

Создание зубчатого колеса в SolidWorks

Лабораторная работа №5

Томск – 2020

Зубчатое колесо

Основу конструкции любого механизма составляют элементы, призванные передать механическое усилие от двигателя на рабочий орган. В зависимости от принципа действия принято различать несколько видов таких передач: клиноременные, фрикционные или червячные. Но самое широкое распространение в технике получили зубчатые передачи.

Это механизмы в простейшем случае, использующие сопрягаемую пару, включающую ведущую шестерню и колесо зубчатое. Благодаря зубчатой форме поверхности эти элементы входят в зацепление между собой и за счет этого передают вращение с одного вала на другой. Кроме возможности передать механическую мощность, такая передача способна обеспечить изменение скорости вращения выходного вала, относительно входного. Благодаря таким свойствам, практически в каждом промышленном механическом устройстве встречается редуктор, понижающий скорость вращения или мультипликатор, наоборот увеличивающий ее. В более сложных механизмах, так называемых коробках передач, группа зубчатых колес способна выполнить ступенчатое изменение скорости.

Виды зубчатых колёс

Само название зубчатой передачи отражает ее конструкцию. В простейшем случае в состав такого механизма входят два вращающихся диска, на боковой поверхности, которых выполнены зубья. В процессе работы эти зубья зацепляются между собой. Колесо, связанное с источником вращающего момента, увлекает за собой второе. В итоге ведомый вал начинает вращаться.

В зависимости от направления передачи энергии используются разные обозначения зубчатых колес. Элемент, к которому присоединен вал двигателя, называется ведущим зубчатым колесом. В понижающих передачах оно характеризуется небольшим диаметром и малым числом зубьев. В технической литературе этот элемент часто называют шестерней. Сопрягаемое с ней колесо большого диаметра с большим числом зубьев называется ведомым. Вал этого колеса используется для передачи мощности на рабочий орган исполнительного механизма.

Более сложные виды передач используют большее количество зубчатых колес. Например, такие устройства используются для реализации возможности отбора мощности от одного вала на несколько устройств или переключения скоростей вращения 1.



Рисунок 1 – Виды зубчатых передач

Профиль или поперечное сечение зуба в механических передачах может быть практически любым. Встречаются варианты с треугольным, трапециевидным, прямоугольным или круглым профилем. Всем им, несмотря на простоту изготовления, свойственны недостатки, связанные с неравномерностью зацепления. Поэтому, в современных механических передачах, профиль чаще всего выполняется эвольвентным. Он представляет собой сложную кривую, обеспечивающую постоянное качество зацепления, вне зависимости от углового положения отдельных деталей и как следствие постоянство передаточного отношения. Такой профиль показывает оптимальные характеристики и относительно прост в изготовлении.

Конструктивные параметры цилиндрических зубчатых колес

В основу определения параметров зубчатого колеса положена делительная окружность. Делительными окружностями называются соприкасающиеся окружности пары зубчатых колес, катящиеся одна по другой без скольжения (диаметры d_1 и d_2 на рисунке 2).

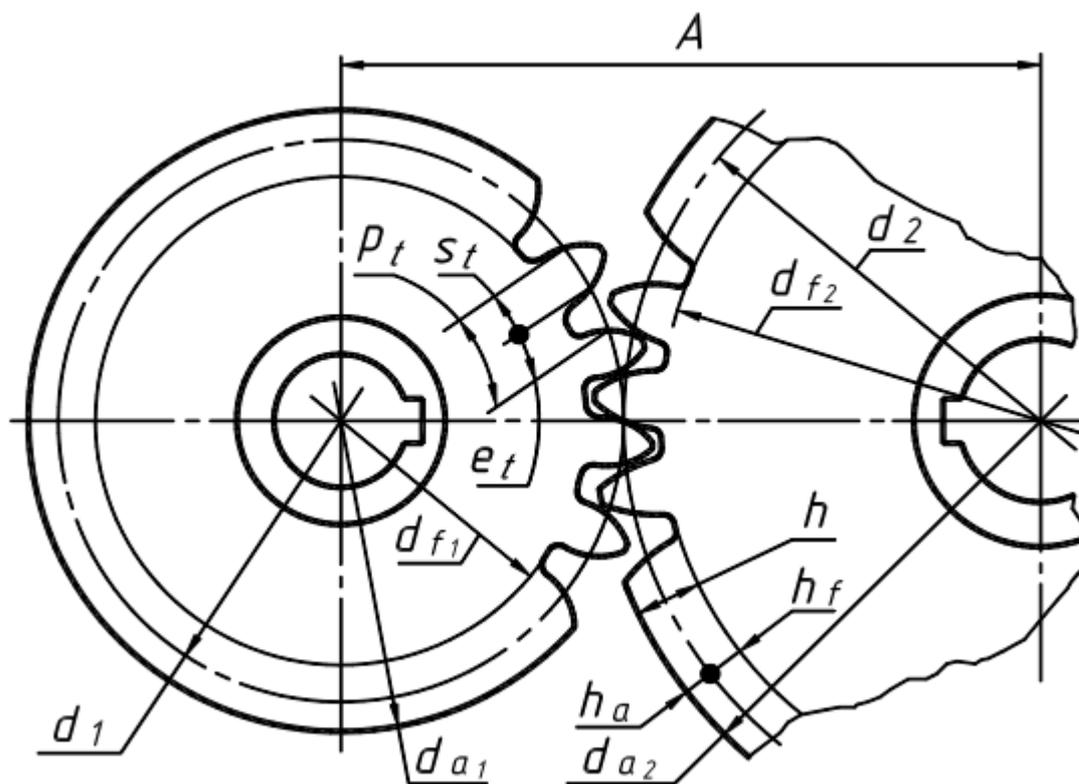


Рисунок 2 – Пара зубчатых колёс

Расстояние между одноименными точками профиля соседних зубьев, измеренное по дуге делительной окружности, называется **шагом зацепления** (p_t). Отрезки, равные шагу p_t , делят делительную окружность на z частей (z – число зубьев колеса). Делительный диаметр для зубчатого колеса всегда один. Длина делительной окружности зубчатого колеса: $\pi d = p_t z$ (где $\pi = 3,14$), откуда диаметр делительной окружности $d = (p_t / \pi) z$.

Линейная величина, в π раз меньшая шага зацепления, называется **модулем** и обозначается буквой m .

Модуль – число миллиметров делительного диаметра, приходящееся на один зуб. Модуль (m) и числа зубьев шестерни (z_1) и колеса (z_2) являются основными расчетными параметрами зубчатой передачи.

Геометрические параметры зубчатых колес

Диаметр делительной окружности:

$$d = m \cdot z. \quad (1)$$

Делительная окружность делит высоту зуба h на две неравные части – головку $h_a = m$ и ножку $h_f = 1,25 \cdot m$. Полная высота зуба:

$$h = h_a + h_f = 2,25 \cdot m. \quad (2)$$

Для мелкомодульных колес (модули менее 1 мм) высота зуба $h_f = 2,3 \cdot m$, высота ножки:

$$h_f = 1,3 \cdot m. \quad (3)$$

Зубчатый венец ограничивается окружностью вершин зубьев диаметром d_a и окружностью впадин диаметром d_f (рисунок 2). Диаметр окружности вершин d_a больше диаметра делительной окружности на две высоты головки зуба:

$$d_a = d + 2 \cdot m = m \cdot (z + 2). \quad (4)$$

Диаметр окружности впадин меньше диаметра делительной окружности на две высоты ножки зуба:

$$d_f = d - 2,5 \cdot m = m \cdot (z - 2,5). \quad (5)$$

Для мелкомодульных колес диаметр окружности впадин:

$$d_f = d - 2,6 \cdot m = m \cdot (z - 2,6). \quad (6)$$

Окружная толщина зуба s_t и окружная ширина впадин e_t по дуге делительной окружности:

$$s_t = e_t = 0,5 \cdot p_t. \quad (7)$$

Межосевое расстояние (A) цилиндрической зубчатой передачи, равно полусумме делительных диаметров зубчатых колес при внешнем зацеплении и полуразности – при внутреннем:

$$A = 0,5 \cdot m \cdot (z_1 \pm z_2). \quad (8)$$

Радиальный зазор (c), расстояние между поверхностью вершин зубьев одного из зубчатых колес передачи и поверхностью впадин другого:

$$c = 0,25 \cdot m. \quad (9)$$

К буквенным обозначениям величин, относящихся к шестерне, добавляют индекс «1», например z_1 , d_1 , d_{a1} , и т. д., а к обозначениям колеса добавляют индекс «2», например z_2 , d_2 , d_{a2} и т. д.

Геометрические параметры зубчатых колес необходимо рассчитывать до трех знаков после запятой.

На чертежах, согласно ГОСТ 2.402-68, окружности и образующие поверхностей вершин зубьев на видах деталей показывают сплошными толстыми линиями, окружности и образующие поверхностей впадин показывают сплошными тонкими линиями, а в разрезах – сплошными толстыми линиями. Делительные окружности показывают тонкими штрихпунктирными линиями (рисунки 3, 4).

