

**В.А. ВИТРЕНКО**, д.т.н., проф., зав. кафедрой ТМ и ИК ВНУ им. В. Даля,  
г. Луганск

**В.С. ВОРОНЦОВ**, к.т.н., профессор каф. ТМ и ИК ВНУ им. В. Даля

**С.Г. КИРИЧЕНКО**, магистр каф. метрологии ВНУ им. В. Даля

## ПОВЕРХНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ В СИСТЕМЕ PowerSHAPE

Разработаны математическое обеспечение и алгоритм поверхностного моделирования зубьев гиперболоидного инструмента. Полученные поверхностные модели позволяют контролировать точность изготовления зубьев гиперболоидного инструмента с помощью современных координатно-измерительных машин, проводить всесторонний анализ условий контактирования зубьев колеса и инструмента.

Розроблено математичне забезпечення і алгоритм поверхневого моделювання зубців гіперболоїдного інструменту. Отримані поверхневі моделі дозволяють контролювати точність виготовлення зубців гіперболоїдного інструменту за допомогою сучасних координатно-вимірювальних машин, проводити всебічний аналіз умов контактування зубців колеса та інструменту.

Hyperbola instrument teeth mathematic support and surface modeling algorithm has been developed. Obtained surface models allow to control precision of hyperbola instrument teeth manufacturing using modern coordinate-measuring machines and to conduct comprehensive analysis of wheel teeth and instrument contact.

**Введение.** Условия конкуренции на современном рынке предъявляют повышенные требования к качеству выпускаемой продукции, повышению производительности и снижению себестоимости изготовления конечных изделий.

Одним из путей повышения качества зубчатых передач является выбор рациональной геометрии поверхностей зубьев, позволяющей повысить контактную прочность и износостойкость изготавливаемых колес. В настоящее время исследовано и предложено большое количество исходных контуров для различных видов передач: эвольвентных, синусоидальных, циклоидальных, комбинированных, с зацеплением Новикова и других. Работы в этом направлении продолжаются.

Основной из причин, препятствующих внедрению таких передач, является отсутствие универсальной математической базы, позволяющей проводить сравнительный анализ передач с различной геометрией зубьев колес, проектировать прогрессивные виды инструментов, выбирать их рациональную геометрию, разрабатывать эталонные поверхностные и твердотельные компьютерные модели инструментов для их контроля на современных координатно-измерительных машинах.

**Целью данной** работы является разработка математического обеспечения и алгоритма поверхностных моделей рабочих участков зубьев гиперболоидного инструмента.

**Основная часть.** В системах автоматизированного проектирования широко используется создание линий и поверхностей на основе сплайнов. Практически каждый, кто работал в этих системах, сталкивался с этой функцией. Однако до настоящего времени теория сплайнов практически не используется в теории формообразования и теории зубчатых зацеплений.

Основным достоинством сплайнов является то, что с достаточной степенью точности с их помощью можно представить любую гладкую ограниченную кривую, т.е. любой из существующих исходных контуров производящей поверхности можно представить одной формулой, аппроксимировав его с помощью сплайна. Отличие будет только в значениях управляемых параметров, в качестве которых выступают опорные и управляющие точки сплайна.

Использование теории сплайнов позволяет получить универсальное математическое обеспечение для анализа и синтеза производящих поверхностей, зубообрабатывающих инструментов и зубчатых передач с улучшенными геометро-кинематическими показателями.

В качестве такого сплайна рассмотрим широко используемую кривую Безье третьего порядка. Радиус-вектор исходного контура производящей поверхности имеет вид:

$$\bar{r}_n = (1 - \lambda)^3 p_0 + 3(1 - \lambda)^2 \lambda p_1 + 3(1 - \lambda) \lambda^2 p_2 + \lambda^3 p_3,$$

где  $p_0, p_1, p_2, p_3$  – радиус-векторы опорных и управляющих точек, определяющих форму кривой, описывающей исходный контур производящей поверхности,  $\lambda = 0 \dots 1$  – текущий параметр, определяющий точку на кривой.

Разработанный и приведенный в работе [3] алгоритм, основанный на теории сплайнов и теории формообразования, позволяет выбрать рациональную кривую, описывающую контур поверхности производящего колеса и автоматически передать ее в одну из CAD-систем.

На рисунке 1 приведена кривая, разбитая на сто участков, каждый из которых представляет сплайн. Разработанная теория позволяет рассматривать каждый участок отдельно, но требования к точности геометрии инструмента позволяют упростить задачу синтеза, аппроксимировав весь участок кривой одним сплайном (рисунок 2).

Причем, математическое описание вспомогательных кривых, скругляющих исходный контур у корня и на головке зуба (рисунок 3) имеет точно такое же описание в виде кривой Безье третьего порядка. На рисунках 3, 4 показаны размеры, определяющие расстояние от осей системы координат до управляющих и опорных точек сплайновых кривых, описывающих исходный контур поверхности производящего колеса.

Для удобства размеры увеличены в 10 раз. Координаты этих точек являются исходной информацией для построения поверхностей зубьев гиперболоидного инструмента, колеса и поверхности зацепления.

