

## **ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС МЕТОДОМ ОБКАТКИ ИНСТРУМЕНТОМ РЕЕЧНОГО ТИПА В САПР «КОМПАС 3D»**

***В.В. Бружас, Б.А. Лопатин, Н.В. Романов***

Рассмотрено получение моделей зубчатых колес методом обкатки инструментом реечного типа (зубчатая рейка) в САПР «КОМПАС 3D». Получены модели: прямозубого и косозубого цилиндрических зубчатых колес, прямозубого и косозубого эвольвентно-конических зубчатых колес.

Ключевые слова: «КОМПАС 3D», зубчатое колесо, рейка, процесс нарезания, профиль зуба, эвольвентно-коническое зубчатое колесо.

Современные программы, такие как «КОМПАС 3D», «Autodesk Inventor», «SolidWorks» и различного рода дополнения к ним, позволяют получать модели: цилиндрических зубчатых колес, косозубых цилиндрических зубчатых колес, конических колес с прямым зубом, конических колес с круглым зубом. Но они не позволяют создать модели колес с более сложной геометрической формой зубьев, например, эвольвентно-конические зубчатые колеса, зубчатые колеса, полученные зубчатой рейкой с несимметричным профилем.

Существует несколько способов получения зубчатых колес, например с помощью специальных программных комплексов [1]. Один из способов получения моделей зубчатых колес – построение зубчатых колес методом обкатки инструментом реечного типа. После изучения данного процесса,

было решено создать параметрическую модель процесса нарезания зубчатого колеса инструментом реечного типа в программе «КОМПАС 3D» [2, с. 173]. Для этого, изучив и оценив возможности программы, приняли решение получать зубчатое колесо путем вычитания из него контура рейки.

Для начала была создана модель заготовки путем вращения образующего контура вокруг оси колеса. После чего были созданы вспомогательные плоскости для вычерчивания в них профиля инструмента. Все последующие зубчатые рейки были смещены на шаг поворота заготовки, и тем самым, путем вычитания они формируют профиль зуба. После прохода инструмента и формирования профиля зуба остальные зубья создаются круговым массивом, и мы получаем готовое зубчатое колесо. Плюсом данного смоделированного процесса является то, что можно изготовить модель колеса, в том числе и геометрию галтели, с учетом особенности геометрии инструмента.

Этапы построения рассмотрим на примере создания прямозубого цилиндрического колеса:

*Заготовка:* Как и во всех случаях изготовления зубчатого колеса, весь процесс начинается с заготовки. В программе «КОМПАС 3D», заготовка была получена путем создания эскиза и вращения его вокруг оси. Эта заготовка изображена на рис. 1.

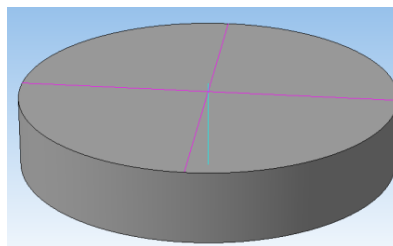


Рис. 1. Заготовка

Геометрия зубчатой рейки для нарезания зубчатых колес с углом зацепления  $20^\circ$  показана на рис. 2.

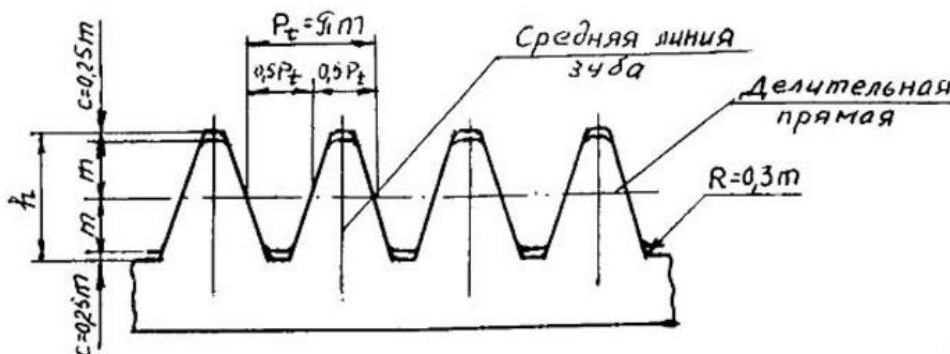


Рис. 2. Профиль зубчатой рейки

В процессе нарезания разных колес делительная прямая рейки может занимать различные положения в пространстве относительно оси будущего зубчатого колеса. Если колесо прямозубое обычное, то зубчатая рейка движется параллельно оси колеса. Если зубчатое колесо косозубое, то рейка уже движется под углом  $\beta$  к оси заготовки. В случае, когда нарезается ЭКК (прямозубое или косозубое), дополнительно появляется угол наклона  $\delta$ . И инструмент будет перемещаться по траектории, которая находится под наклоном на углы  $\beta$  и  $\delta$ .

