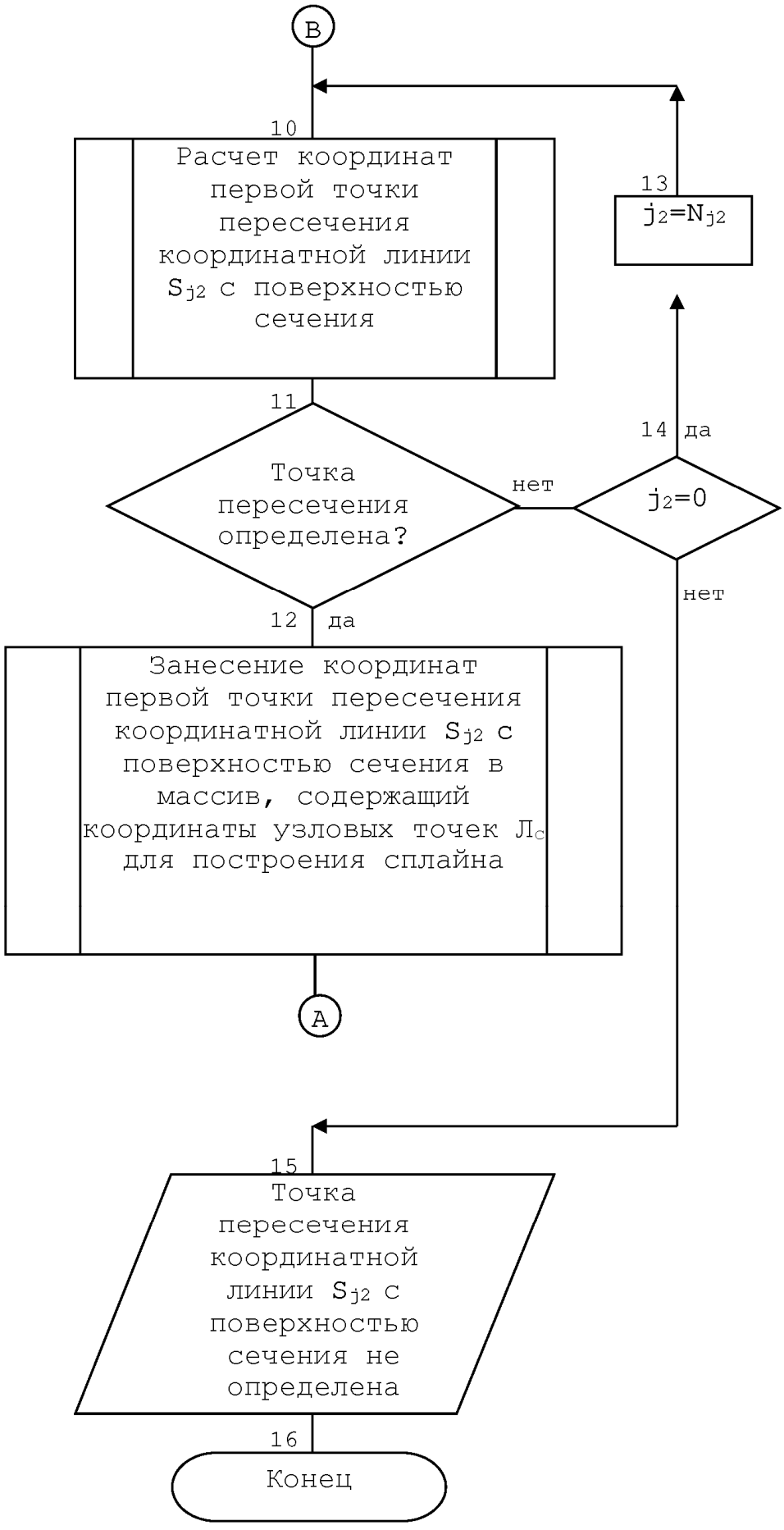


Рис. 10 (Продолжение)

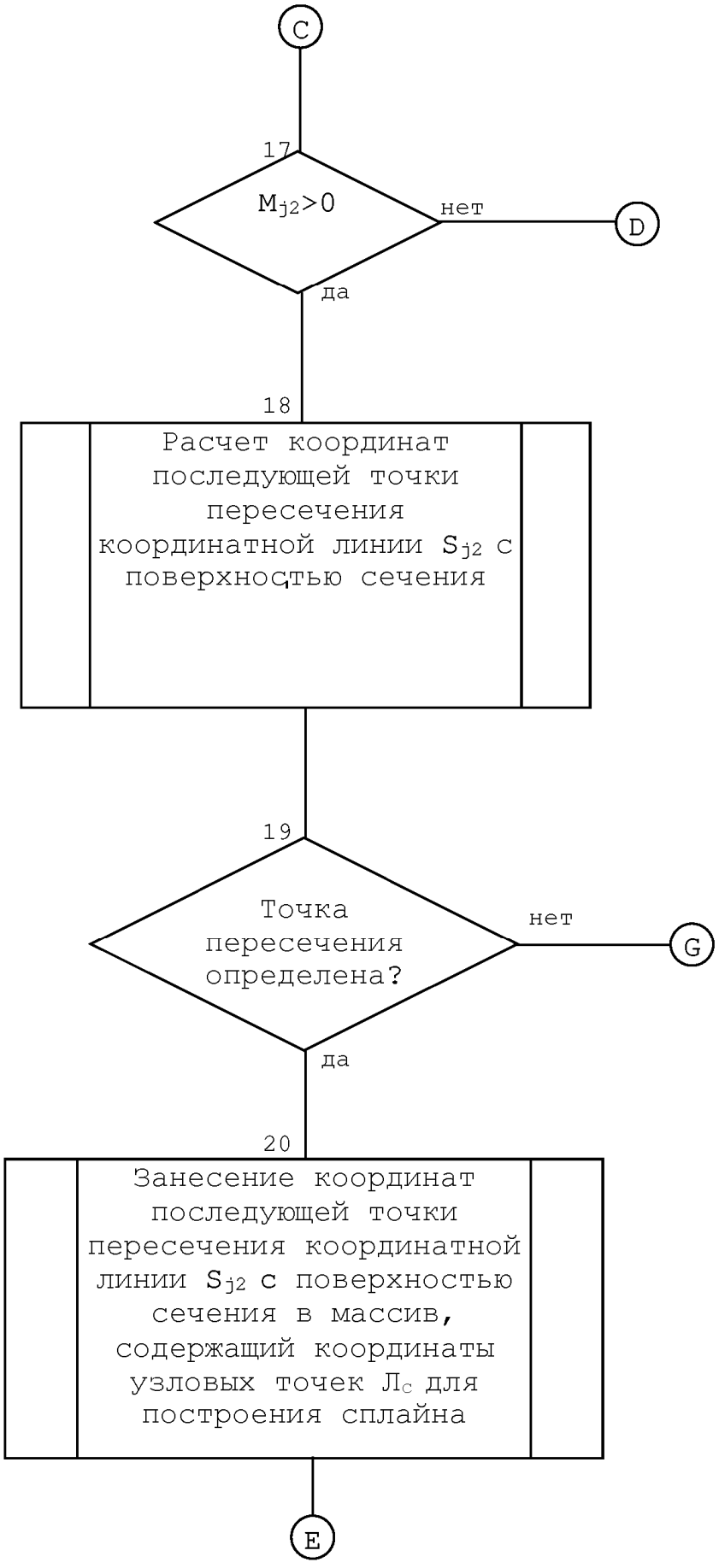


Рис. 10 (Продолжение)

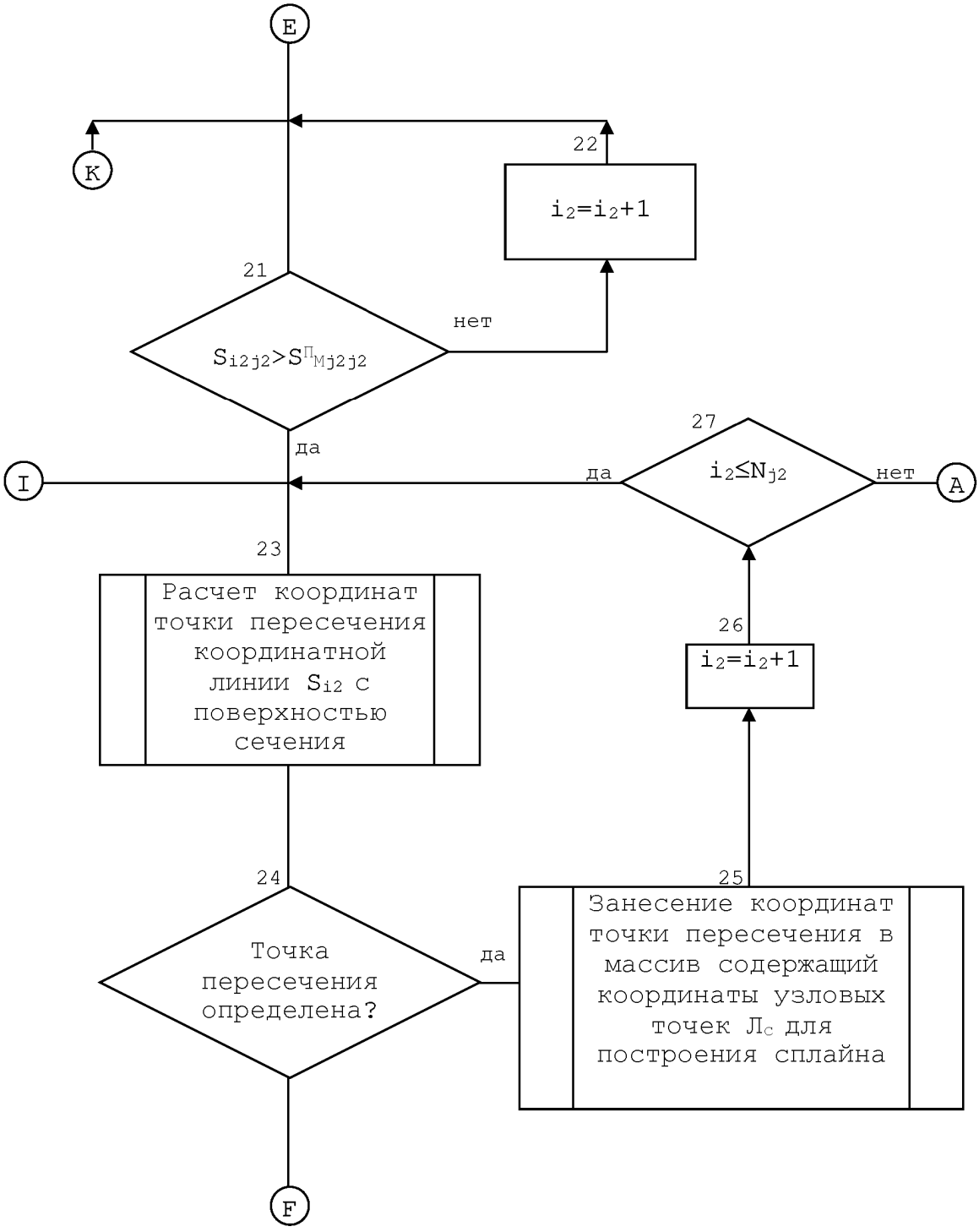


Рис. 10 (Продолжение)

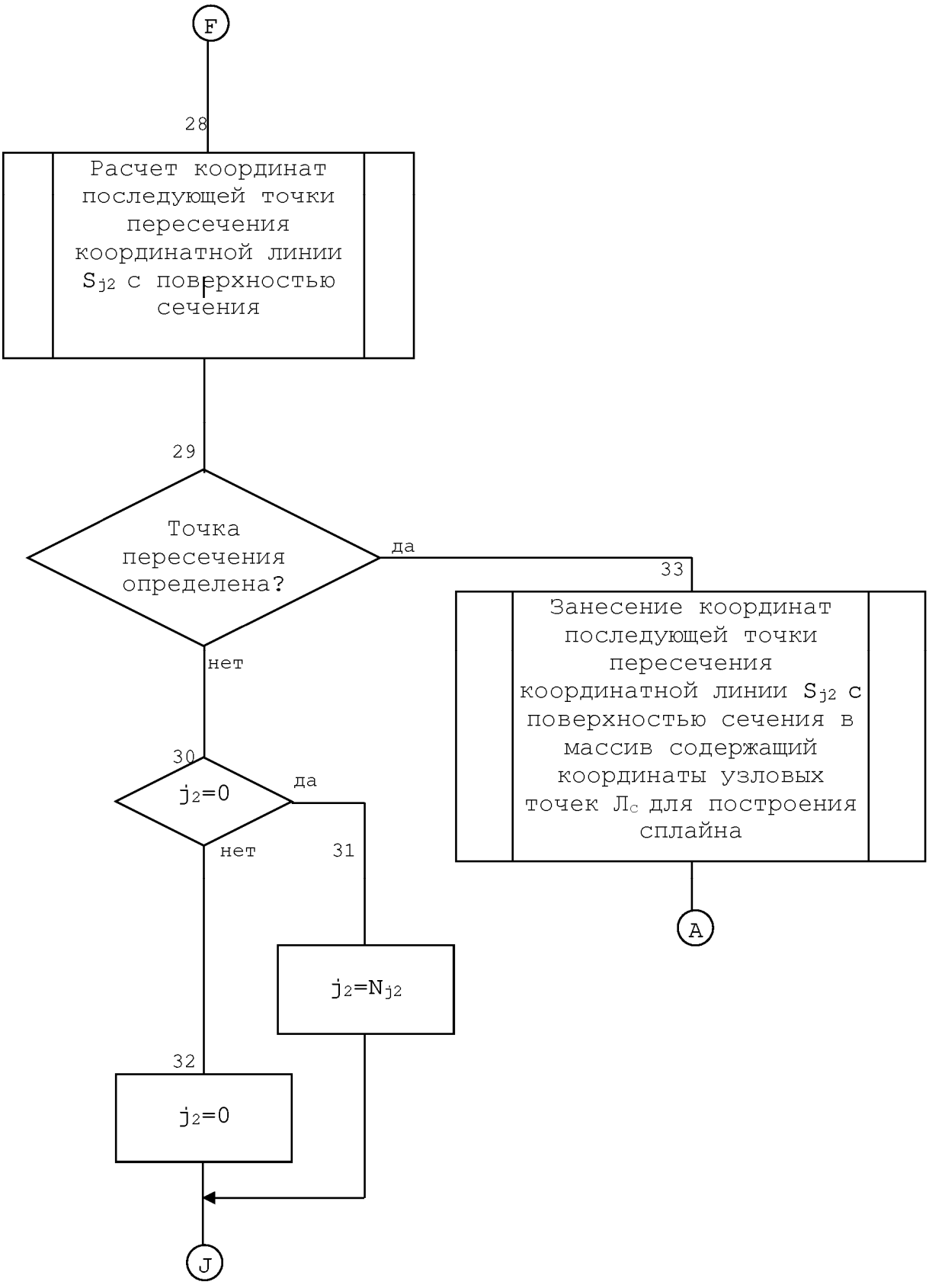


Рис. 10 (Продолжение)

