

МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ AUTOCAD НАРЕЗАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС НА ЗУБОДОЛБЁЖНЫХ СТАНКАХ

Владимиров Э. А.

Разработана методика моделирования в среде AutoCad нарезания зубчатых колес зубчатым долбяком, которая характеризуется хорошей наглядностью и высокой точностью. Разработанная методика существенно повышает наглядность процесса нарезания зубчатого колеса на зубодолбёжном станке и точность полученной модели. Нарезание можно проводить при любых значениях основных параметров: модуля, числа зубьев, коэффициента смещения. Важным достоинством методики является возможность последующего использования полученных объектов для моделирования зубчатого зацепления и изучения его геометрических и кинематических свойств. Внедрение методики в учебный процесс позволило повысить наглядность и снизить трудоемкость курсового проекта по ТММ.

Розроблена методика моделювання в середовищі AutoCad нарізання зубчастих коліс зуборізною гребінкою, що характеризується хорошою наочністю і високою точністю. Розроблена методика істотно підвищує наочність процесу нарізування зубчастого колеса на зубодовбальному верстаті і точність отриманої моделі. Нарізання можна проводити при будь-яких значеннях основних параметрів: модуля, числа зубів, коефіцієнта зсуву, кута профілю зуба рейки. Важливим достоїнством методики є можливість подальшого використання отриманих об'єктів для моделювання зубчатого зачеплення і вивчення його геометричних і кінематичних властивостей. Впровадження методики в учбовий процес дозволило підвищити наочність і понизити трудомісткість курсового проекту по ТММ.

Design methodology is worked out in the environment of AutoCad of cutting of gear-wheels by toothed gear cutter, which is characterized by good evidentness and high exactness. The developed method significantly increases the visibility of the cutting gear on shaping machines and the accuracy of the resulting model. Cutting can be conducted at any values of basic parameters: module, number of points, coefficient of displacement. Important dignity of methodology is possibility of the subsequent use of the obtained objects for the design of the tooth hooking and study of its geometrical and kinematics properties. Introduction of methodology in an educational process allowed to promote evidentness and reduce labour intensiveness of course project on ТММ.

Владимиров Э. А.

канд. техн. наук, доц. кафедры ОПМ ДГМА
okmm@dgma.donetsk.ua

УДК 621.01

Владимиров Э. А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ AUTOCAD НАРЕЗАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС НА ЗУБОДОЛБЁЖНЫХ СТАНКАХ

В работе [1] дана краткая характеристика наиболее эффективному способу изготовления эвольвентных зубчатых колёс методом обкатки и рассмотрена методика изучения этого материала в курсе теории механизмов и машин: на лабораторных занятиях и при курсовом проектировании. Предложена методика моделирования нарезания зубчатых колёс на базе использования среды AutoCad. В работе рассмотрен процесс нарезания зубчатого колеса с помощью инструментальной рейки, позволяющий нарезать зубья только внешнего зацепления.

При реализации этого способа на зубодолбёжном станке в качестве режущего инструмента используется зубчатое колесо, снабжённое режущими кромками и называемое зубчатым долбяком. На этих станках могут быть изготовлены колеса, как с внешними, так и внутренними зубьями [2]. В процессе изготовления колеса заготовке сообщается вращательное движение вокруг её оси, а долбяку вращательное движение вокруг его оси и поступательное движение резания параллельно оси заготовки. Долбяк может иметь любое число зубьев. При стремлении числа зубьев долбяка к бесконечности он превращается в рейку, зубья которой имеют прямолинейные очертания, что позволяет повысить точность нарезания.

Целью настоящей работы является разработка методики моделирования в среде AutoCad нарезания зубчатых колёс с внешними и внутренними зубьями на зубодолбёжном станке.

Первым этапом является формирование рабочего профиля режущего инструмента – долбяка. В качестве исходных параметров долбяка приняты: модуль m , число зубьев z и коэффициент смещения X . Все остальные параметры соответствуют стандартному исходному контуру.

