



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)**



**Кафедра «Основы конструирования машин»**

**Лабораторная работа №6**  
(Дистанционное обучение. 3D)

Тема: «Определение геометрических параметров  
деталей зубчатых передач»

Составители: доц. к.т.н. Кушнарев В.И.  
доц. к.т.н. Петров А.М.

Ростов - на - Дону  
2017 г.

## Лабораторная работа

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

#### 1. Цель работы:

Ознакомление с конструкцией и основными геометрическими параметрами деталей зубчатых передач.

#### 2. Детали зубчатых передач

##### 2.1. Зубчатые передачи. Общие положения

Зубчатая передача состоит из двух зубчатых колес. Меньшее из них (ведущее) называется шестерней, большее (ведомое) – колесом.

В общем случае конструкция зубчатого колеса (рис. 1) состоит: из венца 1, на котором нарезаются зубья; ступицы 2, обеспечивающей закрепление колеса на валу, и диска 3, связывающего венец со ступицей.

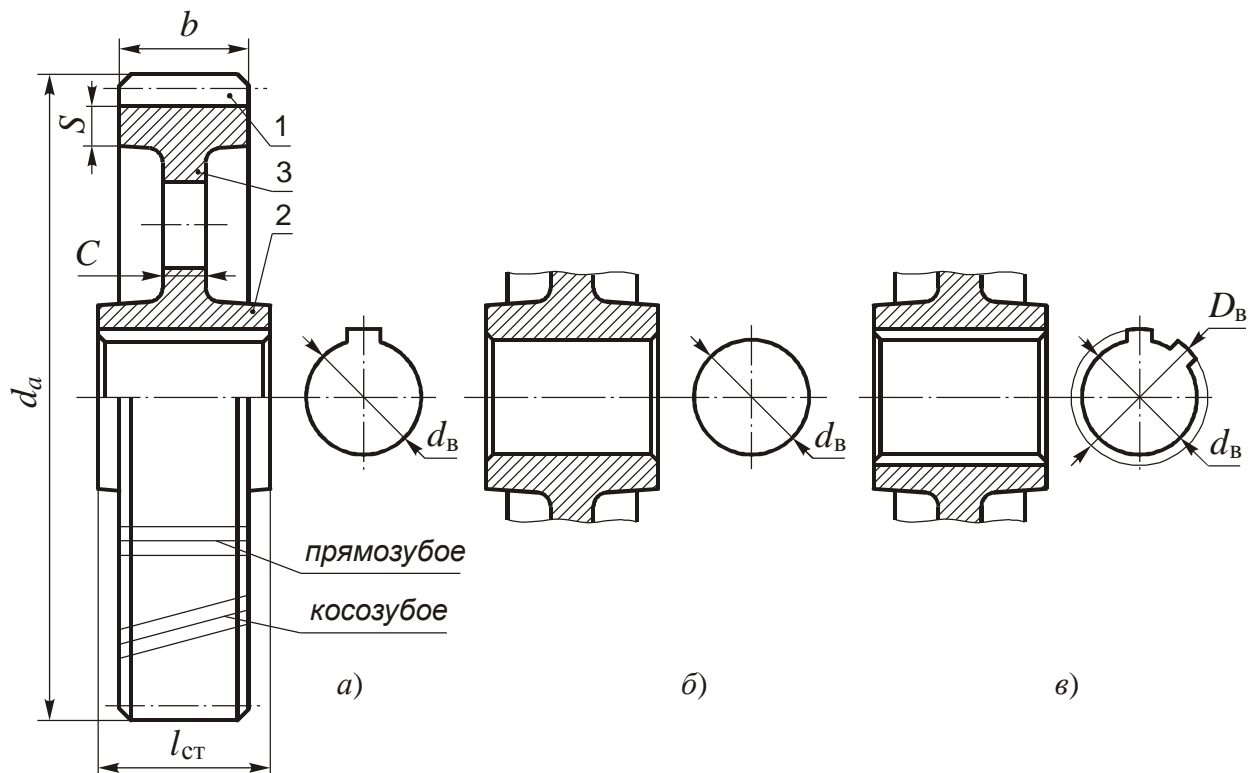


Рис 1. Зубчатое колесо и виды посадочных отверстий под вал:

