

УДК 621.9.042

**Р. М. Грубка**, д-р техн. наук, проф.

Донецкий национальный технический университет, ДНР

Тел. / Факс: +7 (949) 3114221; E-mail: [grubka\\_roman@mail.ru](mailto:grubka_roman@mail.ru)

## ТРАЕКТОРИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНО СПРОФИЛИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ МНОГОКООРДИНАТНОЙ ОБРАБОТКЕ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС МЕТОДОМ КОПИРОВАНИЯ

*В статье представлены основные зависимости для определения параметров пространственной траектории перемещения специально спрофилированного режущего инструмента, работающего по методу копирования, при обработке зубчатых венцов с пространственно-модифицированными зубьями. Приведенные в работе зависимости позволяют определить координаты узловых точек траектории перемещения режущего инструмента в процессе многокоординатной обработки пространственно-модифицированных зубьев цилиндрических колес на станках с ЧПУ. Для специально спрофилированного инструмента получены зависимости по определению геометрии его режущей кромки в зависимости от геометрии боковой поверхности зубьев. Использование результатов работы в рамках пространственного подхода к решению вопросов формообразования зубчатых венцов с пространственно-модифицированными зубьями на зубофрезерных операциях позволяет теоретически исследовать процессы нарезания зубчатых венцов с целью повышения геометрической точности зубьев, назначения наиболее рациональных режимных параметров обработки для непрерывно изменяющихся условий резания или определения резервов в повышении производительности процесса нарезания модифицированных зубчатых венцов цилиндрических колес.*

**Ключевые слова:** модификация зубьев, метод копирования, траектория перемещения, режущий инструмент, профилирующая плоскость

**R. M. Grubka**

## THE TRAJECTORY OF MOVEMENT OF A SPECIALLY PROFILED TOOL DURING MULTI-COORDINATE MACHINING TEETH OF CYLINDRICAL WHEELS BY COPYING METHOD

*The article presents the main dependencies for determining the parameters of the spatial trajectory of movement of a specially profiled cutting tool, working by the copying technique, when processing gear rims with spatially modified teeth.. The dependences given in the work allow us to determine the coordinates of the nodal points of the trajectory of the cutting tool in the process of multi-coordinate processing of spatially modified teeth of cylindrical wheels on CNC machines. For a specially profiled tool, dependences are obtained for determining the geometry of its cutting edge depending on the geometry of the lateral surface of the teeth. The use of the results of the work within the framework of a spatial approach to solving the problems of shaping gear rims with spatially modified teeth in gear hobbing operations allows theoretically investigating the processes of cutting gear rims in order to increase the geometric accuracy of the teeth, the appointment of the most rational processing parameters for continuously changing cutting conditions or determination of reserves in increasing the productivity of the process of cutting modified gear rims of cylindrical wheels.*

**Keywords:** modification of teeth, copying method, displacement path, cutting tool, profiling plane

### 1. Введение

Зубчатые колеса являются одними из самых сложных и трудоемких в изготовлении деталей машин, а вопросам повышения производительности и точности изготовления зубчатых венцов уделяется повышенное внимание. Широкое применение зубчатых передач обусловлено рядом их достоинств, в том числе высокой нагрузочной способностью и долговечностью. Для повышения нагрузочной способности и долговечности цилиндрических зубчатых передач зубья одного из звеньев подвергают модификации [1, 2], что достигается путем реализации пространственного зацепления между зубьями при обеспечении линейного характера их контактирования [3, 4]. При этом профили

зубьев модифицированного колеса в различных сечениях по их длине отличаются от эвольвентного профиля и друг от друга.

Технологические способы формообразования цилиндрических колес с наружными зубьями с модифицированной боковой поверхностью представлены в работе [5]. Применение универсального зуборезного оборудования и зуборезных станков с ЧПУ, наряду с использованием стандартного и специально спрофилированного режущего инструмента позволяет получать зубчатые венцы с геометрией боковой поверхности зубьев приближенной к заданной пространственной [6, 7]. В процессе формообразования зубьев методом копирования профиль режущей кромки инструмента воспроизводится в профилирующей плоскости режущего инструмента, а степень приближения геометрии реально нарезаемой боковой поверхности зубьев к теоретически рассчитанной будет зависеть от геометрии режущей кромки инструмента и от вида траектории его перемещения [8].

