

Розглянуто методику визначення коефіцієнту навантаження залежно від швидкості v , розташування передачі та твердості колеса у зчепленні. Приведено значення початкових коефіцієнтів концентрації $K_{H\beta}^0$, коефіцієнтів концентрації $K_{F\beta}^0$, коефіцієнту C_v , коефіцієнту динамічності при розрахунку на контактну міцність K_{Hv} , коефіцієнту згинальної міцності K_{Fv}

Фактическую нагрузку в зацеплении определяют с учетом неравномерности распределения нагрузки между зубьями и по ширине венца и с учетом ударов. Для этого эквивалентный момент умножают на коэффициент нагрузки K_H при расчете на контактную выносливость и K_F – при расчете на изгибную выносливость.

Коэффициенты нагрузки:

$$K_H = K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{Hv} \quad (1)$$

$$K_F = K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv} \quad (2)$$

При расчете прямозубых передач на контактную выносливость коэффициент распределения нагрузки $K_{H\alpha} = 1$; для косозубых и шевронных передач $K_{H\alpha}$ определяют по графику (рис.1).

При расчете прямозубых передач на изгибную выносливость $K_{F\alpha} = 1$; для косозубых и шевронных передач значения $K_{F\alpha}$ при $\beta > 0$ следующие:

Степень точности	6	7	8	9
$K_{F\alpha}$	0,72	0,81	0,91	1,00

При определении коэффициента концентрации нагрузки K_β различают начальный коэффициент концентрации K_β^0 имеющий место до приработки зубьев, и рабочий коэффициент концентрации $K_\beta \leq K_\beta^0$ – после приработки.

Если твердость колеса $HB_2 \leq 350$, то передача прирабатывается, если $HRC \geq 40$, то она считается неприрабатывающейся.

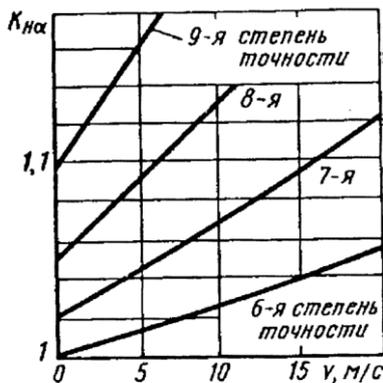


Рис.1. График для определения $K_{H\alpha}$ косозубых и шевронных передач. Степени точности – по нормам плавности работы (ГОСТ 1643-81)

При расчете цилиндрических передач на контактную выносливость при твердости колеса $HB_2 \leq 350$

$$K_{H\beta} = K_{H\beta}^0 (1 - x) + x \geq 1,05 \quad (3)$$

для конических передач с круговыми зубьями

$$K_{H\beta} = \sqrt{K_{H\beta}^0 (1 - x) + x} \geq 1,1 \quad (4)$$

Коэффициент режима

$$x = \sum \frac{T_i N_i}{T_{max} N} \quad (5)$$

При расчете на контактную выносливость и при твердости колеса $HRC \geq 40$ для цилиндрических передач

$$K_{H\beta} = K_{H\beta}^0 \quad (6)$$

для конических передач с круговыми зубьями

$$K_{H\beta} = \sqrt{K_{H\beta}^0} \geq 1,2 \quad (7)$$

Значение начальных коэффициентов концентрации $K_{H\beta}^0$ находят по табл.1 в зависимости от расположения передачи (рис. 2) и твердости колеса.

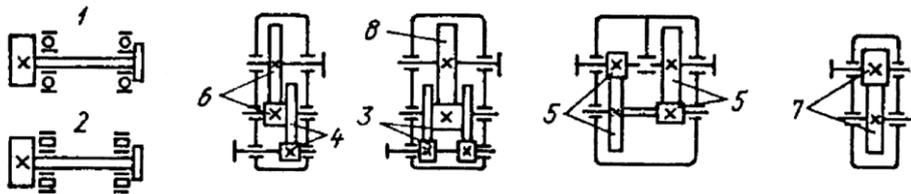


Рис. 2 Схемы расположения передач

При расчете цилиндрических передач на изгибную выносливость и твердость колеса $HB_2 \leq 350$

