

организации самостоятельной работы студентов / В.Г. Григорян, П.Г. Химич // Высшее образование в России. – 2009. – № 11. – С. 108–116. 3. Sultan Nabil. Cloud computing for education: A new dawn? // International Journal of Information Management. – 2010. – № 30. – P. 109–116. 4. Subramanian K. How Cloud Computing Can Help School Education? [Electronic resource]. – July 30, 2009. – Режим доступа: <http://www.cloudave.com/1790/how-cloud-computingcan-help-school-education/>. 5. Шишкіна М. Перспективні технології розвитку систем електронного навчання / М. Шишкіна // Інформаційні технології в освіті. – 2011. – № 10. – С. 132–139.

УДК 621.833

Б.С. Воронцов

Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля,
кафедра технологий машиностроения и инженерного консалтинга

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УНИФИЦИРОВАННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

© Воронцов Б.С., 2012

Розв'язано завдання уніфікації проектних параметрів зубчастих передач на основі сплайнового опису вихідного контуру твірної поверхні. Отримана математична модель і запропонована методика дозволили підвищити ефективність автоматизованого проектування зубчастих передач.

The task of gears project parameters unification on the basis of spline description of forming surface original profile has been solved. Obtained mathematical model and suggested methodology allowed to increase an efficiency of automated gear design.

Постановка проблемы. Геометрия рабочих поверхностей нарезаемых зубьев зубчатых колес зависит от исходного контура производящей поверхности. В настоящее время исследовано и предложено несколько сотен исходных контуров для различных передач. Работы по синтезу передач с рациональной геометрией зубьев продолжают и в настоящее время [1, 2].

Однако анализ существующих систем автоматизированного проектирования зубчатых передач показывает, что при предварительном выборе геометрии используется ограниченное число исходных контуров, определяемых стандартами.

Анализ последних исследований. В системе автоматизированного проектирования GearTrax, разработанной компанией Camnetics, Inc., США (<http://www.camnetics.com>), используется около десятка исходных контуров, описанных в международных стандартах различных стран (рис. 1).

В CAD/CAE/CAM системе APM WinMachine, разработанной российской фирмой APM Ltd. (<http://www.apm.ru>), существует модуль APM Trans для проектирования передач. В нем приведено всего четыре стандарта на исходные контуры производящей поверхности (рис. 2). Аналогичная ситуация складывается и в других системах.

Практически не используются в этих системах исходные контуры для проектирования передач с зацеплением Новикова, которые в настоящее время разработаны в большом количестве [3, 4]. Не используются также исходные контуры, которые не относятся ни к эвольвентным передачам, ни к передачам с зацеплением Новикова [5, 6]. Следует отметить, что работы по модификации эвольвентных передач также продолжают и в настоящее время [7, 8].