Конструктивные параметры цилиндрических зубчатых колес

На рисунке 3 приведены конструктивные элементы цилиндрического штампованного зубчатого колеса.

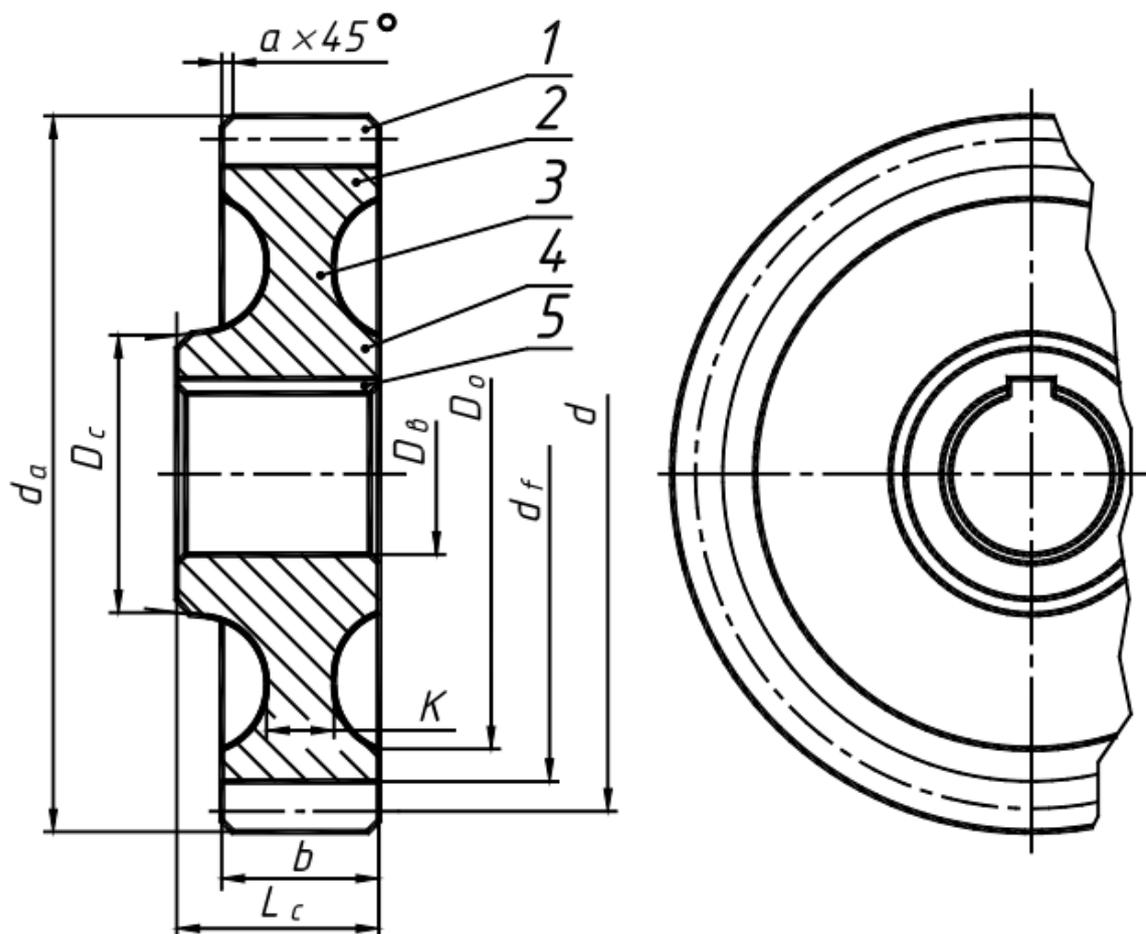


Рисунок 3 – Конструктивные элементы зубчатого колеса

На рисунке 3 обозначено:

1 – зубчатый венец, 2 – обод, 3 – диск, 4 – ступица, 5 – шпоночный паз;

d_a – наружный диаметр, d – делительный диаметр, d_f – диаметр впадин, D_o – диаметр обода, D_c – диаметр ступицы, D_B – диаметр вала, k – толщина диска, b – ширина зубчатого венца, $L_{ст}$ – длина ступицы, a – фаски зубьев.

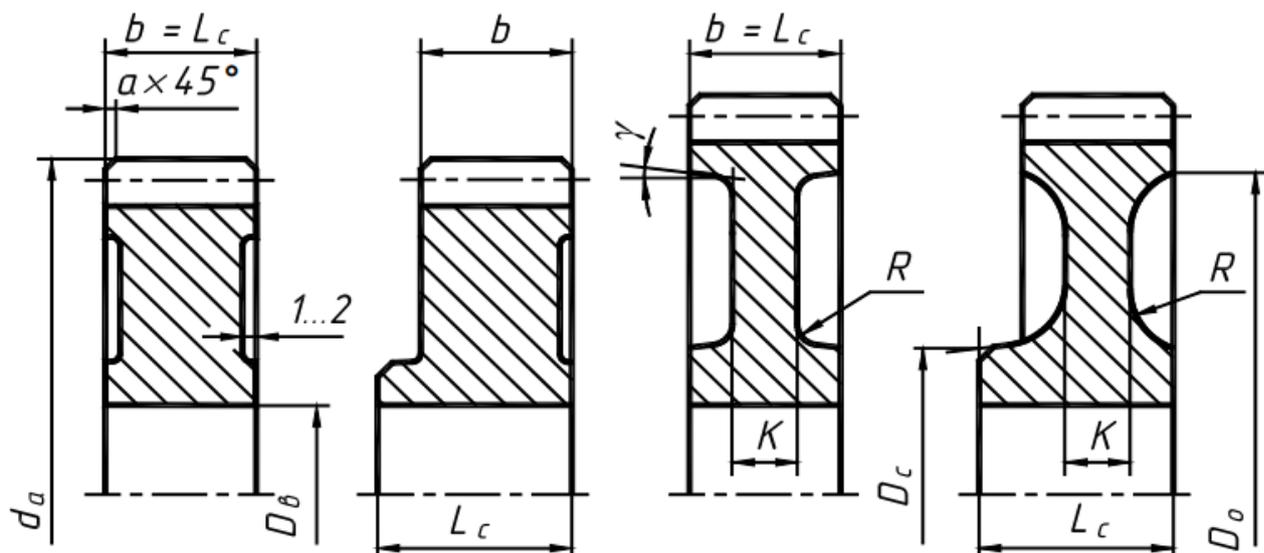


Рисунок 4 – Варианты исполнения зубчатых колёс

Конструкция зубчатых колёс:

1. Ширина зубчатого венца колеса

$$b = (6 \dots 8) \cdot m \quad (10)$$

2. Внутренний диаметр обода

$$D_o = d_a - 8,5 \cdot m \quad (11)$$

3. Толщина диска

$$k = (0,3 \dots 0,5) \cdot b \quad (12)$$

4. Длину ступицы (для стальных колёс) $L_{ст}$ желательно принимать равной ширине зубчатого венца b при соблюдении условия

$$L_{ст} = (0,8 \dots 1,5) \cdot D_B \quad (13)$$

5. Диаметр ступицы

$$D_{ст} = 1,5 \cdot D_B + 10 \text{ мм} \quad (14)$$

Если при расчёте окажется, что $D_{ст}$ больше D_o , то колесо выполняют без выточек.

6. Размер фасок на торцевых кромках зубьев

$$a \cong 0,5 \cdot m \times 45^\circ \quad (15)$$

7. Радиусы закруглений $R = 5 \dots 10$ мм, штамповочные уклоны $\gamma = 5^\circ \dots 7^\circ$.

8. Делительный диаметр

$$d = m \cdot z \quad (16)$$

9. Высота головки зуба

$$h_a = m \quad (17)$$

10. Высота ножки

$$h_f = 1,25 \cdot m \quad (18)$$

11. Высота зуба

$$h = 2,25 \cdot m \quad (19)$$

12. Диаметр вершин зубьев

$$d_a = m \cdot (z + 2) \quad (20)$$

13. Диаметр впадин зубьев

$$d_f = m \cdot (z - 2,5) \quad (21)$$

Пример черчения зубчатого колеса

В таблице 1 указаны исходные данные, а в таблице 2 рассчитанные по формулам ((1) – (21), геометрические параметры зубчатого колеса.

Таблица 1 – Исходные данные

Параметр	m , мм	z	$Dв$, мм
Значение	4,5	35	53

Таблица 2 – Рассчитанные геометрические параметры зубчатого колеса

Параметр	Значение	Параметр	Значение	Параметр	Значение
d_a , мм	166,5	b , мм	30	a	2 x 45°
d , мм	157,5	$L_{ст}$, мм	42,4	D_o , мм	128,25
d_f , мм	146,25	$D_{ст}$, мм	89,5	$s_t = e_t$, мм	7,065

На виде спереди начертите эскиз с размерами, как на рисунке 5.

