

Висновок. Розроблено конструкції автоматизованих машин технологічного призначення шляхом комплексного використання CAD/CAE програм із розв'язанням типових задач структурно-параметричного синтезу, оптимізації, статико-динамічного аналізу та віртуального моделювання для підтвердження працездатності майбутніх машин.

1. Алямовский А.А. *COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks.* – ДМК Пресс, 2010 – 786 с. 2. Paul M. Kurowski. *Engineering. Analysis with COSMOSWorks Professional.* – Schroff Development Corporation (SDC), 2005. – 248 p. 3. Назаренко І.І., Гарнець В.М., Свідерський А.Т., Пентюк Б.М. *Системний аналіз технічних об'єктів: навч. посібник / І.І. Назаренко, В.М. Гарнець, А.Т. Свідерський, Б.М. Пентюк.* – К.: КНУБА, 2009. – 164 с. 4. Ловейкін В.С., Назаренко І.І., Онищенко О.Г. *Теорія технічних систем: навч. посібник.* – Київ–Полтава, 1998. – 197 с. 5. Павлице В.Т., Гелетій В.М. *Оптимізація та надійність об'єктів проектування: навч. посібник для студ. дистанц. форми навчання/Нац. ун-т “Львів. політехніка”, Ін-т дистанц. навчання.* – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львів. політехніка”, 2005. – 92 с. 6. Гурський В.М. *Оптимізація масово-частотних характеристик робочого органа вібраційного стола / В.М. Гурський, Є.М. Махоркін // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні”.* – 2011. – № 702. – С. 53–59. 7. *Механика промышленных роботов: учеб. пособие для втузов: в 3 кн. / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 2: Расчет и проектирование механизмов / Е.И. Воробьев, О.Д. Егоров, С.А. Попов.* – М.: Высшая школа, 1988. – 367 с. Кн. 3: *Основы конструирования / Е.И. Воробьев, А.В. Бабич, К.П. Жуков и др.* – М.: Высшая школа, 1989 – 383 с.

УДК 621.9

А.Э. Воронов, В.А. Витренко

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

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ГИПЕРБОЛОИДНОГО ИНСТРУМЕНТА

© Воронов А.Э., Витренко В.А., 2012

На основі математичної моделі отримання зубчастої поверхні на тілі типу гіперболоїд, яка точно описує процес зачеплення гіперболоїдного зубчастого колеса із зубчастою рейкою, розроблено модель, яка спрощує вивчення геометрії гіперболоїдного колеса і процесу зачеплення його з рейкою. Модель може бути використана для отримання оптимальної геометрії гіперболоїдного зубчастого колеса.

The model simplifying the study of hyperbola wheel geometry and the process of its engagement with the rack has been developed on the basis of mathematical model for obtaining teeth surface on the hyperbola body type. The model may be used to obtain optimal hyperbola teeth wheel geometry.

Постановка проблеми. Применение новых, более совершенных методов обработки зубчатых колес приводит к увеличению объемов производства и снижению себестоимости единицы изделия. Уже доказано, что применение квазигиперболоидных поверхностей позволяет снизить затраты на изготовление и эксплуатацию инструмента [1]. Применение гиперболоидных поверхностей позволит еще больше продвинуться в решении этих вопросов [2]. С повышением уровня развития компьютерной техники и совершенствованием программных пакетов обработки

информации необходимо строить более совершенные модели протекающих процессов, которые позволяют сэкономить материал и сократить время, необходимое на изготовление опытных образцов и оснастки. К тому же процесс моделирования в большинстве случаев, помогает достаточно быстро подобрать оптимальные параметры инструмента и режимов обработки.

Анализ последних исследований. В промышленности не удается нарезать зубья на однополостном гиперboloиде вращения. Поэтому в приближенном виде получают зубья на квазигиперboloидных заготовках и заготовках вида “однополостной гиперboloид”. Такие заготовки разбивают на части и получают конические и цилиндрические зубчатые колеса, которые имеют точечный характер касания зубьев с сопряженными зубчатыми колесами.

Формулирование цели исследования. В представленной работе на основе математической модели получена поверхность зубчатого исходного контура на однополостном гиперboloиде вращения в пространственном станочном зацеплении.