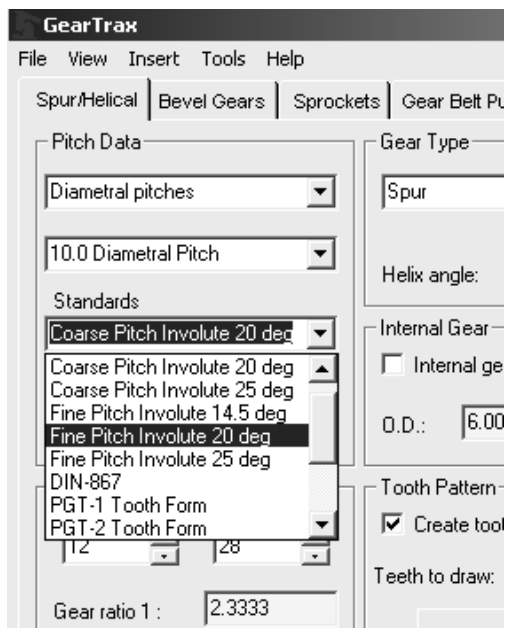


Рис. 1. Исходные контуры в GearTrax

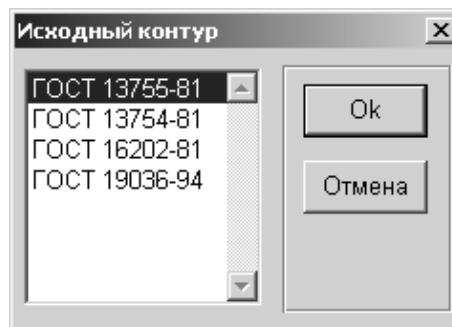


Рис. 2. Исходные контуры в APM Trans

Поэтому, для построения системы автоматизированного проектирования зубчатых передач необходимо выбрать такое математическое описание исходного контура, с помощью которого можно было бы представить все существующие контуры, которое хорошо бы вписывалось в современные системы автоматизированного проектирования, имело бы удобное аналитическое описание с минимальным количеством управляемых параметров, позволяло бы использовать математический аппарат теорий зубчатых зацеплений и формообразования обрабатываемых поверхностей.

Формулировка цели статьи. Целью работы является повышение эффективности автоматизированного проектирования зубчатых передач путем унификации описания исходного контура производящей поверхности и разработки на этой основе методов многокритериального анализа, синтеза передач, поверхностного и твердотельного компьютерного моделирования зубчатых колес.

Изложение основного материала. Для унификации исходного контура, методик анализа и синтеза зубчатых передач необходимо выбрать такую кривую, которая отвечала бы следующим требованиям:

- была бы гладкой и дважды дифференцируемой;
- в месте соединения двух кривых можно было бы обеспечить любые комбинации свойств – излом; общая касательная; равенство кривизн;
- все существующие исходные контуры можно было бы описать с помощью предложенной кривой;
- позволяла максимально использовать современные достижения компьютерных технологий в плане управления процессом синтеза и визуализации результатов анализа;
- управляемые параметры можно было бы привести к единому виду, то есть унифицировать задачу синтеза и анализа передач зацеплением;
- процесс передачи информации из среды синтеза в среду твердотельного и поверхностного компьютерного моделирования не вызывал бы никаких затруднений, что позволяло бы создавать программные приложения для существующих CAD – систем.

Были проанализированы аналитические линии – прямая; окружность и ее дуга; эллипс и его дуга; отрезок параболы; отрезок гиперболы и различные виды сплайнов – сплайн Эрмита; кубический сплайн; сплайн Лагранжа; сплайн Ньютона; кривые Безье; B-сплайны; NURBS кривые.

Также были проанализированы возможности использования методов деформационного конструирования. Наиболее подходящей для решения поставленных задач оказалась кривая Безье третьего порядка.

Уравнение кривой Безье в параметрическом виде (1):

$$\begin{aligned}x_k &= f_1(\lambda, P_x) = k_{0x} + k_{01}x_{1b} + k_{02}x_{2b} \\y_k &= f_2(\lambda, P_y) = k_{0y} + k_{01}y_{1b} + k_{02}y_{2b}\end{aligned}\quad (1)$$

где

$$\begin{aligned}P_x &= (x_{0b}, x_{1b}, x_{2b}, x_{3b}), P_y = (y_{0b}, y_{1b}, y_{2b}, y_{3b}), \\k_{0x} &= (1-\lambda)^3 x_{0b} + \lambda^3 x_{3b}, k_{0y} = (1-\lambda)^3 y_{0b} + \lambda^3 y_{3b}, \\k_{01} &= 3(1-\lambda)^2 \lambda, k_{02} = 3(1-\lambda) \lambda^2.\end{aligned}$$

Этой кривой можно управлять с помощью курсора на экране компьютера, изменяя положение опорных точек P_0, P_3 и управляющих точек P_1, P_2 .

На основе унификации исходного контура получены зависимости для определения точек и линий контакта, поверхностей зацепления, зависимости для определения рабочих и вспомогательных поверхностей зубьев цилиндрических и гиперболоидных колес.