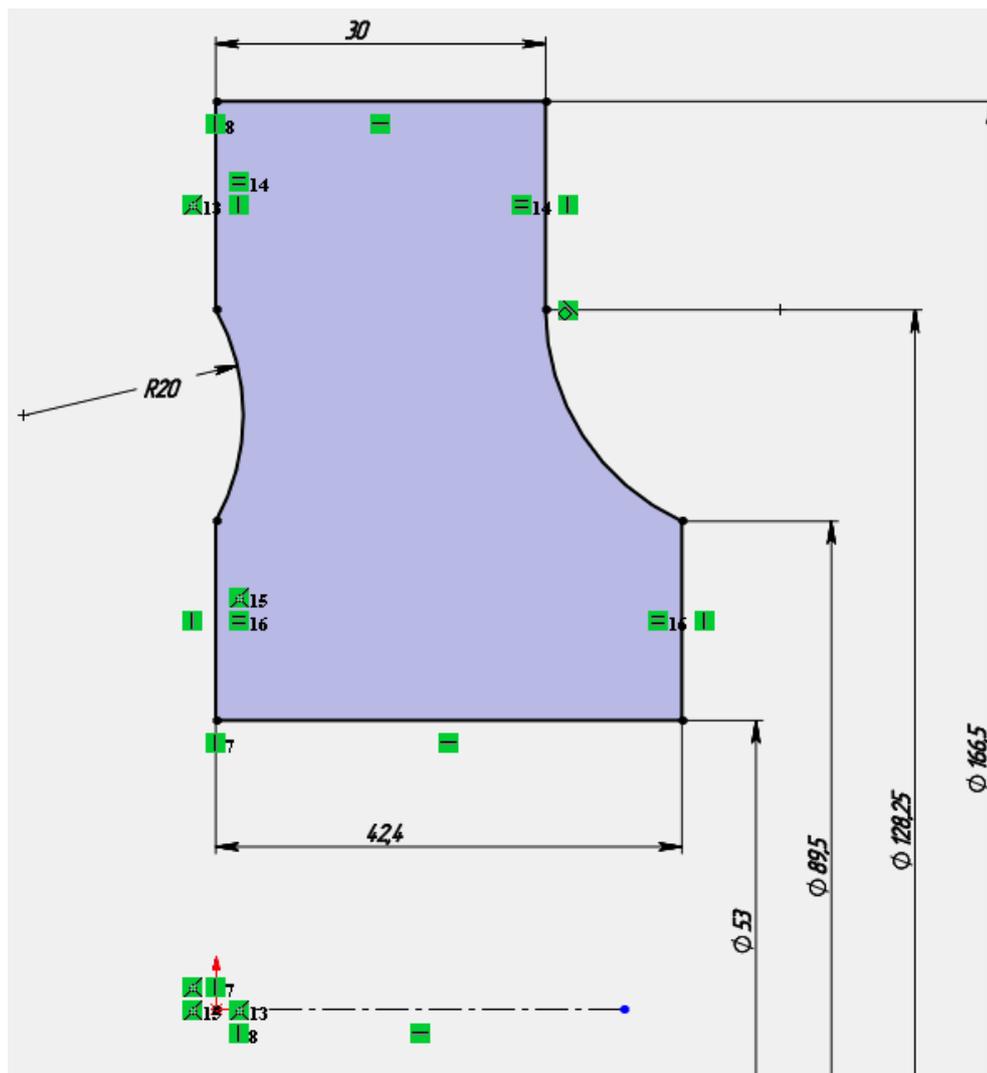


Рисунок 5 – Эскиз на виде спереди

После этого, создайте элемент «Повёрнутая бобышка/основание», рисунок 6.

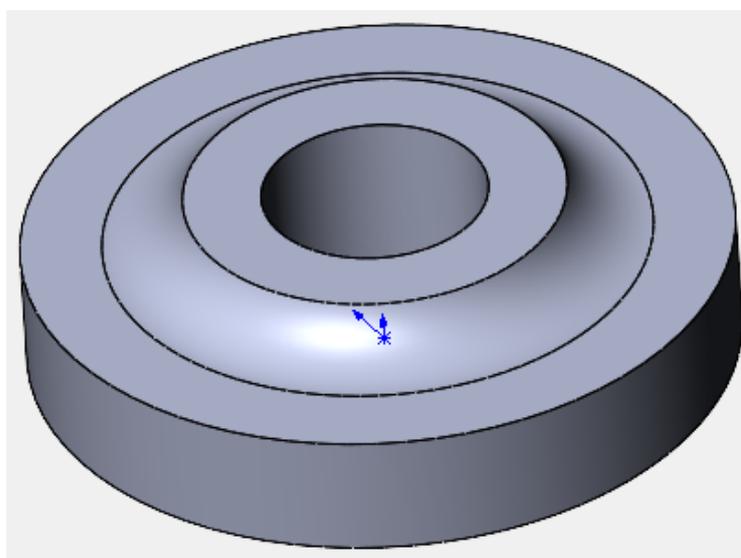


Рисунок 6 – Получившаяся модель

Затем, создайте фаски для 5 кромок, с параметрами, как на рисунке 7.

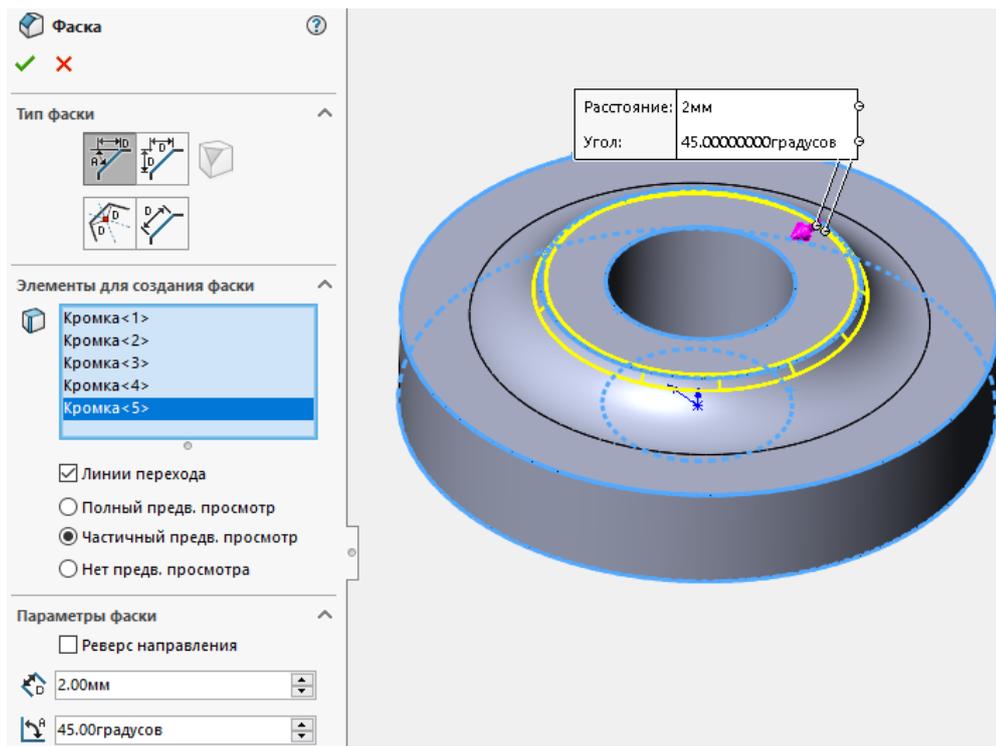


Рисунок 7 – Создание фасок

Создайте эскиз для шпоночного паза, рисунок 8.

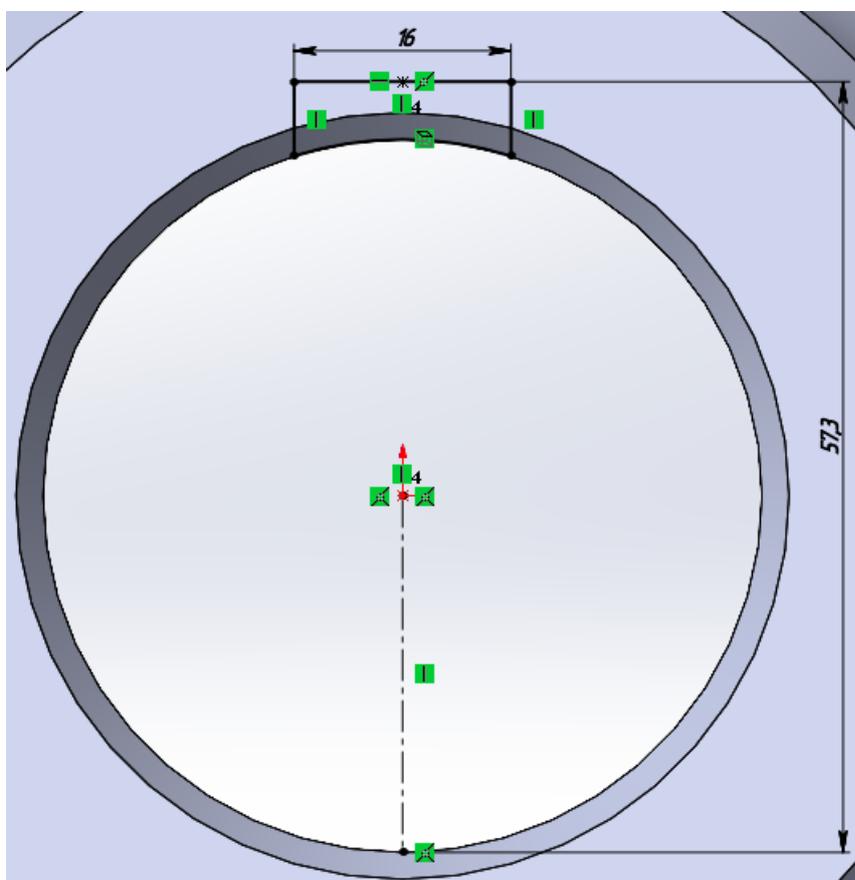


Рисунок 8 – Эскиз для создания шпоночного паза

Создайте сквозной вытянутый вырез, рисунок 9.