$a$  – со шпоночным пазом;  $б$  – гладкое;  $в$  – со шлицами

Поверхность венца, на которой нарезаются зубья, может быть цилиндрической, тогда передача называется цилиндрической, или конической, тогда передача коническая. У колес диаметром более 600 мм вместо диска могут быть

спицы. При малом диаметре диск колеса может отсутствовать. Если диаметр шестерни мал, то она может изготавливаться заодно с валом (вал-шестерня). Базирующей поверхностью зубчатого колеса служит отверстие ступицы. Варианты отверстий для соединения ступицы с валом представлены на рис 1 (а, б, в).

Размеры зубчатого колеса зависят от модуля  $m$  и числа зубьев  $z$ . Модуль зубьев определяется по формуле:

$$m = p / \pi, \quad (1)$$

где  $p$  – делительный шаг – расстояние между одноименными профилями соседних зубьев, измеряемое на делительной поверхности;  $\pi = 3,14$ .

Существуют понятия окружного  $p_t$  и нормального  $p_n$  шагов (рис. 2). Нормальный шаг  $p_n$  измеряется по нормали к линии зубьев на делительной поверхности зубчатого колеса.

При расчете делительных диаметров зубчатых колес используют окружной шаг  $p_t$ , измеренный на торцевой поверхности колеса:  $d = m_t z$ .

Если колесо прямозубое, то  $p_t = p_n$  и, соответственно,  $m_t = m_n$ . Зубья косозубого колеса наклонены к образующей делительного цилиндра под углом  $\beta$ . В этом случае  $p_t = p_n / \cos\beta$  и  $m_t = m_n / \cos\beta$ .

Нормальный модуль  $m_n$  в случаях, исключающих иное толкование, с целью упрощения записи принято обозначать буквой  $m$  без индекса и называть просто модулем. Модули цилиндрических и конических зубчатых колес стандартизованы по ГОСТ 9563- 60. Выдержка из стандарта приведена в табл. 1.

Таблица 1

I ряд (предпочтительный)	1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25
II ряд	1,125; 1,375; 1,75; 2,25; 2,75; 3,5; 4,5; 5,5; 7; 9; 11

## 2.2. Геометрические параметры цилиндрических передач

Передачи с цилиндрическими зубчатыми колесами применяют при параллельном расположении валов. Цилиндрические колёса могут быть с прямыми, косыми и шевронными зубьями. Геометрические параметры цилиндрических зубчатых колёс регламентирует ГОСТ 16532 – 70 (табл. 2).

С целью практического определения модуля зубчатого колеса преобразуем формулу для расчета диаметра  $d_a$  окружности вершин зубьев (табл. 2). Сам параметр  $d_a$  можно найти путем замера на колесе или его чертеже.

$$d_a = d + 2h_a = \frac{mz}{\cos \beta} + 2m = m \left( \frac{z}{\cos \beta} + 2 \right),$$

откуда модуль

$$m = \frac{d_a}{\frac{z}{\cos \beta} + 2}.$$

Для прямозубых передач в этой формуле следует положить  $\cos \beta = 1$ . Для косозубых передач угол  $\beta$  может быть найден замером или с помощью равенства  $\cos \beta = b/l_k$ , где  $l_k$  – длина зуба;  $b$  – ширина венца. Полученное значение модуля округляют до ближайшего стандартного из табл. 1.

