

Міністерство освіти і науки України
Донецький національний технічний університет

Проектування циліндричного евольвентного зубчатого зачеплення

Навчальний посібник до курсового проектування
з теорії механізмів і машин

Донецьк –2002

ВСТУП

Зубчасті передачі є важливою складовою частиною більшості сучасних машин і багатьох приладів. Тому велике значення має грамотне їх проектування.

Важливими станами проектування є геометричний синтез зубчатої передачі, тобто правильний вибір вихідних параметрів, які найкраще задовольняли б конкретні умови роботи передачі, а також геометричний розрахунок зубчатої передачі і перевірка якостей її показників.

Виконання геометричного розрахунку вимагає значних затрат часу. Для скорочення цих затрат передбачається геометричні розрахунки проводити з використанням обчислювальної техніки. З метою оптимізації роботи студентів під час виконання курсового проекту у поданих методичних вказівках дається програма геометричного розрахунку для ПК на мові TURBO-PASCAL з прикладом розрахунку.

1. Геометричний розрахунок циліндричної прямозубої евольвентної передачі

1.1. Загальні положення

Основними вихідними даними при проектуванні зубчатих передач є розрахунковий модуль m в мм і числа зубів коліс z_1 і z_2 . Зубчате колесо з меншим числом зубів називають шестірнею, число зубів і всі геометричні параметри шестірні постачають індексом 1. Усі параметри зубчатого колеса з більшим числом зубів постачають індексом 2. Нарізування коліс проводиться інструментом реєчного типу.

Параметри вихідного контура: коефіцієнт висоти головки $h_a^* = 1,0$; коефіцієнт радіального зазора $c^* = 0,25$; кут профілю вихідного контура $\alpha = 20^\circ$.

Коефіцієнти зміщення вихідного контура для першого і другого коліс x_1 і x_2 вибираються залежно від чисел зубів коліс z_1 і z_2 по [1], або з таблиці 1.1. При розрахунку геометричних параметрів зачеплення на ПК значення x_1 і x_2 вибираються з таблиці, що є в програмі.

Під час виконання всіх обчислень прийняти $\pi = 3,1416$. Обчислення проводити з точністю до 0,001 мм. Значення тригонометричних функцій та інволют кутів брати з точністю, вказаною в таблиці 1.2. Рекомендуються визначати спочатку параметри нульового зачеплення, підставляючи в приведені нижче формули $x_2 = x_1 = x_\Sigma = 0$, а потім параметри зачеплення зі зміщенням. Порівняння тих і інших параметрів використовується для контролю правильності обчислень і дозволяє установити, яка мета і результати використання зачеплення зі зміщенням.

1.2. Порядок розрахунку геометричних параметрів зачеплення

Параметри, що не змінюються у результаті зміщення.

Крок по ділильній окружності: $p = \pi m$.

Радіуси ділильних окружностей: $r = 0,5 mz$.

Радіуси основних окружностей: $r_b = r \cos \alpha$

Крок по основній окружності: $p_b = p \cos \alpha$

Параметри, які залежать від зміщення інструмента.

Кут зачеплення:

$$\text{inv } \alpha_w = \frac{2x_\Sigma}{z_\Sigma} \text{tg}\alpha + \text{inv}\alpha, \quad (1.1)$$

де $x_\Sigma = x_1 + x_2$ - сумарний коефіцієнт зміщення;

$z_\Sigma = z_1 + z_2$ - сумарне число зубців;

$$\text{inv}\alpha = \text{inv } 20^\circ = 0.014904.$$

По $\text{inv}\alpha_w$ значення α_w береться із таблиці 1.2

При розрахунку параметрів зачеплення за програмою на ПК рівняння (1.1) вирішується методом ітерації. Для цього приймається початкове значення кута, з якого починається ітераційний цикл $\alpha_0 = 20^\circ = \pi/9$ і визначається перше значення кута зачеплення за рівнянням:

$$\alpha_w = \text{arctg}(\alpha_0 + \text{inv}\alpha_w).$$

Знайдене значення α_w порівнюється з початковим значенням:

$\alpha_w - \alpha_0 = \epsilon$. Якщо значення ϵ перевищує величину 0,00001 (прийнята точність розрахунку кута зачеплення в радіанах), то початковому значенню кута присвоюється значення- $\alpha_0 = \alpha_w$ і ітераційний процес повторюється.

$$\text{Радіуси початкових окружностей } r_w = 0,5 m z \frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_w}$$

$$\text{Міжосева відстань } a_w = r_{w1} + r_{w2}$$

$$\text{Радіуси окружностей впадин } r_f = m (0,5 z - h_a^* - c^* + x)$$

Висота зуба визначається із умови, що в нерівнозміщеному і нульовому зачепленнях радіальний зазор дорівнює $c^* m$. Тоді

$$h = a_w - r_{f1} - r_{f2} - c^* m$$

$$\text{Радіуси окружностей вершин } r_a = r_f + h$$

Товщина зубців по ділільних окружностях

$$S = m(0,5\pi + 2x \text{tg}\alpha)$$

Таблиця 1.1 Значення коефіцієнта зміщення для розрахунку геометрії неравнозміщеного зачеплення.