Так уравнения поверхностей контактирующих зубьев для цилиндрических передач (2) в системе координат S_i :

$$\begin{aligned}x_i &= [(k_{0x} + k_{01}x_{1b} + k_{02}x_{2b}) \pm R_i] \cos \varphi_i \pm l_2(\lambda, P) \cos \beta \sin \varphi_i; \\y_i &= [R_i \pm (k_{0x} + k_{01}x_{1b} + k_{02}x_{2b})] \sin \varphi_i - l_2(\lambda, P) \cos \beta \cos \varphi_i; \\z &= z_n(\mu) - (k_{0y} + k_{01}y_{1b} + k_{02}y_{2b}) \sin \beta.\end{aligned}\quad (2)$$

Задачу многокритериального интерактивного синтеза зубчатых передач можно представить в следующем виде. Проектные параметры, которыми можно управлять в процессе синтеза, можно представить в виде координат управляющих точек сплайновой функцией Безье третьего порядка $P = (x_{1b}, y_{1b}, x_{2b}, y_{2b})$.

Параметрические ограничения $P_{\min} \leq P \leq P_{\max}$ учитывают требования гладкости функций, описывающих исходный контур производящей поверхности и условия стыковки сплайнов.

Критерии синтеза, как функции от унифицированных проектных параметров можно представить в виде вектора геометро-кинематических показателей (3) – относительной скорости скольжения, суммарной скорости перемещения точек контакта, коэффициентов удельных скольжений, приведенной кривизны контактирующих зубьев и т.п.

$$G(x_{1b}, y_{1b}, x_{2b}, y_{2b}) = (V^{(1,2)}, u_\tau, \eta_i, tg \nu, \chi_{np}). \quad (3)$$

Функциональные ограничения (4), как функции от унифицированных проектных параметров представляют собой условия ограничения коэффициента перекрытия, исключение особых точек при выполнении условий подрезания, учет предельных значений условий заострения зубьев:

$$Q(x_{1b}, y_{1b}, x_{2b}, y_{2b}) = \{\varepsilon \geq \delta; F_{нодр} \neq 0; S_i \geq (0.25 \dots 0.3)m\}. \quad (4)$$

На основе предложенной постановки задачи многокритериального синтеза зубчатых передач разработана методика и программное обеспечение, которые позволяют еще на стадии проектирования определять рациональную геометрию изготавливаемых зубчатых колес.

Для создания моделей рабочих и вспомогательных поверхностей контактирующих зубьев была разработана программа “Контактные линии”. Входными данными являются координаты двух опорных и двух управляющих точек, которые однозначно характеризуют кривую Безье третьего порядка (рис. 3).

