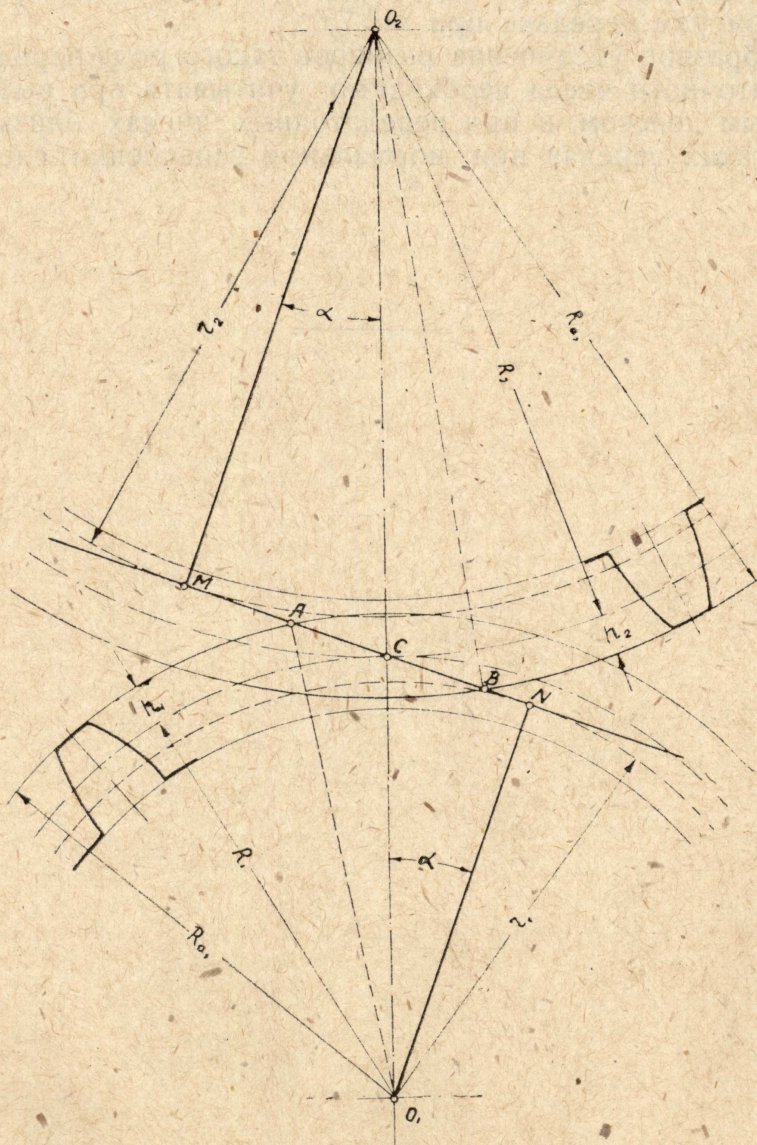


## Определение степени перекрытия в двадцати-градусном эвольвентном зубчатом зацеплении.

В эвольвентном зацеплении степень перекрытия  $\varepsilon$  определяется отношением длины линии зацепления  $AB$  (черт. 1) к шагу по основной окружности  $t_e$ . Точки пересечения окружностей выступов колес с образующей прямой  $A$  и  $B$  определяют собой начало и конец зацепления и ограничивают тот участок образующей прямой, на котором происходит зацепление обоих колес.

$$\varepsilon = \frac{AB}{t_e}$$



Черт. 1.



Обозначим:

$R_1$  и  $R_2$ —радиусы начальных окружностей колес,

$r_1$  и  $r_2$ —радиусы основных окружностей колес,

$R_{a_1}$  —радиус окружности выступов колеса  $O_1$ ,

$R_{a_2}$  —то же колеса  $O_2$ ,

$\alpha$  —угол наклона образующей прямой к горизонтали,

$x_1 = \frac{h_1}{m}$ —отношение высоты головки зуба к модулю для колеса  $O_1$ ,

$x_2 = \frac{h_2}{m}$ —то же для колеса  $O_2$ ,

$t = \pi m$  —шаг по начальной окружности,

$t_e = \pi m \cos \alpha$ —шаг по основной окружности,

$Z_1$  и  $Z_2$ —числа зубьев колес.

Из чертежа 1

$$AB = AC + CB,$$

$$\varepsilon = \frac{AC}{t_e} + \frac{CB}{t_e} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2,$$

где:

$\varepsilon_1$ —часть степени перекрытия, соответствующая отрезку  $AC$  линии зацепления,

$\varepsilon_2$ —то же, соответствующая отрезку  $CB$ .