Обеспечение наиболее близкого приближения геометрических параметров боковой поверхности нарезаемых зубьев к теоретически рассчитанным достигается при постановке и решении пространственных технологических задач формообразования зубчатых венцов с пространственной модификацией зубьев методом копирования.

Основным сдерживающим фактором для широкого применения пространственных зацеплений цилиндрических колес является отсутствие обобщенных расчетных методик для определения элементов технологического обеспечения изготовления зубчатых венцов с пространственно-модифицированными зубьями, зацепления на основе которых способны компенсировать все погрешности изготовления и монтажа, а также перемещения, вызванные деформациями в процессе эксплуатации в результате действия рабочей нагрузки [3, 4]. Задача разработки технологического обеспечения многокоординатной обработки зубчатых венцов с пространственно-модифицированными зубьями может быть решена путем определения взаимосвязи между функциональными свойствами зубчатых колес и зубчатых передач на их основе, характеристиками передач и технологическими воздействиями, которые необходимо осуществить для достижения искомых функциональных свойств и характеристик [9]. Поэтому повышение эксплуатационных показателей зубчатых колес и передач на их основе за счет снижения влияния погрешностей и деформаций на эксплуатационные параметры передач путем модификации боковой поверхности зубьев, исследование процессов формообразования зубчатых венцов с модифицированными зубьями и установление взаимосвязи между геометрией боковой поверхности зубьев, геометрией режущей кромки инструмента и траекторией его перемещения является актуальной научной задачей.

**Цель работы:** определение параметров траектории перемещения специально спрофилированного режущего инструмента при многокоординатной обработке пространственно-модифицированных зубьев цилиндрических колес методом копирования в зависимости от геометрии боковой поверхности зубьев и геометрии режущей кромки инструмента.

## 2. Основное содержание и результаты работы

В работе [10] представлены технологические способы формообразования зубьев методом копирования пальцевой и дисковой модульными фрезами. Разработаем для представленных способов методику определения параметров траектории перемещения специально спрофилированного режущего инструмента, при обработке зубчатых венцов с комплексной пространственной модификацией зубьев [1, 3, 4]. Последовательность выполнения расчетов по предлагаемой методике представлена на рис. 1. При

этом параметры траектории перемещения режущего инструмента определяются в зависимости от геометрии режущей кромки специально спрофилированного режущего инструмента и геометрии боковой поверхности зубьев нарезаемого зубчатого венца.

