ФОРМООБРАЗОВАНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЧЕРВЯЧНОГО КОЛЕСА И ЧЕРВЯКА ЗУБОРЕЗНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПРОИЗВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рязанов¹ С.А., Решетников² М.К., Шпилев³ В.В.

^{1, 2, 3} ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
Адрес: г. Саратов, ул. Политехническая, 77

¹ despro@mail.ru; ² graphic@sstu.ru; ³ vasya-shpilev@rambler.ru

Аннотация: обоснована актуальность теоретических исследований по применению геометрических возможностей современных систем CAD, которые позволяют перейти от аналитического описания взаимодействия контактирующих поверхностей элементов червячных передач и сосредоточиться на реализацию алгоритмов их взаимодействия. Показано использование средств ядра геометрического моделирования при виртуальном имитационном нарезании элементов, участвующих в формообразовании червячной пары. Показано использование модифицированной производящей поверхности для внесения преднамеренных погрешностей, которые неизбежно возникают при попытке изготовить и использовать реальную червячную пару.

Предмет исследования: геометрическое и компьютерное кинематическое моделирование процесса формообразования цилиндрических червячных передач.

Материалы и методы: статья написана на основе изучения материалов научных статей, доступных электронных ресурсов; в статье использованы методы аналитической геометрии и алгоритмы геометрического компьютерного моделирования.

Результаты: применение методов компьютерного геометрического твердотельного моделирования позволяет оставить только один этап подготовки производства нового изделия машиностроения, который можно назвать – геометрический синтез с учетом конфигурации рабочего пространства.

Выводы: на основании изученных источников представлена геометрическая модель производящей поверхности для формообразования элементов червячной пары с модифицированным рабочим профилем.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, твердотельное моделирование, зубчатые колеса, червячное зацепление, зуборезный инструмент, модифицированная производящая поверхность.

ВВЕДЕНИЕ

Червячные передачи, конструктивной особенностью которых, является применение цилиндрического червяка, а также, глобoidные и спироидные передачи, широко применяются в большинстве современных машиностроительных изделий. Червячные передачи с цилиндрическим червяком часто используются при создании различного металлообрабатывающего оборудования, например: нажимные механизмы прокатных станов, прессы и т.д. Они находят широкое применение в подъемно-транспортных машинах, в различных приводах, а также при реализации кинематических цепей различного станочного оборудования, особенно там, где требуется высокая кинематическая точность передачи – это делительные устройства механообрабатывающих станков, механизмы их наладки, и т.д.

В настоящее время в связи с активным применением в производстве персональных компьютеров, существует возможность пересмотреть используемые методики расчета

геометрических параметров червячных передач и наладок зубообрабатывающих станков для их формообразования. А именно, заменить приближенные, графические и графоаналитические методы, расчета параметров контактирующих поверхностей элементов червячной передачи, более точными алгоритмами трехмерного компьютерного прототипирования. Создать алгоритмы и методики для сокращения трудоемкости выполнения расчетов, но при этом повысить их точность и сократить предварительные наладочные работы при проектировании и изготовления цилиндрических червячных передач.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Современное развитие машиностроительной промышленности достигло того уровня, при котором разработка технологического процесса для изготовления элементов червячной передачи требует высокой точности соблюдения геометрических параметров ее деталей при их изготовлении. Повышение точности производства машиностроительных изделий вынуждает

инженеров-конструкторов еще на стадии проектирования нового червячного зацепления, а инженеров-технологов – непосредственно на стадии разработки технологического процесса профилирования витков червяка и зубьев червячного колеса, следить в проектируемом зацеплении за каждым микроном при их производстве.

Исследованиям формообразования рабочих поверхностей зубьев зубчатых передач посвящены работы Н.И. Колчина [1], Ф.Л. Литвина [2], М.Г. Сегал [3], А.А. Ляшкова [4–7], В.Ю. Карачаровского и др. Работы этих авторов остаются актуальными и в настоящее время.