Дальнейшее изложение рассмотрим на примере стандартного долбяка 2530-0293 [3], имеющего следующие параметры:

модуль $m = 10$ мм;

число зубьев $Z = 16$;

диаметр делительной окружности $d_0 = 160$ мм;

диаметр вершин зубьев $d_{a0} = 186,2$ мм;

коэффициент смещения исходного контура $X_0 = 0,06$;

коэффициент высоты головки $h_{a0}^* = 1,25$;

высота головки $h_{a0} = 13,1$ мм;

теоретическая делительная толщина зуба $s = 16,145$ мм;

диаметр окружности впадин долбяка:

$d_{f0} = mZ - 2(h_a^* + c^* - X_0)m = 10 \times 16 - 2(1 + 0,25 - 0,06)10 = 136,2$ мм;

диаметр основной окружности долбяка $d_{b0} = d_0 \cdot \cos \alpha = 150,351$ мм.

Прежде всего, используя рекомендации работы [1], можно выполнить моделирование нарезания этого долбяка с помощью реечного инструмента.

На рис. 1 показано нарезание одного зуба долбяка, а на рис. 2 представлен профиль всего долбяка. В дальнейшем этот долбяк можно использовать для моделирования нарезания зубчатых колёс как с наружными, так и внутренними зубьями.

Однако при этом возникает трудность, которая заключается в том, что внешний контур долбяка не является реальным геометрическим объектом, который может распознать AutoCad, и в связи с этим модель долбяка должна быть дополнена совокупностью объектов AutoCad, ограничивающих рабочие поверхности долбяка.

Рассмотрим методику формирования распознаваемого профиля долбяка.

В качестве заготовки для его построения используем окружность диаметром 100 мм с участком эвольвенты, представленной на рис. 3.