Эскиз рейки, смоделированной в программе «КОМПАС 3D», показан на рис. 4. Данная рейка запараметризирована и может менять углы профиля. На рис. 3 изображена рейка с углами  $\alpha=20^\circ$ . Этот угол является стандартным, но можно изготовить рейки и с другими углами, т.к. при нарезании косозубых ЭКК за счет дополнительного наклона рейки изменяются углы режущих кромок. И из-за этого на правой и левой стороне зуба получается несимметричный профиль зуба. Слева на рис. 3 изображена стандартная зубчатая рейка, а справа – с углами  $\alpha_1=25^\circ$  и  $\alpha_2=15^\circ$ .

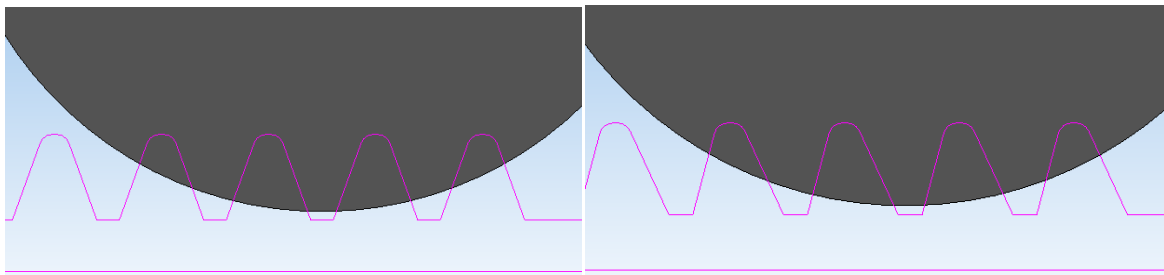


Рис. 3. Эскизы рейки разной геометрии

*Подача:* Подача имитировалась путем обката делительной прямой инструмента по делительному диаметру зубчатого колеса. На рис. 4 изображены шесть положений инструмента, равноудаленных друг от друга.

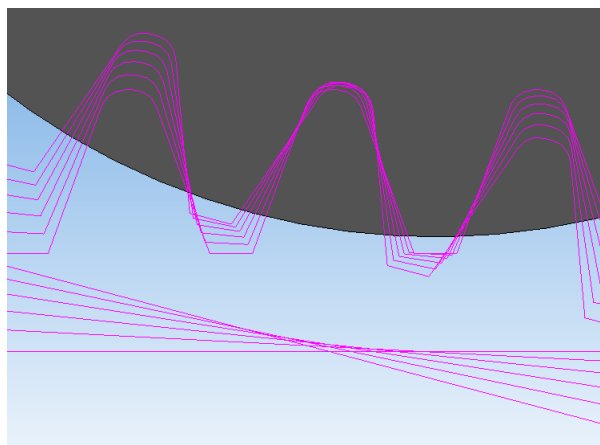


Рис. 4. Положения инструмента

В смоделированном процессе полная модель зубчатого колеса изготавливается за  $n$ -раз. И считается по формуле:

$$n = 30 \cdot z, \quad (1)$$

где  $z$  – число зубьев изготавливаемого колеса.

Подачи для данной модели считаются по формуле.

$$S = \frac{m \cdot \pi}{30} \frac{\text{мм}}{\text{дв.ход}}. \quad (2)$$

*Процесс резания:* Путем выдавливания эскиза инструмента и обката его по делительному диаметру будущего колеса происходит формирование правой и левой эвольвенты зуба. Тем самым происходит имитация процесса резания заготовки на станке.

На рис. 5 показан смоделированный процесс резания с подачей рейки 1,0135 мм/дв.ход, что соответствует изготовлению профиля впадин зуба за шесть перемещений рейки.