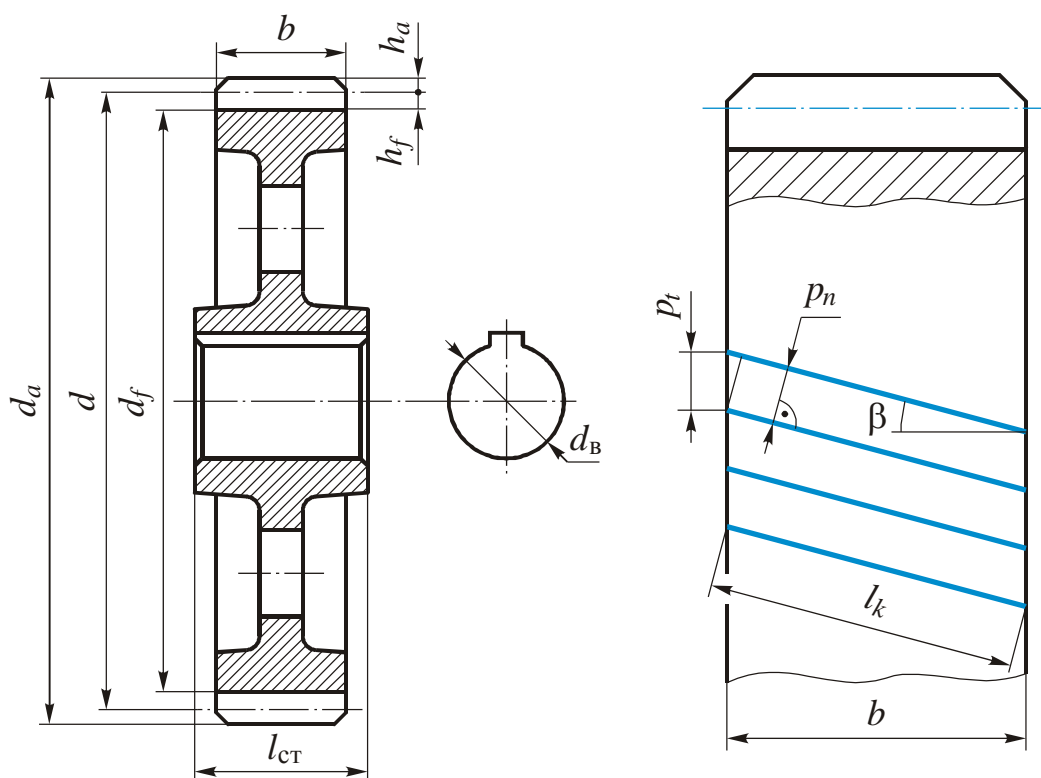


Рис. 2. Геометрические параметры цилиндрических зубчатых колес

По известным главным параметрам  $m$ ,  $z$ ,  $\beta$  остальные размеры цилиндрических зубчатых колёс (шестерен), нарезанных без смещения инструмента, определяются формулами табл. 2.

Параметры зацепления и деталей передач	Расчетные формулы	
Число зубьев	шестерни $z_1$	колеса $z_2$
Угол наклона зубьев	$\beta$ (для прямозубой передачи $\beta = 0$ )	
Делительный диаметр	$d = \frac{m z}{\cos \beta}$	
Высота головки зуба	$h_a = 1 \cdot m$	
Высота ножки зуба	$h_f = 1,25 \cdot m$	
Диаметр окружности вершин зубьев	$d_a = d + 2h_a$	
Диаметр окружности впадин	$d_f = d - 2h_f$	
Межосевое расстояние передачи	$a_w = \frac{m(z_1 + z_2)}{2 \cos \beta}$	

### 2.3. Геометрические параметры конических передач

Конические зубчатые колёса применяют в тех случаях, когда оси вращения валов пересекаются под углом. Чаще всего угол между осями составляет  $90^\circ$ .

В машиностроении получили распространение колёса с прямыми и криволинейными круговыми зубьями. Колёса с прямыми зубьями применяют при окружных скоростях до 3 м/с, а если зубья шлифуются, то до 8 м/с. Более сложные в изготовлении колёса с круговыми зубьями применяют при окружных скоростях до 80 м/с.