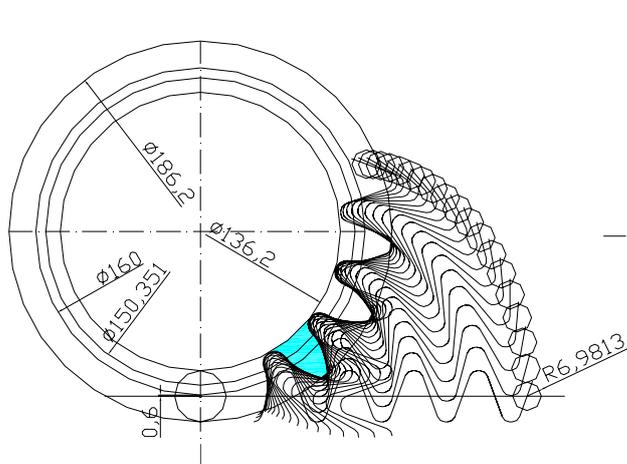


Рис. 1. Моделирование нарезания одного зуба долбяка

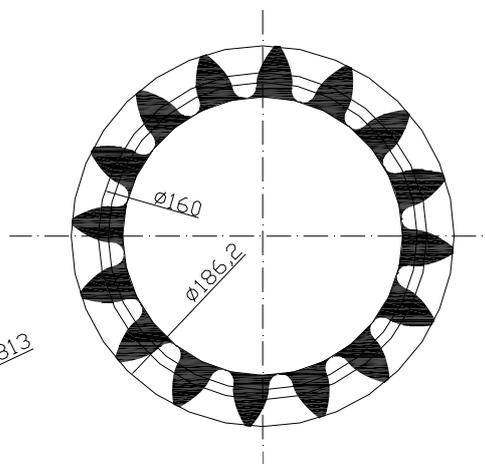


Рис. 2. Модель долбяка

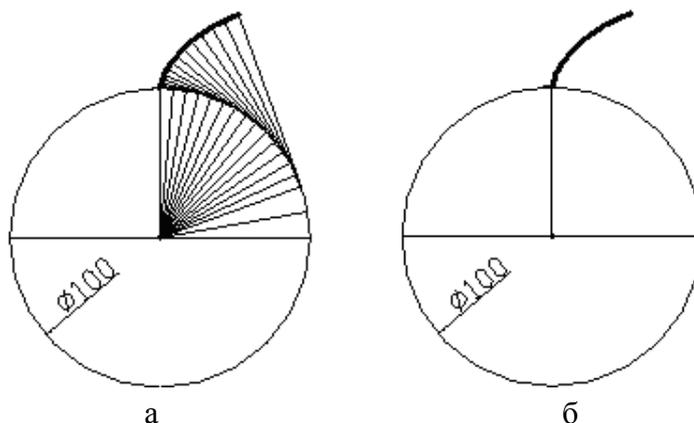


Рис. 3. Заготовка для построения профиля долбяка

На рис. 3, а показаны вспомогательные геометрические построения для определения координат точек эвольвенты по формуле:

$$\theta = \text{inv} \alpha_k \tag{1}$$

с угловым шагом радиус-вектора в 5° , а величину радиус-вектора r можно рассчитать по формуле:

$$r = \frac{r_b}{\alpha_k}, \tag{2}$$

где α_k – угол профиля эвольвенты, то есть острый угол между касательной к эвольвенте в рассматриваемой точке и радиус-вектором этой точки;

θ – эвольвентный угол между радиусами, проведёнными в предельную и в рассматриваемую точки эвольвенты;

r_b – радиус основной окружности.

Через полученные точки, являющиеся узловыми, проведен кубический сплайн. Следовательно, между узлами этот профиль не является точной эвольвентой. Расчёты и построения показывают, что погрешности определения величины радиус-вектора в промежуточных точках не превышают нескольких мкм.

Формирование профиля долбяка выполняется в такой последовательности:

- по исходным данным определяется диаметр основной окружности зубьев долбяка d_b ;
- выполняется масштабирование заготовки, представленной на рис. 3, б, с коэффициентом $d_b/100$;
- рассчитывается центральный угол в градусах, соответствующий полутолщине зуба на основной окружности:

$$\psi_b = \left(\frac{\pi}{2z} + \frac{2x \cdot \operatorname{tg} \alpha}{z} + \operatorname{inv} \alpha \right) \frac{180}{\pi} \quad (3)$$

и строится ось симметрии зуба;

- с использованием команды ЗЕРКАЛО (MIRROR) строится симметричная боковая поверхность зуба;
- проводится окружность вершин зубьев долбяка и отсекается лишняя часть эвольвент;
- с использованием команды МАССИВ (ARRAY) выполняется построение всех зубьев долбяка.

Результаты построений приведены на рис. 4.

Далее следует выполнить расчёт геометрических параметров нарезаемого колеса по заданным числу зубьев и коэффициенту смещения. В качестве основного параметра следует определить межосевое расстояние станочного зацепления и диаметр вершин зубьев нарезаемого колеса.

Далее на экране дисплея следует построить относительное положение долбяка и заготовки, как это показано на рис. 5, для нарезания зубьев внешнего зацепления. Заметим, что на этой схеме не рассматривается начальный процесс внедрения долбяка в заготовку и его угловое положение относительно заготовки может быть принято произвольным. При этом весь долбяк должен быть представлен как единый блок.