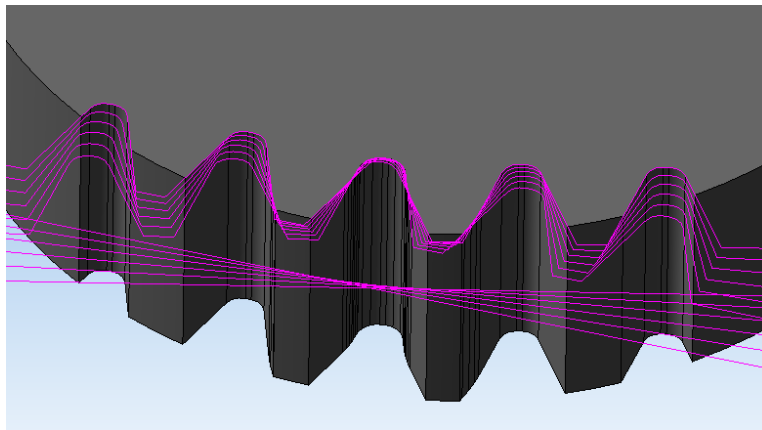


Рис. 5. Сформированные стороны одного зуба

На рис. 6 изображено колесо, полученное с подачей 0,203 мм/дв.ход. Можно оценить шероховатость и точность изготовления, измерив их на данной модели зубчатого колеса.

После того как впадина одного зуба сформирована полностью, производится круговой массив по окружности, и мы получаем остальные зубья. Полностью сформированное колесо, показанное на рисунке 7, также можно видоизменять, добавлять различные конструктивные элементы (ступицы, отверстия, шпоночные пазы и т.п.) и еще можно создавать с него чертеж данного зубчатого колеса.

*Создание колес несимметричной рейкой* производится также для увеличения их нагрузочной способности. Но если поменять только один угол рейки ( $\alpha$ ), то нагрузочная способность возрастает только при вращении зубчатых колес в определенную сторону. Варианты несимметричных реек изображены на рис. 8 ( $a - \alpha_1=15^\circ, \alpha_2=25^\circ$ ;  $b - \alpha_1=28^\circ, \alpha_2=10^\circ$ ).

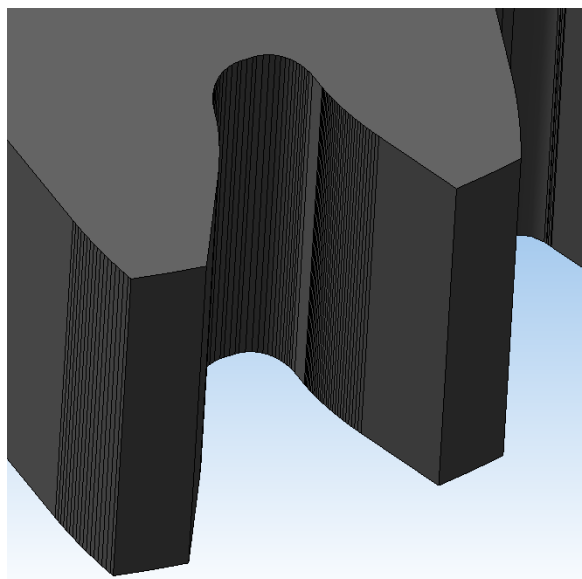


Рис. 6. Сформированная впадина зуба

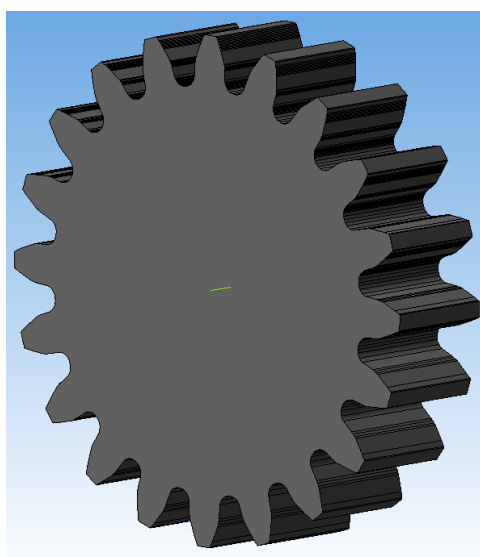


Рис. 7. Готовая модель прямозубого колеса

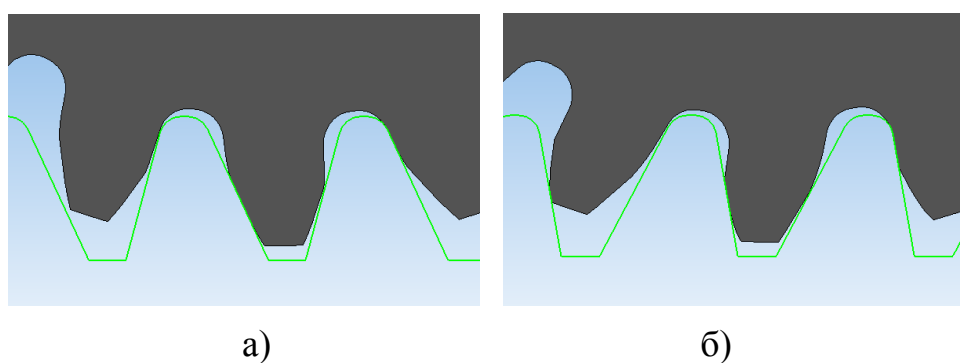


Рис. 8. Нестандартные профили инструмента реечного типа

Зубчатое колесо с параметрами рейки «б» рис. 8 изображено ниже на рис. 9.

