

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ С ТЕОРЕТИЧЕСКИ ТОЧНЫМ ЭВОЛЬВЕНТНЫМ ЗАЦЕПЛЕНИЕМ

А.Н. Логиновский

Приводится пример построения 3D модели конической передачи с теоретически точной геометрией эвольвентного зацепления в пакете SolidWorks. Этапами построения являются: разметка и создание заготовок конических колес, нахождение основных конусов зацепления, формирование рабочей поверхности зубьев передачи. В качестве образующих рабочей поверхности использовали сферические эвольвенты. Показана методика их построения. Проведена оценка точности модели передачи.

Ключевые слова: эвольвентное зацепление, коническая передача, сферическая эвольвента, 3D модель, SolidWorks.

Эвольвентная поверхность зуба конического колеса образуется при перекатывании производящей плоскости по основному конусу. Эвольвентные кривые формируются на соосных сферических поверхностях с центром в вершине основного конуса [1, 2, 3]. Поэтому для расчета геометрии эвольвентной конической передачи необходимо применять сферическую геометрию. Так как это сложно, то используют приближенный метод рас-

чета геометрии – метод дополнительных конусов, предложенный английским столяром Томасом Тредгольдом. Приближенный метод расчета вполне удовлетворяет существующую технологию производства зубчатых колес путем удаления материала с заготовок. Такой же метод использовался при построении цифровой модели конической передачи [4]. Однако активно развивающиеся аддитивные технологии безотходного производства [5] требуют геометрию цифровой модели, максимально приближающуюся к теоретической. 3D моделирование позволяет построить такую модель путем создания пространственных сферических эвольвент, которые являются образующими поверхности зуба конического колеса.

В качестве примера возьмем коническую прямозубую передачу со смещением, расчет геометрии которой приведен в литературе [6, 7]. Для удобства параметры, разметка и схема передачи без расчетных формул приведены в таблице и рис. 1. Заготовки конических колес получим вращением вокруг осей их плоских контуров (рис. 2).

Таблица

Параметры конической прямозубой передачи

Параметры	Значения
Число зубьев z_1	15
z_2	30
Внешний окружной модуль m_e	5
Межосевой угол передачи Σ	90°
Внешнее конусное расстояние R_e	83,8525
Ширина зубчатого венца b	25
Угол делительного конуса δ_1	26,5667°
δ_2	63,4333°
Внешняя высота головки зуба h_{ae1}	7
h_{ae2}	3
Внешняя высота ножки зуба h_{fe1}	4
h_{fe2}	8
Внешняя высота зуба h_e	11
Внешняя окружная толщина зуба s_{e1}	9,3096
s_{e2}	6,3979
Угол ножки зуба Θ_{f1}	2,7333°
Θ_{f2}	5,45°
Угол головки зуба $\Theta_{a1} = \Theta_{f2}$	5,45°
$\Theta_{a2} = \Theta_{f1}$	2,7333°
Внешний делительный диаметр d_{e1}	75
d_{e2}	150
Внешняя постоянная хорда зуба s_{ce1}	8,2206
s_{ce2}	5,6496
Высота до внешней постоянной хорды h_{ce1}	5,5039
h_{ce2}	1,9718