Большой вклад в создание и развитие метода расчета пространственных зубчатых зацеплений был сделан Н.И. Колчиным и В.В. Болдыревым, которые изначально применили его к случаю зацепления конических зубчатых колес, а затем и к червячным передачам. Разработанным методом авторам удалось решить задачу в общем случае для червячного зацепления, т.е. с произвольным углом между осями вращения червяка и червячного колеса. Полученное решение оказалось настолько обобщенным, что из него получается частный случай зацепления червячных передач с прямым углом между осями вращения. Из разработанного обобщенного случая червячного зацепления при переходе к предельным значения передаточного числа можно получить случай зацепления червяка с рейкой, который был исследован для эвольвентного червяка Бакингом, а для архимедова червяка – Н.И. Тузевичем.

Теория эвольвентного зацепления описана в работах профессора Х.Ф. Кетова, М.С. Полоцкого и Е.Г. Гинзбурга. В этих работах авторы представили созданные ими методики расчета систем зубчатых колес, нарезанных с применением единого инструмента. Им удалось аналитически обосновать метод нарезания винтовой поверхности цилиндрических колес при помощи червячных фрез и показать его эквивалентность с нарезанием рейкой, соответствующей червяку фрезы.

Большую роль в формировании современных методов расчета и анализа различных видов зубчатых передач сыграл Л.Д. Часовников [8]. Им была разработана методика расчета червячных передач с выпукло-вогнутым профилем у контактирующих поверхностей червяка и червячного колеса.

Значительное влияние на развитие и совершенствование современных численных методов расчета сложных геометрических поверхностей внесли Г.И. Шевелева [9], В.И. Медведев [10]. В их работах, определение обволакивающей поверхности выполняется с помощью разработанного ими метода аппликат, который основан на численном представлении контактирующих поверхностей.

А.А. Ляшковым были разработаны геометрические алгоритмы моделирования винтовых поверхностей при помощи

поверхностного и твердотельного моделирования. Активно развивается и кинематический метод расчета параметров червячных передач [11].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Технические сложные поверхности, применяемые в машиностроении и машиностроительных изделиях, а также в такой области как зубообработка, получаются путем взаимного относительного пространственного движения и взаимодействия между рабочими поверхностями инструмента и заготовки. При этом инструмент является формообразующим элементом, который при пространственном движении и взаимодействии с заготовкой, формирует на ней требуемую поверхность. При компьютерном имитационном моделировании станочного технологического процесса формообразования в качестве результирующей модели получаемой поверхности может выступать огибающая поверхность червячной передачи, которая проходит через все линии касания взаимодействующих рабочих поверхностей инструмента и заготовки. В виду того, что на компьютере нельзя реализовать механизм, имитирующий точную кинематическую связь оборудования станка, то пространственное перемещение происходит дискретно, но с необходимой заданной точностью. Величина, которой является достаточной для точного воспроизведения технологического процесса формообразования элементов червячного зацепления. Это приводит к получению поверхности формообразованной дискретным перемещением производящей поверхности инструмента. Применительно к червячным парам можно говорить о формировании поверхности червяка (или червячной фрезы) путем взаимодействия его заготовки и инструмента эквивалентного зуборезному инструменту дисковая фреза, а для червячного цилиндрического колеса – взаимодействие его заготовки и зуборезного инструмента, эквивалентного червячной фрезы.

Использование методов компьютерного геометрического моделирования для имитации технологического процесса формообразования рабочей поверхности основан на относительном движении взаимопересекающихся объектов в виде системы объектов «заготовка – инструмент». Это позволяет получать необходимую геометрическую модель, точно воспроизводящую геометрическую конфигурацию поверхностей витков червяка и зубьев червячного колеса. Сочетание инструмента – дисковая фреза и цилиндрической заготовки фрезы – позволяет получить модель червячной фрезы; инструмента – червячная фреза и заготовки цилиндрического колеса дает возможность получить модель колеса передачи. Рабочая поверхность червячного колеса должна быть при этом образована производящей поверхностью