Геометрические параметры конических колёс регламентируются стандартами ГОСТ 19624 – 74 для прямозубых колес и ГОСТ 19326 – 73 для колёс с круговыми зубьями.

Ширина  $b$  зубчатого венца конического колеса равна расстоянию между поверхностями  $e$  и  $i$  внешнего и внутреннего дополнительных конусов, образующие которых перпендикулярны образующим делительного конуса (рис. 3).

Далее речь пойдет исключительно о прямозубых конических колёсах. Геометрические параметры прямозубых колёс определяются на внешнем дополнительном конусе  $e$ . Все размеры, относящиеся к этой поверхности, снабжают индексом « $e$ ».

Для конических прямозубых колес внешний окружной модуль принимают по стандарту на внешнем дополнительном конусе и обозначают  $m_e$ .

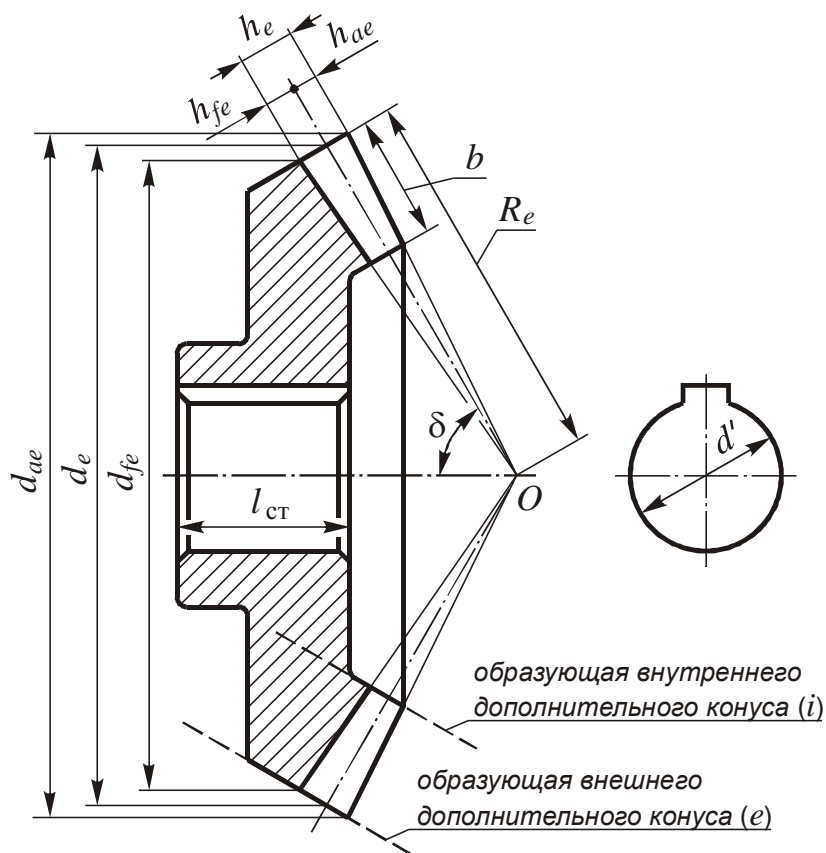


Рис. 3. Геометрические параметры конических зубчатых колес

Внешний модуль конического колеса может быть практически определен по формуле:

$$m_e = \frac{h_e}{2,2},$$



где  $h_e$  – внешняя высота зуба, которую замеряют на колесе или его чертеже. Полученное значение внешнего модуля округляют в соответствии с табл 1.

Также непосредственно на колесе можно подсчитать число зубьев  $z$  и измерить конусный угол  $\delta$ .


Параметры  $m_e$ ,  $z$ ,  $\delta$  являются главными, остальные размеры конических прямозубых колёс (шестерен), нарезанных без смещения инструмента, определяются формулами, приведёнными в табл. 3.