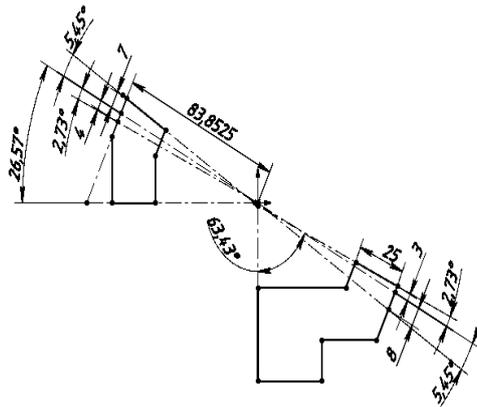


Рис. 1. Схема конической прямозубой передачи со смещением

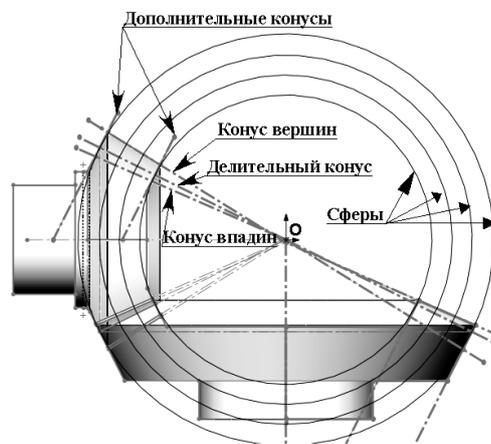


Рис. 2. Заготовки конических колес

Построение основных конусов. Используя эскиз разметки, вычертим образующие делительных конусов и, вращая их (Повернутая поверхность) вокруг осей i_1, i_2 , создадим делительные конусы (начальные конусы) конической передачи (рис. 3).

Построим плоскость Γ , касательную к делительным конусам и проходящую через общую образующую OP . Также через OP зададим образующую плоскость S под углом 20° к плоскости Γ . Данный угол зацепления, чаще всего, применяется в зубчатых передачах. Организуем 3D эскиз, в котором опустим перпендикуляры n_1, n_2 из точек осей i_1, i_2 на плоскость S , используя взаимосвязи «Перпендикулярность», «На плоскости» (см. рис. 3) через вершину конусов O и точки 1, 2 оснований перпендикуляров n_1, n_2 на плоскости S , проведем образующие основных конусов l_1, l_2 . Вращая l_1, l_2 вокруг осей, соответственно i_1, i_2 , получим основные конусы шестерни и колеса.

Сферические эвольвенты, обеспечивающие точную геометрию рабочей поверхности зуба конического колеса, создаются на поверхности множества концентрических сфер с центром в точке O , пересекающих начальные конусы передачи при их вращении относительно друг друга без скольжения (см. рис. 2). Возникающие при пересечении начальных конусов сферами окружности при перекачивании одной относительно другой производят множество сферических эвольвент, лежащих на соответствующих сферах. Совокупность множества таких эвольвент создает теоретические поверхности зубьев, по которым осуществляется передача вращения с минимальным скольжением от шестерни к колесу. Построим такие поверхности.

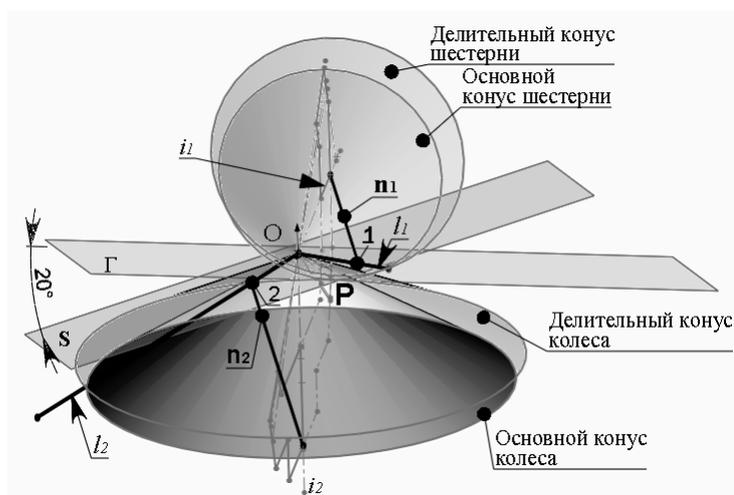


Рис. 3. Построение основных конусов

Построение образующего сектора. Построим сферу с центром в вершине конусов O и радиусом R_e . При пересечении образующей плоскости S со сферой получим образующую дугу AB , касательную к основным окружностям шестерни и колеса (рис. 4а). Данные окружности есть результат пересечения основных конусов со сферой. Ограничим дугу точками касания A , B и замерим ее длину (рис. 4б). Такой же длины отложим дугу BC на основной окружности шестерни.