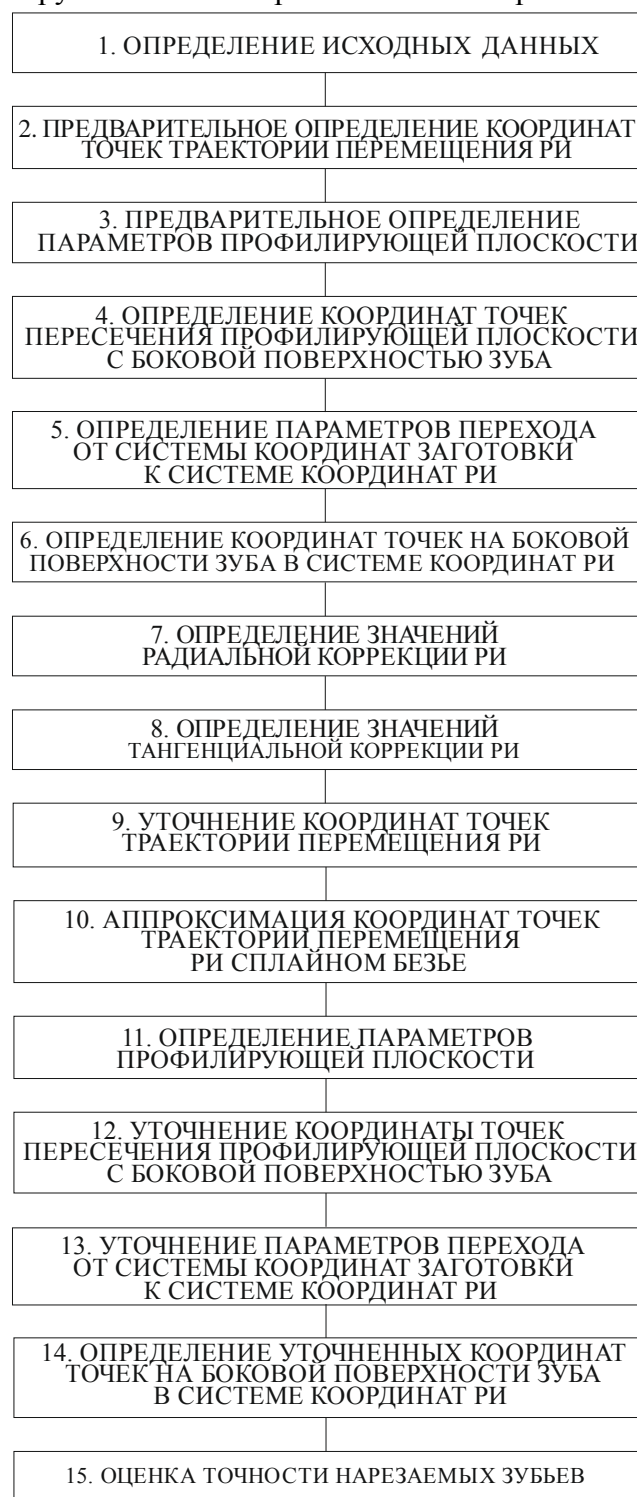


Рисунок 1. Методика определения параметров пространственной траектории перемещения специально спрофилированного режущего инструмента

Методика определения параметров траектории перемещения специально спрофилированного режущего инструмента содержит несколько последовательно выполняемых этапов.

В качестве исходных данных для определения параметров траектории перемещения режущего инструмента, работающего по методу копирования, является данные, полученные при выполнении аппроксимации геометрии боковой поверхности зуба с пространственной модификацией сплайнами Безье [11].

Координаты точек пространственной траектории перемещения режущего инструмента, на первом этапе, предварительно определяются исходя из максимального изменения толщины зуба и координаты по его высоте в сечении делительным цилиндром, в плоскостях симметрии и торца зубчатого венца:

$$\left. \begin{aligned} x_{mpi}^{np} &= x_{mp}^h + \Delta x \cdot i/n; \\ y_{mpi}^{np} &= y_{mp}^h - \Delta y \cdot i/n; \\ z_{mpi}^{np} &= \frac{b_w i}{2n}; i = 0, 1, \dots, n, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $x_{mp}^h$  и  $y_{mp}^h$  - координаты точки принадлежащей плоскости симметрии зубчатого венца;

$\Delta x$  и  $\Delta y$  - соответственно максимальные отклонения по толщине и по высоте зуба координат точек на боковой поверхности зуба в сечении делительным цилиндром;

$b_w$  - ширина зубчатого венца;

$n$  – выбранное количество точек на траектории.

Задаваясь количеством точек на траектории, например  $n=10$ , по зависимости (1) рассчитывается распределение координат точек пространствен-

ной траектории перемещения режущего инструмента. Соединив точки отрезками, получаем пространственную ломаную, которая предварительно определяет геометрию пространственной траектории перемещения режущего инструмента (рис. 2).