$$K_{F\beta} = K_{F\beta}^0(1 - x) + x \geq 1,04 \quad (8)$$

Для конических передач с круговыми зубьями

$$K_{F\beta} = \sqrt{K_{F\beta}^0(1 - x) + x} \geq 1,08 \quad (9)$$

Таблица 1

Значение коэффициента $K_{H\beta}^0$

b/d_1 (b/d_{m1})	Твердость поверхностей зубьев*	Схема передачи (см. рис. 2)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
0,2	а	1,7	1,4	1,3	1,18	1,08	1,05	1,05	1,05
	б	1,35	1,2	1,15	1,09	1,05	1,05	1,05	1,05
0,4	а	2,4	1,9	1,6	1,36	1,2	1,12	1,08	1,05
	б	1,7	1,45	1,3	1,18	1,1	1,06	1,05	1,05
0,6	а	3,1	2,4	2,0	1,6	1,34	1,24	1,14	1,06
	б	2,05	1,7	1,5	1,3	1,17	1,12	1,07	1,05
0,8	а	4,0	3,0	2,4	1,86	1,54	1,4	1,26	1,1

	б	2,5	2,0	1,7	1,43	1,27	1,2	1,13	1,05
1,0	а	-	3,6	2,8	2,12	1,8	1,6	1,4	1,2
	б	-	2,3	1,9	1,56	1,4	1,3	1,2	1,1
1,2	а	-	-	3,2	2,44	2,08	1,8	1,6	1,3
	б	-	-	2,1	1,72	1,54	1,4	1,3	1,15
1,4	а	-	-	-	2,8	2,4	2,0	1,8	1,42
	б	-	-	-	1,9	1,7	1,52	1,4	1,21
1,6	а	-	-	-	-	2,8	2,4	2,0	1,6
	б	-	-	-	-	1,9	1,7	1,5	1,3

* а - $HV_2 \leq 350$; б - $HRC \geq 40$

Примечание. Для цилиндрических передач $\frac{b}{d_1} = \psi_a \frac{u+1}{2}$;
для конических передач $\frac{b}{d_{m1}} = 0,166\sqrt{u^2 + 1}$

При твердости колеса $HRC_2 \geq 40$ для цилиндрических передач

$$K_{F\beta} = K_{F\beta}^0 \quad (10)$$

для конических передач с круговыми зубьями

$$K_{F\beta} = \sqrt{K_{F\beta}^0} \geq 1,15 \quad (11)$$

Значения начальных коэффициентов концентрации $K_{F\beta}^0$ находят по табл. 2 в зависимости от расположения передачи и твердости колеса.

Коэффициент динамичности K_v для зубчатых передач всех видов определяют в зависимости от скорости v (для конических передач v_m на среднем диаметре d_m), степени точности и твердости рабочих поверхностей зубьев.

При проектном расчете окружные скорости цилиндрических передач внешнего и внутреннего зацепления

$$v' \approx \frac{n_1}{10^3 C_v} \sqrt{\frac{T_2}{u^2 \psi_a}} \quad (12)$$

конических передач

$$v'_m \approx \frac{n_1}{10^3 C_v} \sqrt{\frac{T_{2max}}{u^2}} \quad (13)$$

Здесь n_1 - частота вращения шестерни, мин^{-1} ; C_v - коэффициент, принимаемый по табл. 3; T_{max} - вращающийся момент на валу колеса, $H \cdot \text{мм}$; u - передаточное число.