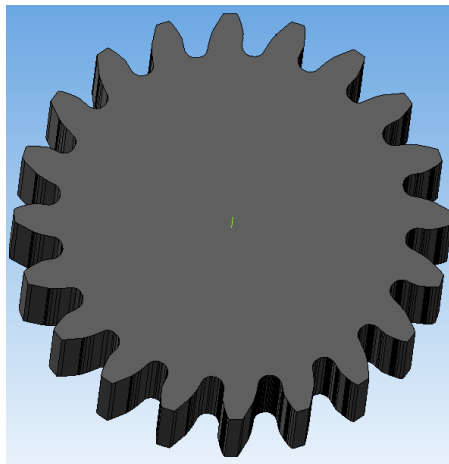


Рис. 9. Зубчатое колесо,  
нарезанное несимметричной рейкой

#### *Создание косозубого колеса*

Косозубые колёса являются усовершенствованным вариантом прямозубых. Их зубья располагаются под углом к оси вращения, а по форме образуют часть винтовой линии.

По такому же принципу, как и создание прямозубых колес, производится формирование зубьев косозубого колеса. Отличием является то, что инструмент реечного типа наклонен под углом  $\beta$ . На рис. 10а показана наклоненная рейка под углом  $10^\circ$ . Зубья колеса являются правыми. А у зубчатого колеса, изображенного на рис. 10б, – зубья левые с углом  $\beta=20^\circ$ .

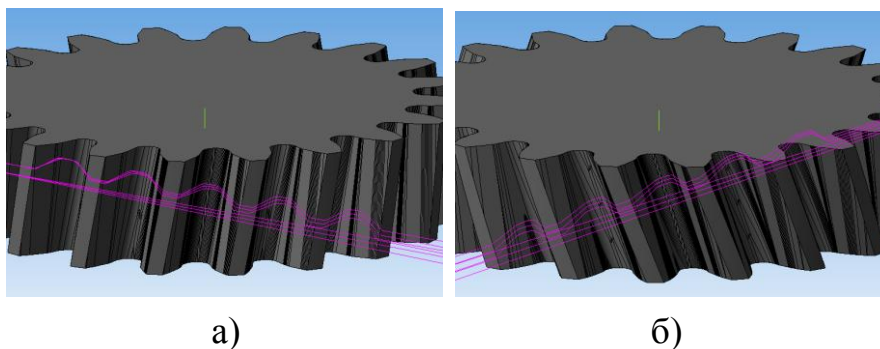


Рис. 10. Косозубое колесо

Модель косозубого зубчатого колеса представлена на рис. 11. Его параметры:  $m=2$ ,  $z=20$ ,  $\beta=20^\circ$ .

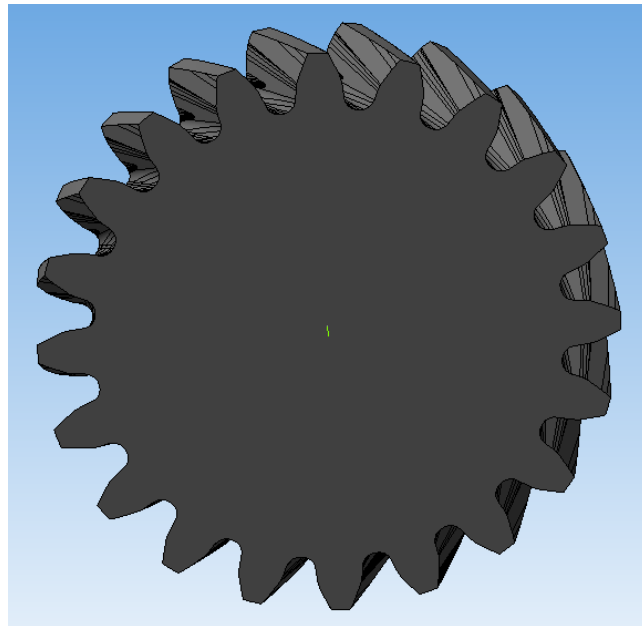


Рис. 11. Косозубое колесо

*Создание эвольвентно-конического прямозубого колеса*

Эвольвентно-коническое зубчатое колесо – это колесо, нарезаемое инструментом реечного типа (зубчатая рейка, червячная фреза, шлифовальный круг) с переменным вдоль оси колеса смещением инструмента [3, 4]. Простейшим примером зубчатого эвольвентно-конического колеса является долбяк, т.к. он имеет различный коэффициент смещения по ширине. Что сделано специально, чтобы обеспечить задний угол у инструмента, и для простоты переточки по передней поверхности, для того чтобы эвольвентный профиль был неизменным.