Профиль режущего инструмента без искажения копируется в профилирующей плоскости [10], перпендикулярной траектории его перемещения. Координаты точек пересечения профилирующей плоскости с боковой поверхностью пространственно-модифицированного зуба определяются решением системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} x_1(\lambda) &= x_{n-k} \cdot (1-\lambda)^3 + 3 \cdot x_1 \cdot \lambda \cdot (1-\lambda)^2 + \\ &+ 3 \cdot x_2 \cdot \lambda^2 \cdot (1-\lambda) + x_{n-k} \cdot \lambda^3, \\ z_1(\lambda) &= z_{n-k} \cdot (1-\lambda)^3 + 3 \cdot z_1 \cdot \lambda \cdot (1-\lambda)^2 + \\ &+ 3 \cdot z_2 \cdot \lambda^2 \cdot (1-\lambda) + z_{n-k} \cdot \lambda^3, \\ A_{pi} \cdot x_1(\lambda) + B_{pi} \cdot y_{1teor} + C_{pi} \cdot z_1(\lambda) + D_{pi} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $x_1(\lambda)$   $z_1(\lambda)$  - координаты точки пересечения профилирующей плоскости с боковой поверхностью пространственно-модифицированного зуба;

$\lambda$  - параметр сплайна, описывающего геометрию боковой поверхности зубьев;

$A_{pi}, B_{pi}, C_{pi}, D_{pi}$  - постоянные коэффициенты в уравнении профилирующей плоскости, проходящей через середину каждого отрезка траектории перемещения режущего инструмента определяются зависимостями:

$$\begin{aligned} A_{pi} &= x_{mpi+1}^{np} - x_{mpi}^{np}, \quad B_{pi} = y_{mpi+1}^{np} - y_{mpi}^{np}, \quad C_{pi} = z_{mpi+1}^{np} - z_{mpi}^{np}, \\ D_{pi} &= 0,5 \left[ \left( (x_{mpi}^{np})^2 + (y_{mpi}^{np})^2 + (z_{mpi}^{np})^2 \right) - \left( (x_{mpi+1}^{np})^2 + (y_{mpi+1}^{np})^2 + (z_{mpi+1}^{np})^2 \right) \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Параметры перехода от системы координат шестерни к системе координат режущего инструмента определяются зависимостями [12]:

$$\alpha_{xi} = \arctan \left( \frac{B_{pi}}{C_{pi}} \right); \quad (4)$$

$$\alpha_{yi} = \arctan \left( \frac{A_{pi}}{B_{pi} \sin \alpha_{xi} + C_{pi} \cos \alpha_{xi}} \right). \quad (5)$$

Параметры перехода (4), (5) от системы координат шестерни к системе координат режущего инструмента определяются для каждой точки траектории его перемещения.

Координаты точек пересечения профилирующей плоскости с боковой поверхностью пространственно-модифицированного зуба, полученные в результате решения системы уравнений (2), приводятся к системе координат режущего инструмента, с учетом найденных углов  $\alpha_x$  и  $\alpha_y$  используя систему уравнений [12]:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= \cos \alpha_x x_1 - \sin \alpha_x \sin \alpha_y y_1 - \cos \alpha_x \sin \alpha_y z_1 + z_{cpi} \sin \alpha_y \cos \alpha_x - x_{cpi} \cos \alpha_y + \\ &+ y_{cpi} \sin \alpha_x \sin \alpha_y; \\ y_0 &= \cos \alpha_x y_1 - \sin \alpha_x z_1 + z_{cpi} \sin \alpha_x - y_{cpi} \cos \alpha_x; \\ z_0 &= \sin \alpha_y x_1 + \cos \alpha_y \sin \alpha_x y_1 + \cos \alpha_x \cos \alpha_y z_1 - x_{cpi} \sin \alpha_y - y_{cpi} \cos \alpha_y \sin \alpha_x - \\ &- z_{cpi} \cos \alpha_x \cos \alpha_y. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Для всех точек по высоте зуба шестерни определяются:

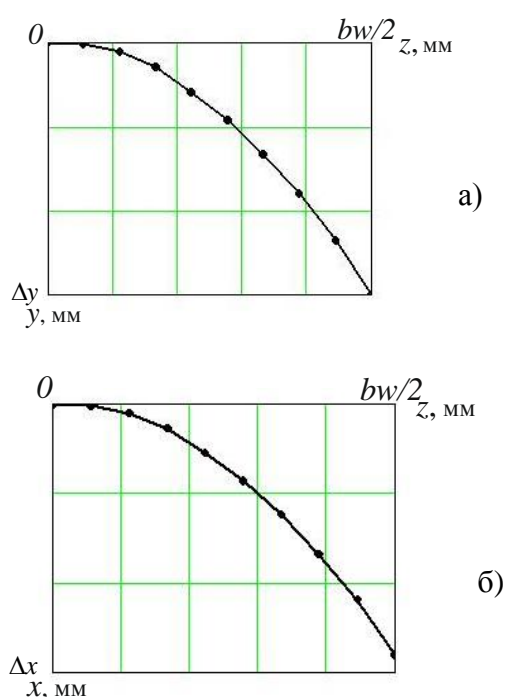


Рисунок 2. Предварительные результаты расчета координат точек траектории перемещения инструмента: а – проекция на плоскость  $yOz$ ; б – проекция на плоскость  $xOz$

где  $x_{0i}^{cp}, y_{0i}^{cp}$  - координаты  $i$  точки, принадлежащей режущей кромке специально спрофилированного режущего инструмента;

$x_{ui}, y_{ui}$  - координаты  $i$  опорной точки сплайна.

$\lambda_{ui}$  -  $i$  параметр сплайна.

Для уточнения геометрии пространственной траектории вводятся значения радиальной и тангенциальной коррекции положения режущего инструмента.

Значение радиальной коррекции для специально спрофилированного режущего инструмента определяется решением системы уравнений (9) с учетом того, что координата по высоте зуба шестерни изменяется на величину коррекции. А в левую часть системы уравнений (9) подставляются координаты точек, принадлежащих боковой поверхности зуба шестерни, приведенные к системе координат режущего инструмента по зависимостям (6):

$$\left. \begin{aligned} x_{0i} &= (1 - \lambda_{ui})^3 x_{00}^{cp} + 3 \cdot (1 - \lambda_{ui})^2 \lambda_{ui} x_{u1} + 3 \cdot (1 - \lambda_{ui}) \lambda_{ui}^2 x_{u2} + \lambda_{ui}^3 x_{0n}^{cp}; \\ y_{0i} &= (1 - \lambda_{ui})^3 y_{00}^{cp} + 3 \cdot (1 - \lambda_{ui})^2 \lambda_{ui} y_{u1} + 3 \cdot (1 - \lambda_{ui}) \lambda_{ui}^2 y_{u2} + \lambda_{ui}^3 y_{0n}^{cp} + k_{rj}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Значение тангенциальной коррекции для специально спрофилированного инструмента определяется по зависимости:

$$k_{rj} = 0,5(\delta x_{00} + \delta x_{0n}). \quad (11)$$

- средние арифметические значения

$$x_{0i}^{cp} = \frac{\sum_{j=0}^m x_{0i,j}}{n}, \quad (7)$$

$$y_{0i}^{cp} = \frac{\sum_{j=0}^m y_{0i,j}}{n},$$

- средние квадратичные отклонения

$$\sigma x_{0i} = \frac{\sum_{j=0}^m (x_{0i,j} - x_{0i}^{cp})^2}{n - 1}, \quad (8)$$

$$\sigma y_{0i} = \frac{\sum_{j=0}^m (y_{0i,j} - y_{0i}^{cp})^2}{n - 1},$$

где  $m$  - количество сплайнов, выбранное для описания геометрии боковой поверхности зуба шестерни по длине зуба [11].