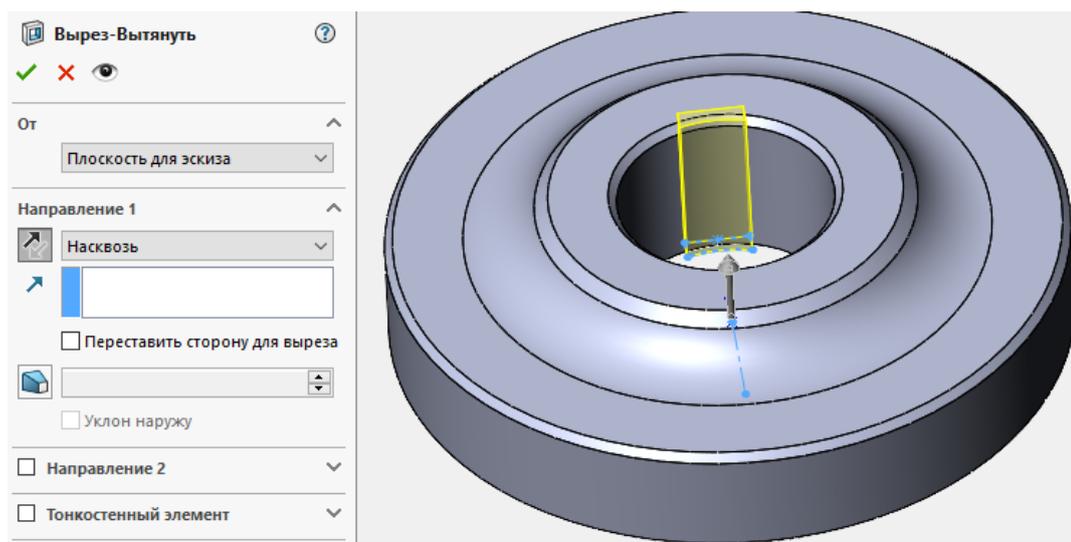


Рисунок 9 – Создание сквозного выреза

Теперь необходимо создать зубья, зубчатого колеса. Для этого, на виде справа необходимо начертить эвольвенту зуба. Нарисуйте 3 окружности. Линию делительной окружности сделайте вспомогательной геометрией, рисунок 10.

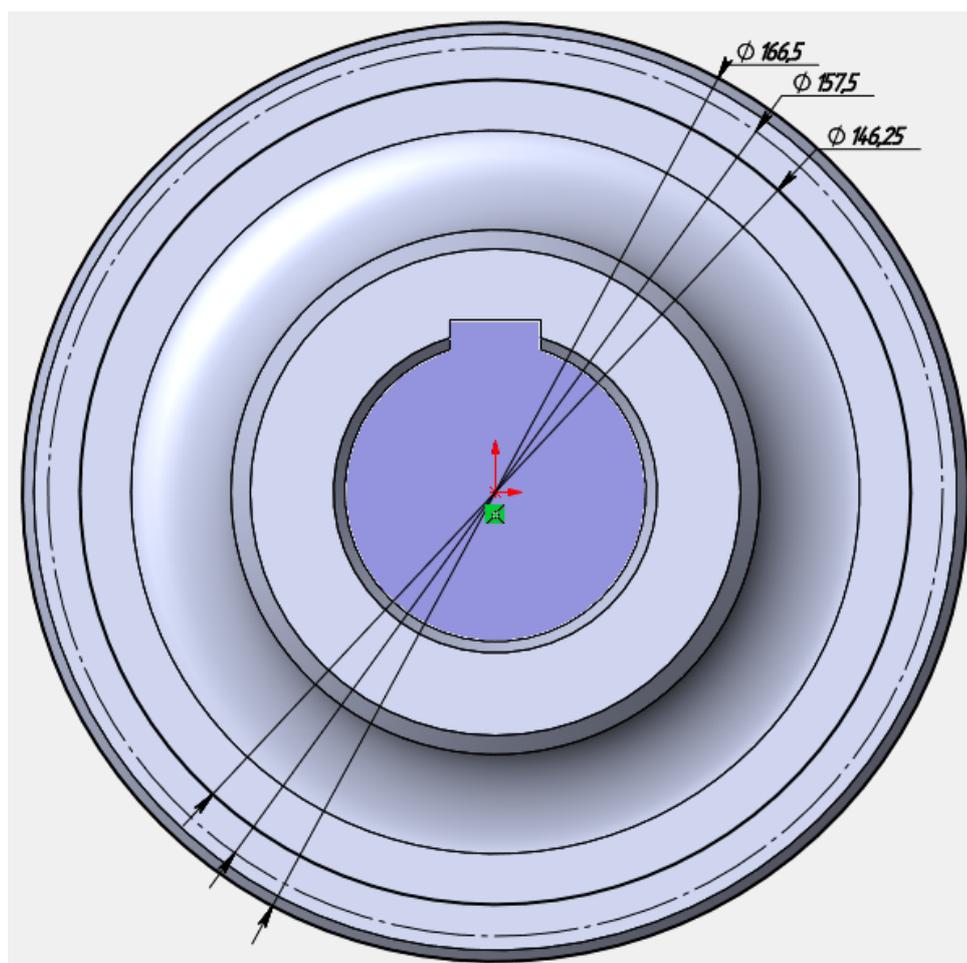


Рисунок 10 – Черчение окружностей

Проведите вспомогательную вертикальную линию от центра координат до наружной окружности, рисунок 11.

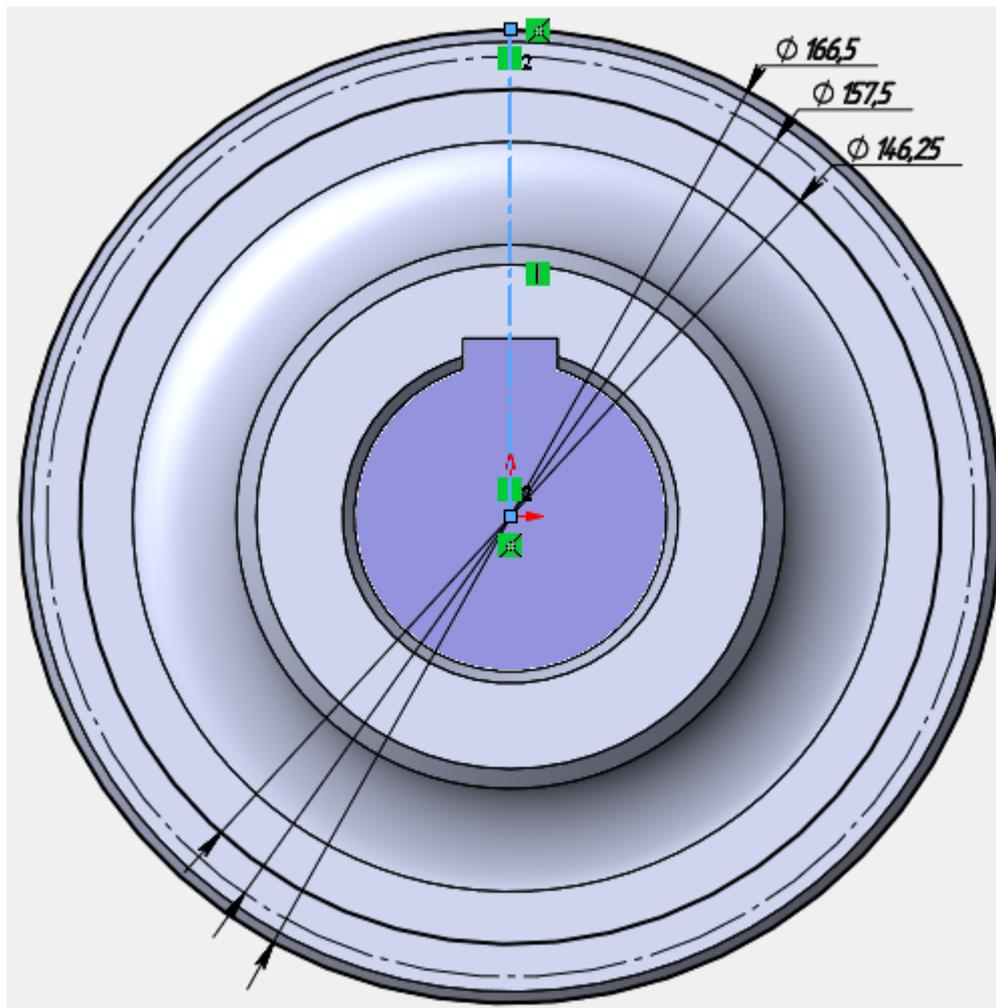


Рисунок 11 – Вспомогательная линия

Переходим к созданию эвольвенты зуба. Она создаётся с помощью «Кривая, управляемая уравнением», рисунок 12.