Наименование	Формулы	
Число зубьев	шестерни $z_1$	колеса $z_2$
Внешний делительный диаметр	$d_e = m_e \cdot z$	
Внешняя высота головки зуба	$h_{ae} = 1 \cdot m_e$	
Внешняя высота ножки зуба	$h_{fe} = 1,2 \cdot m_e$	
Внешняя высота зуба	$h_e = 2,2 \cdot m_e$	
Внешний диаметр окружности вершин зубьев	$d_{ae} = d_e + 2h_{ae} \cdot \cos \delta$	
Внешний диаметр окружности впадин	$d_{fe} = d_e - 2h_{fe} \cdot \cos \delta$	
Конусный угол	$\cos \delta = \frac{d_{ae} - d_{fe}}{2h_e}; \quad (\delta_1 + \delta_2 = 90^\circ)$	
Внешнее конусное расстояние	$R_e = \frac{m_e \cdot z}{2 \sin \delta}$	


### 3. Порядок выполнения работы для всех видов передач


- 3.1. В соответствии с заданным вариантом вывести на экран файл с 3D-моделью зубчатого колеса требуемого вида (тип файла –  КОМПАС-Деталь).
- 3.2. Изучить назначение и геометрические формы элементов зубчатого колеса.
- 3.3. На бланке отчета выполнить эскиз зубчатого колеса по аналогии с рис. 1, 2, 3.
- 3.4. Вывести на экран монитора файл с чертежом колеса (тип файла –  КОМПАС-Чертеж). Пользуясь инструментами программы, произвести замеры: ширины  $b$  зубчатого венца колеса, длины ступицы  $l_{ст}$ , диаметра  $d_a$  окружности вершин зубьев, подсчитать число зубьев колеса  $z_2$ . Полученные данные указать на эскизе и внести в таблицу отчета.
- 3.5. Определить модуль зубьев по формуле, приведенной в бланке отчета. Принять модуль по стандарту, округлив полученное значение до ближайшего из табл. 1.
- 3.6. По формулам, приведенным в таблицах бланков отчета, вычислить искомые значения геометрических параметров зубчатого колеса.
- 3.7. Проверить результаты расчетов по имеющимся у преподавателя данным, а также путем соответствующих замеров на чертеже колеса в КОМПАС-3D.
- 3.8. Подготовиться к защите работы по теоретической части методического пособия.




#### 4. Особенности проведения замеров на чертежах колес в КОМПАС-3D

Для доступа к инструментам измерений достаточно кликнуть контекстной кнопкой мыши в любом месте рабочего поля чертежа. В появившемся меню следует выбрать пункт «Измерить». Далее, в зависимости от характера выполняемого замера, выбирается подходящий инструмент, обычно  – «Расстояние между 2 точками» – наиболее простая и универсальная функция, позволяющая не только найти расстояние между двумя точками, но и определить соответствующие проекции по горизонтальному и вертикальному направлениям.

Замеряя параметры  $l_{\text{ст}}$  или  $d_a$ , желательно вращением колесика мыши максимально увеличить объект измерения, затем кликнуть по первой из точек измеряемого отрезка. После щелчка по второй точке отрезка появляется информационное окошко с результатами замера.

Для замера углов  $\beta$  или  $\delta$ , а также для подсчета числа зубьев  $z$  подойдет инструмент  – «Угол между 2 прямыми/отрезками».

Подсчет числа зубьев при большом их количестве может вызвать определенные затруднения. Рекомендуется определять данный параметр через угловой шаг зубьев  $p^\circ$  по формуле  $z = 360^\circ / p^\circ$ . Для замера углового шага следует провести два вспомогательных луча (инструмент  – «Отрезок»), как показано на рис. 4, и измерить угол между ними.