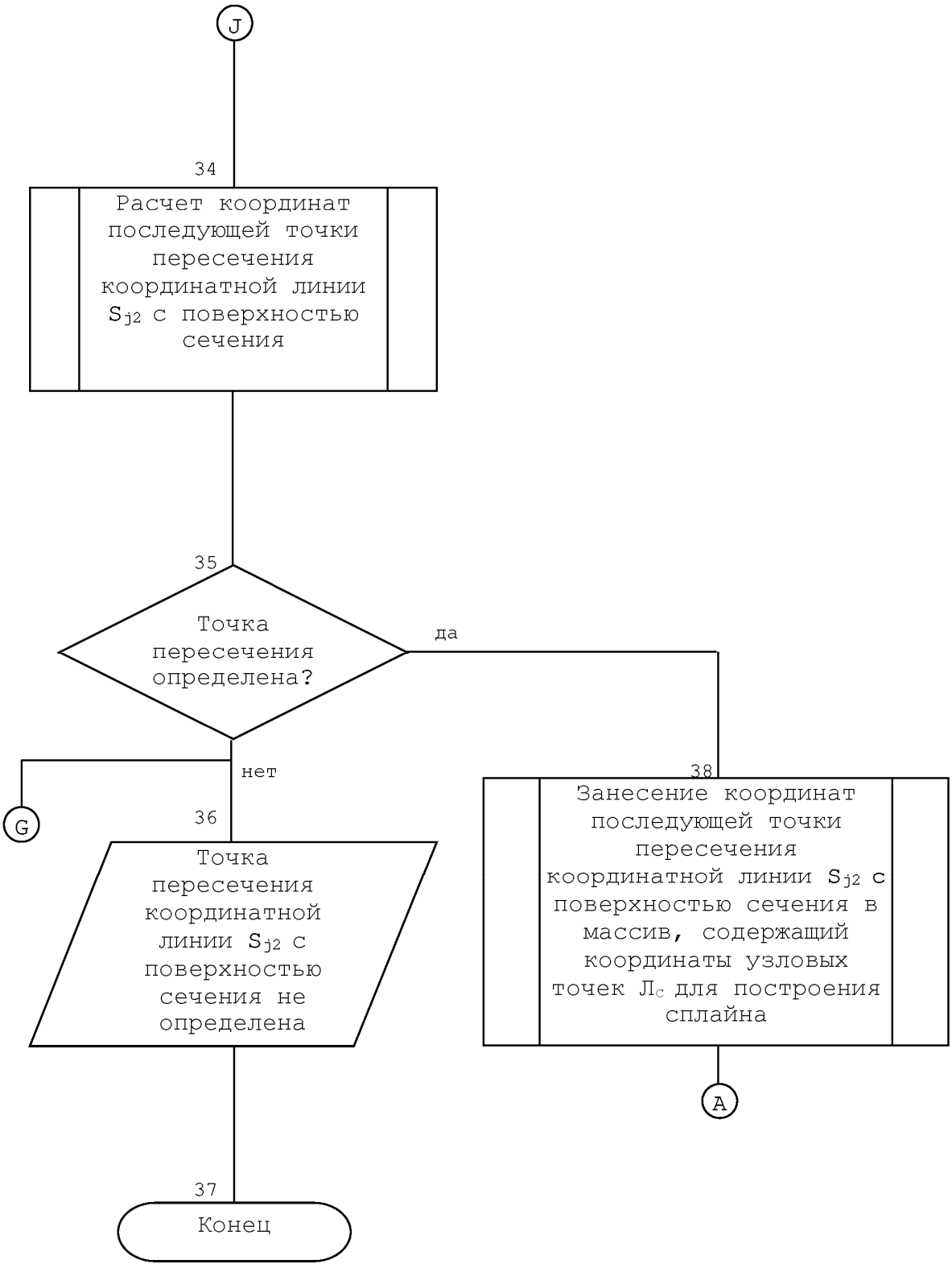


Рис. 10 (Продолжение)

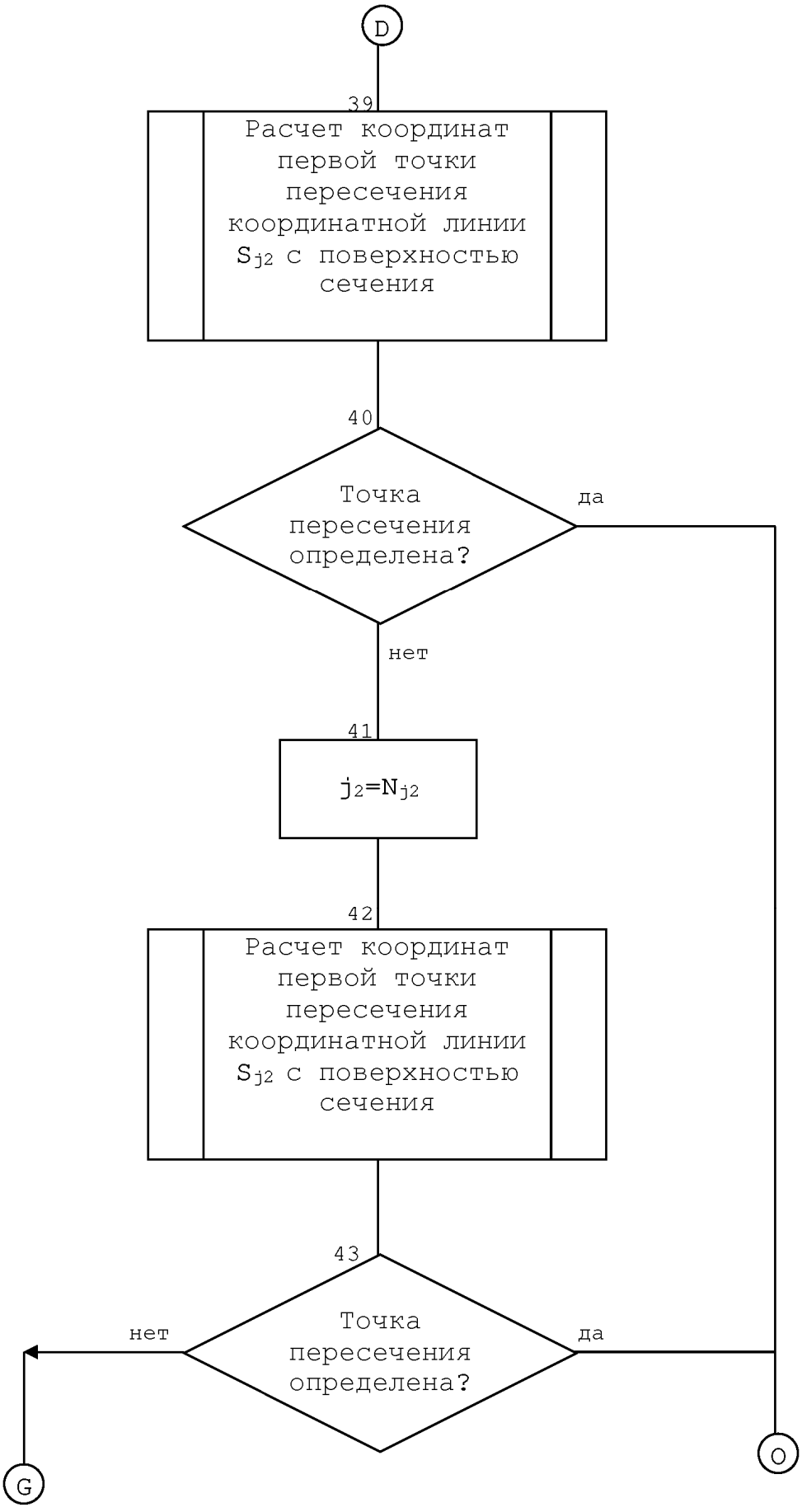


Рис. 10 (Продолжение)

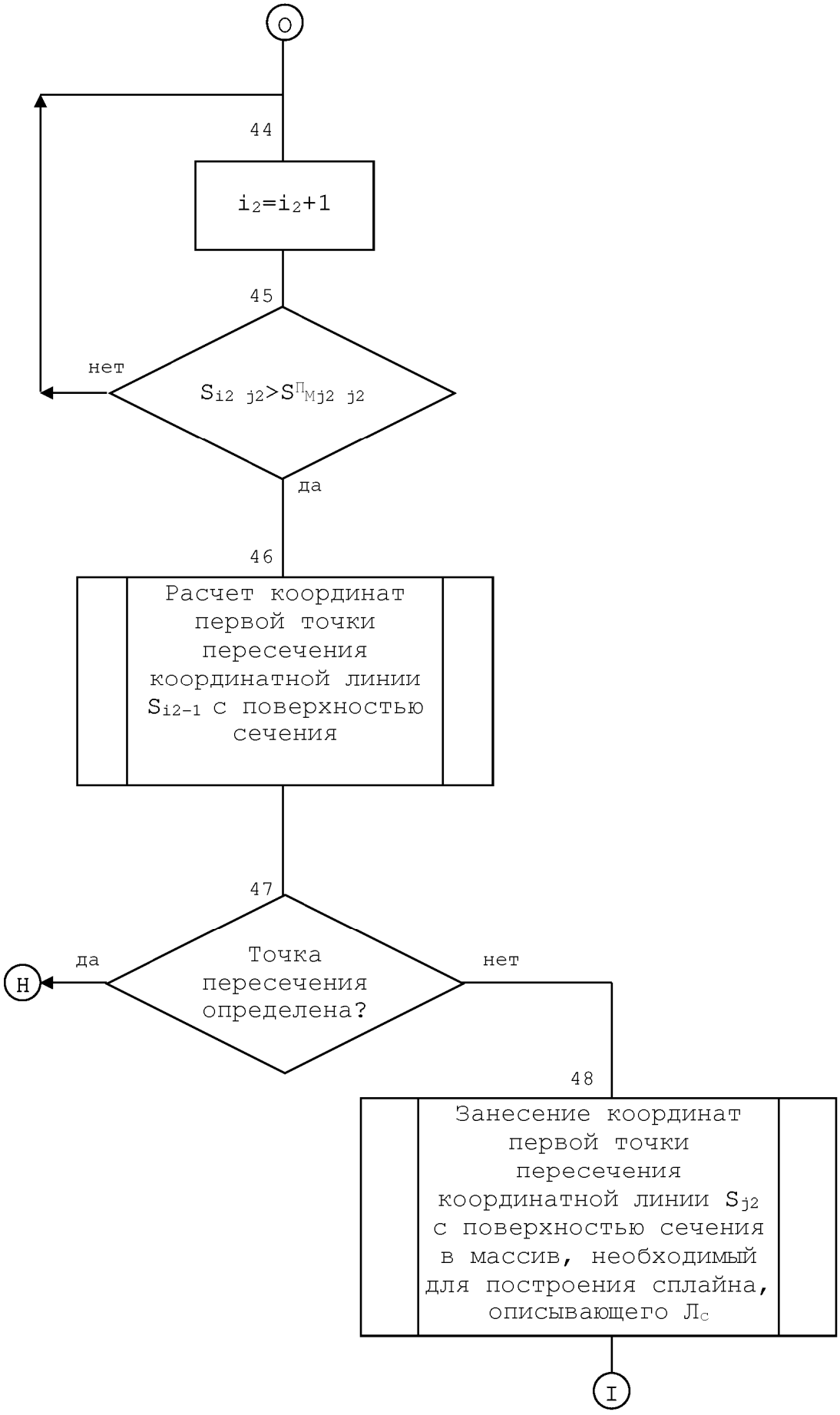


Рис. 10 (Продолжение)



Рис. 10 (Продолжение)

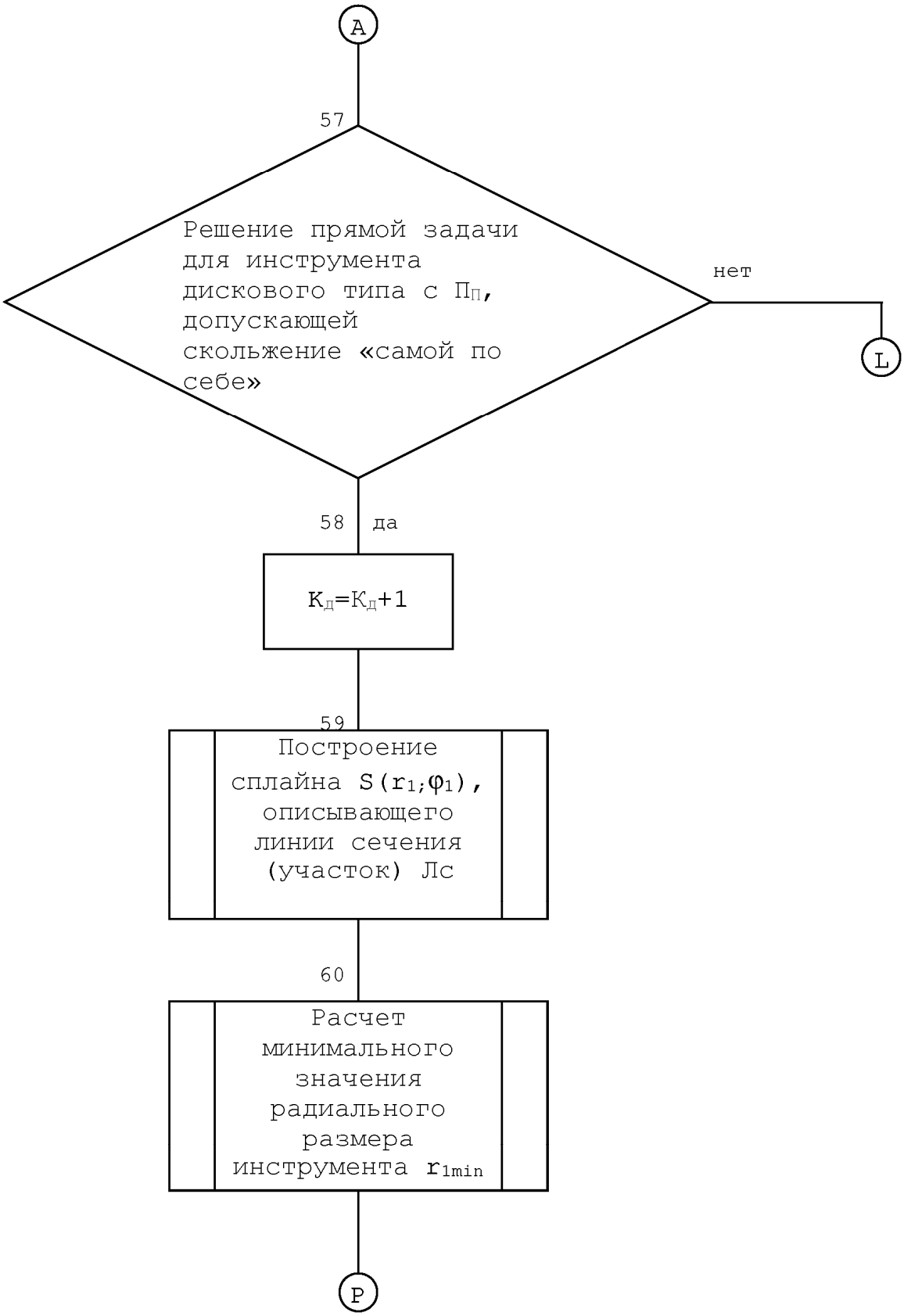


Рис. 10 (Продолжение)