Величину  $\varepsilon_1$  определяем, рассматривая треугольники  $O_1AN$  и  $O_1CN$ .

$$AC = \sqrt{R_{a_1}^2 - R_1^2 \cos^2 \alpha} - R_1 \sin \alpha.$$

Выражая значения  $R_{a_1}$  и  $R_1$  через число зубьев и модуль, получим

$$AC = \frac{Z_1 m}{2} \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{2x_1}{Z_1}\right)^2 - \cos^2 \alpha} - \sin \alpha \right].$$

Подставляя значение  $t_e$ , будем иметь

$$\varepsilon_1 = \frac{Z_1}{2\pi \cos \alpha} \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{2x_1}{Z_1}\right)^2 - \cos^2 \alpha} - \sin \alpha \right]. \quad (1)$$

Аналогично определяется величина  $\varepsilon_2$  из треугольников  $O_2BM$  и  $O_2CN$

$$\varepsilon_2 = \frac{Z_2}{2\pi \cos \alpha} \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{2x_2}{Z_2}\right)^2 - \cos^2 \alpha} - \sin \alpha \right]. \quad (2)$$

Таким образом общая степень перекрытия будет:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \frac{Z_1}{2\pi \cos \alpha} \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{2x_1}{Z_1}\right)^2 - \cos^2 \alpha} + \frac{Z_2}{Z_1} \sqrt{\left(1 + \frac{2x_2}{Z_2}\right)^2 - \cos^2 \alpha} - \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1}\right) \sin \alpha \right].$$

Заменяя  $\frac{Z_2}{Z_1}$  через передаточное число  $i$ , получим

$$\varepsilon = \frac{Z_1}{2\pi \cos \alpha} \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{2x_1}{Z_1}\right)^2 - \cos^2 \alpha} + \sqrt{\left(i + \frac{2x_2}{Z_1}\right)^2 - (i \cos \alpha)^2 - (1 + i) \sin \alpha} \right]. \quad (3)$$



Пользуясь этим уравнением, возможно определить степень перекрытия для любой пары колес при различных углах  $\alpha$ , передаточных числах и высотах головок.

Однако, определение степени перекрытия по ур. (3) сопряжено со значительными вычислениями и представляет большие трудности при анализах передач, когда приходится иметь дело с многими вариантами.

Вычисления значительно могут быть упрощены, если зубья обоих колес имеют одинаковую высоту головки.

В конце приводится таблица для определения степени перекрытия для колес, имеющих угол наклона образующей прямой  $20^\circ$  и высоту головки, равной модулю.

При

$$x_1 = x_2 = 1$$

уравнения (1) и (2) примут вид:

$$\varepsilon_1 = \frac{Z_1}{2\pi \cos \alpha} \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{2}{Z_1}\right)^2 - \cos^2 \alpha} - \sin \alpha \right] \quad (4)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{Z_2}{2\pi \cos \alpha} \left[ \sqrt{\left(1 + \frac{2}{Z_2}\right)^2 - \cos^2 \alpha} - \sin \alpha \right] \quad (5)$$

Из этих уравнений следует, что часть степени перекрытия  $\varepsilon_1$ , соответствующая участку  $AC$ , зависит только, при постоянном угле  $\alpha$ , от числа зубьев  $Z_1$  первого колеса и не зависит от числа зубьев второго колеса. Аналогично и часть степени перекрытия  $\varepsilon_2$  для участка  $CB$  зависит только от числа зубьев  $Z_2$  второго колеса и не зависит от числа зубьев первого колеса.

Оба уравнения имеют совершенно одинаковую конструкцию и отличаются друг от друга лишь разными значениями  $Z$ .

Это обстоятельство позволяет провести отдельно подсчеты частных степеней перекрытия  $\varepsilon_1$  для колес с различными числами зубьев. Для получения общей степени перекрытия при любом числе зубьев соприкасающихся колес вся операция подсчета сводится к простому сложению этих двух частных значений  $\varepsilon_1$ .

В таблице 1 приведены данные для определения степени перекрытия для колес с числом зубьев до 400 при угле зацепления  $\alpha = 20^\circ$  и высоте головки  $h = 1m$ .

Во втором столбце указаны значения  $\varepsilon_1$ , подсчитанные по уравнению (4).

Третий столбец дает значение степени перекрытия при зацеплении двух колес с одинаковыми числами зубьев, при передаточном числе, равном единице. Данные третьего столбца получены путем умножения на 2 значений  $\varepsilon_1$ .