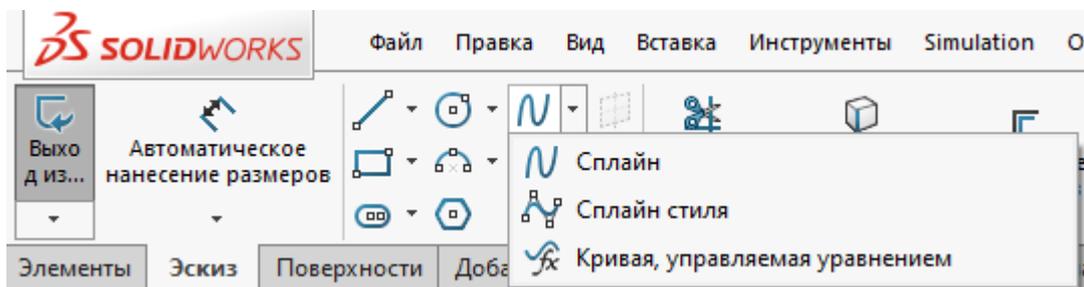


Рисунок 12 – Вызов Кривой, управляемой уравнением

В окне настройки параметров кривой смените Тип уравнения на Параметрическое и запишите уравнения параметрической кривой, рисунок 13.

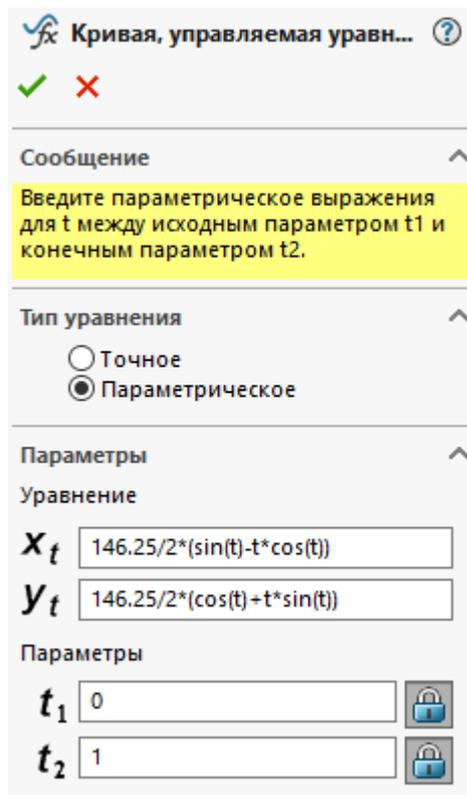


Рисунок 13 – Настройка параметров кривой

Выражение $146.2/2$ это радиус окружности впадин.

Завершите создание кривой, нажав на зелёную галочку. У Вас должна получиться эвольвента поверхности зуба, рисунок 14.

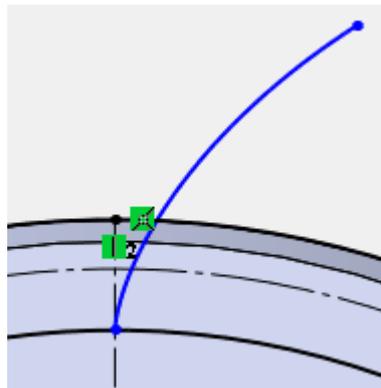


Рисунок 14 – Эвольвента поверхности зуба

Чтобы предотвратить перемещения эвольвенты при дальнейших построениях, её положение нужно зафиксировать. Для этого выберите кривую эвольвенты и вертикальную вспомогательную линию и добавьте взаимосвязь «Зафиксированный», рисунок 15.

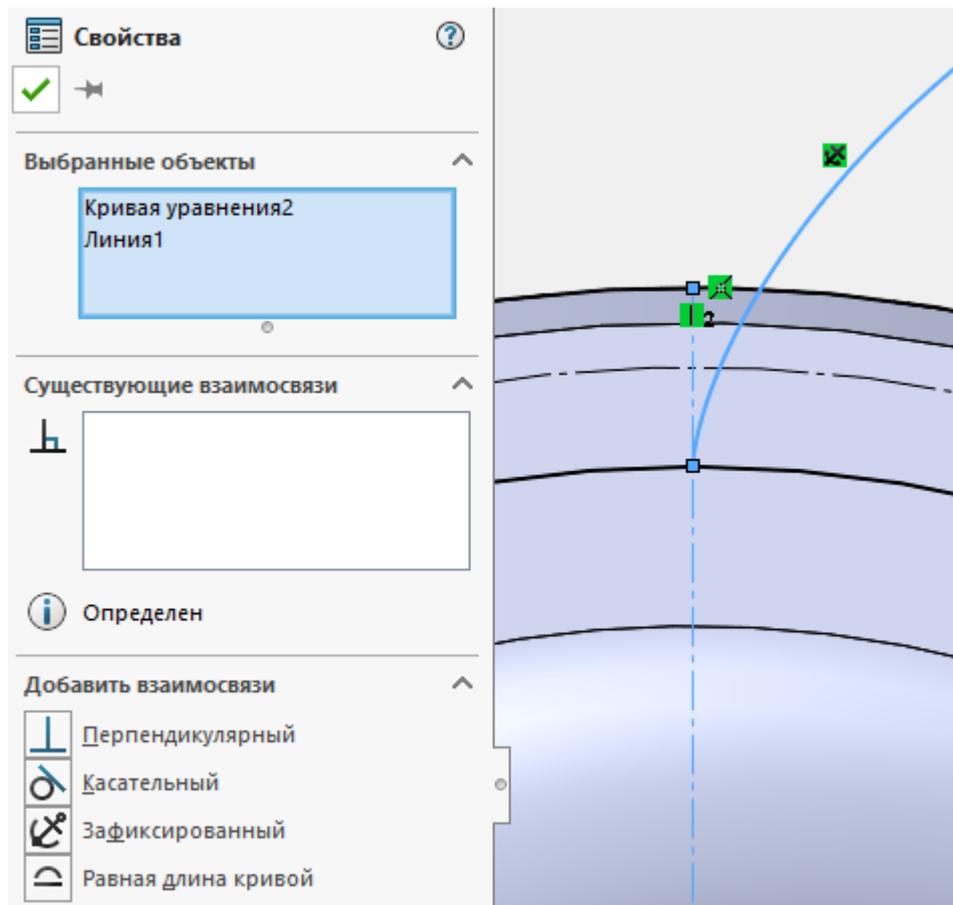


Рисунок 15 – Добавление взаимосвязи «Зафиксированный»

После этого, слева от эвольвенты на вспомогательной окружности делительного диаметра начертите дугу по трём точкам с радиусом делительного диаметра, рисунок 16.

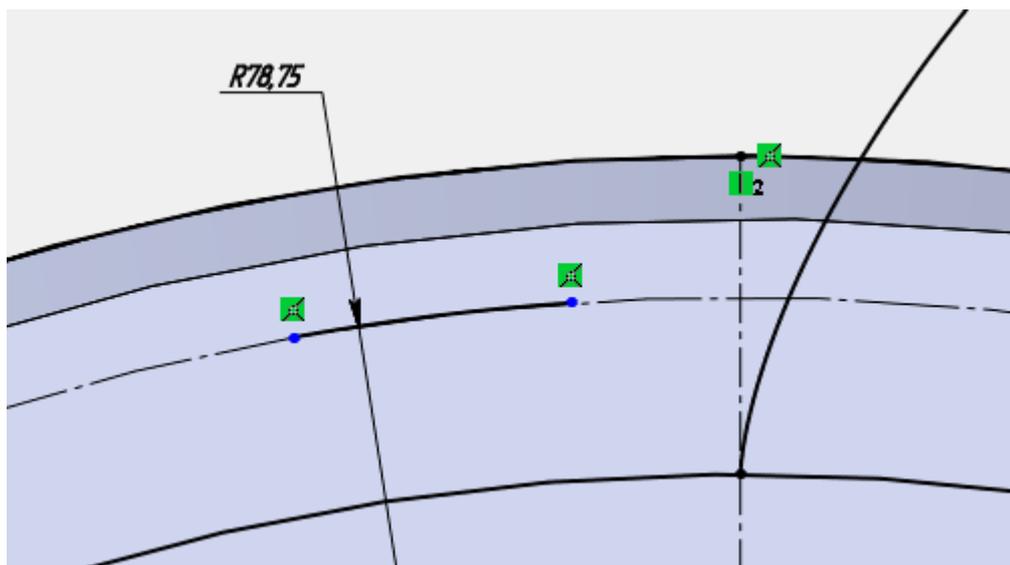


Рисунок 16 – Черчение дуги

Создайте взаимосвязь «Совпадение» между крайней правой точкой дуги и кривой эвольвенты, рисунок 17.