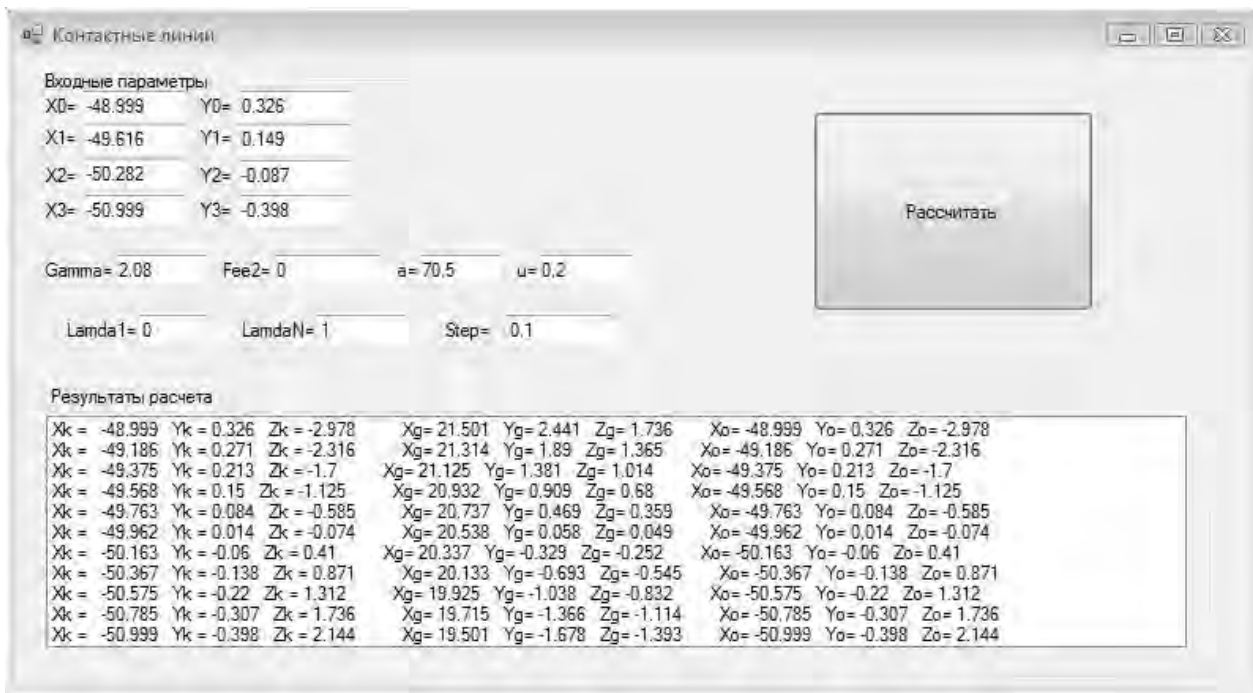


Рис. 3. Программа “Контактные линии”

Координаты контактных точек передаются в систему PowerSHAPE, в которой выполняется поверхностное моделирование зубьев колес (рис. 4).

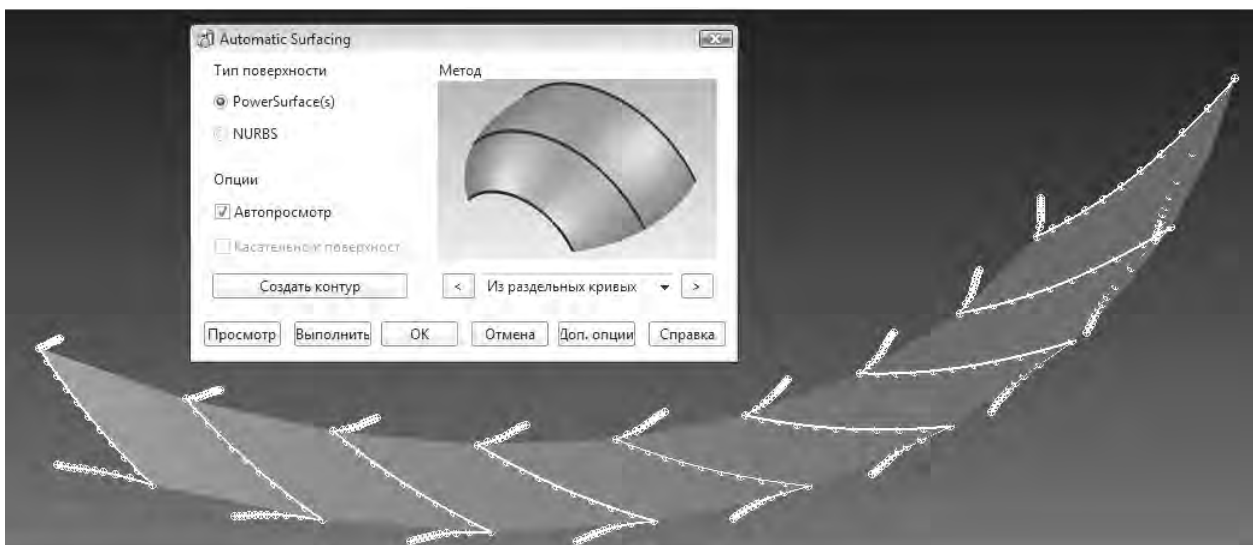


Рис. 4. Поверхностная модель зуба гиперboloидного колеса

На рис. 5 представлен интерфейс программы для многокритериального интерактивного синтеза передач зацеплением.