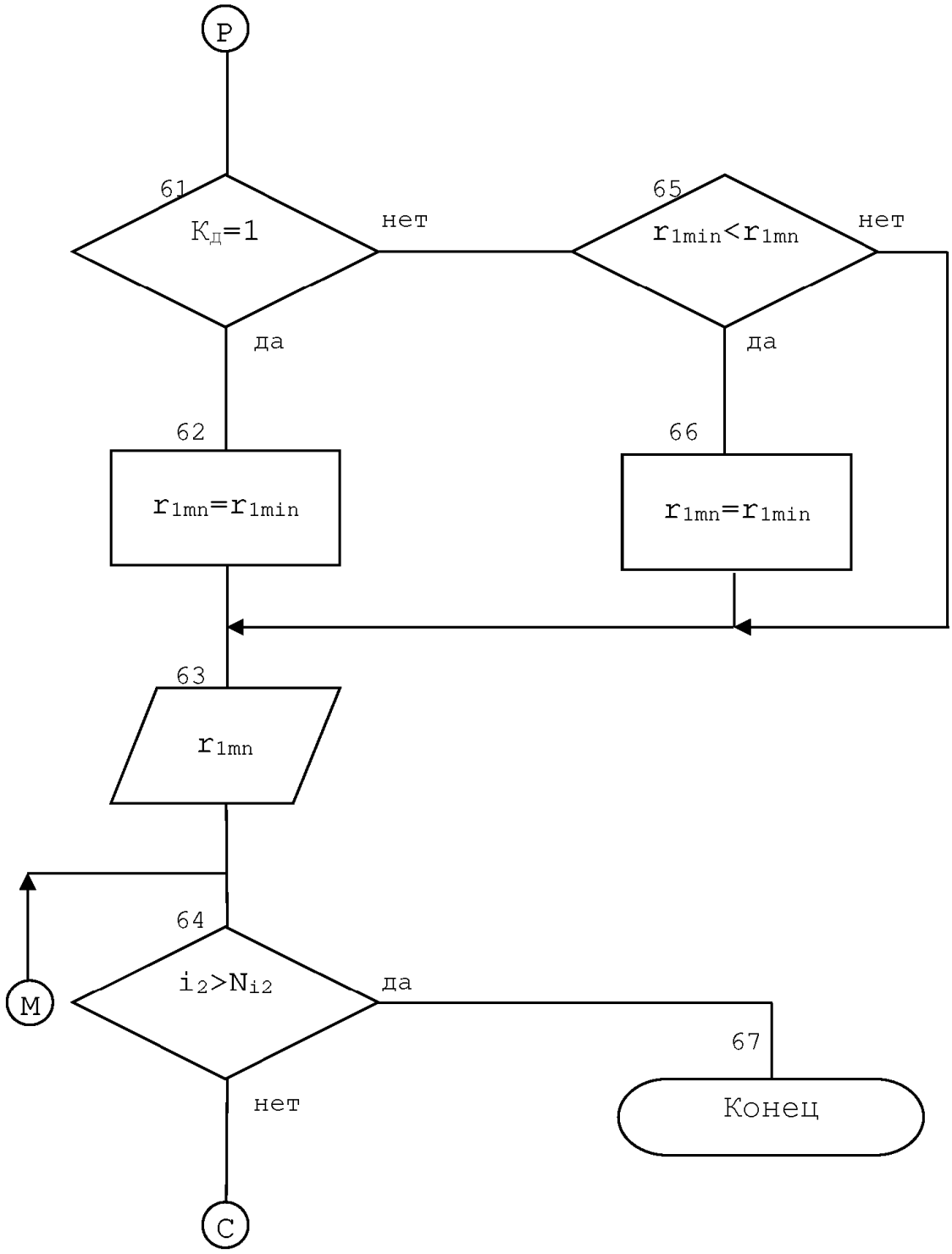


Рис. 10 (Продолжение)

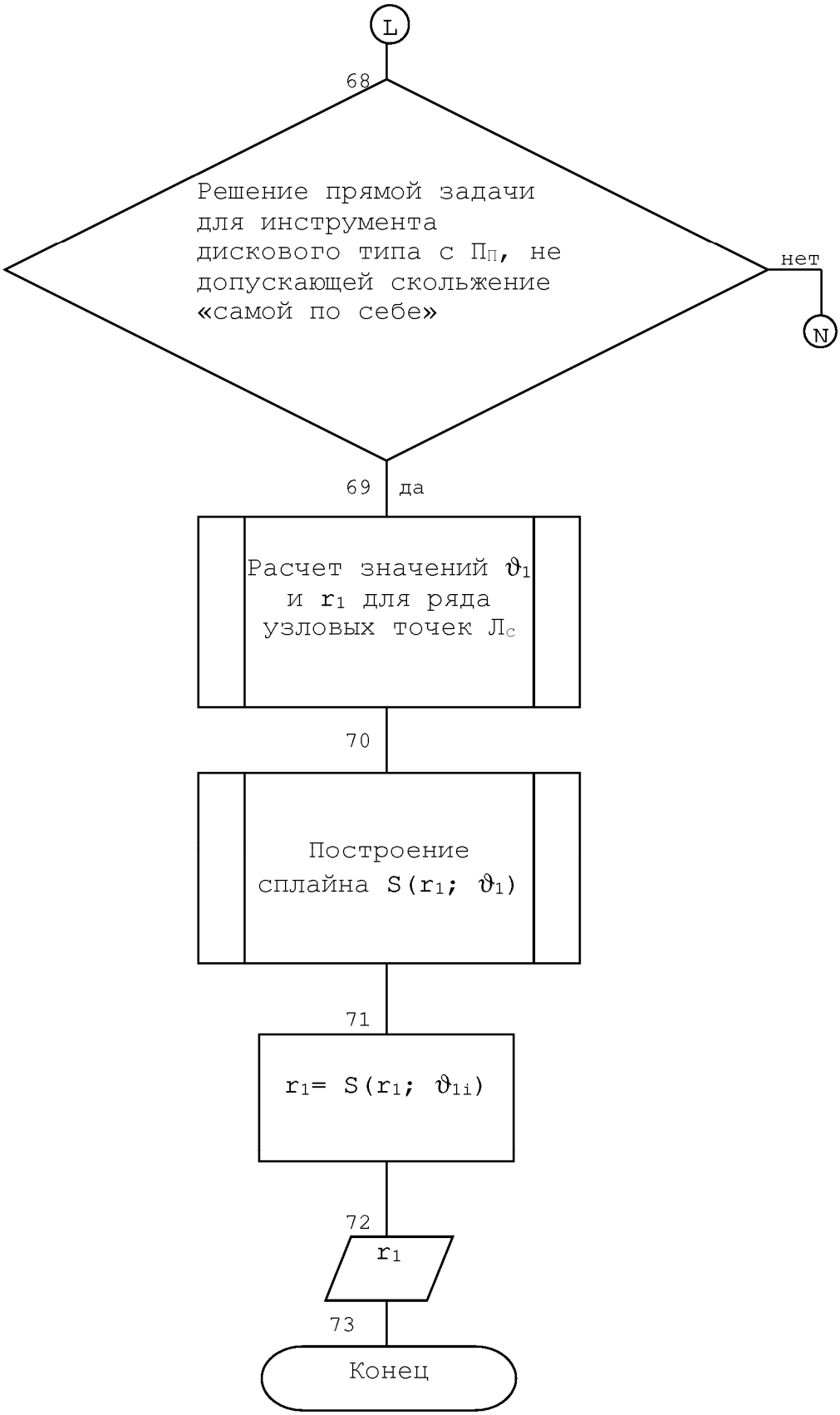


Рис. 10 (Продолжение)

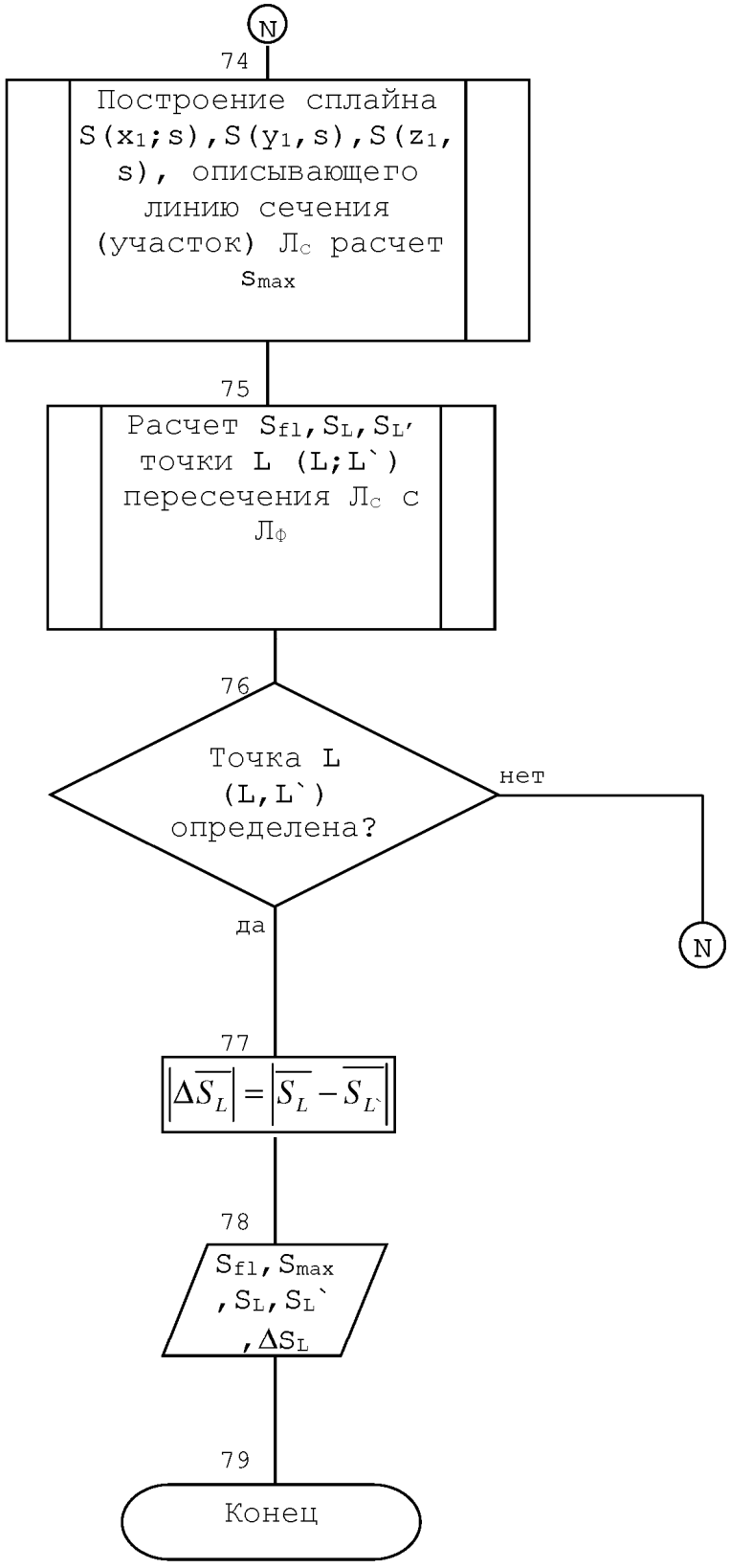


Рис. 10 (Продолжение)

2.3 Оценка погрешности интерполяции при описании поверхности сплайнами двух переменных.

В настоящей работе приводится метод расчета погрешности интерполяции при описании сопряженной поверхности с помощью сплайна двух переменных.

Оценка точности интерполяции производится по следующей схеме.

В рассматриваемой ячейке $\Omega_{i\ j}$ для точки с фиксированным параметром q и ϑ определяется вектор нормали к поверхности, описанной сплайном.