В четвертом столбце приведены максимальные значения степени перекрытия при внешнем зацеплении для колес с данным числом зубьев  $Z$ .

С увеличением передаточного числа степень перекрытия растет и достигает своего максимума при передаточном числе, равном бесконечности (зацепление с рейкой).

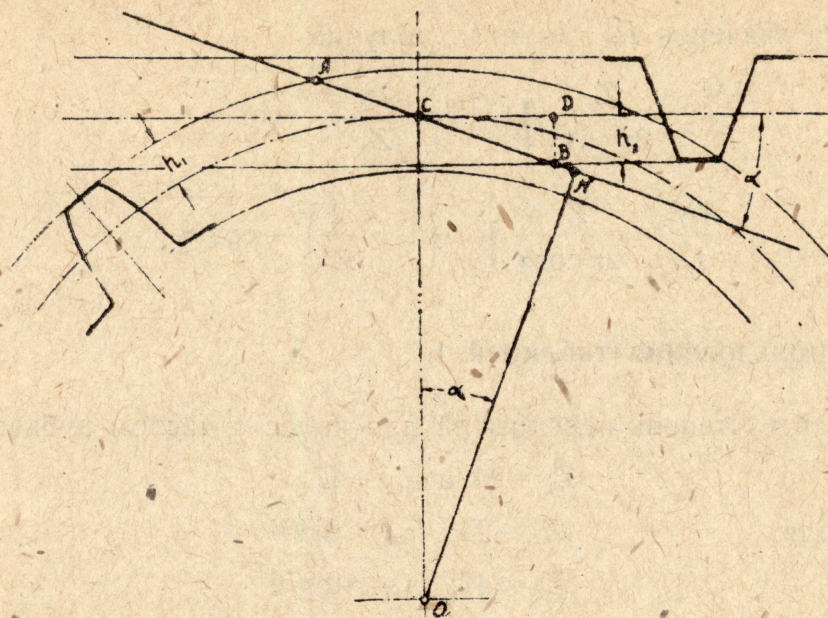
Этот случай показан на черт. 2

$$\varepsilon = \frac{AB}{t_e} = \frac{AC}{t_e} + \frac{CB}{t_e} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2.$$

Здесь:

$\varepsilon_1$  — часть степени перекрытия, зависящая только от размеров колеса  $O_1$ .  
Значения  $\varepsilon_1$  определяются из второго столбца таблицы 1.





Черт. 2.

$\varepsilon_2$  — часть степени перекрытия, соответствующая отрезку  $CB$  и зависящая только от высоты головки зуба рейки  $h_2$ .

Из треугольника  $CBD$

$$\varepsilon_2 = \frac{CB}{t_e} = \frac{BD}{\sin \alpha \cdot t_e} = \frac{h_2}{t_e \cdot \sin \alpha}$$

Подставляя значения  $h_2$  и  $t_e$ , получим

$$\varepsilon_2 = \frac{x_2 m}{\pi \cdot m \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} = \frac{2x_2}{\pi \cdot \sin 2\alpha} \quad (6)$$

При  $x_2 = 1$

$$\varepsilon_2 = \frac{2}{\pi \cdot \sin 2\alpha} \quad (6a)$$

Из уравнения (6a) следует, что  $\varepsilon_2$  не зависит от размеров колеса, сцепляющегося с рейкой, и является величиной постоянной.

При  $\alpha = 20^\circ$

$$\varepsilon_2 = \frac{2}{\pi \cdot \sin 40^\circ} = 0,9904.$$

Таким образом максимальное значение степени перекрытия (столбец четвертой таблицы 1) может быть получено путем прибавления к ранее найденному значению  $\varepsilon_1$  постоянной величины 0,9904

$$\varepsilon_{\text{при } i \approx \infty} = \varepsilon_1 + 0,9904.$$

В пятом столбце таблицы 1 подсчитаны значения относительной длины нормали к эвольвенте в крайней точке зуба. Пользуясь этой величиной, возможно сделать заключение о подрезке зуба.