Основная часть. В представленной работе рассматривается процесс получения компьютерных моделей винтовой зубчатой передачи, состоящей из зубчатой рейки (частного случая цилиндрического зубчатого колеса сравнительно большого диаметра) и гиперboloидного зубчатого колеса [1].

Исследование начинается с математического представления зубчатых поверхностей через выражение их в определенных системах координат и построения схемы перехода между ними. Связь между системами координат можно установить уравнением, описывающим переход от одной системы к другой, с применением методов дифференциальной геометрии и матричного исчисления [3]:

$$\vec{r}_2 = M_{20}M_{01}\vec{r}_1 = M_{21}\vec{r}_1, \quad (1)$$

Также необходимо рассмотреть уравнение непрерывности станочного зацепления. Для определения параметров получаемого гиперboloидного зубчатого колеса необходимо знать проекцию вектора нормали в точке контакта на производящую поверхность. Векторы нормали к производящей поверхности для общего случая зубчатого колеса и частного – зубчатой рейки (рис. 1) – определяют по уравнению:

$$\begin{aligned} \vec{N} &= (\vec{r}_1^\lambda \times \vec{r}_1^\mu), \\ \vec{N} &= (\vec{r}_1^k \times \vec{r}_1^\psi). \end{aligned} \quad (2)$$

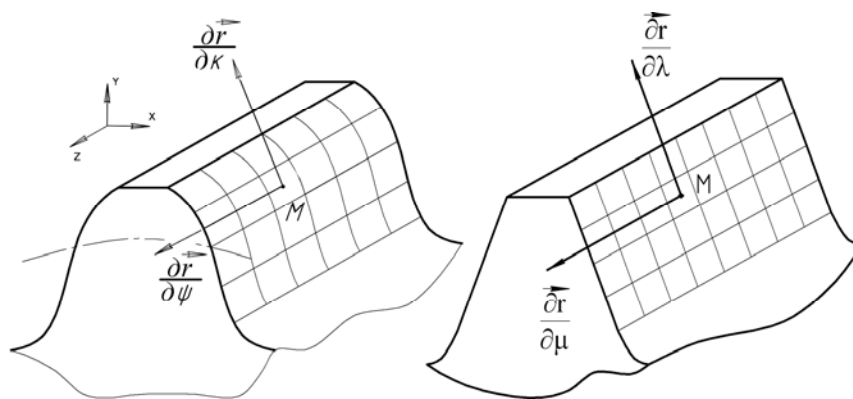


Рис. 1. Поверхности зубьев зубчатого колеса и зубчатой рейки

Относительную скорость скольжения определим в следующем виде:

$$\vec{V}^{12} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2 = \vec{\omega}_1 \times \vec{r}_1 - \vec{\omega}_2 \times \vec{r}_2 = \vec{\omega}_1^{(1)} \times \vec{r}_1 - \left(\vec{\omega}_1^{(2)} \times \vec{r}_1 + m_1 \left(\vec{\omega}_2 \right) \right) = \vec{\omega}_1^{(12)} \times \vec{r}_1 - \vec{A} \times \left(\vec{\omega}_1 \right)^{(2)}. \quad (3)$$

Зависимости (1) – (3) описывают поверхность искомого гиперboloидного колеса.

Аналитическое решение – построение системы уравнений, описывающей искомую гиперboloидную поверхность, проводится при помощи математического пакета Maxima [4].

Результатом вычислений и преобразований является искомая система уравнений:

$$\begin{cases} x_2 = z_1 \cos \phi_2 \sin \gamma + S_1 \cos \phi_2 \cos \gamma + y_1 (-\sin \phi_1 \cos \phi_2 \cos \gamma - \cos \phi_1 \sin \phi_2) + \\ \quad + x_1 (\cos \phi_1 \cos \phi_2 \cos \gamma - \sin \phi_1 \sin \phi_2) - A \sin \phi_2, \\ y_2 = z_1 \sin \phi_2 \sin \gamma + S_1 \sin \phi_2 \cos \gamma + y_1 (\cos \phi_1 \cos \phi_2 - \sin \phi_1 \sin \phi_2 \cos \gamma) + \\ \quad + x_1 (\cos \phi_1 \sin \phi_2 \cos \gamma + \sin \phi_1 \cos \phi_2) + A \cos \phi_2, \\ z_2 = -S_1 \sin \gamma + \sin \phi_1 y_1 \sin \gamma - \cos \phi_1 x_1 \sin \gamma + z_1 \cos \gamma + 1, \\ y_1' (u_{21} z_1 \sin \phi_1 \sin \gamma + u_{21} S_1 \sin \phi_1 \cos \gamma + y_1 (u_{21} \cos \gamma - 1) - u_{21} A \cos \phi_1 \cos \gamma) - \\ - x_1' (u_{21} z_1 \cos \phi_1 \sin \gamma + u_{21} S_1 \cos \phi_1 \cos \gamma + x_1 (1 - u_{21} \cos \gamma) + u_{21} A \sin \phi_1 \cos \gamma) = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где x_1' и y_1' – первые производные эвольвенты в точке x_1 и y_1 ; u_{21} – передаточное число.