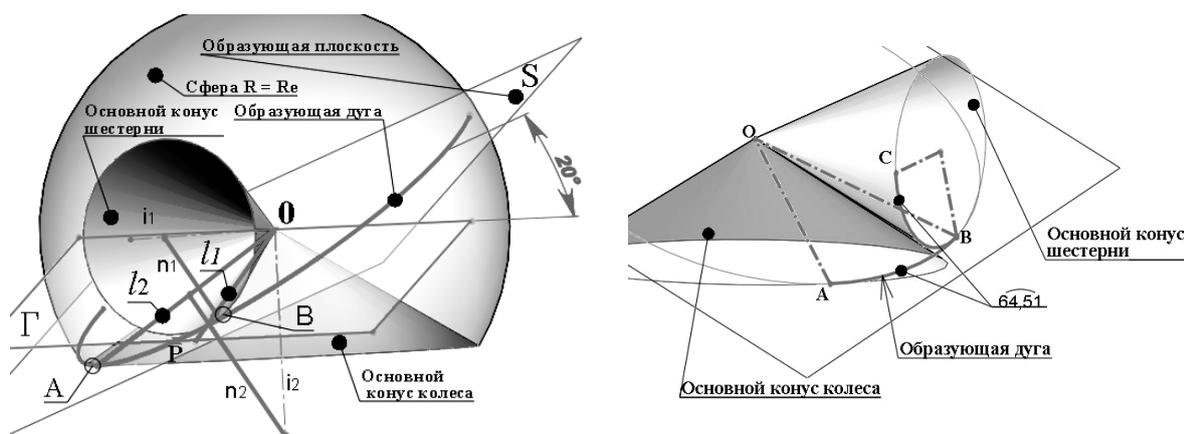


Рис. 4. Построение образующих дуг:

- a* – образующая дуга AB на сфере R_e в плоскости S ;
- б* – дуга BC окружности основного конуса шестерни на сфере R_e

В плоскости S выделим сектор, ограниченный дугой AB и радиальными отрезками OA и OB (рис. 5а). Командой «Заполнить поверхность» преобразуем сектор в поверхность. Разделим дугу AB на 10 частей, применив в качестве делящего объекта, например, окружность диаметром 1 мм. Деление произведем командой «Круговой массив эскиза», указав центр массива – точку O ; угол дуги AB – $44,08^\circ$; количество экземпляров – 11. Командой «Линейный массив эскиза» разделим радиальный отрезок окружностями, например, на 5 частей. Применив снова круговой массив, разделим весь сектор на концентрически расположенные относительно центра O делящие окружности и радиальные отрезки (см. рис. 5а). Командой «Отсечь поверхность», указав эскизы окружностей, выполним отверстия в поверхности сектора (рис. 5б).

Сектор с отверстиями распределим командой «Круговой массив» по дуге BC на основной окружности шестерни в количестве 11 экземпляров, предварительно замерив угол дуги – $104,88^\circ$ (рис. 6а).

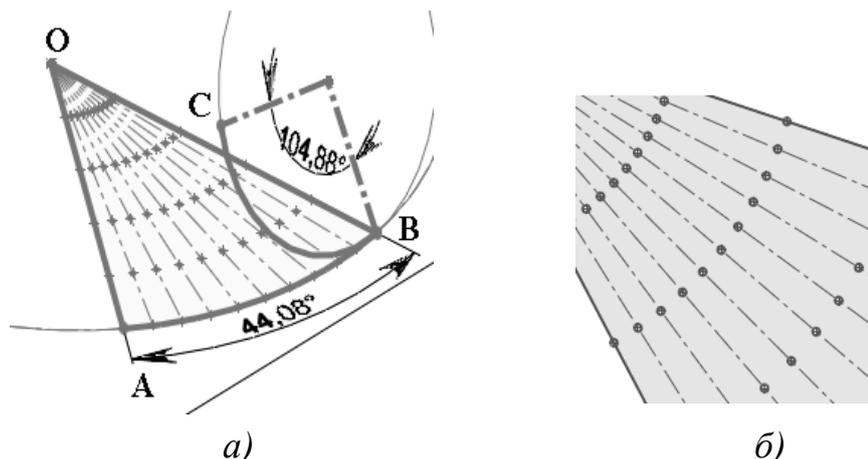


Рис. 5. Построение образующего сектора:
а – образующий эвольвентный сектор; б – отверстия в секторе

Таким образом, получили круговой массив образующих секторов, касательных к основному конусу шестерни.