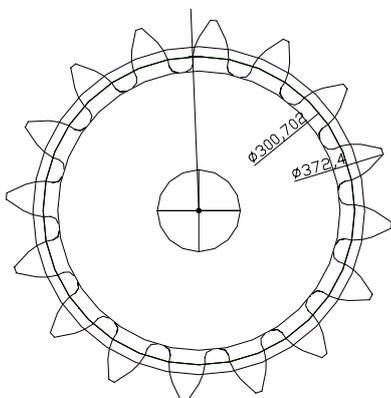


Рис. 4. Рабочий профиль долбяка

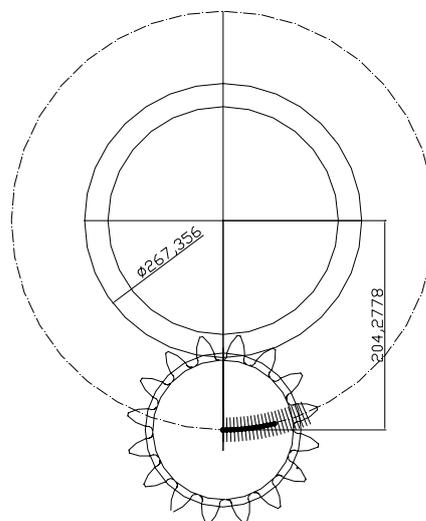


Рис. 5. Положение долбяка и заготовки на станке, принятое за первоначальное

Рассмотрим алгоритм моделирования процесса нарезания внешних зубьев на долбежном станке на примере нарезания рассмотренным выше долбяком зубчатого колеса с числом зубьев 24 и коэффициентом смещения $X = 0,4$. В этом случае величина межосевого расстояния в станочном зацеплении колеса с долбяком составляет 204,278 мм, а диаметр окружности вершин колеса 267,356 мм.

Как и в случае моделирования нарезания зубьев гребёнкой, удобно заготовку считать неподвижной и рассматривать относительное движение долбяка и заготовки.

Если Z_1 – число зубьев долбяка, а Z_2 – число зубьев нарезаемого колеса, то повороту долбяка на угол $\Delta\varphi_1$ соответствует поворот заготовки на угол $\Delta\varphi_2 = \Delta\varphi_1 Z_1 / Z_2$. Если долбяк поворачивается на угол $\Delta\varphi_1$ против часовой стрелки, то заготовка должна повернуться на угол $\Delta\varphi_2$ по часовой стрелке. Если мысленно остановить заготовку, то в относительном движении ось вращения долбяка переместится по дуге окружности, радиус которой равен межосевому расстоянию, на величину дуги, соответствующей центральному углу $\Delta\varphi_2$, и сам долбяк повернётся вокруг своей оси на угол $(\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2)$.

В связи с этим алгоритм моделирования нарезания, реализация которого представлена на рис. 6, включает следующие этапы:

- луч, проходящий через центр заготовки и ось вращения долбяка, следует повернуть против часовой стрелки на угол $\Delta\varphi_2$, величину которого следует принять небольшой, например 1° , и получить точку пересечения этого луча с окружностью радиусом равным межосевому расстоянию;

- для упрощения последующих построений следует провести несколько таких лучей с угловым шагом $\Delta\varphi_2$ и от этих лучей оставить только короткие риски, как это показано на рис. 5;

- используя команду КОПИРОВАТЬ (COPY), перенести в соседнюю точку центр долбяка вместе с его профилем;

- используя команду ПОВЕРНУТЬ (ROTATE), профиль долбяка следует повернуть вокруг этой точки против часовой стрелки на угол $\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2$ (в конкретном случае $\Delta\varphi_1 = 1,5^\circ$ и $\Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2 = 2,5^\circ$);

- эти операции продолжить до тех пор, когда на экране прорисовывается контур хотя бы одного зуба нарезаемого колеса;

- после этого, используя команду ШТРИХОВКА (HATCH), следует закрасить профиль зуба и с помощью команды МАССИВ (ARRAY) построить все зубья колеса, как это показано на рис. 6;

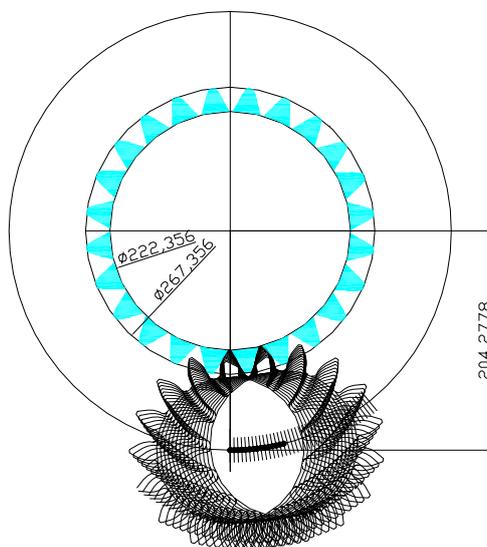


Рис. 6. Положения долбяка относительно неподвижной заготовки и построение всех зубьев колеса

– далее используя команду СТЕПЕТЬ (ERASE), следует убрать все промежуточные положения долбяка в относительном движении относительно заготовки и получить полный профиль колеса.