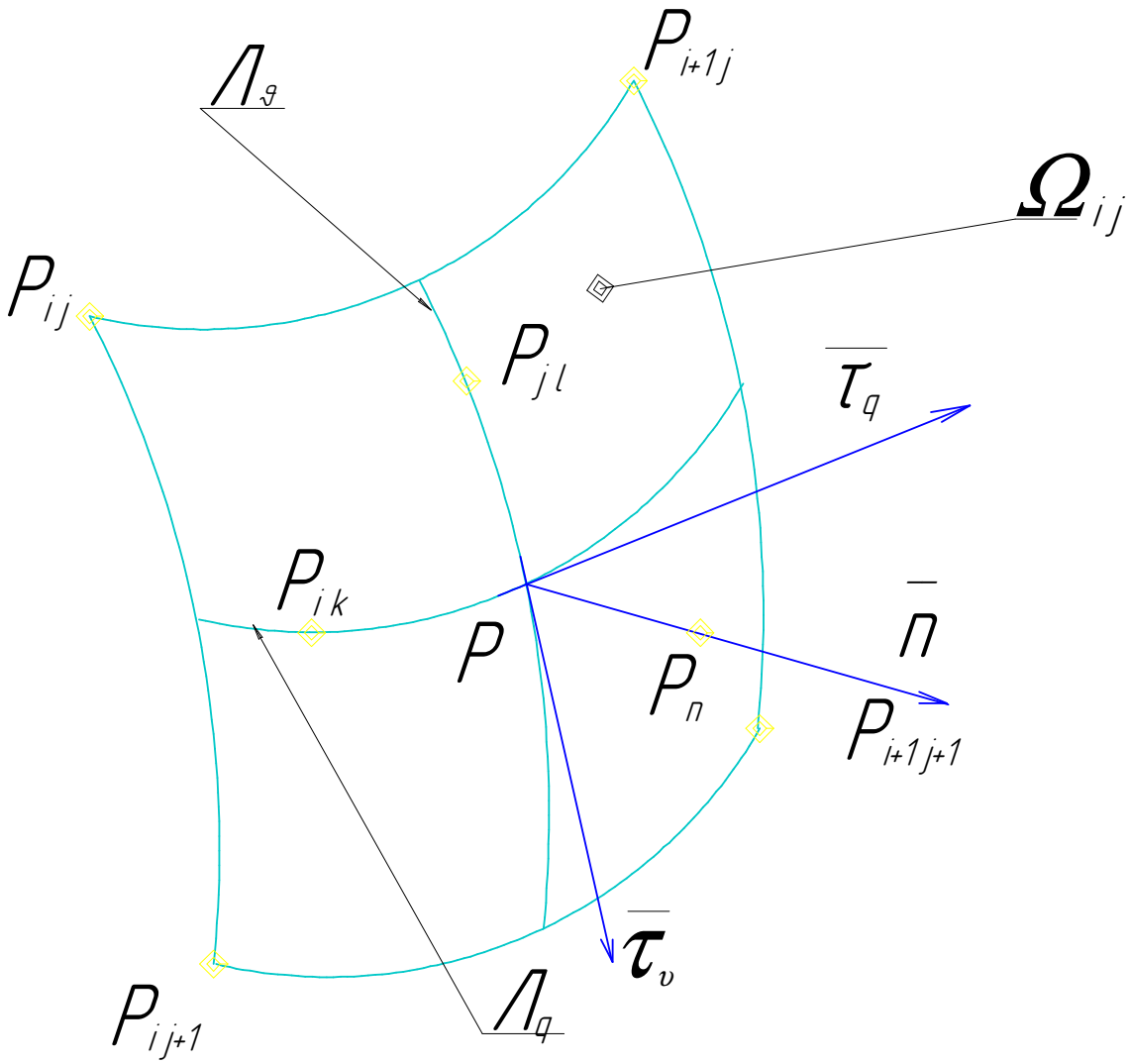


Рисунок 11 Схема расчета погрешности интерполяции при описании поверхности сплайнами двух переменных.

Для фиксированного $\vartheta=\vartheta_p$ принимает ряд значений q на отрезке $[q_i, q_{i+1}]$: $q_{i0}, q_{i1},\ldots, q_{in}$. Используя сплайны S(x;q; ϑ), S(y;q; ϑ), S(z;q; ϑ). Рассчитываются координаты ряда точек:

$P_{ik}\{S(x,q_{ik},\vartheta_p),S(y,q_{ik},\vartheta_p),S(z,q_{ik},\vartheta_p),\},k=0,\ldots,n.$ Для полученных точек выполняются построения параметрического сплайна $S_q(x;q)$, $S_q(y;q)$, $S_q(z;q)$, который опишет первую «локальную» координатную линию $Л_q$. Вектор $\bar{\tau}_q$, совпадающий с касательной к $Л_q$ в точке P можно определить по формуле:

$$\bar{\tau}_q = S'_q(x;q_p)\bar{i} + S'_q(y;q_p)\bar{j} + S'_q(z;q_p)\bar{k}, \quad (1)$$

где значения первых производных сплайна рассчитываются для $q=q_p$ из выражений:

$$S_q'(x;\bar{s}) = \frac{6*t*(t-1)*(x_i - x_{i+1})}{h_i} + S_q'(x;\bar{s}_i)*(1-4*t+3*t^2) - S_q'(x;\bar{s}_{i+1})*t*(2-3*t);$$

$$S_q'(y;\bar{s}) = \frac{6*t*(t-1)*(y_i - y_{i+1})}{h_i} + S_q'(y;\bar{s}_i)*(1-4*t+3*t^2) - S_q'(y;\bar{s}_{i+1})*t*(2-3*t);$$

$$S_q'(z;\bar{s}) = \frac{6*t*(t-1)*(z_i - z_{i+1})}{h_i} + S_q'(z;\bar{s}_i)*(1-4*t+3*t^2) - S_q'(z;\bar{s}_{i+1})*t*(2-3*t),$$

где $t = \frac{q-q_{ik}}{h_{ik}}$, $h_i = q_{ik+1} - q_{ik}$.

Необходимо отметить, что в приведенных выражениях значений первых производных сплайна в точках $P_{i\ k}$ и $P_{i\ k+1}$ $S'_q(x;q_{i\ k})$, $S'_q(x;q_{i\ k+1})$, $S'_q(y;q_{i\ k})$, $S'_q(y;q_{i\ k+1})$, $S'_q(z;q_{i\ k})$, $S'_q(z;q_{i\ k+1})$ рассчитываются ранее при построении соответствующего параметрического сплайна.

Аналогично при фиксированном q_p задаемся рядом значений ϑ на отрезке $[\vartheta_j, \vartheta_{j+1}]$: $\vartheta_{jo}, \vartheta_{j1},\ldots, \vartheta_{jm}$ и вычисляем координаты точек

$P_{il}\{S(x;q_p,\vartheta_{jl}),S(y;q_p,\vartheta_{jl}),,S(z;q_p,\vartheta_{jl})\},l=0,\ldots m.$ Для этих точек выполняем построение параметрического сплайна $S_\vartheta(x;q)$, $S_\vartheta(y;q)$,

$S_\vartheta(z;q)$б который опишет вторую «локальную» координатную линию Лϑ. Вектор $\bar{\tau}_\vartheta$ совпадающий с касательной к Лϑ в точке P определяется из выражения:

$\bar{\tau}_\vartheta = S'_\vartheta(x;q_p)\bar{i} + S'_\vartheta(y;q_p)\bar{j} + S'_\vartheta(z;q_p)\bar{k}$, где значения первых производных сплайна для $\vartheta=\vartheta_p$ рассчитываются по схеме, аналогичной расчету сплайна $S'_q(x;q)$, $S'_q(y;q)$, $S'_q(z;q)$. Вектор нормали к поверхности, представленной сплайном двух переменных записываются в виде векторного произведения векторов $\bar{\tau}_\vartheta$ и $\bar{\tau}_q$:

$$\bar{n} = \bar{\tau}_\vartheta * \bar{\tau}_q,$$

$$\bar{n} = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ S'_\vartheta(x;\vartheta_p) & S'_\vartheta(y;\vartheta_p) & S'_\vartheta(z;\vartheta_p) \\ S'_q(x;q_p) & S'_q(y;q_p) & S'_q(z;q_p) \end{vmatrix},$$

отсюда компоненты вектора $\bar{n}$ определяются из выражений:

$$n_x = S'_\vartheta(y;\vartheta_p) * S'_q(z;q_p) - S'_\vartheta(z;\vartheta_p) * S'_q(y;q_p)$$

$$n_y = S'_\vartheta(z;\vartheta_p) * S'_q(x;q_p) - S'_\vartheta(x;\vartheta_p) * S'_q(z;q_p)$$

$$n_x = S'_\vartheta(x;\vartheta_p) * S'_q(y;q_p) - S'_\vartheta(y;\vartheta_p) * S'_q(x;q_p)$$

уравнение прямой совпадающей с вектором можно представить в виде:

$$\bar{r}_n = \bar{r}_p + S * \frac{\bar{n}}{|\bar{n}|},$$

где s – параметр, определяющий положение текущей точки на прямой.

В том случае если текущая точка смещена относительно точки P в направлении совпадающим с вектором нормали, параметр S имеет знак (+) в противном случае знак (–).

2.4 Вычисление погрешности интерполяции сплайнами при построении координатных линий.

Каждая координатная линия принадлежит поверхности одного из семейств сечений. Рассчитав координаты узловых точек сопряженной поверхности лежащих на линиях формообразования и построив параметрический сплайн. Далее в необходимых случаях следует рассчитать погрешность интерполяции на участке координатной линии между узловыми точками P_i и P_{i+1} Рис.12.

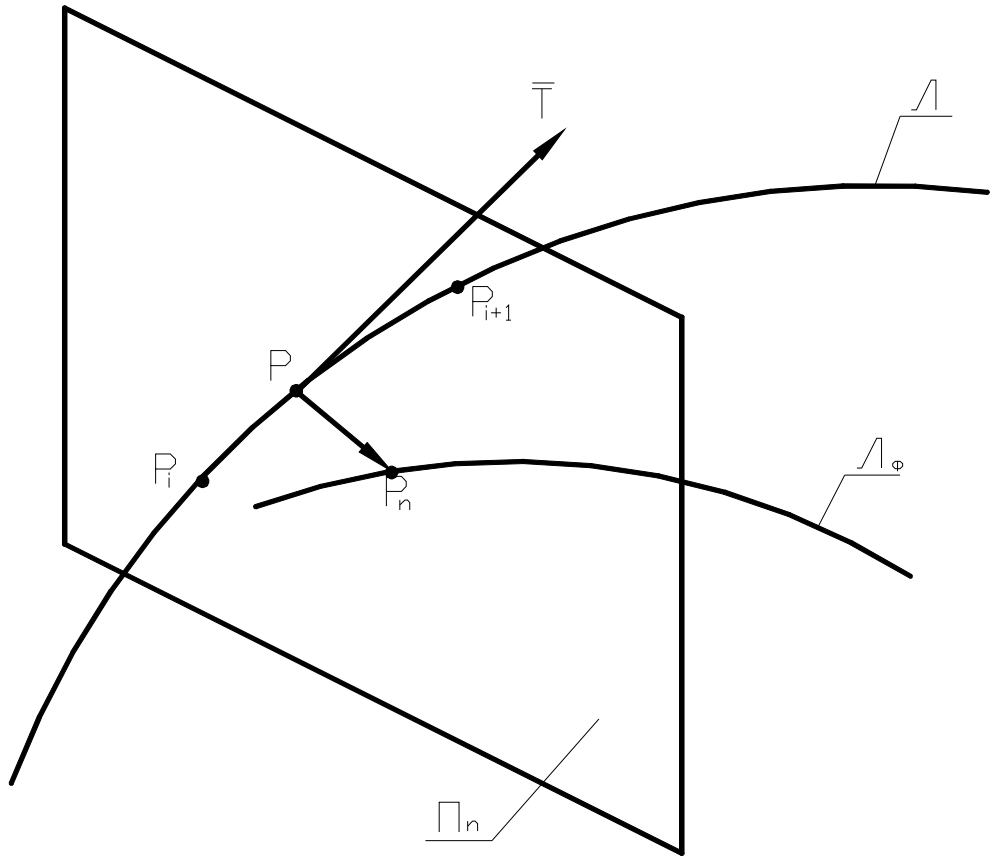


Рис. 12. Схема расчета погрешности интерполяции сплайнами при построении координатных линий.

Если координатная линия представлена параметрическим сплайном $S(x;\bar{s}), S(y;\bar{s}), S(z;\bar{s})$, где $\bar{s}$ – суммарная длина хорд, то вектор, $\bar{\tau}$ совпадающий с касательной к координатной линии в рассматриваемой точке P определится из выражения:

$$\bar{\tau} = S'(x;\bar{s})\bar{i} + S'(y;\bar{s})\bar{j} + S'(z;\bar{s})\bar{k} ,$$

где первые производные сплайна можно определить с помощью следующих формул:

$$S'(x;\bar{s}) = \frac{6t(t-1)(x_i - x_{i+1})}{h_i} + S'(x;\bar{s}_i)(1-4t+3t^2) - S'(x;\bar{s}_{i+1})t(2-3t);$$

$$S'(y;\bar{s}) = \frac{6t(t-1)(y_i - y_{i+1})}{h_i} + S'(y;\bar{s}_i)(1-4t+3t^2) - S'(y;\bar{s}_{i+1})t(2-3t);$$

$$S'(z;\bar{s}) = \frac{6t(t-1)(z_i - z_{i+1})}{h_i} + S'(z;\bar{s}_i)(1-4t+3t^2) - S'(z;\bar{s}_{i+1})t(2-3t),$$

где $t = \frac{\bar{s} - \bar{s}_i}{h_i}$, $h_i = \bar{s}_{i+1} - \bar{s}_i$.

Погрешность интерполяции можно определить, как расстояние от рассматриваемой точки P до точки p_n, принадлежащей одновременно плоскости $П_n$, перпендикулярной к вектору $\bar{\tau}$ и вспомогательной линии формообразования $Л_ф$. Рис.12. Последняя определяется как линия пересечения поверхности сечения первого семейства, на которой лежит рассматриваемая координатная линия с поверхностью сечения второго семейства. Положение и в отдельных случаях форма (последней) поверхности сечения второго семейства выбираются так, чтобы точка P_n, которую можно рассматривать как вспомогательную узловую точку сопряженной поверхности, лежащую на вспомогательной линии формообразования, одновременно, как уже было сказано, принадлежащей плоскости перпендикулярной к вектору $\bar{\tau}$. Последнее условие можно обеспечить при минимизации целевой функции:

$$f(p) = \frac{\left|\bar{\tau}\overline{PP}_n\right|}{|\bar{\tau}|} \to \min \quad (2.1)$$

где скалярное произведение $\bar{\tau} * \overline{PP}_n$ с учетом (2.1) определяется из выражения:

$$\bar{\tau}\overline{PP}_n = S'(x;\bar{s})\left[x_n - S(x;\bar{s})\right] + S'(y;\bar{s})\left[y_n - S(y;\bar{s})\right] + S'(z;\bar{s})\left[z_n - S(z;\bar{s})\right], \quad (2.2)$$

$$|\bar{\tau}| = \sqrt{\left[S'(x;\bar{s})\right]^2 + \left[S'(y;\bar{s})\right]^2 + \left[S'(z;\bar{s})\right]^2}, \quad (2.3)$$

Координаты точки P_n необходимо связать с параметром, определяющим вспомогательную линию формообразования. В таблице 2 приведен ряд комбинаций поверхностей сечения первого и второго семейства и соответствующие параметры, по которым производится оптимизация. Координаты x_n, y_n, z_n, точки P_n на вспомогательной линии формообразования рассчитываются также как координаты узловой точки.