Построение сферических эвольвент. Организуем трехмерный эскиз, в котором сплайном с привязкой «Привязать по центральным точкам» соединим центры делящих окружностей на образующих секторах. Соединяем первую окружность, лежащую на основном конусе, со второй и так последовательно до одиннадцатой (рис. 6б). Повторим указанную операцию для пяти рядов делящих окружностей (рис. 6в).

Таким образом, создали пять сферических эвольвент в виде трехмерных сплайнов, последовательно соединяющих разметочные отверстия на круговом массиве образующих секторов.

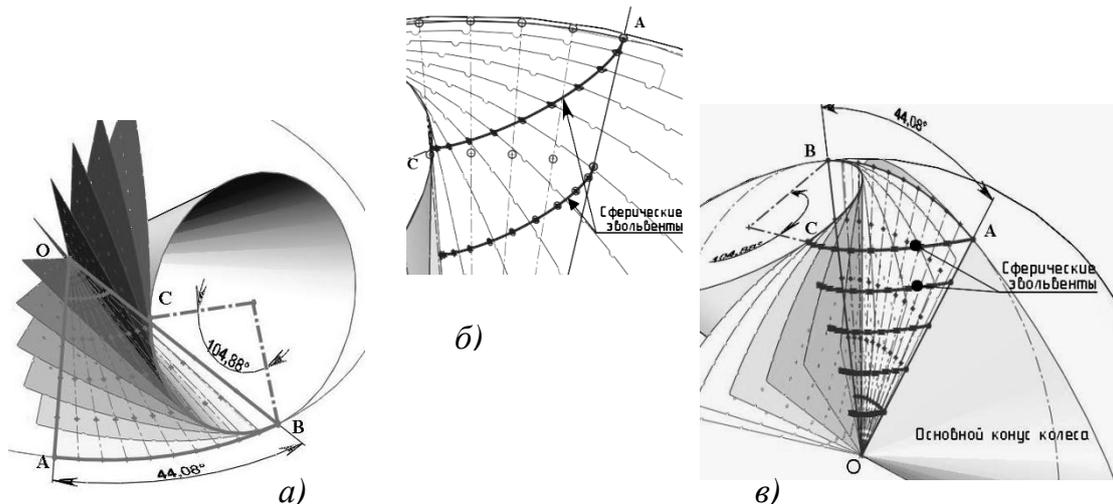


Рис. 6. Построение сферических эвольвент:
а – круговой массив секторов, касательных к дуге ВС основной окружности шестерни; б – соединение сплайном центров делящих окружностей; в – сферические эвольвенты

Применив команду «Поверхность по сечениям», указав в качестве профилей эвольвенты, а направляющих кривых – радиальные отрезки, построим эвольвентную поверхность, формирующую теоретически точную геометрию поверхности зуба (рис. 7).

Построение зубчатого венца шестерни. Построим зубчатый венец шестерни, сформировав зуб в общей плоскости симметрии передачи. Предварительно создадим конические поверхности вершин и впадин зубьев, дополнительные внешний и внутренний конусы. Затем срежем заготовку шестерни конусом впадин командой «Поверхностью». Командой «Тело- переместить / копировать» повернем эвольвентную поверхность вокруг оси шестерни в точку 2, отстоящую от плоскости симметрии на половину внешней окружной толщины зуба (рис. 8а). Временно скроем поверхность и создадим заготовку зуба. Для этого в плоскости, касательной к внешнему дополнительному конусу и перпендикулярной плоскости симметрии, построим эскиз прямоугольника произвольных размеров, но превышающих высоту и толщину зуба. Командой «Вытянутая бобышка/основание» с отключенным параметром «Объединить результаты» создадим заготовку зуба в виде параллелепипеда (рис. 8б).