Из черт. 1

$$\frac{AN}{t_e} = \frac{1}{t_e} \sqrt{R_{a_1}^2 - R_1^2 \cos^2 \alpha}$$



Подставляя значения  $R_{a_1}$ ,  $R_1$  и  $t_e$ , получим

$$\frac{AN}{t_e} = \frac{Z_1}{2\pi \cos \alpha} \sqrt{\left(1 + \frac{2x_1}{Z_1}\right)^2 - \cos^2 \alpha}. \quad (7)$$

При  $x=1$

$$\frac{AN}{t_e} = \frac{Z_1}{2\pi \cos \alpha} \sqrt{\left(1 + \frac{2}{Z_1}\right)^2 - \cos^2 \alpha}. \quad (7a)$$

### Примеры пользования таблицей 1.

а) Определить степень перекрытия для колес с числом зубьев:

$$Z_1 = 24 \text{ и } Z_2 = 47.$$

Из таблицы для

$$Z_1 = 24; \quad \varepsilon_{24} = 0,801,$$

$$Z_2 = 47; \quad \varepsilon_{47} = 0,872,$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{24} + \varepsilon_{47} = 0,801 + 0,872 = 1,673.$$

Подрезки зубьев не будет, так как в данном случае

$$\varepsilon < \frac{AN}{t_e}; \quad 1,673 < 2,191.$$

б) То же для:

$$Z_1 = 122, \quad Z_2 = 191$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{122} + \varepsilon_{191} = 0,936 + 0,954 = 1,890.$$

Подрезки не будет, так как

$$1,890 < 8,004$$

в) Будет ли подрезка зубьев при  $Z_1 = 15$ ,  $Z_2 = 182$ ?  
Теоретическая степень перекрытия (без учета подрезки)

$$\varepsilon = \varepsilon_{15} + \varepsilon_{182} = 0,740 + 0,953 = 1,693.$$

Подрезка зубьев будет, так как

$$\varepsilon > \frac{AN}{t_e}; \quad 1,693 > 1,609.$$

г) Определить наибольшее число зубьев колеса, которое бы работало с колесом  $Z_1 = 13$  без подрезки.

$$\text{Из таблицы: для } Z_1 = 13, \quad \varepsilon_{13} = 0,721, \quad \frac{AN}{t_e} = 1,474.$$

При отсутствии подрезки должно быть соблюдено условие

$$\varepsilon = \varepsilon_{13} + \varepsilon_2 \leq \frac{AN}{t_e}.$$

Отсюда

$$\varepsilon_2 \leq \frac{AN}{t_e} - \varepsilon_{13}; \quad \varepsilon_2 \leq 1,474 - 0,721 = 0,753.$$

По второму столбцу таблицы находим, что этому условию удовлетворяет

$$Z_2 = 16; \quad \varepsilon_{16} = 0,749.$$



Таким образом колесо с числом зубьев  $Z_1 = 13$  будет работать без подрезки с колесами, у которых числа зубьев равны: 13, 14, 15, 16; все остальные колеса с другими числами зубьев дадут подрезку.

д) Установить пределы чисел зубьев колес, с которыми могут работать без подрезки колеса с числом зубьев  $Z_1 = 14, 15, 16, 17, 18$  и определить для этих колес наибольшую и наименьшую степень перекрытия.

По аналогии с примером (г) получим:

Число зубьев первого колеса $Z_1$	Число зубьев на втором колесе		Степень перекрытия	
	$Z_{2 \min}$	$Z_{2 \max}$	$\varepsilon_{\min}$	$\varepsilon_{\max}$
13	13	16	1,442	1,470
14	13	26	1,452	1,542
15	13	45	1,461	1,607
16	13	101	1,470	1,676
17	14	$\geq 400$	1,488	$> 1,729$
18	14	$\infty$ (рейка)	1,495	$< 1,742$ 1,755

е) Установить пределы чисел зубьев колес, с которыми может работать без подрезки колесо с числом зубьев  $Z_1 = 87$  и определить  $\varepsilon_{\min}$  и  $\varepsilon_{\max}$ .

Из таблицы примера (д) следует:

наименьшее число зубьев —  $Z_{2 \min} = 16$

наибольшее число зубьев —  $Z_{2 \max} = \infty$  (рейка).

Из таблицы 1:

$$\text{для } Z_1 = 87, \quad \varepsilon_{87} = 0,918,$$

$$\text{для } Z_2 = 16, \quad \varepsilon_{16} = 0,749,$$

$$\varepsilon_{\min} = \varepsilon_{87} + \varepsilon_{16} = 0,918 + 0,749 = 1,667.$$

Максимальная возможная степень перекрытия для колеса с  $Z_1 = 87$  будет при зацеплении колеса с рейкой и определится непосредственно из таблицы 1, столбец 4:

$$\varepsilon_{\max} = 1,908.$$

Для определения степени перекрытия для двадцатиградусного эвольвентного зацепления при различных высотах головки зуба составлена таблица 2.

В таблице приведены значения относительной длины нормали к крайней точке эвольвенты при различных высотах головки зуба по уравнению (7).