Рассмотрим моделирование нарезание колеса с внутренними зубьями.

Сначала следует выполнить расчёт геометрических параметров нарезаемого колеса по заданному числу зубьев и коэффициенту смещения и в качестве основных параметров определить межосевое расстояние станочного зацепления и диаметр вершин зубьев нарезаемого колеса [4].

На рис. 7 показано относительное положение долбяка и заготовки. Здесь также не рассматривается начальный процесс внедрения долбяка в заготовку и его угловое положение относительно заготовки может быть принято произвольным. Причём, весь долбяк должен быть представлен как единый блок.

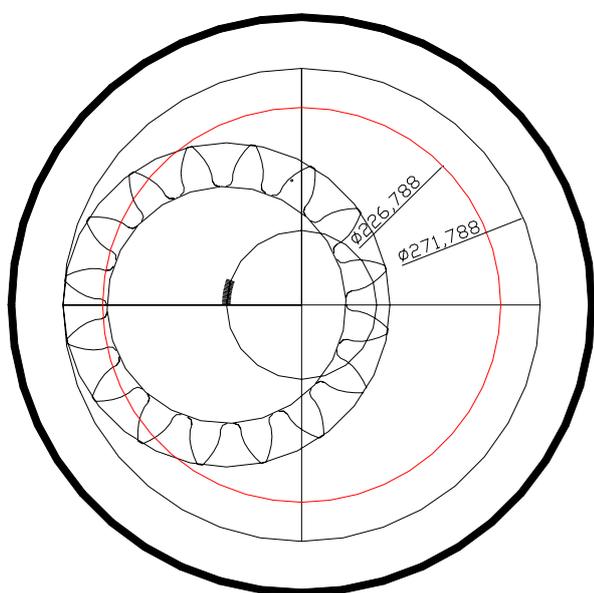


Рис. 7. Начальное положение долбяка относительно неподвижной заготовки при нарезании внутренних зубьев

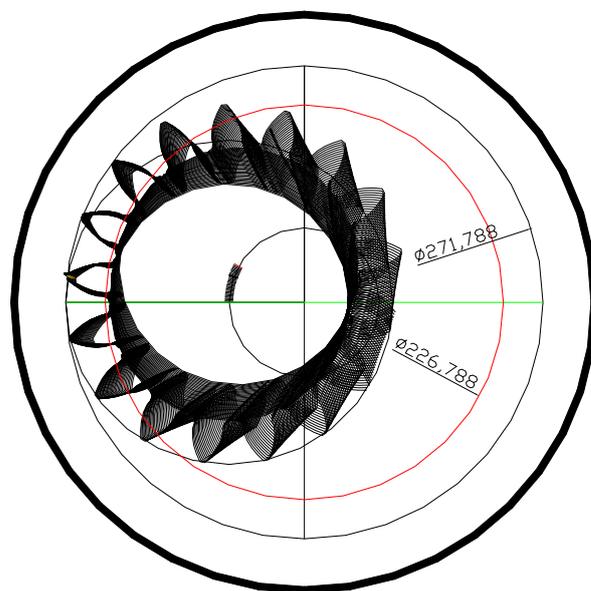


Рис. 8. Положения долбяка в движении по отношению к неподвижной заготовке

На рис. 8 показано положение долбяка в движении по отношению к неподвижной заготовке. Если долбяк повернуть против часовой стрелки на угол $\Delta\varphi_1$, то заготовку следует повернуть в том же направлении на угол $\Delta\varphi_2$.

Если же заготовку остановить, то в относительном движении центр долбяка при каждом шаге будет описывать по часовой стрелке относительно центра заготовки центральный угол $\Delta\varphi_2$ и одновременно поворачиваться вокруг своего центра против часовой стрелки на угол $(\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2)$. Можно рекомендовать следующую методику получения промежуточных положений долбяка, что отражено на рис. 8. В данном случае $\Delta\varphi_2 = 1,0^\circ$ и $\Delta\varphi_1 = 1,5^\circ$.