Z_1/Z_2	11		12		13		14		15		16	
	X_Σ	X_1	X_Σ	X_1	X_Σ	X_1	X_Σ	X_1	X_Σ	X_1	X_Σ	X_1
20	1,072	0,576	1,031	0,553	0,990	0,530	0,950	0,507	0,911	0,485	0,873	0,460
21	1,074	0,579	1,033	0,556	0,992	0,534	0,952	0,511	0,913	0,489	0,875	0,464
22	1,076	0,582	1,035	0,559	0,994	0,537	0,954	0,514	0,915	0,493	0,877	0,469
23	1,079	0,585	1,038	0,562	0,997	0,540	0,957	0,518	0,918	0,496	0,879	0,473
24	1,083	0,588	1,041	0,565	1,000	0,543	0,960	0,521	0,920	0,499	0,881	0,477
25	1,087	0,590	1,045	0,568	1,003	0,546	0,963	0,525	0,922	0,503	0,883	0,481
26	1,091	0,592	1,049	0,570	1,006	0,548	0,965	0,527	0,924	0,506	0,884	0,483
27	1,095	0,594	1,053	0,572	1,009	0,551	0,957	0,529	0,926	0,508	0,886	0,486
28	1,098	0,596	1,056	0,574	1,012	0,553	0,970	0,532	0,629	0,510	0,888	0,489
29	1,102	0,598	1,059	0,576	1,016	0,555	0,973	0,534	0,931	0,513	0,890	0,491
30	1,105	0,599	1,062	0,578	1,019	0,557	0,976	0,536	0,933	0,515	0,892	0,494
31	1,108	0,600	1,065	0,579	1,022	0,559	0,978	0,538	0,935	0,517	0,894	0,496
32	1,111	0,601	1,067	0,581	1,024	0,560	0,981	0,540	0,937	0,519	0,896	0,498
33	1,114	0,602	1,070	0,852	1,026	0,561	0,983	0,541	0,939	0,521	0,898	0,500
34	1,117	0,603	1,072	0,583	1,028	0,562	0,985	0,542	0,942	0,522	0,901	0,502
35	1,120	0,604	1,074	0,584	1,030	0,563	0,987	0,543	0,944	0,523	0,903	0,504
36	1,122	0,605	1,077	0,585	1,033	0,564	0,989	0,544	0,946	0,524	0,905	0,506
37	1,125	0,606	1,081	0,586	1,035	0,565	0,991	0,545	0,948	0,525	0,907	0,507
38	1,128	0,607	1,083	0,587	1,038	0,566	0,994	0,546	0,951	0,526	0,909	0,508
39	1,131	0,607	1,086	0,588	1,041	0,567	0,996	0,547	0,953	0,527	0,911	0,509
40	1,134	0,608	1,089	0,589	1,044	0,568	0,999	0,548	0,955	0,528	0,913	0,510
42	1,140	0,609	1,094	0,590	1,048	0,569	1,003	0,550	0,959	0,530	0,917	0,512
44	1,146	0,610	1,099	0,591	1,053	0,570	1,008	0,551	0,964	0,532	0,921	0,514
46	1,152	0,611	1,105	0,592	1,059	0,571	1,012	0,552	0,968	0,533	0,924	0,516
48	1,158	0,611	1,111	0,593	1,065	0,572	1,018	0,553	0,973	0,534	0,928	0,517
50	1,164	0,612	1,117	0,593	1,070	0,573	1,023	0,554	0,977	0,535	0,932	0,518
52	1,170	0,612	1,122	0,593	1,075	0,573	1,028	0,554	0,981	0,535	0,936	0,518
54	1,176	0,612	1,127	0,593	1,080	0,573	1,033	0,554	0,985	0,535	0,941	0,518
56	1,182	0,612	1,132	0,593	1,085	0,573	1,037	0,554	0,990	0,535	0,945	0,518
58	1,188	0,612	1,138	0,593	1,090	0,573	1,041	0,554	0,995	0,535	0,950	0,519
60	1,194	0,613	1,144	0,593	1,095	0,574	1,046	0,555	0,999	0,536	0,955	0,519