Таблица 2. Комбинаций поверхностей сечения

Код	Поверхность сечения 1-го семейства (на которой лежит координатная линия)	Поверхность сечения 2-го семейства	Линия формообразования	Параметр, по которому проводится оптимизация
1	2	3	4	5
1	Плоскость осевая	Плоскость торцевая $z=z_т$	прямая перпендикулярная к оси	Аппликата $z_т$
2	Плоскость осевая	Цилиндрическая поверхность с радиусом r	прямая перпендикулярная к оси	радиус r
3	Плоскость осевая	Поверхность вращения с образующей описанной сплайном	образующая описанная сплайном	Параметр Sr
4	Плоскость торцевая	Плоскость осевая $y=x*tg(\vartheta)$	прямая перпендикулярная к оси	Угол ϑ
5	Плоскость торцевая	Цилиндрическая поверхность с радиусом r	Окружность с радиусом r	радиус r
6	Плоскость нормальная	Поверхность вращения с образующей описанной сплайном	Кривая описанная параметрическим сплайном	Параметр Sr
7	Цилиндрическая поверхность с радиусом r	Плоскость торцевая $z=z_т$	Окружность с радиусом r	Аппликата $z_т$
8	Цилиндрическая поверхность	Плоскость осевая $y=x*tg(\vartheta)$	прямая параллельная оси	Угол ϑ
9	Поверхность вращения с образующей описанной сплайном	Плоскость торцевая $z=z_т$	Окружность с радиусом S(R,Zт)	Аппликата $z_т$
10	Поверхность вращения с образующей описанной сплайном	Плоскость осевая $y=x*tg(\vartheta)$	образующая описанная сплайном S(R,Z)	Угол ϑ

3 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧАШЕЧНЫХ ДОЛБЯКОВ.

3.1 Конструкторско-технологическая характеристика объекта производства.

Зуборезные долбяки применяют для нарезания зубьев зубчатых колес с наружным и внутренним зацеплением с прямыми, винтовыми и с шевронными зубьями. Долбяки имеют вид зубчатого колеса с изменяющимся по длине зуба смещением исходного контура (высотной коррекцией). Контур торца зубчатого венца является режущей кромкой. Долбяки работают по принципу обката. Изменение высотной коррекции по длине зубьев долбяка обеспечивает образование задних углов на лезвиях зубьев [10].

Долбяки образуют зубья методом огибания, профиль их зубьев (образующий инструментальную поверхность) является сопрягаемым к профилю зубьев нарезаемого колеса и для обработки колес с эвольвентным профилем зуба долбяк тоже должен иметь зубья с эвольвентным профилем.

В процессе обработки долбяк совершает возвратно-поступательное движение параллельно оси нарезаемой заготовки, в результате чего испытывает переменные, ударные нагрузки.

Долбяки изготавливают трех основных видов: дисковые, чашечные и хвостовые. Базой дисковых и чашечных долбяков являются отверстие и внешний базовый торец.

Основными определяющими размерами долбяка являются модуль, номинальный диаметр d_0 делительной окружности и угол профиля α_0. Модуль определяет диаметр окружности, число и размеры зубьев.

3.2 Классификация рабочих поверхностей и их характеристика.

Внешняя торцевая поверхность сопрягается с поверхностью оправки и является базовой. При работе испытывает ударные нагрузки. Шероховатость поверхности регламентируется ГОСТ 9323–97 Ra 0,4 мкм.

Отверстие также является базовым и сопрягается с наружной поверхностью оправки. Допуск на отверстие +0,005 мкм и шероховатость Ra 0,1 мкм регламентируется по ГОСТ 9323–97, квалитет точности – 7.

Коническая поверхность является свободной. Устанавливается 12–ый квалитет точности, шероховатость Ra 2,5 мкм.

Наружная поверхность зубьев. По условию работы долбяка необходима шероховатость Ra 0,4 мкм, отклонение угла по ГОСТ 9323–97 ±3′, что соответствует 11–му квалитету точности.

Передняя поверхность долбяка. Для уменьшения потерь на трение и уменьшения нагрева устанавливаем шероховатость Ra 0,4 мкм отклонение по ГОСТ 9323–97 ±5′, что соответствует 12 квалитету точности.

Внутренняя цилиндрическая поверхность – свободная. Допуск +0,54 мкм, 13–ый квалитет точности, шероховатость Ra 2,5 мкм.

Внутренняя канавка, ее поверхности и размеры – свободные. Служит для выхода шлифовального круга. Квалитет точности – 12, шероховатость Ra 2,5 мкм.

Внутренний опорный торец сопрягается с зажимным элементом оправки. Допуск по 12 квалитету точности, шероховатость Ra 0,4 мкм по ГОСТ 9323–97.

Боковая поверхность зуба является задней поверхностью при долблении, шероховатость Ra 0,4 мкм по ГОСТ 9323-97, 9-ый квалитет точности.

Поверхность впадин – свободная. Диаметр впадин выполнен по 12-му квалитету точности, шероховатость Ra 2,5 мкм.

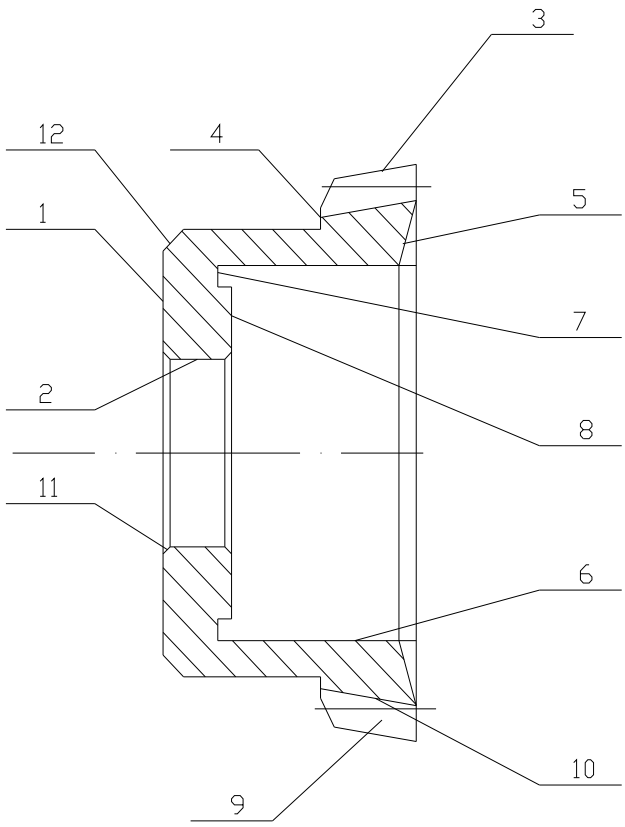


Рис. 14. Поверхности чашечного долбяка.

3.3 Анализ технологичности.

3.3.1 Качественная оценка уровня технологичности.

Рассматриваемый объект производства (долбяк чашечный) является технологичным с оценкой хорошо, так как:

не имеет сложных и труднодоступных для обработки поверхностей; изготовлен из стали Р6М5К5 обладающей хорошими физико-механическими свойствами [12].

3.3.2 Количественная оценка уровня технологичности.

Основными показателями количественной оценки являются:

уровень технологичности по трудоемкости изготовления детали:

$$K_{утв} = \frac{T_д}{T_{бд}},$$

где $T_д$ и $T_{бд}$ – трудоемкости изготовления детали и базового варианта;

уровень технологичности по себестоимости изготовления:

$$K_{усд} = \frac{C_{тд}}{C_{бтд}},$$

где $C_{тд}$ и $C_{бтд}$ – себестоимости производства проектируемой детали и базового варианта.

Так как, мы не располагаем базовыми количественными показателями проведем оценку уровня технологичности по дополнительным показателям:

коэффициент использования материала:

$$K_{им} = \frac{M_д}{M_з},$$

где $M_д$ = 0,4 кг – масса детали;

$M_з$ = 0,78 кг – масса заготовки;

$K_{им}$ = 0,4/0,78 = 0,51.

коэффициент точности обработки детали:

$$K_{то} = 1 - \frac{1}{T_{ср}}, \qquad T_{ср} = \frac{\Sigma T n_i}{\Sigma n_i},$$

где $T_{ср}$ – средний квалитет точности обработки изделия, T – квалитет точности обработки, n_i – число размеров соответствующего квалитета точности;

По чертежу детали определяем: $T_{ср}$ = 11,8;

тогда $K_{то}$ = 1–(1/11,8) = 0,9152.

коэффициент шероховатости обработки:

$$\hat{E}_{ø} = \frac{1}{Á_{ñä}}, \quad Б_{ср} = \frac{\Sigma Б n_{iт}}{\Sigma n_{iт}},$$

где $Б_{ср}$ – средняя шероховатость изделия; Б – шероховатость поверхности; n_{im} – число поверхностей соответствующей шероховатости.

$Б_{ср} = (0,4 \cdot 5 + 2,5 \cdot 4 + 0,1)/10 = 1,21.$

$К_{ш} = 1/1,21 = 0,82$

3.3.3 Степень унификации детали.

Разрабатываемая деталь (долбяк чашечный) не содержит оригинальных поверхностей и элементов и, следовательно, может быть обработана стандартным инструментом, что сократит сроки и затраты на подготовку производства.

Также разрабатываемая деталь является разновидностью стандартных изделий (стандартные чашечные долбяки по ГОСТ 5323–79 изготовляют номинальным делительным диаметром D_o = 40…120 мм, модулем m = 1…12 мм). Долбяки работают на зубодолбежных станках моделей *5А12*, 514, 516 и других. Вследствие чего технологический процесс изготовления на данную деталь представляет собой частный случай унифицированного технологического процесса на изготовления долбяков в целом.

Исходя из выше сказанного делаем вывод: разрабатываемая деталь – долбяк чашечный (d_0=76 мм, m=4 мм) – обладает достаточно высокой степенью унификации.

$$K_{óí} = \frac{10}{12} = 0.8(3)$$

3.4 Выбор и обоснование метода получения заготовки.

Долбяк является зуборезным инструментом, работающим в ударных режимах при переменных нагрузках и условиях повышенного износа. Следовательно, материал долбяка должен обладать повышенной твердостью и однородной упрочненной структурой.

Получение упрочненной однородной структуры материала обеспечивается ковкой или горячей штамповкой, что нецелесообразно в условиях мелкосерийного производства принятого для нашего изделия.

Поэтому для обеспечения экономической целесообразности будем использовать заготовки из проката полученные отрезкой на абразивно-отрезной машине в размер 39,5±0,5 мм с последующей правкой на ковочной машине.

Прокат стали Р6М5К5 круглого сечения $\varnothing 90^{+0,9}_{-1,5}$ мм холоднотянутый калиброванный нормальной точности ГОСТ 7417-75.

3.5 Маршрутная технология производства чашечных долбяков.

Составление маршрута обработки детали

Исходными данными для составления маршрута обработки являются:

1.Чертеж детали.

2.Технические условия на изготовление.

3.Производственная программа $N_Г$ = 500 штук.

Маршрут обработки состоит из технологических переходов, по которым происходит обработка заготовки до получения готовой детали, согласно рабочему чертежу.

Для изготовления долбяка необходимо выполнить следующие виды обработки:

1. Токарная обработка–обработка торцов получение отверстия, точение наружных поверхностей.

2. Термообработка – высокий отпуск

3. Токарная обработка – обработка, торцов, обточка по контуру

наружных поверхностей, растачивание отверстия растачивание внутренних поверхностей, снятие фасок, образование конической поверхности.

4.Зубофрезерная–получение зубьев долбяка методом зубофрезерования червячной фрезой

5.Слесарная обработка – снятие заусенцев, острых кромок.

6. Термообработка – закалка до твердости 63...64 HRC.

7. Дробеструйная обработка – выполняется для удаления окалины и повышения качества поверхностного слоя

8. Шлифовальные операции: шлифовка торцов, отверстия, зубьев, наружное шлифование.

9.Контроль–проверка линейных размеров, углов на соответствие чертежу и ГОСТ 9323 –79.

3.5.1 Выбор и обоснование технологических баз.

Заготовка представляет собой диск с плоской торцевой поверхностью, поэтому в качестве черновой (установочной),базы выбираем торец диска и наружную цилиндрическую поверхность а). Такая схема базирования применяется при установке в трех кулачковый самоцентрирующий патрон на токарной черновой и чистовой операции.

После отпуска происходит обработка на токарном станке с ЧПУ. Обрабатывается отверстие, которое впоследствии бу-

дет являться базой для зубофрезерования, и внутренняя торцевая поверхность, которая служит двойной опорной базой для получения наружной поверхности зубьев рис. 15б).

При фрезеровании зубьев в качестве базовых поверхностей используются внутренняя торцевая поверхность и отверстие рис. 15в).

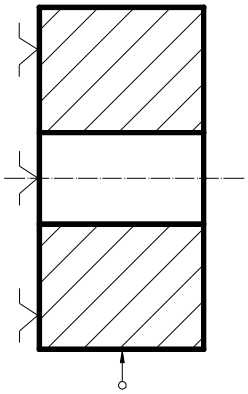
При шлифовании внешнего опорного торца деталь базируется на ленточку. Для этого необходимо предварительно подготовить эту поверхность – назначить операцию шлифования ленточки рис. 15г). Деталь устанавливается на магнитном столе.

При шлифовании внутренней торцевой поверхности и отверстия в качестве базовых поверхностей используются наружный опорный торец и боковые поверхности зубьев рис. 15д).