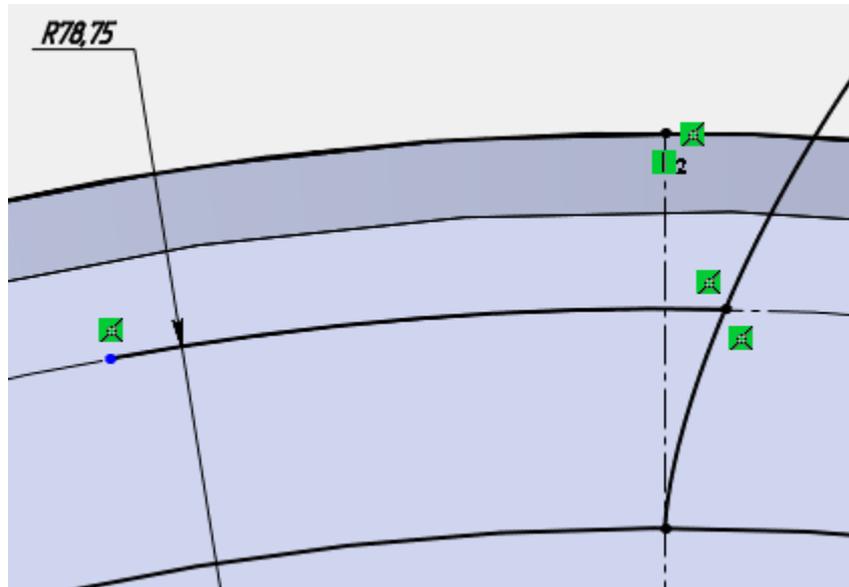


Рисунок 17 – Создание взаимосвязи «Совпадение»

Задайте длину дуги, равной половине окружной ширины впадины, рисунок 18.

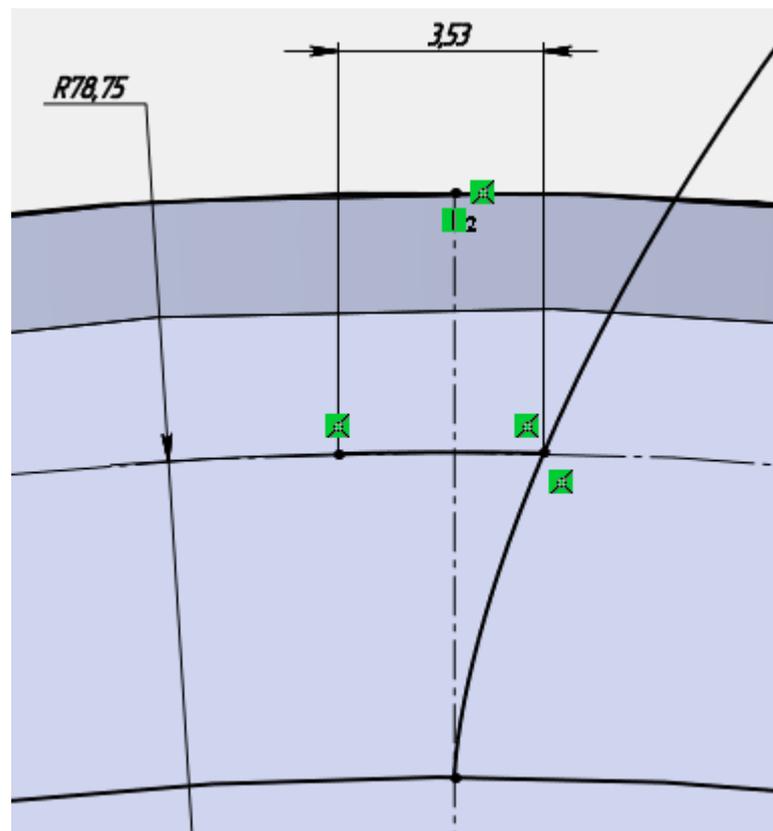


Рисунок 18 – Задание длины дуги

Создайте линию с началом в центре координат, а концом, совпадающим с наружной окружностью, рисунок 19.

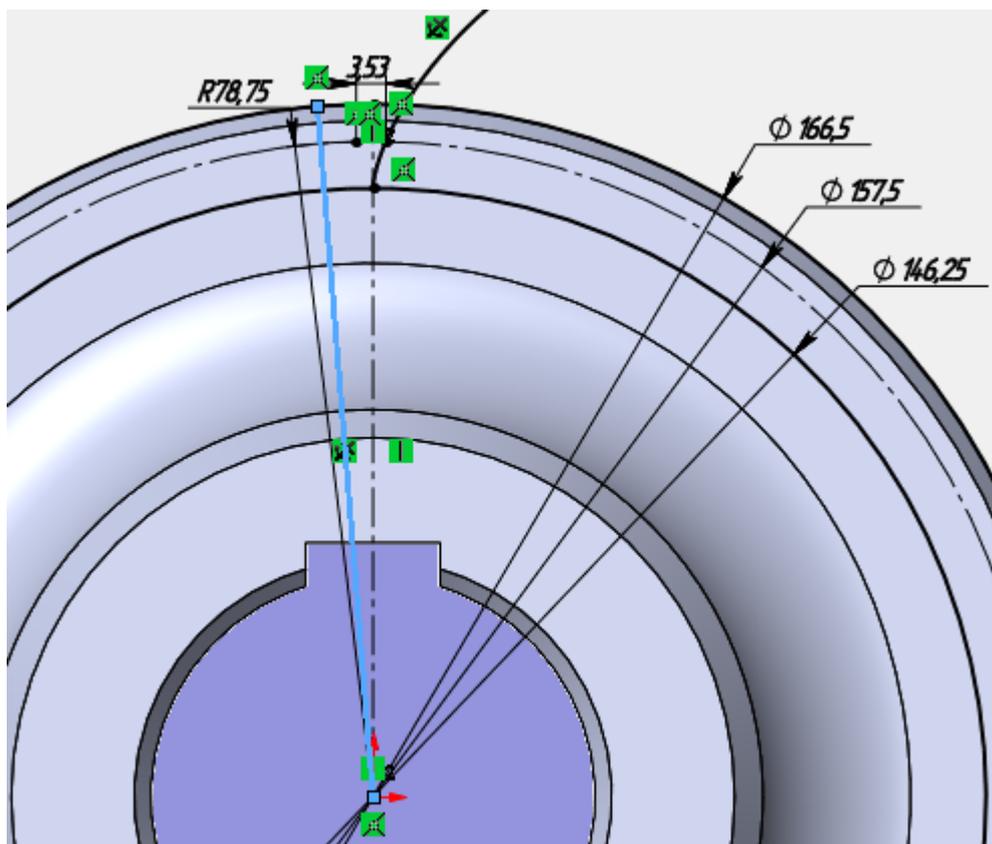


Рисунок 19 – Создание линии

Создайте взаимосвязь «Совпадение» между созданной линией и крайней левой точкой дуги, рисунок 20.

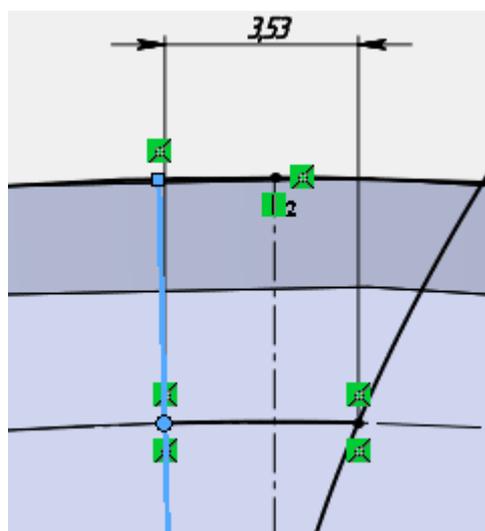


Рисунок 20 – Создание взаимосвязи между линией и дугой

После этого, не выходя из режима редактирования эскиза, выберите элемент «Вытянутый вырез». Нажмите левую кнопку мыши внутри двух контуров, рисунок 21.

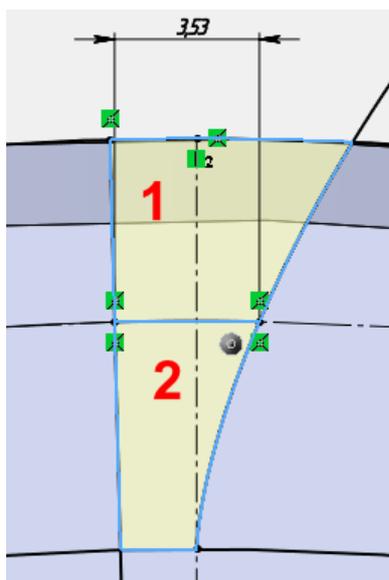


Рисунок 21 – Выбор контуров для создания выреза

В параметрах выреза выберите Направление1 – Насквозь, при необходимости, измените направление выреза. В результате, получается модель, рисунок 22.