инструмента, которая должна быть полностью идентична рабочей поверхности витков червяка. Такое утверждение позволяет использовать модель червячной фрезы, как модель сопряженного цилиндрического червяка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Производящие поверхности ($\Pi_{ик}$) применяемых инструментов представляют собой поверхности

вращения или винтовые поверхности, которые могут быть образованы соответствующим движением заданного профиля осевого сечения (Π_o) вдоль и/или вокруг соответствующих им осей инструмента (рис. 1). На этом рисунке показан обобщенный алгоритм образования производящей поверхности зуборезного инструмента, который основан на использовании исходного прямолинейного или модифицированного осевого сечения этой поверхности.

Рис. 1. Геометрическая модель образования обобщенной производящей поверхности:

Fig. 1. Геометрическая модель образования обобщенной производящей поверхности

Данный геометрический алгоритм позволяет получить различные виды зуборезных инструментов, используя сечение производящей поверхности. Координаты точек принадлежащих производящей поверхности инструмента $\bar{R}_m^{(Su)}$ удобно при этом описывать в векторно-матричной форме (1):

$$\bar{R}_m^{(Su)} = H_{S_{ou}S_{o\Pi}} \times \bar{R}_m^{(So\Pi)}, \quad (1)$$

где $\bar{R}_m^{(So\Pi)}$ – радиус-вектор осевого профиля исходного или модифицированного производящей поверхности в подвижной системе координат

$$S_{o\Pi}(O_{\Pi}x_{\Pi}y_{\Pi}z_{\Pi}):$$

$$\bar{R}_m^{(So\Pi)} = \begin{vmatrix} x_m & y_m & z_m & 1 \end{vmatrix}^T,$$

где x_m , y_m , z_m – координаты точки, принадлежащей сечению производящей поверхности инструмента;

$H_{S_{ou}S_{o\Pi}}$ – блочная матрица, выражающая взаимное движение системы $S_{o\Pi}$, связанной с осевым профилем производящей поверхности (инструмента), относительно системы S_{ou} задающей ось инструмента:

$$H_{S_{ou}S_{o\Pi}} = \begin{vmatrix} A_{S_{ou}S_{o\Pi}} & r_{0\Pi}^{(s_{ou})} \\ 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где $r_{0\Pi}^{(s_{ou})}$ – радиус-вектор сформированной производящей поверхности в системе координат $S_{ou}(O_{ou}x_u y_u z_u)$;

$A_{S_{ou}S_{o\Pi}}$ – матрица поворота размерностью 3×3 .

Наполнение матрицы $H_{S_{ou}S_{o\Pi}}$ соответствует выбранному типу зуборезного инструмента.

Для аналитического описания координат точек, принадлежащих производящей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза», в матричном выражении (2) необходимо задать следующие параметры:

$$A_{S_{ou}S_{oII}} = \begin{vmatrix} \cos(\theta_2) & \sin(\theta_2) & 0 \\ -\sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (3)$$

$$r_{oII}^{(s_{ou})} = [R \cdot \sin(\theta_2) \quad R \cdot \cos(\theta_2) \quad -p_0 \cdot \theta_2]^T = \begin{bmatrix} R \cdot \sin(\theta_2) \\ R \cdot \cos(\theta_2) \\ -p_0 \cdot \theta_2 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где R – радиус делительной окружности инструмента «червячная фреза»;
 p_0 – параметр движения осевого профиля вдоль оси вращения Z_2 .

Подставляя значения блочной матрицы $A_{S_{ou}S_{oII}}$ (3) и вектора $r_{oII}^{(s_{ou})}$ (4) в формулу (2), получим окончательный вид матрицы для случая «червячная фреза», описывающей поворот радиус-вектора формообразующей поверхности профиля инструмента, в системе координат инструмента:

$$\bar{R}_m^{(Su)} = \begin{vmatrix} \cos(\theta_2) & \sin(\theta_2) & 0 & R \cdot \sin(\theta_2) \\ -\sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & R \cdot \cos(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & -p_0 \cdot \theta_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \bar{R}_m^{(SoII)},$$

где $\bar{R}_m^{(SoII)}$ – радиус-вектор осевого профиля производящей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза» в подвижной системе координат $S_{oII}(O_{II}x_{II}y_{II}z_{II})$;

θ_2 – угол поворота радиус-вектора $\bar{R}_m^{(SoII)}$.