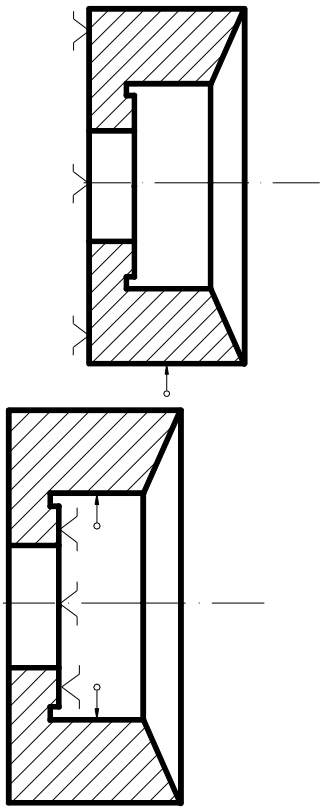
При заточке по передней поверхности – наружный опорный торец и отверстие рис. 15е).

При зубошлифовании – наружный опорный торец и отверстие рис. 15ж).

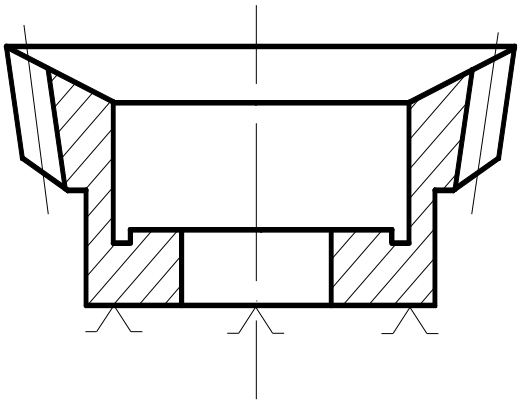
При шлифовании наружной конической поверхности зубьев – наружный опорный торец и отверстие рис. 15з).

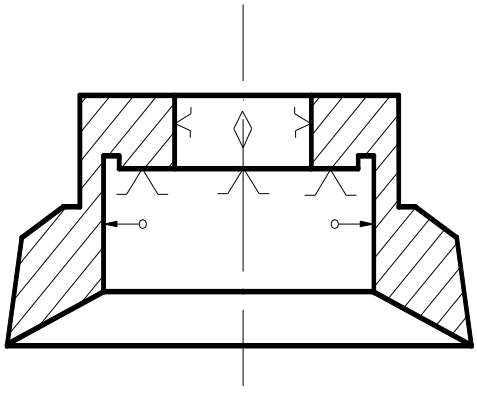


а)

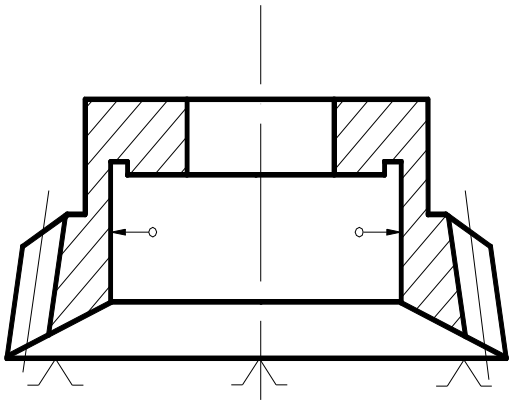


б)



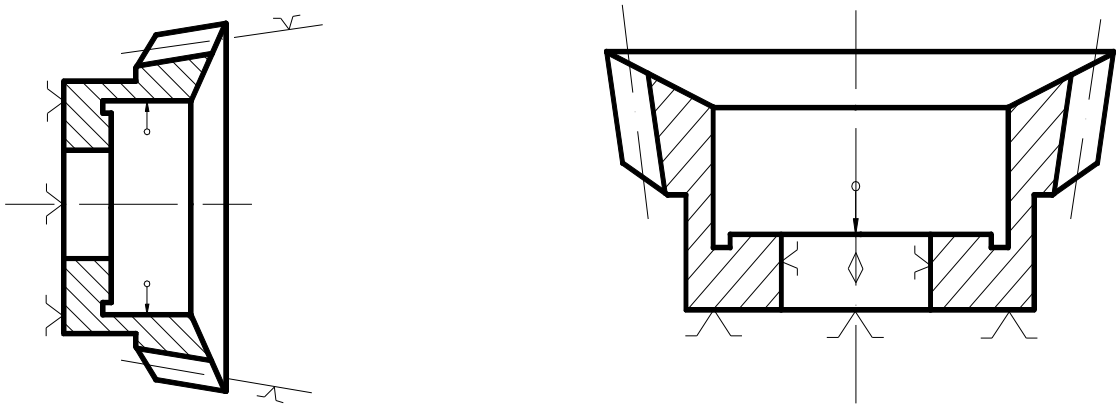


в)



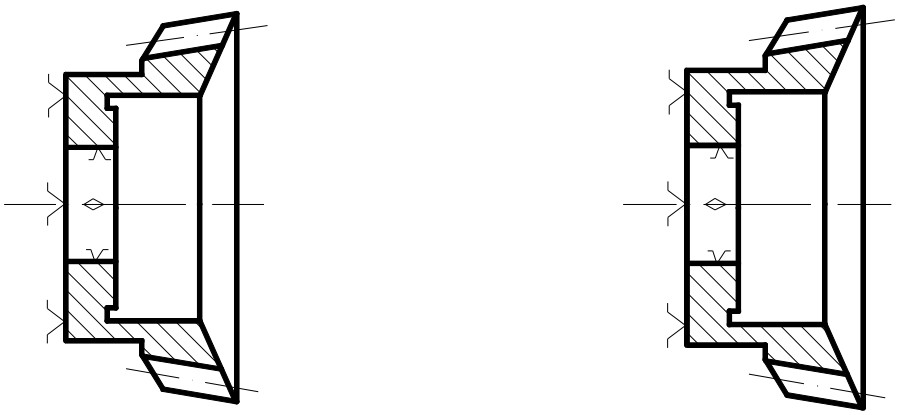
г)

					ВКР1.15.04.05.19.7–15.00.00ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



е)

д)



ж)

з)

Рис. 15 Схемы базирования.

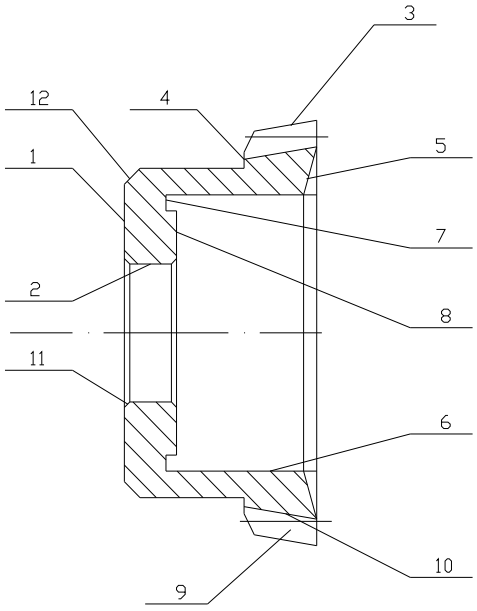


Рис. 16 Формирование межоперационных размеров.

Таблица 2 Промежуточные размеры долбяка при обработке.

Поверхность Рис. 16.	Операция	Припуск на сторону, мм
Передняя поверхность (5)	Черновое точение	$1,8_{-0,33}$
	Чистовое точение	$0,8_{-0,21}$; ±30′
	Предварительное шлифование	$0,2_{-0,013}$; ±5′
	Окончательное шлифование	$0,033_{-0,003}$; ±5′
Наружный опорный торец (1)	Черновое точение	$1,8_{-0,33}$
	Чистовое точение	$0,8_{-0,21}$
	Предварительное шлифование	$0,2_{-0,013}$
	Окончательное шлифование	$0,033_{-0,003}$
Внутренний опорный торец (8)	Чистовое точение	$0,8_{-0,21}$
	Предварительное шлифование	$0,2_{-0,013}$
	Окончательное шлифование	$0,033_{-0,003}$
Наружный диаметр зубьев (4)	Черновое точение	$2_{-0,4}$
	Чистовое точение	$0,5_{-0,1}$; ±30′
	Предварительное шлифование	$0,165_{-0,013}$; ±5′
	Окончательное шлифование	$0,100_{-0,013}$; ±5′
Боковые поверхности зубьев (9)	Фрезерование	на ширину зуба по делительному диаметру
	Шлифование	$0,1_{-0,013}$

3.6 Рекомендации по разработке операционной технологии.

При проектировании технологических операций необходимо стремиться к уменьшению трудоемкости обработки. Производительность зависит от режимов резания, количества переходов и рабочих ходов [7].

В мелкосерийном и единичном производстве применяется одно–инструментальная обработка. Переходы, обеспечивающие высокие требования к точности и шероховатости поверхности целесообразно выделить в отдельную операцию, также применяя одноместную одно–инструментальную параллельную обработку.

3.6.1 Разработка структуры операции.

Технологические переходы:

Токарный 16К20:

Установить заготовку в патроне трех кулачковом само центрирующем. Подрезать торец ∅90 мм.

Точить наружную поверхность ∅90 мм на длине L_{min} = 16 мм.

Переустановить заготовку. Точить торец ∅90 в размер L = 26 мм.

Точить наружную поверхность ∅90 мм.

Сверлить отверстие ∅15 мм.

Рассверлить отверстие ∅30 мм.

Термическая:

Высокий отпуск.

Токарный с ЧПУ 16К20Ф3:

Установить заготовку в патроне трех кулачковом само центрирующем. Обработать предварительно переднюю, внутреннюю торцевую и цилиндрическую поверхности.

Точить внутреннюю цилиндрическую поверхность $\varnothing 50^{+0,5}$ мм и канавку для выхода шлифовального круга.

Точить упорный внутренний торец в размер 12,2 мм.

Точить переднюю поверхность на угол $5^0 \pm 30'$.

Снять фаску отверстия 2,5 х 45^0.

Переустановить заготовку с базированием по внутренней цилиндрической поверхности и внутреннему опорному торцу.

Точить наружную цилиндрическую поверхность на угол $7^0 \pm 30'$.

Точить заднюю конусную поверхность на угол $15^0 \pm 30'$.

Снять фаску 2,5 х 45^0.

Зубофрезерный 5К324А:

Установить заготовку с базированием по внутреннему опорному торцу и отверстию.

Фрезеровать зубья.

Контроль.

Термическая:

Закалка до твердости 62...65 HRC.

Контроль.

Плоскошлифовальный 3Д740В:

Установить заготовку на магнитный стол с базированием на наружный опорный торец.

Шлифовать предварительно ленточку Ra 0,8 мкм.

Шлифовать окончательно ленточку Ra 0,4 мкм.

Переустановить заготовку с базированием по ленточке.

Шлифовать предварительно наружный опорный торец Ra 0,8 мкм.

Шлифовать окончательно наружный опорный торец Ra 0,4 мкм.

Шлифовальный 3К227В:

Установить заготовку с базированием по наружному опорному торцу и боковым поверхностям зубьев; патрон мембранный.

Шлифовать предварительно отверстие ∅31,65 мм; Ra 0,8 мкм.

Шлифовать предварительно внутренний опорный торец в размер 12,03 мм; Ra 0,8 мкм.

Шлифовать окончательно внутренний опорный торец в размер 12 мм; Ra 0,4 мкм.

Шлифовать окончательно отверстие ∅31,745 мм; Ra 0,4 мкм.

Плоскошлифовальный 3Д740В:

Установить заготовку с базированием по наружному опорному торцу и отверстию с прижимом по внутреннему опорному торцу; оправка специальная.

Заточить предварительно по передней поверхности на угол 5^0 ±5′; Ra 0,8 мкм.

Заточить окончательно по передней поверхности на угол 5^0 ±5′; Ra 0,4 мкм.

Зубошлифовальный 5А893:

Установить заготовку с базированием по наружному опорному торцу и отверстию; оправка специальная.

Шлифовать боковые поверхности зубьев Ra 0,4 мкм.

Круглошлифовальный 3А130:

Установить заготовку с базированием по наружному опорному торцу и отверстию; оправка специальная.

Шлифовать предварительно наружную коническую поверхность Ra 0,8 мкм.

Шлифовать окончательно наружную коническую поверхность Ra 0,4 мкм.

3.7 Рекомендации по выбору оборудования.

Для черновой обработки детали (обдирка, сверление, расточка отверстия) использовать станок 16К20 токарно-винторезный.

Применяем данный станок так как он является универсальным и предназначен для мелкосерийного и единичного производства.

16К20

Основные параметры станка:

Число скоростей шпинделя: 22.

Наибольшее перемещение суппорта, мм:

продольное 645;

поперечное 300.

Подача суппорта, мм/об:

- продольная 0,05 – 2,8;
- поперечная 0,025 – 1,4.

Число ступеней подач: 24.

Скорость быстрого перемещения суппорта, мм/мин:

- продольного 3800;
- поперечного 1900.

Мощность электродвигателя главного привода, кВт: 11.

Габаритные размеры, мм:

- длина 2505;
- ширина 1190;
- высота 1500.

Масса, кг: 3685.

Для остальной токарной обработки целесообразно использовать станок токарный с ЧПУ 16К20Ф3.

Применение данного станка обусловлено тем, что он обеспечивает заданную производительность при обработке детали. Этот станок является оптимальным и по технико-экономическим показателям. Он является легко переналаживаемым и его можно быстро настроить на обработку типовых деталей.

16К20Ф3

Основные параметры станка:

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм:

над станиной 400;

над суппортом 220.

Наибольший диаметр прутка, проходящего через отверстие шпинделя, мм: 53.

Наибольшая длина обрабатываемой заготовки, мм: 1000.

Шаг нарезаемой резьбы, мм:

метрической до 20.

Частота вращения шпинделя, об/мин: 12,5 – 2000.

Число скоростей шпинделя: 22.

Наибольшее перемещение суппорта, мм:

продольное 900;

поперечное 250.

Подача суппорта, мм/мин:

продольная 3 – 1200;

поперечная 1,5 – 600.

Число ступеней подач: бесступенчатое регулирование.

Скорость быстрого перемещения суппорта, мм/мин:

продольного 4800;

поперечного 2400.

Мощность электродвигателя главного привода, кВт: 10.

Габаритные размеры, мм (без ЧПУ):

длина 3360;

ширина 1710;

высота 1750.

Масса, кг: 4000.

Для фрезерования зубьев используется станок зубофрезерный модели 5К324А модернизированный для обработки зубчатых колес с небольшой конусностью.

Применяем данный станок, так как он обеспечивает заданную точность обработки и предназначен для единичного и среднесерийного производства.