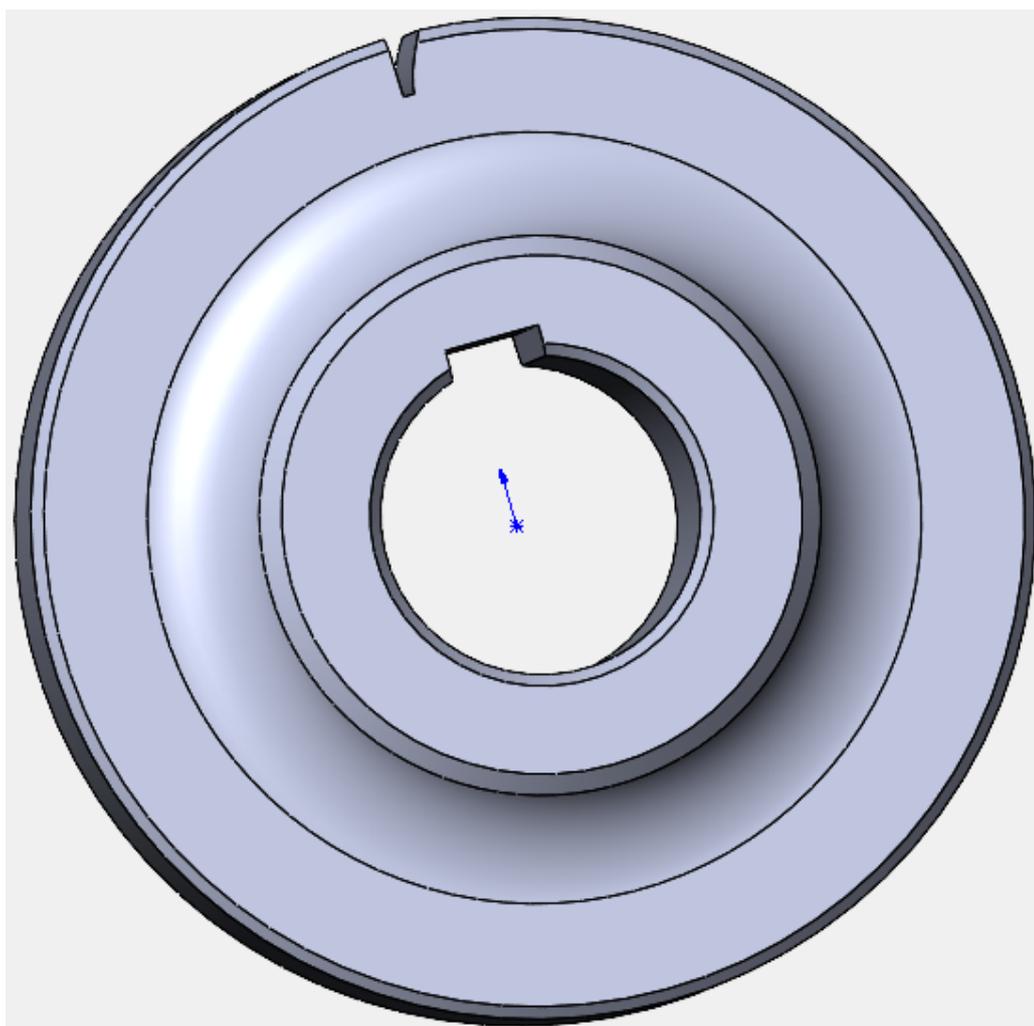


Рисунок 22 – Созданная модель половины впадины

Теперь, получившийся вырез следует зеркально отразить. В поле Копировать элементы выберите Вырез-Вытянуть2, в поле Зеркально отразить грань/плоскость выберите Грань<1>, рисунок 23.

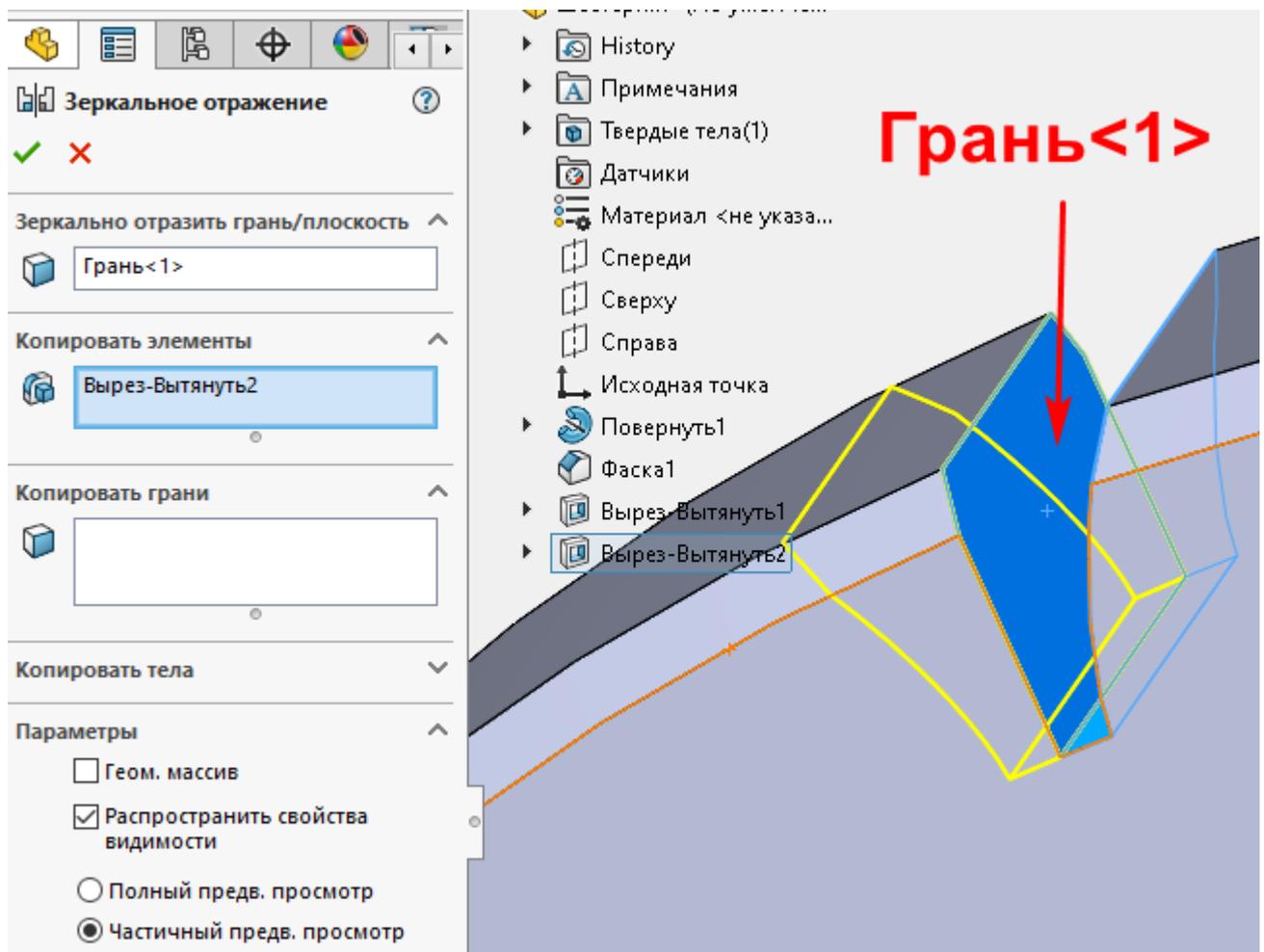


Рисунок 23 – Зеркальное отражение выреза

Должен получиться вырез между зубьями, рисунок 24.

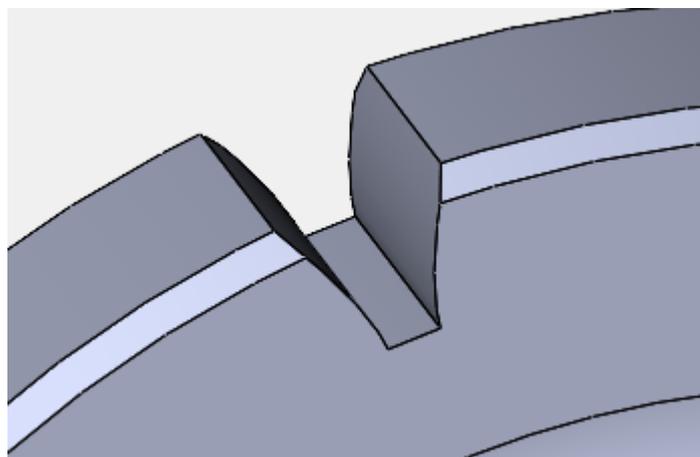


Рисунок 24 – Вырез между зубьями

Создайте круговой массив вырезов, с параметрами, как на рисунке 25.