Таблиця 1.2 Значення евольвентної функції

Хви ли- ни	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
0	0,014904	0,017345	0,020054	0,023049	0,026350	0,029975	0,033947	0,038287	0,043017	0,0481644	0,053751	0,059809
2	982	431	149	154	465	0,030102	0,034086	438	187	343	946	0,060019
4	0,015059	517	244	259	581	229	225	590	347	522	0,054140	230
6	137	603	340	365	697	357	364	742	513	702	336	441
8	215	690	436	471	814	484	504	894	679	883	531	653
10	293	777	533	577	931	613	644	0,039047	845	0,049064	728	866
12	372	0,017865	629	684	0,027048	0,030741	0,034785	201	0,044012	245	924	0,061079
14	0,015451	952	726	791	166	870	926	355	180	427	0,055122	292
16	530	0,018040	824	899	284	0,031000	0,035067	509	348	609	320	507
18	609	129	921	0,024006	402	130	209	664	516	792	518	721
20	689	217	0,021019	114.	521	200	352	819	685	976	717	937
22	769	306	118	0,024223	0,027640	0,031390	494	974	855	0,050160	916	0,062153
24	850	395	217	332	760	521	637	0,040131	0,045024	344	0,056116	369
26	930	0,018485	316	441	880	653	781	287	195	529	317	586
28	0,016011	575	415	550	0,028000	784	925	444	366	715	518	804
30	092	665	514	660	121	917	0,036069	602	537	901	720	0,063022
32	174	755	614	770	242	0,032049	214	759	709	0,051087	922	241
34	255	846	715	881	363	182	395	918	881	274	0,057124	460
36	337	937	815	992	485	315	505	0,041076	0,046054	462	328	680
38	420	0,019028	916	0,025102	607	449	651	236	227	650	531	901
40	0,016502	120	0,022018	214	729	583	798	395	400	838	736	0,064122
42	585	212	119	326	852	718	945	556	575	0,052027	940	343
44	669	304	221	439	976	853	0,037092	716	749	217	0,058146	565
46	752	397	324	551	0,029099	988	240	877	924	407	352	788
48	836	0,019490	426	664	223	0,033124	388	0,042039	0,047100	597	558	0,065012
50	920	583	529	778	348	260	537	201	276	788	765	236
52	0,017004	676	0,022633	0,025891	0,029472	397	686	363	452	980	973	460
54	089	770	736	0,026005	598	534	835	526	630	0,053172	0,059181	685
56	174	864	840	120	723	671	985	689	807	365	390	911
58	259	959	944	235	849	809	0,038136	853	9855	558	599	0,066137
60	0,017345	0,020054	0,023049	0,026350	0,029975	0,033947	0,038287	0,043017	0,048164	0,053751	809	364

Продовження таблиці 1.2

Хви ли- ни	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
0	0,066364	0,073449	0,081097	0,081934	0,09822	0,10778	0,11806	0,12911	0,14097	0,15370	0,16737	0,18202
2	591	695	362	628	853	811	842	949	138	414	784	253
4	819	941	627	914	884	844	877	987	179	458	831	30
6	0,067048	0,074188	894	0,090201	915	878	913	0,13025	220	502	879	355
8	277	435	0,082161	485	946	911	949	064	261	547	926	406
10	507	684	428	777	977	944	985	103	302	591	974	457
12	738	932	697	0,091067	0,10008	0,10978	0,12021	0,13141	0,14344	0,15636	0,17022	0,18507
14	969	0,075182	966	356	039	0,1101	057	180	386	680	069	559
16	0,068200	432	0,083235	647	070	045	093	219	428	725	117	611
18	432	683	506	938	102	079	129	258	469	770	166	662
20	665	934	777	0,092230	133	113	165	297	511	815	214	714
22	899	0,076186	0,084049	523	0,10165	0,11146	0,12202	0,13336	0,14553	0,15860	0,17262	0,18766
24	0,069133	439	321	816	196	180	238	375	595	905	311	818
26	367	693	594	0,093111	228	215	275	414	638	950	359	870
28	602	946	868	406	260	249	312	454	680	996	408	92
30	838	0,077200	0,085142	701	292	283	348	493	722	0,16047	457	975
32	0,070075	45	418	998	0,10323	0,11317	0,12385	0,13533	0,14765	0,16082	0,17506	0,19027
34	312	711	693	0,094295	355	352	422	572	807	133	555	080
36	549	968	970	592	388	386	459	612	850	178	604	131
38	787	0,078225	0,086247	891	420	421	496	652	893	224	653	185
40	0,071026	483	525	0,095190	452	455	534	692	936	270	702	238
42	266	741	804	490	0,10484	0,11490	0,12571	0,13732	979	0,16317	0,17752	0,19291
44	506	0,079000	0,087083	791	516	525	608	772	0,15022	363	801	344
46	747	260	363	0,096093	549	560	646	812	065	409	821	398
48	988	520	644	395	581	595	683	853	108	456	901	451
50	0,072230	781	925	698	614	630	721	893	152	502	951	505
52	473	0,080043	0,088207	0,097002	0,10647	0,11665	0,12759	0,13934	0,15195	0,16549	0,18001	0,19558
54	716	306	490	306	679	700	797	974	239	596	051	612
56	959	569	773	611	712	735	834	0,14015	282	642	1001	666
58	0,073204	832	0,089057	917	745	771	872	056	326	689	152	720
60	449	0,081097	0,059342	0,098224	0,10778	0,11806	0,12911	097	0,15370	0,16737	0,18202	0,19774

Усі нижчеперелічені параметри обчислюються тільки для зачеплення зі зміщенням.

Товщини зубців по основних окружностях

$$s_b = 2r_b \left(\frac{s}{2r} + \text{inv}\alpha \right)$$

Товщини зубців по початкових окружностях

$$s_w = 2r_w \left(\frac{s}{2r} + \text{inv}\alpha - \text{inv}\alpha_w \right)$$

Крок по початковій окружності $p_w = p \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$

Перевірити, чи виконується рівність $s_{w1} + s_{w2} = p_w$

Допустимі розходження $\Delta \leq 0,02$ мм.