5К324А

Основные параметры станка:

Габариты, мм:

длина 2500;

ширина 1400;

высота 2000.

Размеры обрабатываемого изделия, мм:

Наибольший модуль нарезаемого колеса, мм: 8.

Наибольший диаметр нарезаемых червячных колес, мм: 500.

Наибольший диаметр нарезаемых цилиндрических колес, мм:

прямозубых 500;

косозубых:

при угле наклона, град:

30 – 400;

45 – 300;

60 – 120–250;

(при диаметре фрезы 180 мм).

Наибольшая длина нарезаемых цилиндрических колес, мм:

прямозубых 300;

косозубых:

при угле наклона, град:

30 – 200;

45 – 150;

60 – 130.

Наименьшее число нарезаемых зубьев: 12.

Стол:

Расстоянием между осями стола и фрезы, мм:

наименьшее 60;

наибольшее 350.

Расстояние от плоскости стола до оси фрезы, мм:

наименьшее 210;

наибольшее 570.

Диаметр стола, мм: 500.

Ускоренное перемещение, мм/мин: 170.

Ручное перемещение стола, мм/об: 0,5.

Суппорт:

Наибольшие размеры режущего инструмента, мм:

диаметр 180;

длина 200.

Наибольшее перемещение, мм: 360.

Для шлифования опорной поверхности (внешний опорный торец) необходимо применять станок с круглым столом шлифующий периферией круга, так как данным способом обработки достигается лучшая плоскостность в районе отверстия. Данным требованиям отвечает станок описанный ниже.

Выбираем станок 3Д740В.

3Д740В

Основные параметры станка:

Диаметр устанавливаемой заготовки, мм: 40..400.

Наибольшая высота, мм:

обрабатываемой заготовки (при номинальном диаметре шлифовального круга): 160;

заготовки наименьшего диаметра шлифуемые на столе: 40;

Масса обрабатываемой заготовки, кг, не более: 100.

Диаметр магнитного стола, мм: 400.

Наибольшее продельное перемещение стола, мм: 400.

Продольная подача стола, мм/об: 8.30.

Перемещение шлифовальной бабки, мм:

наибольшее: 235;

на одно деление лимба: 0,002.

Частота вращения об/мин:

Шлифовального круга: 1670;

Стола: 15..80.

Мощность электродвигателя привода главного движения, кВТ: 11.

Габаритные размеры (с приставным оборудованием), мм:

длина 2350;

ширина 1970;

высота 2300.

Масса (с приставным оборудованием), кг: 5800.

Данный станок подходит и для заточки долбяка по передней поверхности.

Для шлифовки внутренней поверхности и внутреннего опорного торца используем станок торце внутришлифовальный повышенной точности 3К227А.

Так как обрабатываемой деталью является инструмент, то он требует более точной обработки и более качественного изготовления, внутренний опорный торец является ответ-

ственной поверхностью, так как по нему, будет производиться базирование, и от него в дальнейшем будет зависеть точность обработанных колес.

Поэтому для обработки я выбрал станок повышенной точности. Кроме того, данный станок подходит так же и по технико-экономическим показателям.

3К227А.

Основные параметры станка:

Габаритные размеры, мм:

длина 2885;

ширина 1900;

высота 1750.

Параметры обрабатываемого изделия, мм:

Диаметр шлифуемого отверстия, мм: 20..100.

Наибольшая длина шлифования (устанавливаемого изделия), мм: 125.

Наибольший диаметр устанавливаемого изделия, мм: 400.

Наибольший диаметр устанавливаемого изделия в кожухе, мм: 250.

Наибольший угол поворота бабки изделия, град: 45.

Наибольшее наладочное поперечное перемещение бабки изделия, мм:

вперед 120;

назад 30.

Наибольшее наладочное поперечное перемещение шлифовальной бабки, мм:

вперед 50;

назад 10.

Наибольший ход стола, мм: 450.

Наибольшее наладочное продольное перемещение торцевого шлифовального круга, мм: 160.

Устанавливаемые круги:

ПП 20..80:

Высота, мм: 20..50;

Диаметр отверстия, мм: 6..20.

Для мойки полуфабриката используем моечную машину.

После лезвийной и абразивной обработки, перед абразивной обработкой профиля зуба деталь необходимо очистить от грязи и стружки. Для этой операции наиболее применим данный станок.

Моечная машина.

Габаритные размеры, мм:

3000x2000.

Для шлифования эвольвентного профиля зуба методом обката используем станок зубошлифовальный 5А893.

Применение данного станка обусловлено тем, что он обеспечивает необходимую производительность и заданную точность.

5А893

Основные параметры станка:

Габаритные размеры, мм:

длина 2545;

ширина 1770;

высота 2190.

Вес, кг: 3500.

Параметры заготовки:

Диаметр устанавливаемого изделия, мм:

наименьший 40;

наибольший 320 (400).

Модуль, мм:

наименьший 2;

наибольший 16.

Наибольшая ширина прямозубого венца, мм: 55.

Число зубьев:

наименьшее 10;

наибольшее 180.

Наибольший угол наклона зубьев, град: ±35.

Максимальный вес детали, кг: 15.

Наибольший ход бабки изделия, мм: 220 (определяется диаметром основной окружности кулака).

Столы:

Продольное перемещение, мм: 160.

Поперечное перемещение, мм: 170.

Осевое перемещение шпинделя, мм: 20.

Наибольший угол поворота, град: 25.

Колонна:

Наибольший угол поворота, град: ±35.

Шлифовальный круг:

Наружный диаметр, мм:

наименьший 400;

наибольший 500.

Для шлифования наружной цилиндрической поверхности используем станок круглошлифовальный 3А130.

3А130

Основные параметры станка:

Габаритные размеры, мм:

длина 2545;

ширина 1770;

высота 2190.

Вес, кг: 3500.

Техническая характеристика станка.

Наибольший диаметр шлифуемой детали в мм 200;

Наибольшее расстояние между центрами в мм 750;

Наибольшее перемещение стола;

Наибольший угол поворота стола в град. ±6;

Наибольшее поперечное перемещение шлифовальной бабки в мм 200;

Число оборотов шлифовального круга в минуту 1050;

Число скоростей вращения патрона бабки изделия 3;

Пределы чисел оборотов патрона бабки изделия в минуту 15–300;

Скорость продольного перемещения стола в м/мин:

Наибольшая 10

Наименьшая 0,1

Пределы величин радиальной подачи шлифовальной бабки на ход стола в мм 0,01–0,03;

Мощность главного электродвигателя в квт 7;

3.8

3.9 Обоснование выбора РИ, МИ, технологической оснастки.

На токарных операциях (точение, подрезание торца, сверление, растачивание) применять трех кулачковый патрон.

Режущий инструмент оснащенный сменными многогранными пластинами их твердого сплава марки Т15К6 т.к. ведется обработка инструментальной легированной стали [3].

Применение твердосплавных неперетачиваемых пластин обеспечивает повышение стойкости на 20…25% при оптимальных режимах резания по сравнению с напайными резцами, а так же уменьшает время замены затупившегося инструмента.

При сверлении использовать спиральное сверло диаметром 30 мм из материала Р6М5К5. Форма заточки сверла: двойная с подточкой поперечной кромки.

Для контроля использовать штангенциркуль 0–150.

На зубофрезерной операции использовать пневматический зажим цанговый. Зажим производится по внутренней поверхности заготовки.

Нарезание зуба производится червячной фрезой m=4 мм, d=100 мм

Для контроля зубообразования использовать зубомер.

На внутришливальной AW 25*20 24A12CM2.75K5A.

Выбор режущего инструмента необходимо производить с ориентацией на применение стандартного инструмента. Для выполнения отдельных операций, особенно в серийном и массовом производстве, целесообразно использование специального инструмента.

Режущий инструмент должен обладать высокой режущей стойкостью, допускающей высокие режимы резания, высокой

размерной стойкостью, обеспечивающей стабильность процесса обработки.

3.10 Техническое нормирование операций в производстве чашечных долбяков

Нормирование каждого вида работ включает определение [6]:

А) Основного времени $T_о$;

Б) Вспомогательного времени (установка, измерение и снятие детали) $T_в$;

В) Дополнительного времени (на организационно техническое обслуживание, отдых и естественные надобности) $T_{доп}$;

Г) Подготовительно заключительное время $T_{п.з.}$

При мелкосерийном производстве определяется штучно калькуляционное время:

$$T_{шт.к} = T_о + T_в + T_{доп} + \frac{T_{п.з.}}{n}$$

где n– программа выпуска.

1. Подрезка торца.

$T_о$=0.3 мин.

$T_в = T_{ус} + T_{зо} + T_{уп} + T_{из}$,

Где $T_{ус}$– время на установку,

$T_{зо}$– время на закрепление,

$T_{из}$– время на измерение,

$T_{уп}$– время на управление.

$$T_{ус} + T_{зо} = 0{,}27 мин$$
$$T_{уп} + T_{из} = 0{,}4 мин$$
$$T_в = 0{,}67 мин$$
$$T_{доп} = 4{,}6\% * (T_о + T_в) = 0{,}059 мин$$
$$T_{пз} = 7{,}4 мин$$
$$T_{шт.к} = 1{,}3 мин$$

2. продольное точение.

$T_о = 0{,}394 мин$

$T_{ус} + T_{зо} = 0 мин(заготовка_обрабатывается_за_один_установ)$

$T_{уп} + T_{из} = 0{,}24 мин$

$T_в = 0{,}24 мин$

$T_{доп} = 4{,}6\% * (T_о + T_в) = 0{,}027 мин$

$T_{пз} = 6{,}6 мин$

$T_{шт.к} = 0{,}74 мин$

3. Сверление на токарном станке.

$T_о = 0{,}47 мин$

$T_{ус} + T_{зо} = 0 мин(заготовка_обрабатывается_за_один_установ)$

$T_{уп} + T_{из} = 0{,}32 мин$

$T_в = 0{,}32 мин$

$T_{доп} = 4{,}6\% * (T_о + T_в) = 0{,}036 мин$

$T_{пз} = 7{,}6 мин$

$T_{шт.к} = 0{,}86 мин$

4. Растачивание отверстия.

$T_о = 0{,}2 мин$

$T_{ус} + T_{зо} = 0{,}27 мин$

$T_{уп} + T_{из} = 0{,}16 мин$

$T_в = 0{,}43 мин$

$T_{доп} = 4{,}6\% * (T_о + T_в) = 0{,}032 мин$

$T_{пз} = 6{,}6 мин$

$T_{шт.к} = 0{,}69 мин$

5. Зубофрезерная операция.

$T_о = 5{,}7 мин$

$T_в = 1{,}05 мин$

$T_{доп} = 8\% * (T_о + T_в) = 0{,}71 мин$

$T_{пз} = 30 - 40 мин$

$T_{шт.к} = 5{,}8 мин$

6. Внутришлифовальная операция.

$T_o = 0{,}25 мин$

$T_{ус} = 0{,}27 мин$

$T_{зо} = 0{,}11 мин$

$T_{уп} = 0{,}62 мин$

$T_в = 1 мин$

$T_{доп} = 0{,}075 мин$

$T_{пз} = 8 мин$

$T_{шт.к} = 1{,}5 мин$

7. Зубошлифовальная операция.

$T_o = 118 мин$

$T_{ус} = 0{,}2 мин$

$T_{зо} = 0{,}1 мин$

$T_{уп} = 0{,}6 мин$

$T_в = 0{,}9 мин$

$T_{доп} = 6{,}12 мин$

$T_{пз} = 88 мин$

$T_{шт.к} = 134 мин$

$T_{из} -$

Измерение профиля производиться на профилограмме (точность профиля эвольвенты), совмещается с T_o;

4 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОТ ПРИНЯТЫХ РЕШЕНИЙ.

Расчет годовой экономической эффективности от внедрения в производство автоматизации проектирования профиля режущего инструмента с применением персональных ЭВМ. Расчет эффекта ведеться по методике, изложенной в [9].

Исходные данные:

$t_р$ – время проектирования единицы профиля инструмента в ручную, $t_р$ =6 часов;

$К_{ин}$ – количество инструмента, необходимого к проектированию в течении года, $К_{ин}$ = 50 шт. шлифовальных кругов для обработки винтовых канавок;

$Ц_{ЭВМ}$ – стоимость основных технических средств, $Ц_{ЭВМ}$ = 35 000 руб;

$t_{раз.}$ – время затраченное на разработку и отладку программного обеспечения, $t_{раз.}$ = 40 час;

$t_{отл.}$ – машинное время на отладку программы, $t_{отл.}$ =120 часов;

$t_{под.}$ – время подготовки исходных данных на единицу инструмента, $t_{под.}$ = 5 минут;

$t_{ввода}$ – время ввода исходных данных, $t_{ввода}$ = 15 минут;

$t_{рас.}$ – время счета на ЭВМ, $t_{рас.}$ = 0,25 минут;

n – срок эксплуатации программного обеспечения, n = 2 года.

Годовой экономический эффект определяем по формуле

$$Э = C_р - C_{общ.авт.}, \qquad (4.1)$$

где $C_р$ – себестоимость ручного проектирования профиля режущего инструмента; $C_{общ.авт.}$ – общие затраты при проектировании режущего инструмента на ЭВМ.

Себестоимость ручного проектирования определяется по формуле

$$C_р = \frac{Ф_{зп.ин.} \cdot (1 + П_{соц})}{Ф_{р.вр.}} \cdot t_р \cdot К_{и.пр.}, \qquad (4.2)$$

где

$Ф_{зп.ин.}$= 460000 руб. – годовой фонд зарплаты инженера – конструктора;

$П_{соц}$ – процент отчисления на социальное страхование, $П_{соц}$=34%;

$Ф_{р.вр.}$ – годовой фонд рабочего времени;

$К_{и.пр}$ – количество инструмента подлежащее проектированию.