Таблица 2

Значение коэффициента $K_{F\beta}^0$

$\frac{b}{d_1}$ ($\frac{b}{d_{m1}}$)	Твердость поверхностей зубьев*	Схема передачи (см. рис. 2)							
		1	2	3	4	5	6	7	8

0,2	а	1,53	1,31	1,23	1,15	1,07	1,04	1,04	1,04
	б	1,25	1,16	1,12	1,08	1,04	1,04	1,04	1,04
0,4	а	2,01	1,67	1,46	1,27	1,16	1,09	1,06	1,04
	б	1,53	1,34	1,23	1,13	1,08	1,05	1,04	1,04
0,6	а	2,47	2,01	1,74	1,46	1,26	1,16	1,08	1,06
	б	1,75	1,53	1,38	1,23	1,14	1,08	1,06	1,04
0,8	а	3,03	2,41	2,01	1,62	1,41	1,31	1,21	1,08
	б	2,08	1,74	1,53	1,32	1,21	1,16	1,08	1,04
1,0	а	-	2,8	2,28	1,82	1,6	1,46	1,31	1,16
	б	-	1,95	1,67	1,42	1,31	1,23	1,16	1,08
1,2	а	-	-	2,54	2,04	1,8	1,6	1,46	1,23
	б	-	-	1,81	1,53	1,42	1,31	1,23	1,11
1,4	а	-	-	-	2,28	2,01	1,74	1,60	1,32
	б	-	-	-	1,67	1,53	1,4	1,31	1,16
1,6	а	-	-	-	-	2,23	2,01	1,74	1,46
	б	-	-	-	-	1,67	1,53	1,38	1,23

* а - $HV_2 \leq 350$; б - $HRC \geq 40$

Примечание. Для цилиндрических передач $\frac{b}{d_1} = \psi_a \frac{u+1}{2}$;
для конических передач $\frac{b}{d_{m1}} = 0,166\sqrt{u^2 + 1}$

Степени точности по нормам плавности выбирают по табл.4
Коэффициенты динамичности при расчете на контактную выносливость принимают по табл.5, на изгибную выносливость – по табл.6

Таблица 3

Значение коэффициента C_v

Передача	Обработка				
	$Y_1 + Y_2$	$TBЧ_1 + Y_2$	$Ц_1 + Y_2$	$TBЧ_1 + TBЦ_2;$ $З_1 + З_2$	$Ц_1 + Ц_2$
Цилиндрическая: прямозубая	13	14	15,5	17,5	21
косозубая	15	16	17,5	19,5	23,5
Коническая с круговыми зубьями	10	10	11	11	13,5

Принятые обозначения: Y – улучшение; З – закалка объемная; ТВЧ – закалка при нагреве ТВЧ;
Ц – цементная.

Таблица 4

Рекомендуемые степени точности

Передача	Скорость v (v_m), м/с			
	<5	5 – 8	8 -12,5	>12,5
Цилиндрическая:				

прямозубая	9	8	7	6
косозубая	9	9	8	7
Коническая: прямозубая с круговыми зубьями				
	8	7	-	-
	9	9	8	7

Таблица 5

Значение коэффициента K_{Hv}

Степень точности	Твердость поверхностей зубьев *	$v, \text{ м/с}$					
		1	2	4	6	8	10
6 – я	а	$\frac{1,03}{1,01}$	$\frac{1,06}{1,02}$	$\frac{1,12}{1,03}$	$\frac{1,17}{1,04}$	$\frac{1,23}{1,06}$	$\frac{1,28}{1,07}$
	б	$\frac{1,02}{1,00}$	$\frac{1,04}{1,00}$	$\frac{1,07}{1,02}$	$\frac{1,1}{1,02}$	$\frac{1,15}{1,03}$	$\frac{1,18}{1,04}$
7 – я	а	$\frac{1,04}{1,02}$	$\frac{1,07}{1,03}$	$\frac{1,14}{1,05}$	$\frac{1,21}{1,06}$	$\frac{1,29}{1,07}$	$\frac{1,36}{1,08}$
	б	$\frac{1,03}{1,00}$	$\frac{1,05}{1,01}$	$\frac{1,09}{1,02}$	$\frac{1,14}{1,03}$	$\frac{1,19}{1,03}$	$\frac{1,24}{1,04}$
8 – я	а	$\frac{1,04}{1,01}$	$\frac{1,08}{1,02}$	$\frac{1,16}{1,04}$	$\frac{1,24}{1,06}$	$\frac{1,32}{1,07}$	$\frac{1,4}{1,08}$
	б	$\frac{1,03}{1,01}$	$\frac{1,06}{1,01}$	$\frac{1,1}{1,02}$	$\frac{1,16}{1,03}$	$\frac{1,22}{1,04}$	$\frac{1,26}{1,05}$
9 – я	а	$\frac{1,05}{1,01}$	$\frac{1,1}{1,03}$	$\frac{1,2}{1,05}$	$\frac{1,3}{1,07}$	$\frac{1,4}{1,09}$	$\frac{1,5}{1,12}$
	б	$\frac{1,04}{1,01}$	$\frac{1,07}{1,01}$	$\frac{1,13}{1,02}$	$\frac{1,2}{1,03}$	$\frac{1,26}{1,04}$	$\frac{1,32}{1,05}$