Товщини зубців по окружностях вершин

$$s_a = 2r_a \left(\frac{s}{2r} + \text{inv}\alpha - \text{inv}\alpha_a \right)$$

Кути профілю на окружностях вершин α_a визначаються за формулою

$$\cos \alpha_a = \frac{r_b}{r_a} \Rightarrow \alpha_a$$

Значення $\text{inv}\alpha_a$ береться по таблиці 1.2, або визначається за формулою:

$$\text{inv}\alpha_a = \text{tg}\alpha_a - \alpha_a$$

Коефіцієнт перекриття

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} - a_w \sin \alpha_w}{\pi m \cos \alpha}$$

Приміємо, що як видно з рисунка 1.1 $\sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} = N_1B_1 = \rho_{a1}$ - радіус кривизни евольвенти в точці B_1 ; $\sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} = N_2B_2 = \rho_{a2}$ - радіус кривизни евольвенти колеса в точці B_2 ;

$a_w \sin \alpha_w = N_1N_2$ - довжина лінії зачеплення. Ці величини використовуються в перевірках якості зачеплення. Результати обчислення заносяться в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3. Розрахункові параметри нерівнозміщеного зачеплення

Тип зачеплення	z_1	z_2	m_1 мм	p мм	p_b мм	r_1 мм	r_2 мм	r_{b1} мм	r_{b2} мм	x_1	x_2	α_w град	r_{w1} мм	r_{w2} мм
Нульове														
Нерівнозміщене														

Продовження таблиці 1.3

a_w мм	p_w мм	r_{f1} мм	r_{f2} мм	h мм	r_{a1} мм	r_{a2} мм	S_1 мм	S_2 мм	S_{w1} мм	S_{w2} мм	S_{b1} мм	S_{b2} мм	S_{a1} мм	S_{a2} мм	ϵ

1.3. Перевірка якості зубів

Перевірка на незагострення.

Вважаючи, що робочі поверхні зубців проєктованих коліс піддані термообробці, пред'являємо наступні вимоги до їх товщини по окружності вершин.

$$S_a \geq 0,4 m$$

Перевірка на відсутність підрізування.

Зуб вважається підрізаним, якщо в процесі нарізування зрізується частина евольвенти у ніжки зуба. При нарізанні рейкою немає підрізування зуба, якщо траєкторія точки А проходить не вище точки N, тоб то, якщо $PK \geq PM$ (рисунок 1.2).

$$PM = h_a^* m - xm;$$

$$PK = NP \sin \alpha = r \sin^2 \alpha;$$

$$r \sin^2 \alpha \geq m(h_a^* - x);$$

$$0,5z \sin^2 \alpha \geq h_a^* - x.$$

1.4. Перевірка якості зачеплення

Перевірка на відсутність інтерференції.

Зубці повинні контактувати тільки евольвентними частинами профілів. Інтерференцією називається таке явище в зачепленні, коли евольвента одного колеса працює з викружкою (галтеллю) зуба другого колеса.

Евольвентна частина профілю утворюється прямолінійним профілем інструмента. Мінімальний радіус кривизни евольвентного профілю зуба колеса, отриманий при нарізуванні рейкою (рисунок.1.2):

$$\rho_{\min} = NB = NP - PB.$$

Так як

$$NP = 0,5mz \sin \alpha, \quad BP = \frac{MP}{\sin \alpha} = \frac{(h_a^* - x) \cdot m}{\sin \alpha},$$

$$\text{то } \rho_{\min} = m(0,5z \sin \alpha - \frac{h_a^* - x}{\sin \alpha}).$$

При зачепленні двох коліс активний профіль зуба першого колеса розміщується від вершини зуба до точки B_2 (рисунок 1.1). Весь активний профіль повинен бути евольвентним. Тому радіус кривизни активного профілю в точці B_2 - відрізок N_1B_2 повинен бути не менше $\rho_{\min 1}$. Отже інтерференції між зубцями колеса і викружками зубців шестерні не буде, якщо $N_1B_2 \geq \rho_{\min 1}$.

$$N_1 B_2 = N_1 N_2 - B_2 N_2 = N_1 N_2 - \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} = N_1 N_2 - \rho_{a2} ,$$

$$N_1 N_2 - \rho_{a2} \geq m(0,5z_1 \sin\alpha - \frac{h_a^* - x_1}{\sin\alpha})$$

Аналогічно інтерференція між зубцями шестерні і викружками зубців колеса відсутня, якщо $B_1 N_2 \geq \rho_{\min 2}$, тобто

$$N_1 N_2 - \rho_{a1} / m(0,5z_2 \sin\alpha - \frac{h_a^* - x_2}{\sin\alpha})$$

Коефіцієнт перекриття.

Для забезпечення плавності зачеплення коефіцієнт перекриття для силових передач приймається $\epsilon \geq 1,15$.

Коефіцієнти питомих ковзань.