Геометрия режущей кромки специально спрофилированного режущего инструмента может быть аппроксимирована сплайнами Безье вида:

$$\left. \begin{aligned} x_{0i}^{cp} &= (1 - \lambda_{ui})^3 x_{00}^{cp} + 3 \cdot (1 - \lambda_{ui})^2 \lambda_{ui} x_{u1} + \\ &+ 3 \cdot (1 - \lambda_{ui}) \lambda_{ui}^2 x_{u2} + \lambda_{ui}^3 x_{0n}^{cp}; \\ y_{0i}^{cp} &= (1 - \lambda_{ui})^3 y_{00}^{cp} + 3 \cdot (1 - \lambda_{ui})^2 \lambda_{ui} y_{u1} + \\ &+ 3 \cdot (1 - \lambda_{ui}) \lambda_{ui}^2 y_{u2} + \lambda_{ui}^3 y_{0n}^{cp}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где  $\delta x_{00}$  и  $\delta x_{0n}$  - отклонение толщины зуба для верхней и нижней точек профиля:

$$\delta x_{0i} = x_{0i}^{meop} - x_{0i}. \quad (12)$$

где  $x_{0i}^{meop}$  - координаты по толщине зуба, соответствующие теоретическим значениям толщины в граничных точках профиля зуба:

$$x_{0i} = (1 - \lambda_{ui})^3 x_{00}^{cp} + 3 \cdot (1 - \lambda_{ui})^2 \lambda_{ui} x_{u1} + 3 \cdot (1 - \lambda_{ui}) \lambda_{ui}^2 x_{u2} + \lambda_{ui}^3 x_{0n}^{cp} \quad (13)$$

где  $\lambda_{ui}$  - параметры сплайна  $\lambda_{u0}$  и  $\lambda_{un}$  для граничных точек кривой пересечения боковой поверхности зуба с профилирующей плоскостью, которые определяются в результате решения системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} y_{00} &= (1 - \lambda_{u0})^3 y_{00}^{cp} + 3 \cdot (1 - \lambda_{u0})^2 \lambda_{u0} y_{u1} + 3 \cdot (1 - \lambda_{u0}) \lambda_{u0}^2 y_{u2} + \lambda_{u0}^3 y_{0n}^{cp} + k_{ri}; \\ y_{0n} &= (1 - \lambda_{un})^3 y_{00}^{cp} + 3 \cdot (1 - \lambda_{un})^2 \lambda_{un} y_{u1} + 3 \cdot (1 - \lambda_{un}) \lambda_{un}^2 y_{u2} + \lambda_{un}^3 y_{0n}^{cp} + k_{ri}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Координаты точек реально нарезаемой кривой профиля определяются в соответствии с системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} x_{0i,j}^{nap} &= (1 - \lambda_{ui})^3 x_{00}^{cp} + 3 \cdot (1 - \lambda_{ui})^2 \lambda_{ui} x_{u1} + 3 \cdot (1 - \lambda_{ui}) \lambda_{ui}^2 x_{u2} + \lambda_{ui}^3 x_{0n}^{cp} - k_{ij}, \\ y_{0i,j}^{nap} &= (1 - \lambda_{ui})^3 y_{00}^{cp} + 3 \cdot (1 - \lambda_{ui})^2 \lambda_{ui} y_{u1} + 3 \cdot (1 - \lambda_{ui}) \lambda_{ui}^2 y_{u2} + \lambda_{ui}^3 y_{0n}^{cp} + k_{ij}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

На втором этапе определяются уточненные координаты точек пространственной траектории перемещения режущего инструмента с учетом ранее найденных значений радиальной и тангенциальной коррекций положения режущего инструмента:

$$\left. \begin{aligned} x_i^{mp} &= x_{mpi}^{np} - k_{ii}; \\ y_i^{mp} &= y_{mpi}^{np} + k_{ri}; \\ z_i^{mp} &= z_{mpi}^{np}. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Аппроксимация координат точек пространственной траектории перемещения режущего инструмента осуществляется сплайном Безье третьего порядка [12]:

$$\left. \begin{aligned} x_i^{mp} &= (1 - \lambda_i^{mp})^3 x_0^{mp} + 3 \cdot (1 - \lambda_i^{mp})^2 \lambda_i^{mp} x_{1mp} + 3 \cdot (1 - \lambda_i^{mp}) \lambda_i^{mp2} x_{2mp} + \lambda_i^{mp3} x_n^{mp}; \\ y_i^{mp} &= (1 - \lambda_i^{mp})^3 y_0^{mp} + 3 \cdot (1 - \lambda_i^{mp})^2 \lambda_i^{mp} y_{1mp} + 3 \cdot (1 - \lambda_i^{mp}) \lambda_i^{mp2} y_{2mp} + \lambda_i^{mp3} y_n^{mp}; \\ z_i^{mp} &= (1 - \lambda_i^{mp})^3 z_0^{mp} + 3 \cdot (1 - \lambda_i^{mp})^2 \lambda_i^{mp} z_{1mp} + 3 \cdot (1 - \lambda_i^{mp}) \lambda_i^{mp2} z_{2mp} + \lambda_i^{mp3} z_n^{mp}, \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

где  $x_i^{mp}, y_i^{mp}, z_i^{mp}$  - координаты  $i$  точки траектории перемещения режущего инструмента;

$x_0^{mp}, y_0^{mp}, z_0^{mp}$  и  $x_n^{mp}, y_n^{mp}, z_n^{mp}$  - координаты точек начала и конца траектории перемещения режущего инструмента;

$x_{1mp}, y_{1mp}, z_{1mp}$  и  $x_{2mp}, y_{2mp}, z_{2mp}$  - координаты опорных точек сплайна;

$\lambda_i^{mp}$  -  $i$  параметр сплайна.

Уточняющие расчеты координат точек пересечения профилирующей плоскости с боковой поверхностью пространственно-модифицированного зуба выполняются с использованием системы уравнений (2) с учетом параметров плоскости, перпендикулярной пространственной кривой траектории перемещения режущего инструмента [12]. Параметры перехода  $\alpha_x$  и  $\alpha_y$  от системы координат шестерни к системе координат режущего инструмента рассчитываются с использованием зависимостей (4) и (5). После чего уточненные значения координат точек пересечения профилирующей плоскости с бо-

ковой поверхностью пространственно-модифицированного зуба приводятся к системе координат режущего инструмента по зависимостям (6) и выполняется уточнение зависимостей, описывающих геометрию режущей кромки специально спрофилированного инструмента по зависимостям (9).

Качество выполненных расчетов по определению параметров пространственной траектории перемещения режущего инструмента проверяется оценкой точности получения координат боковой поверхности пространственно-модифицированного зуба шестерни. Для чего выполняется сравнение теоретических значений координат точек на боковой поверхности пространственно-модифицированного зубьев с координатами, которые будут получены при обработке в случае перемещении режущего инструмента относительно заготовки по рассчитанной траектории без учета деформаций элементов системы СПИД.

### 3. Выводы

Разработана методика определения параметров пространственной траектории перемещения специально спрофилированного режущего инструмента, работающего по методу копирования, при обработке зубчатых венцов с пространственно-модифицированными зубьями. Реализация методики позволяет определять координаты узловых точек траектории перемещения режущего инструмента в процессе многокоординатной обработки пространственно-модифицированных зубьев цилиндрических колес на станках с ЧПУ. Для специально спрофилированного инструмента получены зависимости по определению геометрии его режущей кромки в зависимости от геометрии боковой поверхности зубьев. Результаты, полученные при разработке методики определения параметров траектории перемещения режущего инструмента, могут в дальнейшем быть использованы при расчетах, связанных с назначением режимных параметров обработки. Применение предложенной методики по определению параметров пространственной траектории перемещения специально спрофилированного режущего инструмента позволяет повысить точность многокоординатного фрезерования зубчатых венцов за счет аналитического описания взаимосвязи геометрии боковой поверхности пространственно-модифицированных зубьев, геометрии режущей кромки инструмента и траектории перемещения режущего инструмента относительно заготовки.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Грубка, Р. М. Синтез пространственных геометрий зубьев цилиндрических колес, работающих при наличии погрешностей и деформаций элементов передач [Текст] / Р. М. Грубка, И. А. Петряева, А. Н. Михайлов, А. А. Бочаров // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – Вып. 4 (63). – С. 17 - 27.