Выполнив умножение матриц, получаем систему уравнений, которая описывает преобразование координат осевого профиля производящей поверхности из системы координат профиля инструмента $S_{oII}(O_{II}x_{II}y_{II}z_{II})$ в систему координат инструмента «червячная фреза» $(X_2Y_2Z_2)$ в координатной форме:

$$\begin{cases} R_{mX}^{(Su)} = x_m \cdot \cos(\theta_2) + y_m \cdot \sin(\theta_2) + R \cdot \sin(\theta_2) \\ R_{mY}^{(Su)} = -x_m \cdot \sin(\theta_2) + y_m \cdot \cos(\theta_2) + R \cdot \cos(\theta_2), \\ R_{mZ}^{(Su)} = z_m - p_0 \cdot \theta_2 \end{cases} \quad (5)$$

где $R_{mX}^{(Su)}$, $R_{mY}^{(Su)}$, $R_{mZ}^{(Su)}$ – координаты точки принадлежащей производящей поверхности зуборезного инструмента, заданную радиус-вектором $\bar{R}_m^{(SoII)}$ в системе координат этого инструмента;

x_m , y_m , z_m – координаты точек осевого профиля производящей поверхности зуборезного инструмента заданные в системе координат $S_{oII}(O_{II}x_{II}y_{II}z_{II})$.

Полученная система уравнений (5) позволяет определить положение точек принадлежащих производящей поверхности зуборезного инструмента, являющейся эквивалентной производящей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза» при помощи алгоритма представленного на рис. 2. И как результат – компьютерная модель зуборезного инструмента «червячная фреза» (рис. 3).

Рис. 2. Алгоритм получения рабочей поверхности червячной фрезы
Fig. 2. Algorithm for obtaining the working surface of the hob cutter

Рис. 3. Модель производящей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза»
Fig. 3. Model of the producing surface of the gear cutting tool "hob cutter"

Для улучшения контактных характеристик взаимодействующих поверхностей используется модифицированная производящая поверхность. Для

ее получения необходимо выполнить изменение исходного (прямолинейного) профиля сечения производящей поверхности P_o :

$$\begin{cases} R_{MX}^{(Su)} = 0 \\ R_{MY}^{(Su)} = \mu \cdot z^2 \cdot \cos(\theta_x) - z \cdot \sin(\theta_x) \\ R_{MY}^{(Su)} = \mu \cdot z^2 \cdot \sin(\theta_x) + z \cos(\theta_x) + \Delta z \end{cases} \quad (6)$$

Выполняя расчеты координат точек модифицированного профиля при помощи системы уравнений (6) на необходимом интервале, происходит формирование набора координат точек для левого и правого профилей модифицированной производящей поверхности:

для левого профиля:

[1,270448002; 0,813086721; 0,457361281;
0,2032716808; 0,0508179208; 0; 0,0460253325;
0,1841013326; 0,4142279992; 0,736405334;
1,150633335];

для правого профиля:

[1,270448002; 0,813086721; 0,457361281;
0,2032716808; 0,0508179208; 0; 0,0460253325;
0,1841013326; 0,4142279992; 0,736405334;
1,150633335].

В соответствии с этими координатами точек можно получить графическое изображение левого и правого профилей производящей поверхности соответственно, что дает возможность получения осевого сечения модифицированной производящей поверхности (рис. 4).