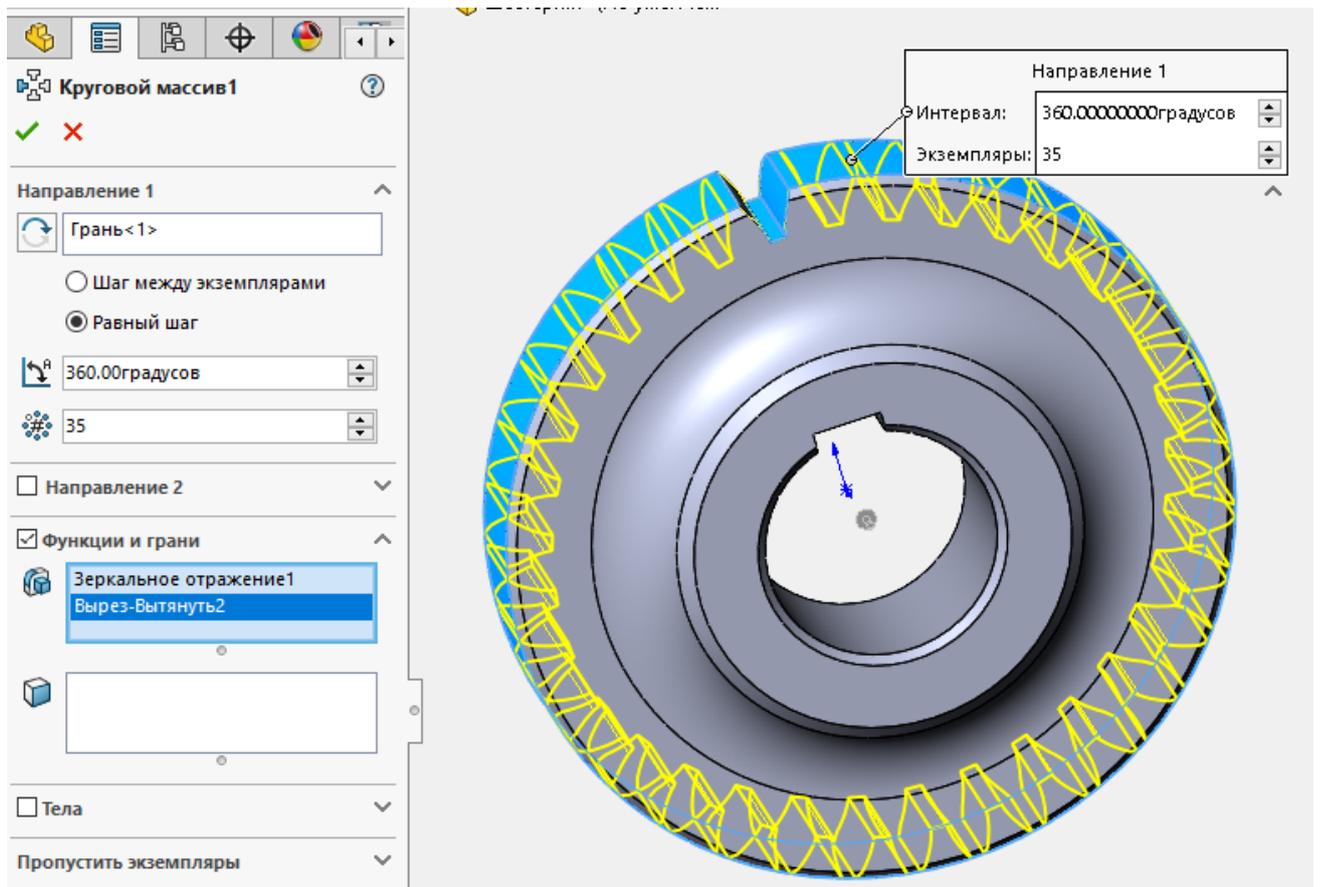


Рисунок 25 – Параметры кругового массива

В результате получается 3D-модель зубчатого колеса, как на рисунке 26.

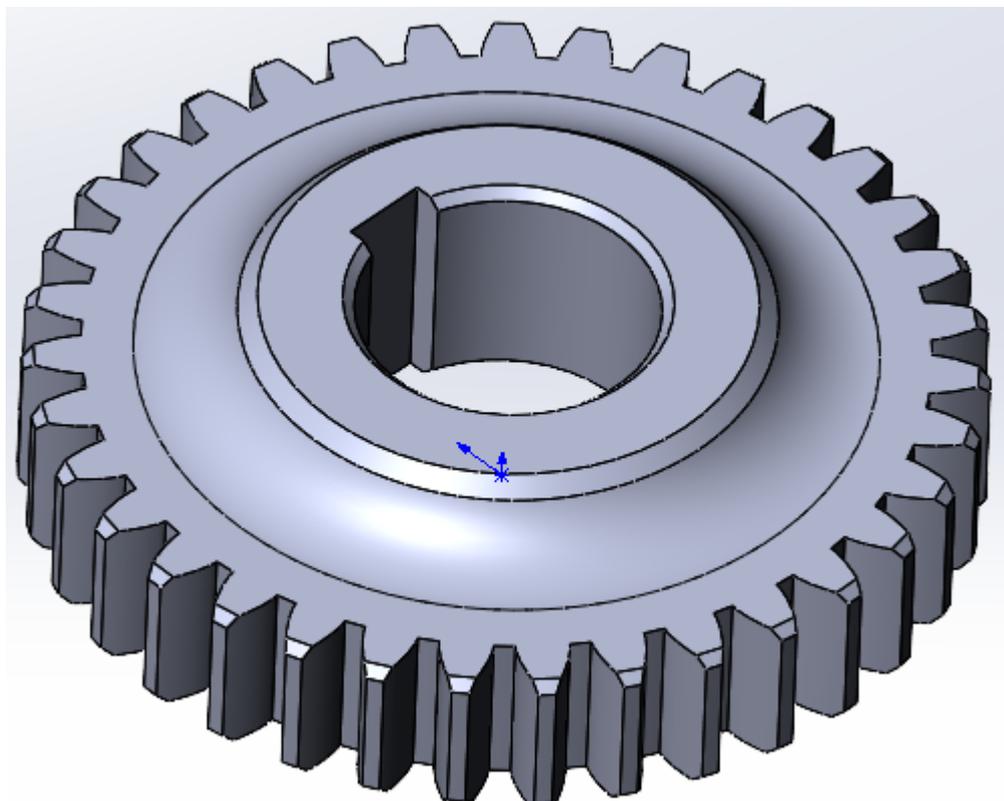


Рисунок 26 – 3D-модель зубчатого колеса

Задание для самостоятельной работы

1. Согласно своему варианту, используя таблицу 3, определите параметры зубчатого колеса.
2. Рассчитайте геометрические и конструктивные параметры, используя формулы ((1(21)).
3. Используя ГОСТ 23360-78 «Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки (с Изменениями N 1, 2)», определите размер паза под шпонку на зубчатом колесе.
4. Используя пункты 1, 2 и 3, создайте 3D-модель зубчатого колеса, как на рисунке 27.

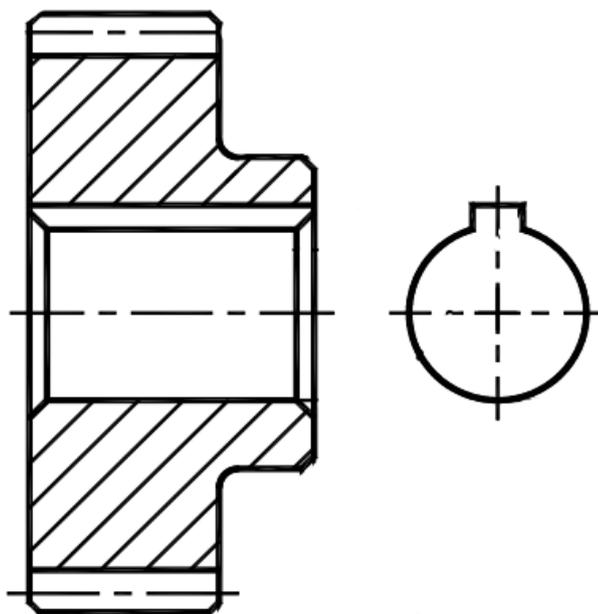


Рисунок 27 – Примерный вид зубчатого колеса,
для самостоятельного моделирования

Содержание отчёта

- Исходные данные согласно своему варианту.
- Рассчитанные геометрические и конструктивные параметры, а также размер паза под шпонку.
- Несколько видов 3D-модели зубчатого колеса из программы SolidWorks.
- Выводы.

Таблица 3 – Основные геометрические параметры зубчатого колеса

Вариант	m, мм	z	Dв, мм
1	5	20	35
2	3	15	15
3	4	40	50
4	2	36	30
5	4,5	22	35
6	3	30	25
7	3,5	18	20
8	5	40	35
9	6	25	40
10	5	22	40
11	3	18	18
12	4	38	45
13	3	24	24
14	3,5	24	30
15	4,5	20	40
16	4	35	40
17	3	25	25
18	3	17	12
19	5	20	35
20	5	16	35
21	3	17	12
22	2	48	25
23	2,5	50	25
24	3	45	40
25	4	30	35
26	5	30	30
27	6	20	25
28	3,5	15	18
29	2,5	50	30
30	3	40	20