2. Грубка, Р. М. Конструктивные способы повышения эксплуатационных показателей цилиндрических зубчатых передач [Текст] / Р. М. Грубка // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. - Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2019. – Вып. 1(64). – С. 17 - 22.

3. Пат. 2 713 537 Рос. Федерация, МКП7 F16H 1/04 (2006.01). Зубчатое соединение с внешним зацеплением зубьев / Р. М. Грубка (UA), Н. С. Пичко (RU), А. Н. Михайлов (UA), И. А. Петряева (UA); заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ухтинский государственный технический университет" (ФГБОУ ВО УГТУ) (RU) – № 2019104782; заявл. 20.02.19; опубл. 05.02.20, Бюл. № 4 – 11 с. : ил.

4. Пат. 2713 691 Рос. Федерация, МКП7 F16H 1/10 (2006.01) F16D 3/18 (2006.01). Зубчатое соединение с внутренним зацеплением зубьев / Р. М. Грубка (UA), Н. С. Пичко (RU), А. Н. Михайлов (UA), И. А. Петряева (UA); заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ухтинский государственный технический университет" (ФГБОУ ВО УГТУ) (RU) – № 2019104785, заявл. 10.04.19; опубл. 06.02.20, Бюл. № 4 – 13 с. : ил.
5. Калашников, А. С. Технология изготовления зубчатых колес [Текст] / А. С. Калашников. – М.: Машиностроение, 2004. – 480 с.
6. Грубка, Р. М. Методика определения параметров для настройки зубофрезерного станка при фрезеровании зубьев втулок зубчатых муфт с пространственной геометрией [Текст] / Р. М. Грубка, А. Н. Михайлов, С. И. Лучко // Прогресивні технології і системи-машинобудування: Міжнародний зб. Наукових праць. – Донецьк: Донец.нац. техн. ун-т, 2011. – Вып. 41. – С. 112-118.
7. Грубка, Р. М. Фрезерование зубьев втулок муфт с геометрией приближенной к групповой пространственной методом обкатки на существующем серийном оборудовании [Текст] / Р. М. Грубка, А. Н. Михайлов, Л. Н. Феник, С. И. Лучко // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. Наукових праць. – Донецьк: Донец.нац. техн. ун-т, 2011. – Вып. 42. – С. 98-103.
8. Грубка, Р. М. Классификация движений при многокоординатном зубофрезеровании пространственно-модифицированных зубьев цилиндрических зубчатых колес методом копирования [Текст] / Р. М. Грубка, А. Н. Михайлов, И. А. Петряева // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: Донец. нац. техн. ун-т, 2019. – Вып. 3(66). – С. 16 - 21.
9. Грубка, Р. М. Повышение надежности, долговечности и нагрузочной способности цилиндрических зубчатых передач на базе комплексного функционально-ориентированного конструкторско-технологического подхода [Текст] / Р. М. Грубка // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – Вып. 2 (61). – С. 15 - 22.
10. Грубка, Р. М. Зубофрезерование методом копирования цилиндрических колес с пространственно-модифицированными зубьями / Р. М. Грубка, А. Н. Михайлов, А. В. Стёпочкина, И. А. Гуричев // Перспективные направления развития отделочно-упрочняющей обработки и виброволновых технологий [Электронный ресурс]: сб. тр. науч. семинара / под ред. В.А. Лебедева; Донской гос. техн. ун-т. – Электрон. текстовые дан. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2021. – С. 117 - 122.
11. Some features of the design and technological preparation of the production of spur gears with spatially modified teeth / R.M. Grubka, N.S. Pichko, I.A. Petryayeva, A.N. Mikhailov // Materials Today: Proceedings. – 2019. - Volume 19. Part 5: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019. – P. 2483-2487.
12. Грубка, Р. М. Определение параметров перехода между системами координат режущего инструмента и заготовки при многокоординатной обработке цилиндрических колес [Текст] / Р. М. Грубка // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2021. – Вып. 2 (73). – С. 29 - 35.

Поступила в редколлегию 21.01.23 г.