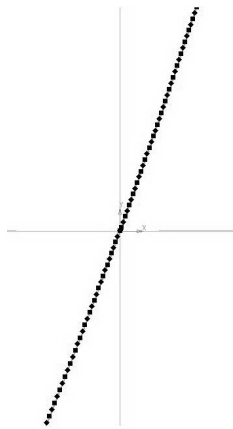


Рисунок 1 – Точки контура

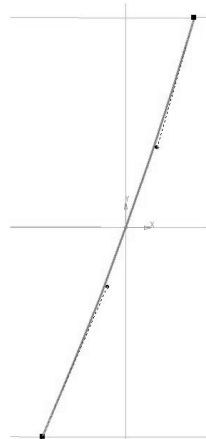


Рисунок 2 – Аппроксимация сплайном

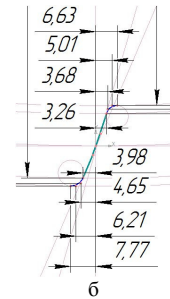
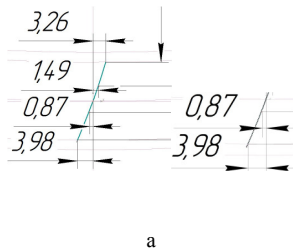



Рисунок 3 – Координаты опорных и управляющих точек сплайна

При выборе рациональной геометрии зубьев гиперболического инструмента большое значение имеют параметры, определяющие угол скрещивания между осями и число заходов гиперболического инструмента, влияющие на передаточное отношение. Все эти параметры были учтены при получении математических зависимостей и разработке алгоритма определения контактных линий. На рисунке 4 приведен интерфейс программы "Контактные линии", позволяющей определять точки контакта поверхностей зубьев гиперболического инструмента, зубчатого колеса и поверхности зацепления. Координаты контактных точек автоматически сохраняются в текстовом файле (рисунок 5).

Для моделирования поверхностей зубьев гиперболического инструмента будем использовать систему трибидного моделирования PowerSHAPE, разработанную компанией Delcam (Великобритания). Алгоритм создания поверхности следующий. В заданной системе координат выбираем команду "Создать точку" . Дважды щелкаем левой кнопкой мыши в поле ввода координат, тем самым вызывая командное окно. Копируем координаты точек

контактной линии в полученном текстовом файле (рисунок 5) и вставляем после "Enter point >" в командное окно (рисунок 6).

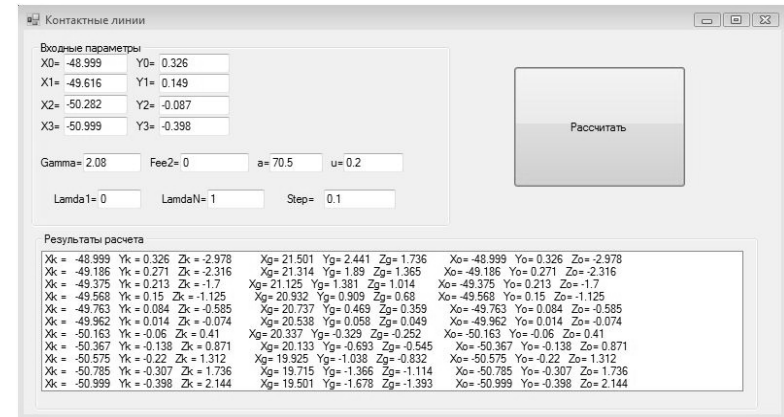


Рисунок 4 – Интерфейс программы "Контактные линии"

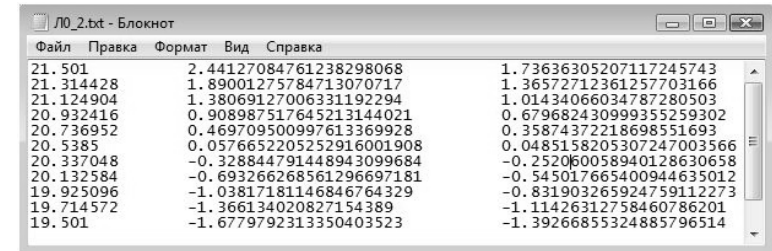


Рисунок 5 – Координаты контактных точек

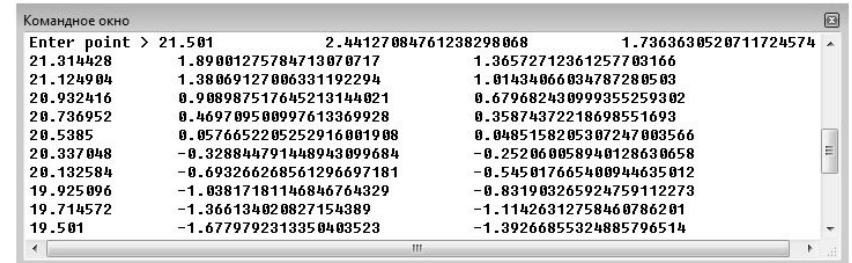


Рисунок 6 – Командное окно

В результате этих действий на экране отрисовывается группа контактных точек, описывающих контактную линию в заданной системе координат (рисунок 7).