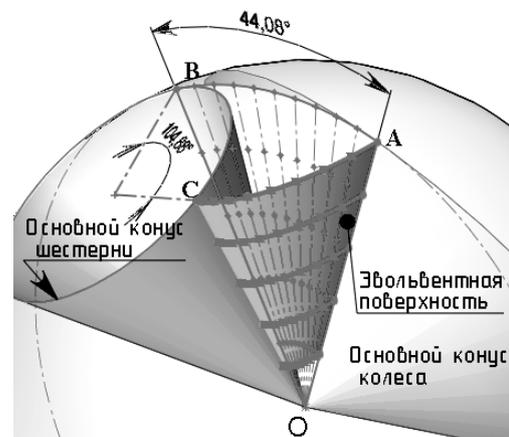
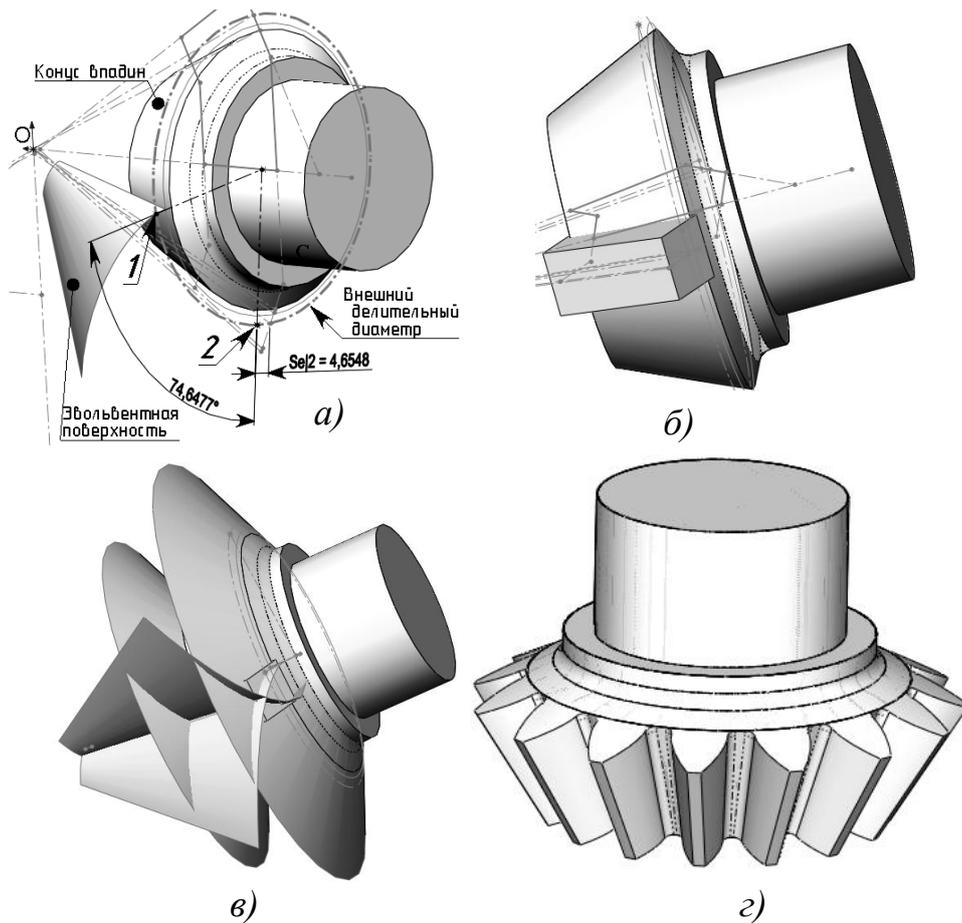


Рис. 7. Эвольвентная поверхность



$$y = f(x, u^H) \text{ или обобщенного критерия } D = f(x, u^H)$$

Рис. 8. Построение зубчатого венца шестерни: *а* – установка эвольвентной поверхности в нужную точку; *б* – заготовка зуба; *в* – обрезка зуба поверхностями; *г* – шестерня с зубчатым венцом

Далее, из заготовки сформируем зуб, обрезав ее с боковых сторон эвольвентными поверхностями, а с торцов – внешним и внутренним дополнительными конусами (рис. 8в). Круговым массивом распределим зубья по конусу впадин. В результате построили зубчатый венец шестерни (рис. 8г).