Коефіцієнт питомих ковзань на профілі зуба кожного колеса.

$$V_1 = 1 - \frac{\rho_2 z_1}{\rho_1 z_2}; \quad V_2 = 1 - \frac{\rho_1 z_2}{\rho_2 z_1},$$

де ρ_1 і ρ_2 – радіуси кривизни евольвент у точці контакту. Одним із критеріїв якості зачеплення є величини коефіцієнтів питомих ковзань, при вході зубів у зачеплення і при виході з нього. У момент входу зубців у зачеплення (точка B_2 , рисунок 1.1).

$$\rho_{a2} = B_2 N_2 = \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2}; \quad \rho_{H1} = B_2 N_1 = N_1 N_2 - \rho_{a2}$$

У момент виходу із зачеплення (точка B_1 , рисунок 1.1).

$$\rho_{a1} = N_1 B_1 = \sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2}, \quad \rho_{H2} = N_1 N_2 - \rho_{a1}$$

Тоді граничні значення коефіцієнтів питомих ковзань:

$$\text{на ніжці зуба 1-го колеса} \quad V_{H1} = 1 - \frac{z_1 \rho_{a2}}{z_2 \cdot \rho_{H1}};$$

$$\text{на головці зуба 2-го колеса} \quad V_{a2} = 1 - \frac{z_2 \cdot \rho_{H1}}{z_1 \cdot \rho_{a2}};$$

на ніжці зуба 2-го колеса
$$V_{H2} = 1 - \frac{z_2 \cdot \rho_{a1}}{z_1 \cdot \rho_{H2}} ;$$

на головці зуба 1-го колеса
$$V_{a1} = 1 - \frac{z_1 \cdot \rho_{H2}}{z_2 \cdot \rho_{a1}} ;$$

1.5. Обчислення контрольних розмірів, які проставляються на кресленні

Товщина зуба по постійній хорді \bar{S}_c і віддаль від окружності вершин до постійної хорди \bar{h}_c :

$$\bar{S}_c = S \cos^2 \alpha$$

$$\bar{h}_c = r_a - r - 0,25S \sin 2\alpha$$

Довжина загальної нормалі:

$$W = P_b n + S_b,$$

де n - число кроків (впадин), що захоплюються скобою, визначається із умови: скоба повинна торкатися зубів близько ділительного циліндра: $n = z/9$. Якщо n виходить дробним, то , береться ціла частина цього дробу.

2. Розробка алгоритму і програми геометричного розрахунку зачеплення на мові TURBO-PASKAL

2.1. Опис алгоритму геометричного розрахунку прямозубого евольвентного зчеплення на ПК:

- початок програми;
- опис констант: $h_a^*, c^*, \alpha, e, d[L, j, i]$ - таблиця значень x_1 і x_2 (трьохмірний масив);
- введення вихідних даних: $z_1, z_2, m, \beta = 0$
- введення початкових коефіцієнтів зміщення, рівних нулю. Визначення індексів коефіцієнтів зміщення для нерівнозміщеного зчеплення;

- організація циклу;
- визначення inv . Присвоєння початкового значення куту α_w ;
- визначення проміжного значення α_w , яке представляється перемінною в $b[i]$;
- порівняння різниці $b[i] - \alpha_w[i]$ з даною точністю обчислювани;
- присвоєння α_w значення проміжного кута зчеплення в $b[i]$;
- розрахунок гометричних параметрів зчеплення;
- вибір із таблиці коефіцієнтів зміщення;
- присвоєння перемінним X111 і X222 значень коефіцієнтів зміщення для нерівнозміщеного зчеплення, а перемінним X11 і X22 значень – для нульового зчеплення;
- підготовка до друку;
- виведення вихідних даних, результатів розрахунку на друк у вигляді таблиці;
- присвоєння перемінним X1 і X2 значень перемінних X11 і X22 ;
- організація циклу;
- виведення назви зчеплення;
- перевірка на незагострення 1-го колеса;
- виведення результатів перевірки;
- перевірка на незагострення 2-го колеса;
- виведення результатів перевірки;
- перевірка на непідрізування 1-го колеса;
- виведення результатів перевірки;
- перевірка на інтерференцію зубців 2-го колеса з викружками зубців 1-го колеса;
- виведення результатів перевірки;
- перевірка на інтерференцію зубців 1-го колеса з викружками зубців 2-го колеса
- виведення результатів перевірки;
- присвоєння перемінним X1 і X2 значень перемінних X11 і X22 ;
- кінець

Таблиця 2.1. Параметри використовувані в програмі

Найменування	Позначення		Тип
	алгор.	прогр.	
1. Число зубців шестірні	z_1	z_1	Ціл
2. Число зубців колеса	z_2	z_2	Ціл
3. Коефіцієнт висоти головки зуба	h^*_a	h_a	Речов
4. Коефіцієнт радіального зазора	c^*	c	Речов
5. Кут профіля вихідного контура	α	aL	Речов
6. Коефіцієнт зміщення вихідного контура	x	x	Речов
7. Модуль	m	m	Речов
8. Кут нахилу зуба	β	btg	Речов
9. Інволюта кута профіля вихідного контура	$inv\alpha$	$invaL$	Речов
10. Кут зачеплення	α_w	aLw	Речов
11. Інволюта кута зачеплення	$inv\alpha_w$	$invaLw$	Речов
12. Радіус ділильної окружності	r	r	Речов
13. Радіус основної окружності	r_b	rb	Речов
14. Радіус окружності впадин	r_f	rf	Речов
15. Радіус початкової окружності	r_w	rw	Речов
16. Міжосева віддаль	a_w	aw	Речов
17. Висота зуба	h	h	Речов
18. Радіус окружності вершин	r_a	ra	Речов
19. Товщина зуба по ділильній окружності	S	S	Речов
20. Товщина зуба по основній окружності	S_b	Sb	Речов
21. Товщина зуба по початковій окружності	S_w	Sw	Речов
22. Крок по ділильній окружності	P	P	Речов
23. Крок по основній окружності	P_b	Pb	Речов
24. Крок по початковій окружності	P_w	Pw	Речов
25. Товщина зуба по окружності вершин	S_a	Sa	Речов
26. Кут профіля по окружності вершин	α_a	aLa	Речов
27. Інволюта кута профіля на окружності вершин	$inv\alpha_a$	$invaLa$	Речов
28. Теоретична лінія зачеплення	N_1N_2	$N1N2$	Речов
29. Радіус кривизни евольвенти на головці зуба	ρ_a	ROa	Речов
30. Радіус кривизни евольвенти на ніжці зуба	ρ_H	Roh	Речов
31. Коефіцієнт питомого ковзання на головці зуба	V_a	VA	Речов
32. Коефіцієнт питомого ковзання на ніжці зуба	V_H	Vh	Речов
33. Коефіцієнт перекриття	ϵ	E	Речов
34. Число кроків, охоплюваних скобою	n	n	ціл
35. Довжина загальної нормалі	W	W	Речов
36. Товщина зуба по постійній хорді	Sc	SC	Речов
37. Висота до постійної хорди	h_c	hc	Речов
38. Точність розрахунку кута зачеплення	e	e	Речов