Зона координат управляющих точек (рис. 6) показывает, что для описания исходного контура достаточно указать координаты четырех точек, изменяя значения которых можно получать новые передачи с улучшенными геометро-кинематическими показателями.

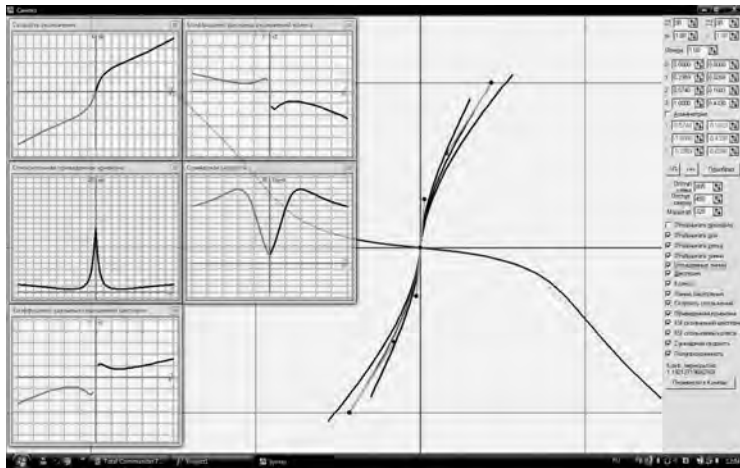


Рис. 5. Интерфейс программы многокритериального интерактивного синтеза передач зацеплением

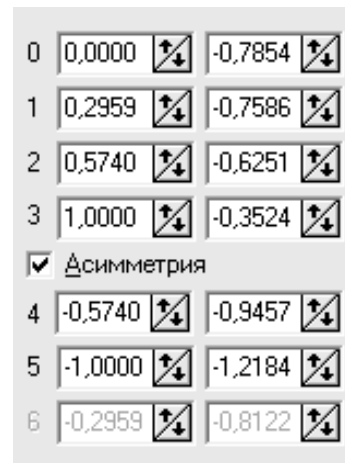


Рис. 6. Зона координат управляющих точек

Выводы. Решена задача унификации проектных параметров при проектировании зубчатых передач. Предложено универсальное математическое описание исходного контура производящей поверхности, основанное на сплайновом представлении кривой.

Разработана методика и создано программное обеспечение для многокритериального интерактивного анализа и синтеза зубчатых передач с улучшенными геометро-кинематическими показателями.

1. Кривошея А.В. Методика задания и математического описания исходных формообразующих профилей / А.В. Кривошея, О.У. Петасюк, В.Е. Мельник, А.В. Коринец // *Сверхтвердые материалы*. – К., 2004. – Вып. 1. – С. 52–65. 2. Павлов А.И. Современная теория зубчатых зацеплений / А.И. Павлов. – Харьков: ХНАДУ, 2005. – 100 с. 3. Короткий В.И. Зубчатые передачи Новикова / В.И. Короткий, Ю.Д. Харитонов. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1991. – 207 с. 4. Павленко А.В. Зубчатые передачи с зацеплением Новикова / А.В. Павленко, Р.В. Федякин, В.А. Чесноков. – К.: Техника, 1978. – 144 с. 5. Аникин Ю.В. Синусоидальное зацепление, основы геометро-кинематической теории / Ю.В. Аникин. – Воронеж: Из-во ВГУ, 1975. – 64 с. 6. Шишов В.П. Високонвантажени цилиндричні передачі з двоопукло-ввігнутими зубцями: Монографія / В.П. Шишов, П.Л. Носко, П.М. Ткач, П.В. Філь. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2005. – 216 с. 7. Вулгаков Э.Б. Теория эвольвентных зубчатых передач / Э.Б. Вулгаков. – М.: Машиностроение, 1995. – 320 с. 8. Сухоруков Ю.Н. Модификация эвольвентных цилиндрических зубчатых колес / Ю.Н. Сухоруков. – К.: Техника, 1992. – 197 с.