Годовой фонд рабочего времени определяется по формуле

$$Ф_{\text{р.вр.}} = (Д_к - Д_в - Д_п) \cdot 8 \cdot С ,$$

где

$Д_к$ – число календарных дней в году, берем $Д_к$=365;

$Д_в$ – число выходных дней в году, $Д_в$=104;

$Д_п$ – число праздничных дней в году (с учетом сокращенных предпраздничных смен $Д_п$=9+1=10);

$С$ – сменность рабочего места $С$=1.

$$Ф_{\text{р.вр.}} = (365 - 104 - 10) \cdot 1 \cdot 8 = 2008 \text{ час.}$$

Количество режущего инструмента, подлежащее проектированию

$$К_{и.пр}=К_{ин}\cdot(1+К_{ув.})\cdot(1+К_v) ,$$

где

$К_{ув.}$ – коэффициент среднегодового увеличения объема проектирования, $К_{ув.}$=0,8;

$К_v$ – коэффициент, учитывающий объем проектирования, $К_v$=1,5.

$$К_{и.пр} = 50\cdot(1+0.8)\cdot(1+1.5) = 225 \text{ шт.}$$

Подставляем все найденные данные в формулу (4.2)

$$С_{,,\text{р}} = \frac{460000 \cdot (1 + 0.34)}{2008} \cdot 6 \cdot 225 = 414412,35 \text{ руб.}$$

Общие затраты при проектировании $К_{и.пр}$ режущего инструмента на ЭВМ определяем по формуле

$$С_{общ.авт.} = С_{\text{р.год}} + С_{\text{пр.авт.}} \cdot К_{и.\text{пр}} + Ц_{ЭВМ} , \qquad (4.3)$$

где

$С_{р.год}$ – годовая себестоимость разработки и отладки программного обеспечения;

$C_{пр.авт.}$ – себестоимость проектирования профиля режущего инструмента на ЭВМ.

Годовая себестоимость разработки и отладки программного обеспечения определяется по формуле

$$C_{р.год.} = \frac{C_{раз}}{n} \quad , \qquad (4.4)$$

где $C_{раз}$ – себестоимость разработки и отладки программного обеспечения.

Себестоимость разработки и отладки программного обеспечения определяется по формуле

$$C_{раз.} = \frac{Ф_{зп.ин.} \cdot (1 + П_{соц})}{Ф_{р.вр.}} \cdot t_{раз.} + t_{отл.} \cdot C_{м} \quad , \qquad (4.5)$$

где $C_м$ – себестоимость работы одного машинного часа на ЭВМ.

Себестоимость работы одного машинного часа определяем по формуле

$$C_{м.} = P \cdot C_э + \frac{З_а + З_м + З_{рем}}{2008},$$

где

P – мощность, потребляемая ЭВМ, P = 0,2 кВт.ч.;

$C_э$ – стоимость одного кВт.ч. электроэнергии, $C_э$ = 4,04 руб;

$З_а$ – сумма годовых амортизационных отчислений, $З_а$ – 25% от стоимости основных технических средств;

$З_м$ – затраты на основные и вспомогательные материалы, $З_м$ – 2% от стоимости основных технических средств;

$З_{рем}$ – затраты на ремонт оборудования, $З_{рем}$ – 5% от стоимости основных технических средств.

$$C_{м.} = 0,2 \cdot 4,04 + \frac{(0,25 + 0.02 + 0,05) \cdot 35000}{2008} = 4,51 \text{ руб.}$$

$$C_{„р\,єќ.} = \frac{460000 \cdot (1 + 0.34)}{2008} \cdot 40 + 120 \cdot 4,51 = 12820,08 \text{ руб.}$$

По формуле (4.4)

$$C_{„р.‹”Љ.} = \frac{12820,08}{2} = 6410,04 \text{ руб.}$$

Себестоимость проектирования на ЭВМ определяем по формуле

$$C_{пр.авт.} = C_{под.} + C_{ввод.} + C_{сцет.} + C_{пр.ин.}, \qquad (4.6)$$

где

$С_{под.}$ – себестоимость подготовки исходных данных;

$С_{ввод.}$ – себестоимость ввода исходных данных;

$С_{счет.}$ – себестоимость счета на ЭВМ;

$С_{пр.ин}$ – затраты на машинное проектирование.

Себестоимость подготовки исходных данных определяют по формуле

$$C_{под.} = \frac{Ф_{зп.ин.} \cdot (1 + П_{соц})}{Ф_{р.вр.}} \cdot t_{под.}; \qquad (4.7)$$

$$C_{\text{„.”Љ.}} = \frac{460000 \cdot (1 + 0.34)}{2008} \cdot \frac{5}{60} = 24,56 \text{ руб.}$$

Себестоимость ввода исходных данных определяют по формуле

$$C_{ввод.} = \frac{Ф_{зп.ин.} \cdot (1 + П_{соц})}{Ф_{р.вр.}} \cdot t_{ввода.}; \qquad (4.8)$$

$$C_{\text{„%‰‘Љ}} = \frac{460000 \cdot (1 + 0.34)}{2008} \cdot \frac{15}{60} = 76,74 \text{ руб.}$$

Себестоимость счета на ЭВМ определяется по формуле

$$C_{сцет.} = (t_{ввода} + t_{рас.}) \cdot C_{м}; \qquad (4.9)$$

$$C_{\text{„–љљЊ}} = \frac{0.25 + 15}{60} \cdot 4,51 = 1,13 \text{ руб.}$$

Затраты на машинное проектирование определяют по формуле

$$C_{пр.ин.} = \frac{Ф_{зп.ин.} \cdot (1 + П_{соц})}{Ф_{р.вр.}} \cdot t_{рас.}; \qquad (4.10)$$

$$C_{\text{„.р.Ц’.}} = \frac{460000 \cdot (1 + 0.34)}{2008} \cdot \frac{0,25}{60} = 1,28 \text{ руб.}$$

Подставляем все необходимые данные в формулу (4.6)

$С_{пр.авт.} = 24,56 + 76,74 + 1,13 + 1,28 = 103,71$ руб.

Подставляем все необходимые данные в формулу (4.3) и определяем общие затраты при автоматизированном проектировании

$С_{общ.авт.} = 6410,04 + 103,71 \cdot 225 + 35000 = 64\ 744,79$ руб.

Тогда общий годовой экономический эффект от внедрения автоматизации проектирования профиля РИ определяем по формуле (4.1):

Э = 414412,35 – 64 744,79 = 349 667,56 руб.

4.1 Инвестиции для реализации проекта.

Произведем вычисления инвестиционных затрат.

Таблица 4 – Состав инвестиционных затрат на реализацию проекта

Статьи затрат	Сумма, руб.
Компьютер (2 шт)	70 000
Программа	133 800
ИТОГО инвестиционных затрат	**203 800**

4.2 Расчёт экономической эффективности и окупаемости проекта

Для определения экономической эффективности необходимо определить чистый денежный поток за 5 лет с вычетом стоимости единовременных вложений и с учетом альтернативных упущенных возможностей, а также вычитая стоимость заменяемого оборудования. Для упущенных возможностей воспользуемся ставкой сравнения R = 45 % в год.

Чистая текущая стоимость проекта:

$$ЧТС = 353\ 670{,}57 \text{ руб.}$$

При данном значении ставки сравнения R= 45 % получаем положительную чистую текущую стоимость, т.е. экономически выгодно.

Найдем ЧТС при R= 150 %, то есть увеличим норму дисконта для определения внутреннего коэффициента окупаемости.

$$ЧТС = -\ 7\ 673{,}09 \text{ руб.}$$

Для обеспечения эффективности капиталовложений в проект достаточно, чтобы выполнялись условия:

$$ЧТС \geq 0,$$

$$ВКО = R^{+} + \frac{ЧТС^{+}}{ЧТС^{+} + \left|ЧТС^{-}\right|} \cdot \left(R^{-} - R^{+}\right) \geq R,$$

где *ВКО* – внутренний коэффициент окупаемости (внутренняя норма доходности);

ЧТС⁺, *ЧТС⁻* – положительные и отрицательные чистые текущие стоимости проекта;

R⁺, *R⁻* – ставки сравнения (дисконтирования), соответствующие положительным и отрицательным чистым потокам платежей.

Рассчитаем внутренний коэффициент окупаемости проекта:

ВКО=0,45+ ((353 670,57 /(353 670,57 +|- 7 673,09|) * (1,5 - 0,45)) =
1,48 ≥ 0,45

Рассчитаем срок окупаемости по формуле:

$$T_{ок.пр.} = m + \frac{KV - S_m}{П_{m+1}},$$

где *m* – текущий номер периода, при котором должно выполняться условие $S_m < KV < S_{m+1}$;

KV – первоначальные капиталовложения в проект, руб.;

S_m, S_{m+1} – сумма чистого потока платежей за *m* и за *m+1* период соответственно, «очищенная» от величин имеющих капиталовложений за эти периоды, руб.;

$П_{m+1}$ – величина чистого потока платежей за m+1 период, «очищенная» от капиталовложений, если они имеются в данном периоде, руб.

Т = 0 + 203 800 / 204 989 = 0,99 года

Таблица 5 – Результаты расчётов показателей экономической эффективности

Статьи поступлений и отчислений	Период планирования, год					
	0	1	2	3	4	5
I. Инвестиции	- 203 800,00					
II. Доходы и расходы						
Экономия (+)	-	349 667,56	349 667,56	349 667,56	349 667,56	349 667,56
в том числе амортизация	-	17 500	17 500,00	17 500,00	17 500,00	17 500,00
Налогооблагаемая прибыль	-	349 667,56	349 667,56	349 667,56	349 667,56	349 667,56
Налог на прибыль 20 % (-)	-	69 933,51	69 933,51	69 933,51	69 933,51	69 933,51
Чистая прибыль (+)		279 734,05	279 734,05	279 734,05	279 734,05	279 734,05
III. Коррекция денежных потоков						
Амортизация (+)		17 500,00	17 500,00	17 500,00	17 500,00	17 500,00
ЧДП (чистая прибыль+амортизация)	- 203 800,00	297 234,05	297 234,05	297 234,05	297 234,05	297 234,05
Коэффициент дисконтирования (r=0,45)	1	0,689655172	0,475624257	0,328016729	0,226218434	0,156012713
ДДП (ЧДП*К)	- 203 800,00	204 989,00	141 371,72	97 497,74	67 239,82	46 372,29
ДДП нарастающим итогом	- 203 800,00	1 189,00	142 560,72	240 058,5	307 298,28	353 670,57
$ЧТС^{+}$						353 670,57
Коэффициент дисконтирования (r=1,5)	1	0,400000000	0,160000000	0,064000000	0,025600000	0,010240000
ДДП (ЧДП*К)	- 203 800,00	118 893,62	47 557,45	19 022,98	7 609,19	3 043,68
ДДП нарастающим итогом	- 203 800,00	- 84 906,38	- 37 348,93	- 18 325,95	- 10 716,76	- 7 673,09
$ЧТС^{-}$						- 7 673,09

Проект экономически эффективен, принимается.

Чистая текущая стоимость проекта 353 670,57 руб.

Внутренний коэффициент окупаемости 148 %.

Срок окупаемости 0,99 года.

5 СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. Монография. — Перев. с англ. Ю.Н. Субботина. — М.: Мир, 1972., — 319 с.
2. Гречишников, В.А. Наука и искусство системного моделирования инструментального обеспечения машиностроительных производств : монография / В.А. Гречишников. — Москва : КУРС, 2016. — 373 с. — ISBN 978-5-906818-80-5. – Режим доступа: http://znanium.com/catalog/product/765791
3. Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Суслов А.Г. и др. Справочник технолога-машиностроителя. Том 1. Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслова. – 5-е изд. исправл. – М.: Машиностроение-1, 2003, 912 с.: ил.
4. Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Суслов А.Г. и др. Справочник техно-лога-машиностроителя. Том 2. Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Меще-рякова, А. Г. Суслова. – 5-е изд. исправл. – М.: Машиностроение-1, 2003, 944 с.: ил.
5. Моделирование систем и процессов: Учебное пособие / Н.Г. Чикуров. – М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. – 398 с.:– (Высшее образование: Бакалавриат). – Режим доступа: http://znanium.com/catalog/product/392652
6. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на МРС., М.:,Машиностроение, 1994г.
7. Организация производства на предприятиях машиностроения: Учебник / М.И. Бухалков. – М.: ИНФРА-М, 2010. –

511 с.: 60x90 1/16. – (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-003781-3 – Режим доступа: http://znanium.com/catalog/product/181443

8. Сморкалов Н.В. Численное представление производящей поверхности инструмента и поверхности детали с помощью сплайна двух переменных //СТИН-2002-№6

9. Справочник экономиста предприятия : справочник / под ред. доц. Н.Б. Акуленко, доц. С.Н. Кукушкина, доц. А.И. Кучеренко. — М. : ИНФРА-М, 2017. — 424 с. — (Справочники ИНФРА-М). — www.dx.doi.org/10.12737/24221. – Режим доступа: http://znanium.com/catalog/product/753719

10. Технология машиностроения : учебник / В.В. Клепиков, Н.М. Султан-заде, В.Ф. Солдатов [и др.]. — М. : ИНФРА-М, 2017. — 387 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — www.dx.doi.org/10.12737/20855. - Режим доступа: http://znanium.com/catalog/product/545572

11. Технология машиностроения. Основы проектирования на ЭВМ: Учебное пособие / О.В. Таратынов, В.В. Клепиков, Б.М. Базров. - М.: Форум, 2011. - 608 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Профессиональное образование). (переплет) ISBN 978-5-91134-472-6 - Режим доступа: http://znanium.com/catalog/product/209326

12. Технология машиностроения: производство типовых деталей машин: Учебное пособие / И.С. Иванов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 224 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-16-005315-8 – Режим доступа: http://znanium.com/catalog/product/363780

13. Численные методы в математическом моделировании: Учебное пособие / Савенкова Н.П., Проворова О.Г., Мок-

ин А.Ю., – 2-е изд., испр. и доп – М.:АРГАМАК-МЕДИА, НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 176 с.: 60x90 1/16. – (Прикладная математика, информатика, информационные технологии) (Обложка) ISBN 978-5-16-009705-3 – Режим доступа: http://znanium.com/catalog/product/455188

14. Численные методы в математическом моделировании: Учебное пособие / Савенкова Н.П., Проворова О.Г., Мокин А.Ю., – 2-е изд., испр. и доп – М.:АРГАМАК-МЕДИА, НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 176 с.: 60x90 1/16. – (Прикладная математика, информатика, информационные технологии) (Обложка) ISBN 978-5-16-009705-3 – Режим доступа: http://znanium.com/catalog/product/455188

15. Численные методы: Учебное пособие / Калиткин Н.Н., – 2-е изд., исправленное. – СПб:БХВ-Петербург, 2015. – 587 с. ISBN 978-5-9775-2575-6 – Режим доступа: http://znanium.com/catalog/product/944508