2.2 Програма розрахунку геометрії зачеплення прямозубих евольвентних коліс

Program GeometrPZ;

Uses printer;

(*****)

(*Програма розрахунку геометрії зачеплення*)

(* прямозубих евольвентних коліс *)

Label M1;

Const ha=1; c=0.25; al=0.34907; e=0.00001;

d: array [1..41,1..6,1..2] of real = (((1.072,0.576),(1.031,0.553),(0.990,0.530),(0.950,0.507),(0.911,0.485),(0.873,0.460)),

((1.076,0.579),(1.033,0.556),(0.992,0.534),(0.592,0.511),(0.913,0.489),(0.875,0.464)),

((1.076,0.582),(1.035,0.559),(0.994,0.537),(0.954,0.514),(0.915,0.493),(0.877,0.469)),

((1.079,0.585),(1.038,0.562),(0.997,0.540),(0.957,0.518),(0.918,0.496),(0.879,0.473)),

((1.083,0.588),(1.041,0.565),(1.000,0.543),(0.960,0.521),(0.920,0.499),(0.881,0.477)),

((1.087,0.590),(1.045,0.568),(1.003,0.546),(0.963,0.525),(0.922,0.503),(0.883,0.481)),

((1.091,0.592),(1.049,0.570),(1.006,0.548),(0.965,0.527),(0.924,0.506),(0.884,0.483)),

((1.095,0.594),(1.053,0.572),(1.009,0.551),(0.967,0.529),(0.926,0.508),(0.886,0.486)),

((1.098,0.596),(1.056,0.574),(1.012,0.553),(0.970,0.532),(0.929,0.510),(0.888,0.489)),

((1.102,0.598),(1.059,0.576),(1.016,0.555),(0.973,0.534),(0.931,0.513),(0.890,0.491)),

((1.105,0.599),(1.062,0.578),(1.019,0.557),(0.976,0.536),(0.933,0.515),(0.892,0.494)),

((1.108,0.600),(1.065,0.579),(1.022,0.559),(0.978,0.538),(0.935,0.517),(0.894,0.496)),

((1.111,0.601),(1.067,0.580),(1.024,0.560),(0.981,0.540),(0.937,0.519),(0.896,0.498)),

((1.114,0.602),(1.070,0.581),(1.026,0.561),(0.983,0.541),(0.939,0.521),(0.898,0.500)),

((1.117,0.603),(1.072,0.582),(1.028,0.562),(0.985,0.542),(0.942,0.522),(0.901,0.502)),

((1.120,0.604),(1.074,0.583),(1.030,0.563),(0.987,0.543),(0.944,0.523),(0.903,0.504)),

((1.122,0.605),(1.077,0.584),(1.033,0.564),(0.989,0.544),(0.946,0.524),(0.905,0.506)),

((1.125,0.606),(1.081,0.585),(1.035,0.565),(0.991,0.545),(0.948,0.525),(0.907,0.507)),