При измерении угла  $\beta$  следует иметь в виду, что этот замер имеет приближенный характер, поскольку не может быть произведен непосредственно на делительной поверхности колеса (таковая на чертеже не обозначена). Замер на уровне вершин зубьев даст несколько завышенное значение угла, а на уровне впадин – заниженное. Тем не менее, указанное расхождение относительно невелико и с ним можно мириться. Перед замером следует провести вспомогательную горизонтальную линию по оси колеса (инструмент  – «Отрезок», линия проводится с удержанием клавиши Shift на клавиатуре) и отрезок вдоль одного из ребер зуба (инструмент  – «Отрезок»), как показано на рис. 5. Далее измеряется сам угол  $\beta$  инструментом  – «Угол между 2 прямыми/отрезками».



Конусный угол  $\delta$  измерить несколько проще (рис. 6), поскольку прямые, между которыми производится замер, на чертеже обозначены. Единственно, нужно учесть, что  $\delta$  является острым углом, поэтому правильным для примера на рис. 6 будет выбор:  $\delta = 180 - 108,25 = 71,75^\circ$ .


Для замера внешней высоты зуба конического колеса следует с помощью инструмента  – «Отрезок» провести вспомогательную вертикальную линию на уровне впадин (рис. 7). С достаточной степенью точности параметр  $h_e$  будет равен расстоянию между указанными на рисунке двумя точками. Рекомендуется максимально увеличить изображение рабочей области перед замером.