Рис. 4. Модифицированный осевой профиль обобщенной производящей поверхности
Fig. 4. Modified axial profile of the generalized generating surface

Подставив в систему уравнений (5) уравнение (6), которое задает модифицированный профиль, получаем параметрическую форму уравнений модифицированной производящей поверхности, показанную на рис. 5:

$$\begin{cases} R_{MX}^{(Su)} = \sin(\theta_2) \cdot (\mu \cdot z^2 \cdot \cos(\theta_x) \mp z \cdot \sin(\theta_x)) + R \cdot \sin(\theta_2) \\ R_{MY}^{(Su)} = \cos(\theta_2) \cdot (\mu \cdot z^2 \cdot \cos(\theta_x) \mp z \cdot \sin(\theta_x)) + R \cdot \sin(\theta_2) \\ R_{MY}^{(Su)} = -p_0 \cdot \theta_2 + \mu \cdot z^2 \cdot \sin(\theta_x) \pm z \cdot \cos(\theta_x) \pm \Delta z \end{cases}$$

Рис. 5. Модель модифицированной производящей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза»
Fig. 5. Model of the modified generating surface of the gear cutting tool "hob cutter"

Получение поверхностей зубьев методом имитационного твердотельного моделирования основано на виртуальном кинематическом

представлении технологического процесса формообразования в виде взаимоогибания поверхностей одного объекта (инструмента) и

второго объекта (заготовки). Для этой цели были применены методы алгебраической логики в виде геометрического вычитания для удаления части объема заготовки, отсеченной в процессе движения инструмента.

Основным принципом твердотельного моделирования является применение возможностей алгебры множеств, когда рассматриваемая заготовка и инструмент представляются множеством геометрических элементов. В основе алгоритма лежит типовая операция разности множеств:

$$M = M_{\text{заг}} \setminus M_{\text{инстр}}$$

где M – результирующее множество геометрических элементов;

$M_{\text{заг}}$, $M_{\text{инстр}}$ – множества элементов, принадлежащих соответственно нарезаемой заготовке и инструменту.

Результирующее множество элементов M , после каждой операции вычитания, становится новым и заменяет существующее значение для множества $M_{\text{заг}}$. Цикл формообразования повторяется над уже модифицированным набором элементов $M_{\text{заг}}$, что моделирует технологический процесс образования огибающих поверхностей на зубообрабатывающих станках.

Алгоритм геометрического компьютерного имитационного формообразования элементов червячной передачи представлен на рис. 6.

Рассмотрим процесс формообразования зубьев червяка ($j = 1$) и червячного колеса ($j = 2$) с углом скрещивания, который задан в наладочных параметрах алгоритма формообразования.

В блоке 1, осуществляется формирование исходных твердотельных моделей заготовки и инструмента на основе применения процедур геометрического моделирования. Для этого, исходя из геометрических данных чертежа и предварительных расчетов, определяются геометрические характеристики осевых сечений заготовок (блок 1.1) и инструмента (блок 1.2).

Полученные твердотельные модели дисковой фрезы и заготовки червяка или червячной фрезы и заготовки червячного колеса, будут рассматриваться далее как числовые множества. Они размещаются в исходном положении, которое определяется радиальной установкой зуборезного инструмента, технологическими смещениями, угловой и осевой установками заготовки (блок 2).

Алгоритмический блок 3, позволяет задать кинематические зависимости, задающие относительное движение объектов в реализуемом станочном зацеплении. При моделировании традиционной схемы нарезания методом обкатки процесс формообразования задается функциональной взаимосвязью углового вращения заготовки и инструмента.

Рис. 6. Алгоритм компьютерного моделирования процесса формообразования рабочих поверхностей элементов червячного зацепления

Fig. 6. Algorithm for computer modeling of the process of shaping the working surfaces of worm gear elements

В алгоритмических блоках 4 и 5 происходит выполнение виртуального имитационного «нарезания» зубьев, основанное на последовательном удалении частей объема заготовки, отсекаемых инструментом, на основе применения булевой операции вычитания тел (в виде геометрического вычитания трехмерных числовых множеств).