((1.128,0.607),(1.083,0.586),(1.038,0.566),(0.994,0.546),(0.951,0.526),(0.909,0.508)),
((1.131,0.607),(1.086,0.587),(1.041,0.567),(0.996,0.547),(0.953,0.527),(0.911,0.509)),
((1.134,0.608),(1.089,0.588),(1.044,0.568),(0.999,0.548),(0.955,0.528),(0.913,0.510)),
((1.137,0.608),(1.091,0.588),(1.046,0.568),(1.001,0.549),(0.957,0.529),(0.915,0.511)),
((1.140,0.609),(1.094,0.589),(1.048,0.569),(1.003,0.550),(0.959,0.530),(0.917,0.512)),
((1.143,0.609),(1.096,0.589),(1.050,0.569),(1.005,0.550),(0.961,0.531),(0.919,0.513)),
((1.146,0.610),(1.099,0.590),(1.053,0.570),(1.008,0.551),(0.964,0.532),(0.921,0.514)),
((1.149,0.610),(1.102,0.590),(1.056,0.570),(1.010,0.551),(0.966,0.532),(0.923,0.515)),
((1.152,0.611),(1.105,0.591),(1.059,0.571),(1.013,0.552),(0.968,0.533),(0.924,0.516)),
((1.155,0.611),(1.108,0.591),(1.062,0.571),(1.015,0.552),(0.970,0.533),(0.926,0.516)),
((1.158,0.611),(1.111,0.592),(1.065,0.572),(1.018,0.553),(0.973,0.534),(0.928,0.517)),
((1.161,0.611),(1.114,0.592),(1.067,0.572),(1.020,0.553),(0.975,0.534),(0.930,0.517)),
((1.164,0.612),(1.117,0.593),(1.070,0.573),(1.023,0.554),(0.977,0.535),(0.932,0.518)),
((1.167,0.612),(1.119,0.593),(1.072,0.573),(1.025,0.554),(0.979,0.535),(0.934,0.518)),
((1.170,0.612),(1.122,0.593),(1.075,0.573),(1.028,0.554),(0.981,0.535),(0.936,0.518)),
((1.173,0.612),(1.124,0.593),(1.077,0.573),(1.030,0.554),(0.983,0.535),(0.938,0.518)),
((1.176,0.612),(1.127,0.593),(1.080,0.573),(1.033,0.554),(0.985,0.535),(0.941,0.518)),
((1.179,0.612),(1.129,0.593),(1.082,0.573),(1.035,0.554),(0.987,0.535),(0.943,0.518)),
((1.182,0.612),(1.132,0.593),(1.085,0.573),(1.037,0.554),(0.990,0.535),(0.945,0.518)),
((1.185,0.612),(1.135,0.593),(1.087,0.573),(1.039,0.554),(0.992,0.535),(0.947,0.518)),
((1.188,0.612),(1.138,0.593),(1.090,0.573),(1.041,0.554),(0.995,0.535),(0.950,0.519)),
((1.191,0.612),(1.141,0.593),(1.092,0.573),(1.043,0.554),(0.997,0.535),(0.952,0.519)),
((1.194,0.613),(1.144,0.593),(1.095,0.574),(1.046,0.555),(0.999,0.536),(0.955,0.519));

Var

```
sal,w1,w2,vh1,vh2,va1,va2,sa2,ivala1,roh1,roh2,ivala2,b,s1,s2,sb1,sb2,sw1,ala1,al
a2,sw2,rwl,
  aw,hc1,hc2,scl,sc2,eps,n1n2,rw2,rfl,rf2,h,ra1,ra2,pw,roa1,roa2,ivalw,alw:array
[1..2] of real;
i,j,l,s:integer;x,m,z1,z2,ival,rl,r2,rb1,rb2,x11,x22,x11,x22,x1,x2,P,Pb,nl,n2:real;
lub1,lub2,lub3,lub:real;
z:string[1];
```

Function arccos(x:real):real;

```
begin
  arccos:=Pi/2-arctan(x/sqrt(1-sqr(x)))
end;
```