В системе (4) три первые уравнения описывают переход от системы S_1 к системе S_2 в координатной форме. Четвертое уравнение системы является следствием непрерывности станочного зацепления и представлено в неявной форме, однако при необходимости возможно добиться явного выражения, проведя ряд преобразований. В данном исследовании такой необходимости нет.

Maxima – свободная система компьютерной алгебры, написанная на языке Common Lisp. Следует заметить, что первый запуск этой системы произошел в 1982 году, при этом она до сих пор активно развивается. Maxima включает в себя набор основных инструментов для аналитических и численных вычислений, а также их визуализаций. Являясь свободной системой, по своим возможностям практически не уступает знаменитым коммерческим проектам Maple и Mathematica. К важному преимуществу следует отнести высокую степень переносимости, что позволяет ей работать на всех основных современных операционных системах и компьютерах. Алгоритм решения нашей задачи представлен на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм решения аналитической задачи средствами математического пакета Maxima

Получить все точки искомой поверхности или изучить определенную часть поверхности с визуализацией результатов можно с применением специальных компьютерных технологий. В силу

сложности поставленной задачи предлагается использовать компьютерное программирование для ее решения.

Решение системы и визуализация данных выполнены с помощью Eclipse SDK — свободной интегрированной среды разработки модульных кроссплатформенных приложений, которая развивается и поддерживается Eclipse Foundation [5]. К основным преимуществам данной среды следует отнести:

- активное развитие и поддержка;
- возможность работать с хорошо зарекомендовавшим себя за многие годы компилируемым и поддерживающим объектно-ориентированное программирование языком C++[6];
- кросс-платформенность – способность программного обеспечения функционировать в нескольких различных операционных системах или на разных аппаратных платформах (например, Microsoft Windows, GNU/Linux, мобильных платформах Android и Symbian OS).

Объектно-ориентированное, или объектное программирование – парадигма программирования, в которой основными концепциями являются понятия объектов и классов. Такой подход позволяет структурировать процесс разработки и создавать сущности (объекты), “живущие своей жизнью по прописанным им законам”. Упрощенный алгоритм работы основных частей разработанной программы, определяющей точки поверхности гиперболоидного зубчатого колеса и представляющий графический вывод данных, приведен на рис. 3.