После выполнения каждой итерации, взаимодействующим телам сообщаются малые угловые перемещения, изменяющие их относительное положение в соответствии с математическими зависимостями, которые связывают взаимные угловые перемещения геометрических объектов, которые участвуют в виртуальном формообразовании элементов червячной передачи (рис. 7).

Рис. 7. Геометрическая имитационная модель формообразования элементов червячного зацепления
Fig. 7. Geometric simulation model of shaping of worm gear elements

Описанный алгоритм компьютерного моделирования позволяет сформировать рабочие поверхности цилиндрического червяка или червячной фрезы (рис. 8, а) и цилиндрического

червячного колеса (рис. 8, б), с использованием различных параметров модификации производящей поверхности червячной фрезы.

а)

б)

Рис. 8. Геометрическая модель компонентов червячного зацепления:

а) рабочая поверхность цилиндрического червяка; б) рабочая поверхность цилиндрического червячного колеса

Fig. 8. Geometric model of worm gear components:

а) the working surface of the cylindrical worm; б) the working surface of the cylindrical worm wheel

ВЫВОДЫ

Получены математические зависимости для аналитического описания виртуального цифрового прототипа производящей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза» с возможностью внесения профильной модификации, применение которой позволяет изменить зону контакта рабочих поверхностей цилиндрического червяка и червячного колеса, что приводит к улучшению характеристик зоны контакта зубчатой передачи. Применение цифрового прототипа модифицированной производящей поверхности позволяет выполнять получение виртуального изделия используемого в зубчатой передаче для его дальнейшего прочностного анализа, а также позволяет сократить временные, а соответственно и финансовые затраты.

Применение методов компьютерного геометрического твердотельного моделирования позволяет оставить только один этап подготовки производства нового вида изделия, который можно назвать – геометрический синтез с учетом конфигурации рабочего пространства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчин, Н. И. Аналитический расчет плоских и пространственных зацеплений / Н.И. Колчин. – М.: Mashgiz, 1949. – 210 с.
2. Литвин, Ф. Л. Теория зубчатых зацеплений : учебник / Ф. Л. Литвин. – М.: Наука, 1968. – 584 с.
3. Лопато, Г. А. Конические и гипоидные передачи с круговыми зубьями. Справочное пособие / Г. А. Лопато, Н. Ф. Кабатов, М. Г. Сегаль. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
4. Ляшков, А. А. Геометрическое и компьютерное моделирование профилирования винтовых поверхностей с точечным касанием / А. А. Ляшков, А. В. Зыкина // Вестник СибАДИ. – 2012. – № 4(26). – С. 78-84.
5. Ляшков, А. А. К определению огибающей семейства плоских кривых / А. А. Ляшков // Геометрическое моделирование инженерных объектов и технологических процессов : сб. науч. тр. – Омск, 1999. – С. 48-50.
6. Ляшков, А. А. Компьютерное моделирование процесса формообразования дисковой фрезой деталей с винтовой поверхностью/ А. А. Ляшков // СТИН. – 2012. – № 1. – С. 26-29.
7. Ляшков, А. А. Компьютерные технологии при формообразовании поверхностей деталей / А. А. Ляшков // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. – 2011. – № 3(103). – С. 10-13.
8. Часовников, Л. Д. Передачи зацеплением: зубчатые и червячные : учебник / Л. Д. Часовников. – М.: Машиностроение, 1969. – 486 с.

9. Шевелева, Г. И. Теория формообразования и контакта движущихся тел : монография / Г. И. Шевелева. – М.: Мосстанкин, 1999. – 494 с.

10. Медведев, В. И. Комплекс программ для диалогового подбора технологических и конструктивных параметров гипоидных и конических пар с круговыми зубьями / В. И. Медведев // Конструкторско-технологическая информатика 2000 : IV междунар. конгресс : в 2 т. – М.: «СТАНКИН», 2000. – Т. 2. – С. 51-54.

11. Сандлер А. И. Производство червячных передач [Текст] / А.И. Сандлер, С. А. Лагутин, А. В. Верховский; под общ. ред. С. А. Лагутина. Москва: Машиностроение, 2008. — 272 с.