Таблица составлена для колес с числом зубьев от 10 до 100 и изменением  $x$  от 1 до 0.

При уменьшении высоты головки зуба точка  $A$  (черт. 1) приближается к полюсу зацепления  $S$  и при  $x = 0$  совпадает с полюсом. Длина нормали в этом случае будет равна отрезку  $CN$ . Значения относительной длины нормали  $CN$  приведены в последнем столбце таблицы.

Для получения частной степени перекрытия  $\varepsilon_1$ , соответствующей отрезку  $AC$ , необходимо из относительной длины нормали  $AN$  вычесть относительную длину нормали  $CN$ .

$$\varepsilon_1 = \frac{AN}{t_e} - \frac{CN}{t_e} \quad (8)$$



### Примеры пользования таблицей 2.

а) Определить степень перекрытия для колес:  $Z_1 = 20$  и  $Z_2 = 49$  при высоте головки зуба  $h = 0,9 m$ .

$$\varepsilon_{20} = \frac{AN_{20}}{t_e} - \frac{CN_{20}}{t_e} = 1,871 - 1,159 = 0,712,$$

$$\varepsilon_{49} = \frac{AN_{49}}{t_e} - \frac{CN_{49}}{t_e} = 3,634 - 2,838 = 0,796,$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{20} + \varepsilon_{49} = 0,712 + 0,796 = 1,508.$$

Подрезки зубьев не будет, так как

$$\varepsilon_{20} < \frac{CN_{49}}{t_e}; \quad 0,712 < 2,838 \quad \text{и} \quad \varepsilon_{49} < \frac{CN_{20}}{t_e}; \quad 0,796 < 1,159.$$

б) Тоже: при

$$Z_1 = 15; \quad h_1 = 0,7 m$$

$$Z_2 = 29; \quad h_2 = 0,9 m$$

$$\varepsilon_{15} = 1,420 - 0,869 = 0,551$$

$$\varepsilon_{29} = 2,431 - 1,680 = 0,741$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{15} + \varepsilon_{29} = 0,551 + 0,741 = 1,292.$$

Подрезки не будет, так как

$$\varepsilon_{15} < \frac{CN_{29}}{t_e} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{29} < \frac{CN_{15}}{t_e}.$$

в) Определить наибольшую высоту головки зуба у колес с числом зубьев  $Z_1 = 10$  и  $Z_2 = 10$ , при которой отсутствует подрезка.

При отсутствии подрезки должно быть соблюдено условие:

$$\varepsilon_{10} \geq \frac{CN_{10}}{t_e}. \quad (a)$$

Из уравнения (8)

$$\varepsilon_{10} = \frac{AN_{10}}{t_e} - \frac{CN_{10}}{t_e}. \quad (b)$$

Решая совместно уравнения (a) и (b), получим

$$2 \frac{CN_{10}}{t_e} \geq \frac{AN_{10}}{t_e}. \quad (c)$$

Из первой строки таблицы 1, последний столбец,

$$\frac{CN_{10}}{t_e} = 0,579; \quad 2 \frac{CN_{10}}{t_e} = 1,158.$$

Условию (c) удовлетворяет значение  $\frac{AN_{10}}{t_e} = 1,152$ , при котором высота головки зуба  $h = 0,8 m$ .

Степень перекрытия при этом будет:

$$\varepsilon_{10} = 1,152 - 0,579 = 0,573; \quad \varepsilon = \varepsilon_{10} + \varepsilon_{10} = 1,146.$$

г) Колесо с числом зубьев  $Z_1 = 12$  и высотой головки  $h_1 = 1 m$  находится в зацеплении с колесом  $Z_2 = 45$ .

Определить наибольшую высоту головки  $h_2$  у колеса  $Z_2$  при условии отсутствия подрезки.

Условие отсутствия подрезки:

$$\varepsilon_{45} \geq \frac{CN_{12}}{t_e} \quad (a)$$

По уравнению (8)

$$\varepsilon_{45} = \frac{AN_{45}}{t_e} - \frac{CN_{45}}{t_e} \quad (b)$$



Из (а) и (b) получим

$$\frac{CN_{12}}{t_e} + \frac{CN_{45}}{t_e} \geq \frac{AN_{45}}{t_e}; \quad 0,695 + 2,607 \geq \frac{AN_{45}}{t_e}; \quad \frac{AN_{45}}{t_e} \leq 3,302.$$

Этому условию удовлетворяет для колеса  $Z_2 = 45$  значение высоты головки между  $0,8m$  и  $0,7m$ .