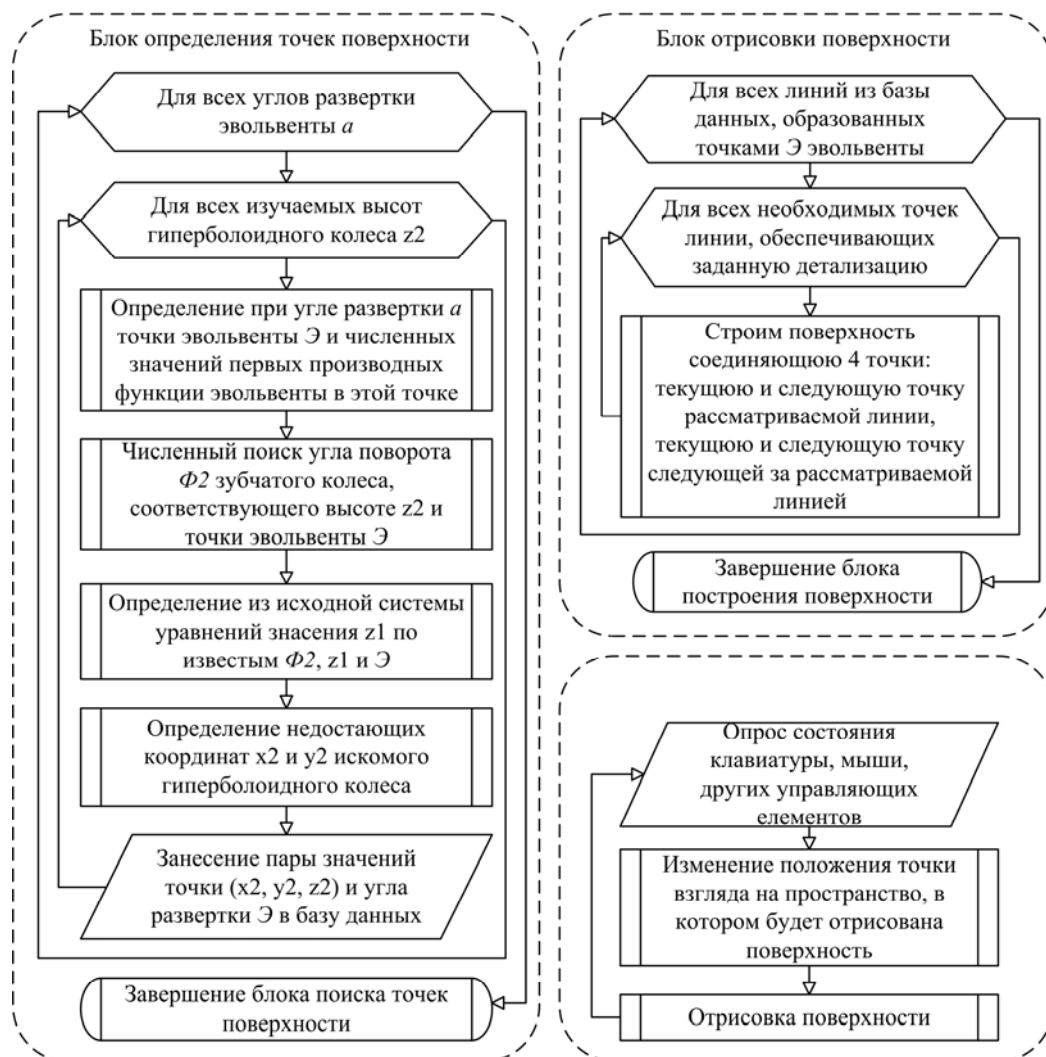


Рис. 3. Упрощенный алгоритм работы основных частей программы

Результатом использования разработанной программы стала база данных с подробной информацией о каждой точке поверхности изучаемого гиперboloидного колеса и графический инструмент, позволяющий анализировать процесс зацепления зубчатых колес (рис. 4).



Рис. 4. Графическое представление зацепления гиперboloидного и исходного зубчатых колес, полученное OpenGL отрисовкой в программном пакете Eclipse SDK

Вывод. Разработанная компьютерная модель, описывающая процесс получения винтовой зубчатой поверхности на гиперboloидном теле, способна в аналитической форме выводить систему уравнений, описывающих поверхность, и получать подробную информацию о любой точке этой поверхности. Графическое представление поверхности является удобным наглядным приложением, способным показать в любой момент времени относительное их положение и точки контакта. При помощи данной модели могут быть изучены гиперboloидные зубчатые колеса и получены оптимальные их геометрические характеристики.

1. Витренко В.А. Повышение производительности зубонарезания цилиндрических зубчатых колес гиперboloидным инструментом за счет совершенствования формообразования резанием: монография / В.А. Витренко, В.В. Белозерова. – Луганск: Ноулидж, 2009. – 147 с. 2. Гавриленко В.А., Осипова С.Д. Определение оптимальных параметров начальных поверхностей колес эвольвентных гиперboloидных передач // Изв. Вузов: Машиностроение. – 1969. – № 1. 3. Выгодский М.Я. Дифференциальная геометрия. – М.: Машигиз, 1949. – 659 с. 4. Стахин Н.А. Основы работы с системой аналитических (символьных) вычислений *Matha*. (ПО для решения задач аналитических (символьных) вычислений): Учебное пособие. – М., 2008. – 86 с. 4. Официальный сайт компании Eclipse Foundation [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://eclipse.org>. 6. Страуструп Б. Язык программирования C++ / Б. Страуструп // Спец. изд., 3-е изд. – Изд-ва: Бином, Невский Диалект, 2004 г. – 1104 с.