* а - $HB_2 \leq 350$; б - $HRC \geq 40$

Примечание. В числителе приведены данные для прямозубых колес, в знаменателе – для косозубых.

Таблица 6

Значение коэффициента K_{Fv}

Степень точности	Твердость поверхностей зубьев *	$v, \text{ м/с}$					
		1	2	4	6	8	10

6 – я	а	$\frac{1,06}{1,02}$	$\frac{1,13}{1,05}$	$\frac{1,26}{1,10}$	$\frac{1,40}{1,15}$	$\frac{1,58}{1,20}$	$\frac{1,67}{1,25}$
	б	$\frac{1,02}{1,01}$	$\frac{1,04}{1,02}$	$\frac{1,08}{1,03}$	$\frac{1,11}{1,04}$	$\frac{1,14}{1,06}$	$\frac{1,17}{1,07}$
7 – я	а	$\frac{1,08}{1,03}$	$\frac{1,16}{1,06}$	$\frac{1,33}{1,11}$	$\frac{1,50}{1,16}$	$\frac{1,67}{1,22}$	$\frac{1,80}{1,27}$
	б	$\frac{1,03}{1,01}$	$\frac{1,05}{1,02}$	$\frac{1,09}{1,03}$	$\frac{1,13}{1,05}$	$\frac{1,17}{1,07}$	$\frac{1,22}{1,08}$
8 – я	а	$\frac{1,10}{1,03}$	$\frac{1,20}{1,06}$	$\frac{1,38}{1,11}$	$\frac{1,58}{1,17}$	$\frac{1,78}{1,23}$	$\frac{1,96}{1,29}$
	б	$\frac{1,04}{1,01}$	$\frac{1,06}{1,02}$	$\frac{1,12}{1,03}$	$\frac{1,16}{1,05}$	$\frac{1,21}{1,07}$	$\frac{1,26}{1,08}$
9 – я	а	$\frac{1,13}{1,04}$	$\frac{1,28}{1,07}$	$\frac{1,50}{1,14}$	$\frac{1,77}{1,21}$	$\frac{1,98}{1,28}$	$\frac{2,25}{1,35}$
	б	$\frac{1,04}{1,01}$	$\frac{1,07}{1,02}$	$\frac{1,14}{1,04}$	$\frac{1,21}{1,06}$	$\frac{1,27}{1,08}$	$\frac{1,34}{1,09}$
* а - $HV_2 \leq 350$; б - $HRC \geq 40$							
Примечание. В числителе приведены данные для прямозубых колес, в знаменателе – для косозубых.							

ВЫВОДЫ

Приводится методика расчета зубчатых передач на контактную выносливость с учетом коэффициентов распределения нагрузки. Фактическую нагрузку в зацеплении определяют с учетом неравномерности распределения нагрузки между зубьями и по ширине венца и с учетом ударов и значения начальных коэффициентов концентрации $K_{H\beta}^0$, коэффициентов концентрации $K_{F\beta}^0$, коэффициентов динамичности на контактную прочность K_{Hv} и коэффициента изгибной прочности K_{Fv} .

Література:

1. Н.Н. Следь "Эксплуатация электромеханических устройств угольных шахт". – Донецк, 1997 г.
2. Г.М. Гимельштейн "Техническое обслуживание и ремонт оборудования подземного транспорта", Москва, "Недра", 1984 г.
3. П.М.Шилов "Технология производства и ремонт горных машин", - Киев "Вища школа", 1986 г.