Интерполируя, находим

$$x_2 = 0,7 + 0,1 \frac{3,302 - 3,235}{3,317 - 3,235} = 0,78; \quad h_2 = 0,78m.$$

При такой высоте головки относительная длина нормали будет:

$$\frac{AN_{45(0,78)}}{t_e} = 3,235 + (3,317 - 3,235) \frac{0,8}{10} = 3,301.$$

Степень перекрытия:

$$\varepsilon_{12} = 1,405 - 0,695 = 0,710; \quad \varepsilon_{45} = 3,301 - 2,607 = 0,694;$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{12} + \varepsilon_{45} = 0,710 + 0,694 = 1,404.$$

д) Два колеса  $Z_1 = 20$  и  $Z_2 = 69$  с одинаковыми высотами головок зубьев находятся в зацеплении. Определить высоту головки зуба при степени перекрытия  $\varepsilon = 1,1$ .

По уравнению (8)

$$\varepsilon_{20} = \frac{AN_{20}}{t_e} - \frac{CN_{20}}{t_e}, \quad (a)$$

$$\varepsilon_{60} = \frac{AN_{60}}{t_e} - \frac{CN_{60}}{t_e}. \quad (b)$$

Подставляя значения  $\varepsilon_{20}$  и  $\varepsilon_{60}$  в уравнение

$$\varepsilon = \varepsilon_{20} + \varepsilon_{60},$$

получим:

$$\varepsilon + \frac{CN_{20}}{t_e} + \frac{CN_{60}}{t_e} = \frac{AN_{20}}{t_e} + \frac{AN_{60}}{t_e}$$

$$1,1 + 1,159 + 3,476 = \frac{AN_{20}}{t_e} + \frac{AN_{60}}{t_e}; \quad 5,735 = \frac{AN_{20}}{t_e} + \frac{AN_{60}}{t_e}.$$

Сумма относительных нормалей, удовлетворяющих последнему равенству расположена для колес  $Z_1 = 20$  и  $Z_2 = 60$  между  $h = 0,6m$  и  $h = 0,7m$ .

При  $h = 0,6m; \quad \frac{AN_{20}}{t_e} + \frac{AN_{60}}{t_e} = 1,662 + 4,034 = 5,696$

$h = 0,7m; \quad \frac{AN_{20}}{t_e} + \frac{AN_{60}}{t_e} = 1,734 + 4,118 = 5,852.$

Для суммы 5,735

$$x_2 = 0,6 + \frac{5,735 - 5,696}{5,852 - 5,696} 0,1 = 0,625; \quad h = 0,625m.$$

Относительные нормали при этом значении головки:

$$\frac{AN_{20}}{t_e} = 1,662 + (1,734 - 1,662) \frac{0,25}{10} = 1,680,$$

$$\frac{AN_{60}}{t_e} = 4,034 + (4,118 - 4,034) \frac{0,25}{10} = 4,055.$$

Степень перекрытия:

$$\varepsilon_{20} = 1,680 - 1,159 = 0,521; \quad \varepsilon_{60} = 4,055 - 3,476 = 0,579;$$

$$\varepsilon = \varepsilon_{20} + \varepsilon_{60} = 0,521 + 0,579 = 1,100.$$



Таблица 1

Определение степени перекрытия  $\varepsilon$  для двадцатиградусного эвольвентного зацепления при высоте головки, равной модулю.  $\alpha = 20^\circ$ ,  $h = 1m$ .

Внешнее зацепление.