REFERENCES

1. Kolchin, N. I. Analytical calculation of plane and spatial engagement / N. I. Kolchin. - M.: Mashgiz, 1949. - 210 p.
2. Litvin, F. L. Theory of gearing: textbook / F. L. Litvin. - M.: Nauka, 1968. - 584 p.
3. Lopato, G. A. Conical and hypoid gears with circular teeth. Reference book / G. A. Lopato, N. F. Kabatov, M. G. Segal. - M.: Mechanical Engineering, 1977. - 423 p.
4. Lyashkov, A. A. Geometric and computer modeling of profiling of helical surfaces with point contact / A. A. Lyashkov, A. V. Zykina // Bulletin of SibADI. - 2012. - No. 4 (26). - S. 78-84.
5. Lyashkov, A. A. To the definition of the envelope of a family of plane curves / A. A. Lyashkov // Geometric modeling of engineering objects and technological processes: collection of articles. scientific. tr. - Omsk, 1999. - S. 48-50.
6. Lyashkov, A. A. Computer modeling of the process of shaping of parts with a screw surface by a disk mill / A. A. Lyashkov // STIN. - 2012. - No. 1. - S. 26-29.
7. Lyashkov, A. A. Computer technologies for shaping the surfaces of parts / A. A. Lyashkov // Omsk Scientific Bulletin. Series Devices, machines and technologies. - 2011. - No. 3 (103). - S. 10-13.
8. Chasovnikov, L. D. Gearing gearing: gear and worm: textbook / L. D. Chasovnikov. - M.: Mechanical Engineering, 1969. - 486 p.
9. Sheveleva, G. I. Theory of shaping and contact of moving bodies: monograph / G. I. Sheveleva. - M.: Mosstankin, 1999. - 494 p.
10. Medvedev, V. I. Complex of programs for the dialogue selection of technological and design parameters of hypoid and conical pairs with circular teeth / V. I. Medvedev // Design and technological informatics 2000: IV international. Congress: in 2 volumes - M.: "STANKIN", 2000. - T. 2. - S. 51-54.
11. Sandler A. I. Production of worm gears [Text] / A. I. Sandler, S. A. Lagutin, A. V. Verkhovsky; under total. ed. S. A. Lagutina. Moscow: Mechanical Engineering, 2008. - 272 p.

FORMATION OF WORKING SURFACES OF A WORM WHEEL AND A WORM WITH A TOOTH-CUTTING TOOL WITH A MODIFIED PRODUCING SURFACE BY THE METHOD OF COMPUTER SIMULATION

Ryazanov ¹ S.A., Reshetnikov ² M.K., Shpilev ³ V.V.

^{1, 2, 3} Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Address: Saratov, st. Polytechnic, 77

¹ despro@mail.ru; ² graphic@sstu.ru; ³ vasya-shpilev@rambler.ru

Summary: substantiated the relevance of theoretical studies on the use of modern CAD systems, which make it possible to move away from the analytical description of interacting surfaces and focus on the implementation of algorithms for their interaction. The use of geometric modeling tools for virtual imitation cutting of elements involved in the formation of a worm pair is shown. The use of a modified generating surface is shown to introduce errors that inevitably arise when trying to form and use a real worm pair.

Subject of research: geometric and computer kinematic modeling of the process of forming cylindrical worm gears.

Materials and methods: the article is written on the basis of studying the materials of scientific articles, available electronic resources; the article uses methods of analytical geometry and algorithms for geometric computer modeling.

Results: application of methods of computer geometric solid modeling allows leaving only one stage of preparation for production of a new mechanical engineering product, which can be called geometric synthesis, taking into account the configuration of the working space.

Conclusions: on the basis of the studied sources, a geometric model of the generating surface for shaping the elements of a worm pair with a modified working profile is presented.

Key words: 3D modeling, solid modeling, gears, worm gear, gear cutting tool, modified manufacturing surface.