Построение эвольвентной поверхности зуба и зубчатого венца колеса аналогичны созданию данных элементов для шестерни.

Сборка конической передачи. Откроем новый документ «Сборка» и вставим 3D модели колеса и шестерни. Освободим первую вставляемую деталь от фиксации и выполним сопряжение «Совпадение» исходных точек компонентов (рис. 9а). Увеличим область контакта зубьев и проанализируем визуально зазоры между ними (рис. 9б). Командой «Анализировать» проверим интерференцию компонентов. Результаты проверки указывают на отсутствие интерференции и зазоров между зубьями. Необходимые зазоры, предотвращающие тепловое заклинивание передачи, можно создать командами прямого редактирования моделей.

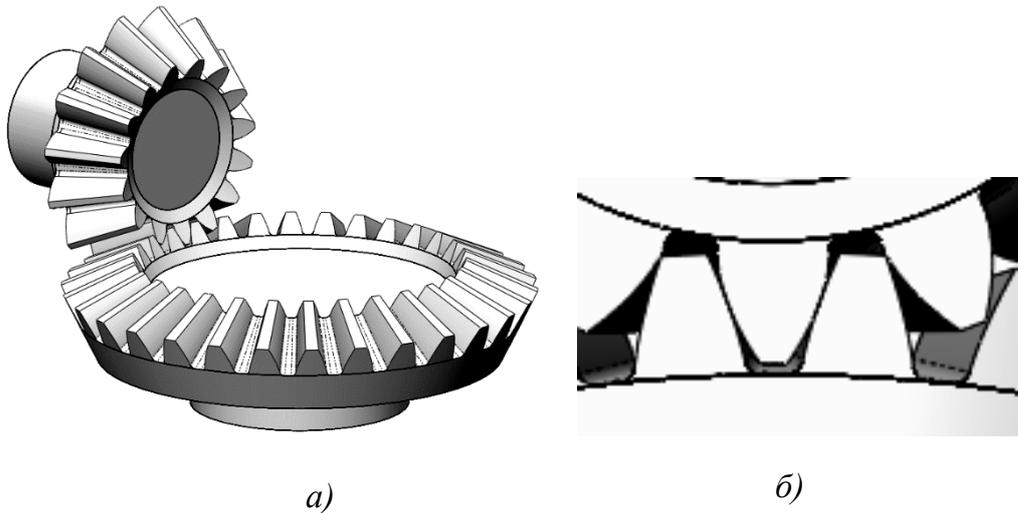


Рис. 9. Сборка конической передачи: *а* – 3d модель конической передачи;
б– визуальный контроль интерференции компонентов

Таким образом, показана методика построения конической прямозубой передачи с теоретически точным эвольвентным зацеплением.

Геометрически точные цифровые модели передач могут использоваться при изготовлении их по аддитивным технологиям, а также в качестве эталонов в электронном контроле.

Библиографический список

1. ГОСТ 19325-73. Передачи зубчатые конические. Термины, определения и обозначения. – М.: Изд. стандартов, 1992. – 90 с.
2. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин: учеб. для вузов / И.И. Артоболевский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
3. Литвин, Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений / Ф.Л. Литвин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 584 с.
4. Инженерная 3D-компьютерная графика: учебник и практикум / А.Л. Хейфец, А.Н. Логиновский, И.В. Буторина, В.Н. Васильева; под ред. А.Л. Хейфеца. – 3-е изд. – М.: Юрайт, 2015. – 602 с.
5. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. – М. ГНЦРФФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
6. ГОСТ 19624-74. Передачи зубчатые конические с прямыми зубьями. Расчет геометрии. – М.: Изд. стандартов, 1990. – 29 с.
7. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / В.И. Анурьев; под ред. И.Н. Жестковой. – 9-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2006. – 920 с.

[К содержанию](#)