Z	$\varepsilon_1$	Степень перекрытия при		$\frac{AN}{te}$	Z	$\varepsilon_1$	Степень перекрытия при		$\frac{AN}{te}$
		$i=1$	$i=\infty$				$i=1$	$i=\infty$	
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
10	0.685	—	—	1.264	60	0.892	1.785	1.883	4.368
11	698	—	—	335	61	894	787	884	427
12	710	—	—	405	62	895	790	885	486
13	721	1.442	—	474	63	896	792	886	545
14	731	463	—	542	64	897	794	888	605
15	740	481	—	609	65	898	797	889	664
16	749	499	—	676	66	899	799	890	723
17	757	514	—	742	67	901	801	891	782
18	764	529	1.755	807	68	902	803	892	841
19	771	543	762	872	69	903	806	893	900
20	0.778	1.557	1.769	1.937	70	0.904	1.808	1.894	959
21	785	569	775	2.001	71	905	810	895	5.018
22	791	581	781	065	72	906	812	896	077
23	796	591	786	128	73	907	813	897	135
24	801	602	791	191	74	908	815	898	194
25	806	612	796	254	75	909	817	899	253
26	811	621	801	317	76	909	819	900	312
27	815	630	805	379	77	910	821	901	371
28	819	638	809	441	78	911	822	902	429
29	823	646	813	503	79	912	824	902	488
30	0.827	1.653	1.817	2.565	80	0.913	1.826	1.903	5.547
31	830	661	821	626	81	914	827	904	606
32	833	667	824	687	82	914	829	905	664
33	836	673	827	748	83	915	830	906	723
34	840	680	831	809	84	916	832	906	782
35	843	687	834	870	85	917	833	907	840
36	846	692	837	931	86	917	835	908	899
37	849	698	839	992	87	918	836	908	958
38	852	703	842	3.053	88	919	838	909	6.016
39	855	709	845	114	89	919	839	910	075
40	0.857	1.713	1.847	3.174	90	0.921	1.841	1.911	6.134
41	859	718	849	234	91	921	842	911	192
42	861	723	852	294	92	921	843	912	251
43	863	727	854	354	93	922	844	912	309
44	865	731	856	414	94	923	845	913	368
45	867	735	858	474	95	923	847	914	426
46	870	740	860	534	96	924	848	914	485
47	872	744	862	594	97	924	849	915	543
48	874	747	864	654	98	925	850	915	602
49	876	751	866	714	99	926	851	916	660
50	0.878	1.755	1.868	3.774	100	0.926	1.852	1.917	6.719
51	879	758	869	833	101	927	854	917	777
52	881	761	871	893	102	927	855	918	836
53	882	764	873	952	103	928	856	918	894
54	884	768	874	4.012	104	928	857	919	953
55	885	771	876	071	105	929	858	919	7.011
56	887	774	877	131	106	929	859	920	070
57	888	776	879	190	107	930	860	920	128
58	890	779	880	249	108	930	861	921	186
59	891	782	881	309	109	931	862	921	245



Z	$\varepsilon_1$	Степень перекрытия при		$\frac{AN}{te}$	Z	$\varepsilon_1$	Степень перекрытия при		$\frac{AN}{te}$
		$i=1$	$i=\infty$				$i=1$	$i=2$	
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
110	0.931	1.863	1.922	7.303	168	950	900	940	682
111	932	864	922	362	169	950	900	940	740
112	932	864	923	420					
113	933	865	923	478	170	0.950	1.901	1.941	10.798
114	933	866	923	537	171	951	901	941	856
115	933	867	924	595	172	951	901	941	914
116	934	868	924	654	173	951	902	941	972
117	934	869	925	712	174	951	902	942	11.031
118	935	870	925	770	175	951	903	942	089
119	935	870	926	829	176	951	903	942	147
120	0.936	1.871	1.926	7.887	177	952	904	942	205
121	936	872	926	945	178	952	904	942	263
123	936	873	927	8.004	179	952	904	943	321
123	937	874	927	062					
124	937	874	928	120					
125	938	875	928	178	180	0.952	1.905	1.943	11.379
126	938	876	928	237	181	953	905	943	437
127	938	877	929	295	182	953	906	943	496
128	939	877	929	353	183	953	906	943	554
129	939	878	929	412	184	953	906	943	612
130	0.939	1.879	1.930	8.470	185	953	907	944	670
131	940	879	930	528	186	953	907	944	728
132	940	880	930	586	187	954	907	944	786
133	940	881	931	645	188	954	908	944	844
134	941	881	931	703	189	954	908	944	902
135	941	882	931	761					
136	941	883	932	820	190	0.954	1.908	1.945	11.960
137	942	883	932	878	191	954	909	945	12.019
138	942	884	932	936	192	955	909	945	077
139	942	885	933	994	193	955	909	945	135
140	0.943	1.885	1.933	9.052	194	955	910	945	193
141	943	886	933	111	195	955	910	945	251
142	943	886	934	169	196	955	910	946	309
143	944	887	934	227	197	955	911	946	367
144	944	888	934	285	198	956	911	946	425
145	944	888	934	345	199	956	911	946	483
146	944	889	935	402					
147	945	889	935	460	200	0.956	1.912	1.946	12.541
148	945	890	935	518	210	957	914	947	13.122
149	945	891	936	576	220	959	918	949	702
150	0.945	1.891	1.936	9.635	230	960	920	951	14.283
151	946	892	936	693	240	961	922	952	864
152	946	892	936	751	250	962	925	953	15.444
153	946	893	937	808	260	963	927	954	16.024
154	947	893	937	867	270	964	929	955	605
155	947	894	937	926	280	965	930	956	17.185
156	947	894	937	984	290	966	932	956	765
157	947	895	938	10.042	300	0.967	1.934	1.957	18.345
158	948	895	938	100	310	967	935	958	925
159	948	896	938	158	320	968	936	959	19.505
160	0.948	1.896	1.938	10.216	330	969	938	959	20.085
161	948	897	939	275	340	969	939	960	665
162	949	897	939	333	350	970	940	960	21.245
163	949	898	939	391	360	970	941	961	824
164	949	898	939	449	370	971	942	961	22.404
165	949	898	940	507	380	971	943	962	984
166	949	899	940	565	390	972	944	962	23.564
167	950	899	940	624	400	0.972	1.945	1.963	24.143



Таблица 2.