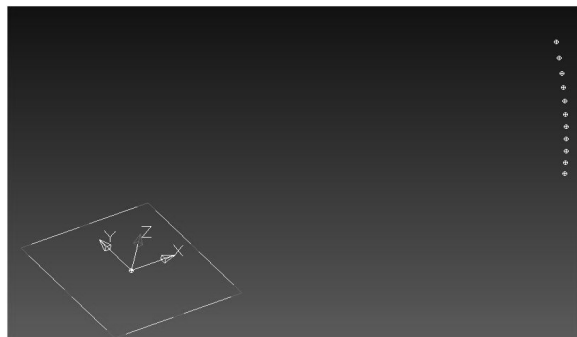


Рисунок 7 – Отрисовка контактных точек

Соединяя контактные точки сплайнами, получаем контактные линии на рабочей поверхности зуба (рисунок 8,а).

На рисунке 8,б показаны так же контактные линии на вспомогательных участках зуба.

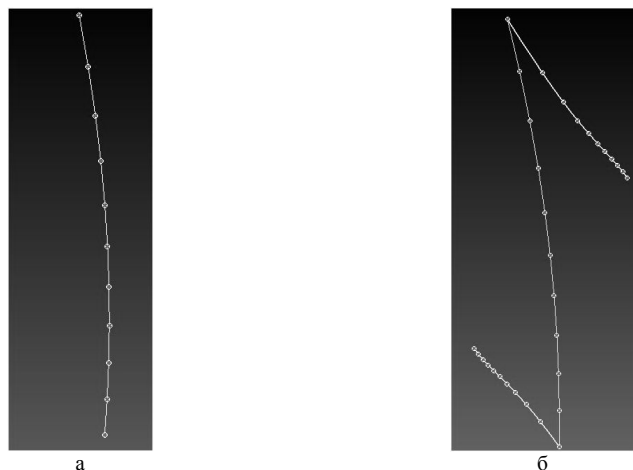
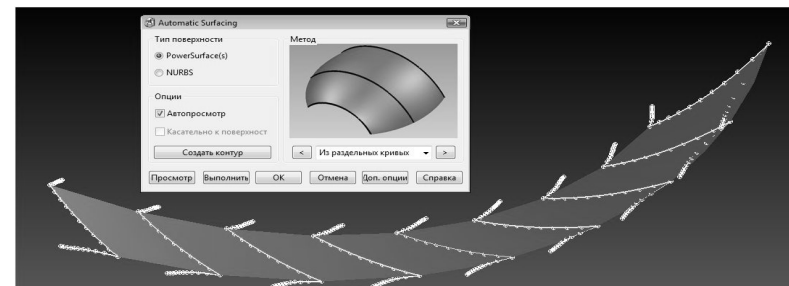


Рисунок 8 – Контактные линии

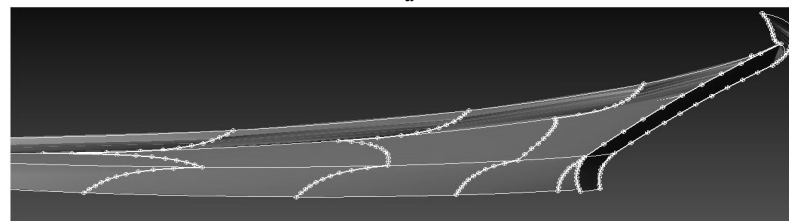
Далее по контактным линиям строим поверхность. На рисунке 9,а показано построение поверхности рабочего участка зуба, а на рисунке 9,б – поверхности зуба, включая вспомогательные участки.

**Выводы.** Разработанное математическое обеспечение и предложенный алгоритм поверхностного моделирования зубьев гиперболоидного инструмента позволяет не только контролировать точность изготовления зубьев гиперболоидного инструмента с помощью современных координатно-

измерительных машин и специального программного обеспечения, но и проводить всесторонний анализ условий контактирования зубьев колеса и инструмента, анализировать поведение точек контакта в заданной области, тем самым подтверждая или опровергая результаты теоретических расчетов.



а



б

Рисунок 9 – Построение поверхности зуба

**Список литературы:** 1. *Витренко В.А.* Изготовление и отделка цилиндрических зубчатых колес гиперболоидными инструментами: Монография. – Луганск: изд-во ВЛУ, 1994. – 112с. 2. *Витренко В.О.* Гіперболоїдні інструменти для обробки і обладнання прямозубих зубчатих коліс: Автореф. дисс... докт.техн.наук. – Київ, 1995. – 32с. 3. *Воронцов Б.С.* Моделирование гиперболоидных инструментов с использованием CAD – систем / Б.С. Воронцов, В.А. Витренко, И.А. Бочарова, И.А. Кирриченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем// Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА, 2005. – Вип.№17. – С.318-323. 4. *Воронцов Б.С.* Компьютерное формообразование твердотельных моделей гиперболоидных инструментов // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, 2007. – Вип.№21 – С.298-302.

Поступила в редколлегию 29.04.11