Рис. 4. К замеру углового шага  $p^\circ$

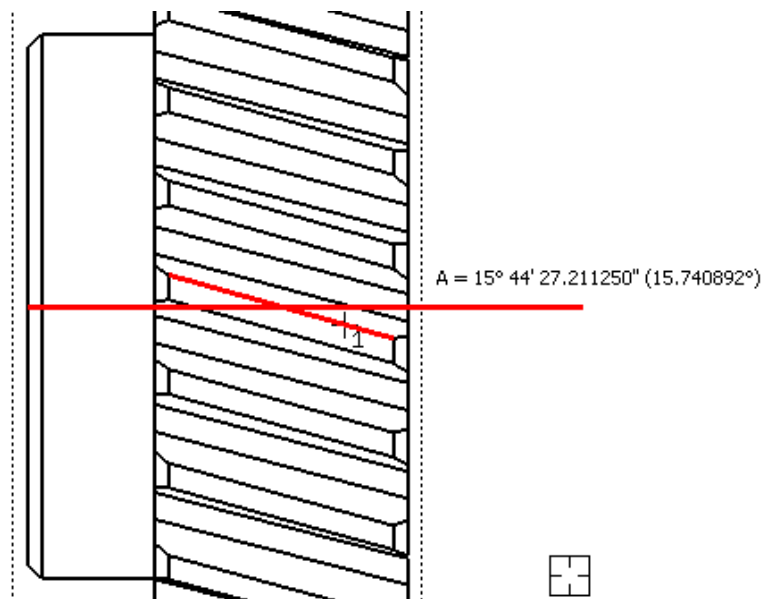


Рис. 5. К замеру угла  $\beta$

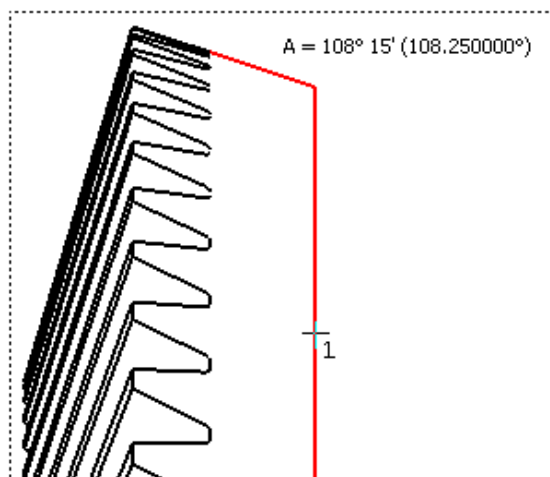


Рис. 6. К замеру угла  $\delta$

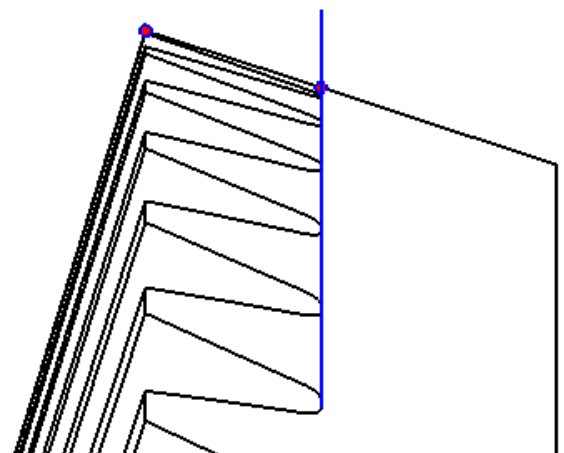


Рис. 7. К замеру параметра  $h_e$

## 5. Варианты заданий для расчетов геометрических параметров

№ Зад.	Зубчатые колеса. Обозначение папок с файлами			Дополнительные данные					
				Число зубьев шестерни $z_1$			Передаточное число $u$		
	1. Цилиндрическое прямозубое	2. Цилиндрическое косозубое	3. Коническое прямозубое	1	2	3	1	2	3
1	1.1	2.1	3.1	27	20	30	3,44	3,35	3,03
2	1.2	2.2	3.2	21	24	24	3,76	3,04	2,12
3	1.3	2.3	3.3	28	22	28	3,00	2,86	2,60
4	1.4	2.4	3.4	25	25	26	3,00	2,84	3,00
5	1.5	2.5	3.5	20	19	24	2,5	3,79	3,00
6	1.6	2.6	3.6	24	26	30	2,33	2,88	2,63
7	1.7	2.7	3.7	24	25	22	2,00	3,64	2,5
8	1.8	2.8	3.8	20	23	27	4,00	3,22	2,00
9	1.9	2.9	3.9	18	22	30	2,11	3,95	1,70
10	1.10	2.10	3.10	24	24	24	3,17	2,37	2,96
11	1.11	2.11	3.11	28	25	21	4,00	2,60	2,71
12	1.12	2.12	3.12	26	22	28	3,85	2,50	2,18
13	1.1	2.5	3.8	27	19	27	3,44	3,79	2,00
14	1.6	2.2	3.1	24	24	30	2,33	3,04	3,03
15	1.2	2.1	3.3	21	20	28	3,76	3,35	2,60
16	1.7	2.9	3.6	24	22	30	2,00	3,95	2,63
17	1.5	2.6	3.1	20	26	30	2,5	2,88	3,03
18	1.3	2.8	3.4	28	23	26	3,00	3,22	3,00
19	1.8	2.3	3.12	20	22	28	4,00	2,86	2,18
20	1.4	2.7	3.9	25	25	30	3,00	3,64	1,70
21	1.5	2.11	3.7	20	25	22	2,5	2,6	2,5
22	1.12	2.9	3.5	26	22	24	3,85	3,95	3,00
23	1.9	2.1	3.3	18	20	28	2,11	3,35	2,60
24	1.10	2.2	3.1	24	24	30	3,17	3,04	3,03
25	1.1	2.4	3.11	27	25	21	3,44	2,84	2,71
26	1.11	2.6	3.10	28	26	24	4,00	2,88	2,96
27	1.7	2.5	3.8	24	19	27	2,00	3,79	2,00
28	1.3	2.1	3.6	84	67	79	3,00	3,35	2,63
29	1.6	2.3	3.4	56	63	78	2,33	2,86	3,00
30	1.5	2.8	3.2	50	74	51	2,5	3,22	2,12