Относительная длина нормали к крайней точке эвольвенты для двадцатиградусного внешнего эвольвентного зацепления при различной высоте головки зуба.

Z	Отношение высоты головки зуба к модулю $x = \frac{h}{m}$										
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
10	1.264	1.208	1.152	1.093	1.032	0.969	0.902	0.831	0.754	0.672	0.579
11	335	278	220	160	097	1.032	964	892	814	730	637
12	405	347	287	226	162	095	1.026	952	873	788	695
13	474	415	354	291	226	158	087	1.012	932	846	753
14	542	482	420	356	289	220	148	072	991	904	811
15	1.609	1.548	1.485	1.420	1.352	1.282	1.209	1.132	1.050	0.963	0.869
16	676	614	549	483	414	344	269	192	109	1.022	927
17	742	679	513	546	476	405	329	252	168	080	985
18	807	743	677	609	538	466	389	311	227	138	1.043
19	872	807	740	672	600	527	449	370	286	196	101
20	1.937	1.871	1.803	1.734	1.662	1.587	1.509	1.429	1.344	1.254	1.159
21	2.001	934	865	796	723	647	569	488	402	312	216
22	065	997	927	857	784	707	629	547	460	370	274
23	128	2.060	989	918	844	767	688	606	518	428	332
24	191	122	2.051	979	904	827	747	665	576	486	390
25	2.254	2.184	2.113	2.040	1.964	1.887	1.806	1.724	1.634	1.544	1.448
26	317	246	174	101	2.024	947	865	783	692	602	506
27	379	308	235	162	084	2.007	924	842	750	660	564
28	441	370	296	222	144	066	983	901	808	718	622
29	503	431	357	282	204	125	2.042	960	866	776	680
30	2.565	2.492	2.418	2.342	2.264	2.184	2.101	2.018	1.924	1.834	1.738
31	626	553	479	402	324	243	2.160	076	982	892	796
32	687	614	539	462	384	302	219	134	2.040	950	854
33	748	675	599	522	444	361	278	192	098	2.008	912
34	809	736	659	582	504	420	337	250	156	066	969
35	2.870	2.797	2.719	2.642	2.563	2.479	2.396	2.308	2.214	2.124	2.027
36	931	857	779	702	622	538	455	366	272	182	085
37	992	917	839	762	681	597	514	424	330	240	143
38	3.053	977	899	822	740	656	572	482	388	298	201
39	114	3.037	959	881	799	715	630	540	456	356	259
40	3.174	3.097	3.019	2.940	2.858	2.774	2.688	2.598	2.514	2.414	2.317
41	234	157	079	999	917	833	746	656	572	472	375
42	294	217	139	3.058	976	892	804	714	630	530	433
43	354	277	199	117	3.035	951	862	772	688	588	491
44	414	337	258	176	094	3.010	920	830	746	646	549
45	3.474	3.397	3.317	3.235	3.153	3.069	2.978	2.888	2.804	2.704	2.607
46	534	457	376	294	212	128	3.036	946	862	762	664
47	594	516	435	353	271	187	094	3.004	920	820	722
48	654	575	494	412	330	246	152	062	978	878	780
49	714	634	553	471	389	305	210	120	3.036	936	838
50	3.774	3.698	3.612	3.530	3.448	3.364	3.268	3.178	3.094	2.994	2.896
60	4.368	4.284	4.201	4.118	4.034	3.949	3.851	3.759	3.673	3.572	3.476
70	4.959	4.873	4.788	4.704	4.619	4.532	4.432	4.339	4.252	4.149	4.055
80	5.547	5.460	5.374	5.289	5.203	5.114	5.012	4.918	4.830	4.726	4.634
90	6.134	6.046	5.959	5.873	5.786	5.695	5.592	5.497	5.408	5.302	5.213
100	6.719	6.631	6.543	6.456	6.368	6.275	6.171	6.075	5.985	5.878	5.793