На исходной схеме, представленной на рис. 7, на траектории центра долбяка в обратном движении (это окружность, радиус которой равен межосевому расстоянию) следует построить некоторое количество рисок с угловым шагом $\Delta\varphi_2 = 1,0^\circ$. После этого с помощью команды КОПИРОВАТЬ (COPY) центр долбяка вместе с ним как единый блок перенести в точки пересечения каждого штриха с окружностью, представляющей траекторию центра

долбяка в обращённом движении. После этого каждое изображение долбяка повернуть против часовой стрелки на угол $n(\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2)$, где n – порядковый номер штриха. В результате построений следует получить профиль хотя бы одного зуба.

После этого, используя команду ШТРИХОВКА (HATCH), следует закрасить профиль полученного зуба и с помощью команды СТЕПЕТЬ (ERASE) убрать все промежуточные положения долбяка в относительном движении относительно заготовки. И в заключение с помощью команды МАССИВ (ARRAY) следует построить все зубья колеса, как это показано на рис. 8.

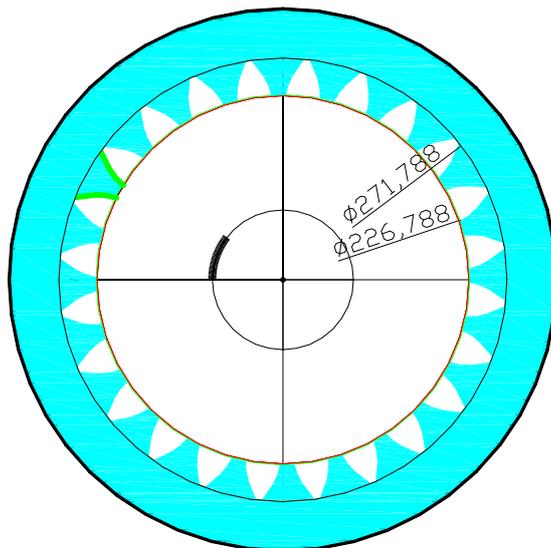


Рис. 8. Модель зубчатого колеса с внутренними зубьями

ВЫВОДЫ

Разработанная методика существенно повышает наглядность процесса нарезания зубчатого колеса на зубодолбежном станке и точность полученной модели. AutoCad позволяет с большой точностью измерять любые размеры на колесе и при необходимости сравнивать их с рассчитанными по аналитическим зависимостям. Рассмотренная методика дополняет методику нарезания зубчатых колёс с помощью гребёнки, рассмотренную в работе [1].

Главным достоинством этой методики является возможность использования полученных объектов для моделирования как внешнего, так и внутреннего зубчатого зацепления. При этом с помощью полученной модели можно наглядно изучать основные закономерности эвольвентного зацепления, например, характер перемещения точки касания зубьев при вращении колёс, вычисление с большой точностью коэффициента перекрытия и т. п.

Рассмотренная методика внедрена в учебный процесс как на лабораторном практикуме, так и при курсовом проектировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров Э. А. Моделирование в среде AutoCad нарезания зубчатых колес на зубообрабатывающих станках [Электронный ресурс] / Э. А. Владимиров // Научный вестник ДГМА. – 2009. – № 1(4Е). – С. 32–36. – Режим доступа : http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/VDDMA/2009_1/article/09WEAGGM.pdf.
2. Производство зубчатых колёс / С. Н. Калашиников, Г. И. Коган, И. С. Козловский и др. – М. : Машиностроение, 1963. – 684 с.
3. Долбяки зуборезные чистовые. ГОСТ 9323-79 / Государственный комитет СССР по стандартам. – М., 1987. – 73 с.
4. Болотовский И. А. Цилиндрические эвольвентные зубчатые передачи внутреннего зацепления / И. А. Болотовский, Б. И. Гурьев, В. Э. Смирнов. – М. : Машиностроение, 1977. – 192 с.