Модель колеса создается также, как и косозубое, но заготовка имеет форму усеченного конуса и рейка наклонена только под углом к оси самого колеса  $\delta$ . На рис. 12 представлена твердотельная модель прямозубого эвольвентно-конического колеса с углом  $\delta=13^\circ$ .

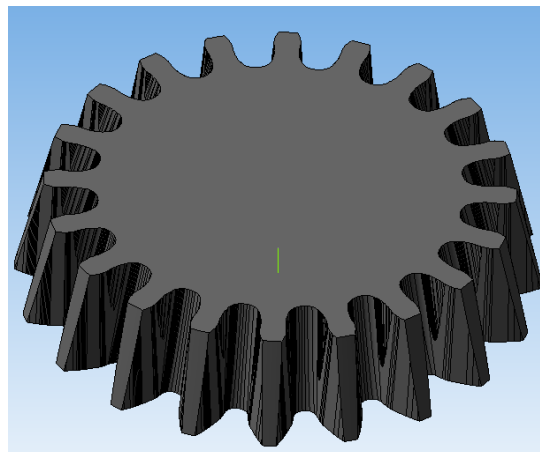


Рис. 12. Прямозубое эвольвентно-коническое колесо

*Создание косозубого эвольвентно-конического колеса*

Пример создаваемой модели показан на рис. 13. Данное колесо имеет параметры:  $z=30$ ,  $m=2$ ,  $x=0.75$ ,  $\delta=20^\circ$ ,  $\beta=10^\circ$ .

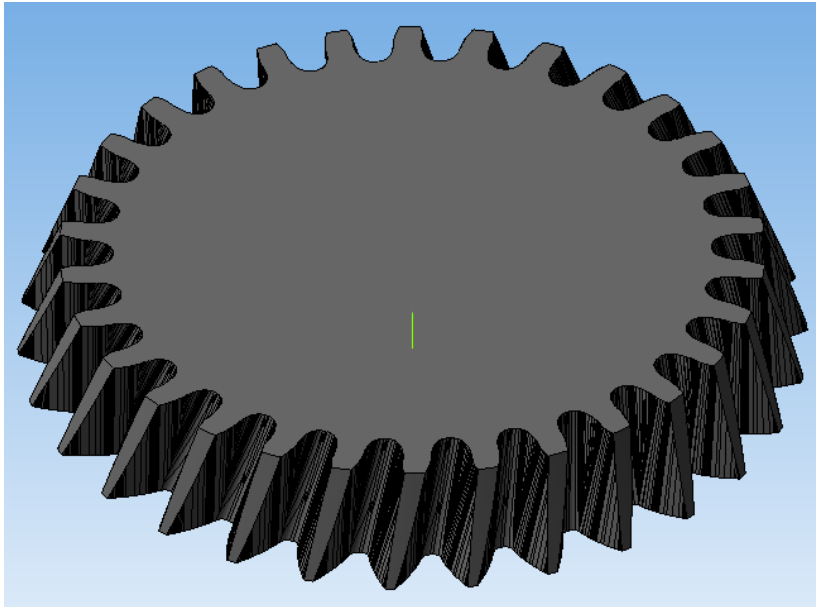


Рис. 13. Косозубое эвольвентно-коническое колесо

Вследствие того, что из-за наклонов рейки под углами  $\beta$  и  $\delta$  геометрия режущей части инструмента изменяется и профиль получается несимметричным.

Таким способом можно получать модели эвольвентных зубчатых колес с различной геометрией.

Библиографический список

1. Bruzhas, V.V., Lopatin, B.A. Development of solid-state models for the gears of different geometry: Procedia Engineering Ser. "International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2015". 2015. Pp. 369–373.
2. Большаков, В. Твердотельное моделирование деталей в CAD системах: AutoCAD, Компас-3D, SolidWorks, Inventor, Creo / В. Большаков, А. Бочков, Ю. Лячек. – СПб.: Питер, 2015. – 480 с.
3. Справочник по геометрическому расчету эвольвентных зубчатых и червячных передач / Под. ред. И.А. Болотовского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.
4. Лопатин, Б.А. Цилиндро-конические зубчатые передачи: монография / Б.А. Лопатин, О.Н. Цуканов. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. – 200 с.

[К содержанию](#)