BEGIN

```
Writeln ('Введіть вихідні дані m,z1,z2');
```

```
read (m,z1,z2);
```

```
l:=trunc(z2-19);
```

```
j:=trunc(z1-10);
```

```
x1:=0;x2:=0;
```

```
for i:=1 to 2 do
```

```
begin
```

```
ival:=sin(al)/cos(al)-al;
```

```
ivalw[i]:=2*(x1+x2)/(z1+z2)*sin(al)/cos(al)+ival;
```

```
alw[i]:=al;
```

```
M1:b[i]:=arctan(alw[i]+ivalw[i]);
```

```
if(b[i]-alw[i])>ethen
```

```
begin alw[i]:=b[i]; goto M1 end
```

```
else
```

```
{Геометричні параметри коліс і зачеплення}
```

```
rl:=m*zl/2; r2:=m*z2/2; rbl:=rl*cos(al); rb2:=r2*cos(al);
```

```
rfl [i]:=m*(zl/2-ha-c+x 1); rf2[i]:=m*(z2/2-ha-c+x2);
```

```
rwl[i]:=rl*cos(al)/cos(alw[i]); rw2[i]:=r2*cos(al)/cos(alw[i]);
```

```
aw[i]:=rwl[i]+rw2[i]; h[i]:=aw [i]-rfl [i]-rf2[i]-c*m; ral[i]:=rfl[i]+h[i];
```

```
ra2[i]:=rf2[i]+h[i];
```

```
S1[i]:=m*(Pi/2+2*x1*sin(al)/cos(al));
```

```
S2[i]:=m*(Pi/2+2*x2*sin(al)/cos(al));
```

```
Sb1[i]:=2*rb1*(S1[i]/(2*r1)+ival);
```

```
Sb2[i]:=2*rb2*(S2[i]/(2*r2)+ival);
```

```
Sw1[i]:=2*rwl[i]*(S1[i]/(2*r1)+ival-ivalw[i]);
```

```
Sw2[i]:=2*rw2[i]*(S2[i]/(2*r2)+ival-ivalw[i]);
```

```
x:=rb1/ra1[i];ala1[i]:=arccos(x);
```

```
x:=rb2/ra2[i];ala2[i]:=arccos(x);
```

```
ivalal [i]:=sin(ala 1 [i])/cos(alal [i])-alal [i];
```

```
ivala2[i]:=sin(ala2[i])/cos(ala2[i])-ala2[i];
```

```
Sal[i]:=2*ral[i]*(S1[i]/(2*r1)+ival-ivala1[i]);
```

```

Sa2[i]:=2*ra2[i]*(S2[i]/(2*r2)+inval-invala2[i]);
P:=Pi*ni; Pb:=P*cos(al); Pw[i]:=Swl[i]+Sw2[i];
{Теоретична лінія зачеплення}
NIN2[1]:=aw[i]*sin(alw[i]);
{Радіуси кривизни евольвент}
Roal 1 [i]: =sqrt(sqr(ra1[i])-sqr(rb 1 ));
Roal 2H:=sqrt(sqr(ra2[i])-sqr(rb2));
Roh l[i]:=NIN2[i]-Roal2[i];Roh2H:=NIN2[i]-Roal[i];
{Коефіцієнти питомих ковзань}
Val[i]:=1-zl*Roh2[i]/(z2*Roal[i]);Va2[i]:=1-z2*Rohl[i]/(zl*Roal2[i]);
Vhl[i]:= 1-zl *Roal2[i]/(z2*Rohl [i]); Vh2[i]:= 1-z2*Roal [i]/(zl *Roh2[i]);
{Коефіцієнти перекриття}
Eps[i]:=(Roal[i]+Roal2[i]-NIN2[i])/Pb;
{Контролюючі параметри}
n1:=trunc(zl/9); n2:=trunc(z2/9);
Wl[i]:=Pb*n1+SbI[i];W2[i]:=Pb*n2+Sb2[i];
Scl[i]:=Sl[i]*sqr(cos(al));Sc2[i]:=S2[i]*sqr(cos(al));
hcl[i]:=ral[i]-rl-Sl[i]*sin(2*al)/4;
hc2[i]:=ra2[i]-r2-S2[i]*sin(2*al)/4;
xl:=d[lj,2];
x2:=d[lj,1]-xl;s:=l;
if i=s then
IF X1=0 THEN begin
WRITELN (' Укомп'ютері нема для цих зубців коеф. зміщення ');
writeln (введіть своє зміщення "сумарне і X1 "або нулі');
read(x1,x2);
end;
x1l:=x1;x22:=x2;
end;
x1l:=0;x22:=0;
writeln (' Увімкніть принтер, вставте лист. ');
writeln (' Вставте шрифт ELITE і натисніть ON LINE!!!!');
writeln (' А потім натисніть "ENTER" ..... ');
readln(z);readln(z);
writeln (lst,":6,' -----');
writeln (lst,":6," | РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ | ');
writeln (lst,":6,' -----');
writeln (lst,":6," -----');
writeln (lst,":6,' | Вихідні дані | ');
writeln (lst,":6,' -----');
writeln (lst,":6,' | ha* | c* | al | e | m | zl | z2 | xl | x2 | ');
writeln (lst,":6,' -----');
writeln (lst,":6,' | ',":1,ha:1,":2,'|',":1,c:4:2,":1,'|',":1,al:5:3,":1,'|',":1,e:7:5,":1,'|',":1,m:4:2,":1,
'|',":1,zl:2:0,":1,'|',":1,z2:2:0,":1,'|',":1,x1:6:3,":1,'|',":1,x2:6:3,":2,'| ');
writeln (lst,":6,' -----');

```

```

writeln(lst,":6,'|','":1,ha:1,":2,'|',c:4:2,":1,'|',":1,al:5:3,":1,'|'.e:7:5,":1,'|',":1,m:4:2,"
1,'|',":1,z1 :2:0,":1,'|',":1,z2:2:0,":1,'|',": 1,x 1:6:3,":1,'|',":1,x2:6:3,":2,'|');
writeln(lst,":6,' -----');
writeln (lst,":2,' -----');
writeln (lst,":2,' | Геометричні параметри коліс і зачеплення а');
writeln (lst,":2,'-----•);
writeln (lst,":2,' Тип зчеп-1 P | Pb | r1 | r2 |rbl |rb2 | alw ! rwl |rw2 |');
writeln (lst,":2,' лення. | | | | | | | | |);

writeln
(lst,":2,'|','Нульове.',":3,'a',p:6:3,'a',pb:6:3,'a',r1:6:3,'a',r2:6:3,'|',rbl:6:3,'a',
rb2:6:3,'a',alw[1]*(180/pi):6:3,a,rwl[1]:6:3,'|',rw2[1]:6:3,'a');
writeln (kt^!2,Т,•Неравнозмі-',|',p:6:3,'a',pb:6:3,'a',r1:6:3,'|',r2:6:3,'a',rbl:6:3,'a',
rb2:6:3.'aa.alw[2](180/pi),'a'.rw2[2]:6:3,'a'.rw2[2]:6:3,'a');
writeln (lst,":2,'a',щене.
','a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a');
writeln (lst,":2,'-----');
writeln (lst,":2,' Тип зачеп-1 aw | Pw | rfl a rf2 | h |ral |ra2 | S1 | S2 |');
writeln (alst,":2,'S лення. а а а а а а а а а);
writeln (lst,":2,' -----');
writeln
(lst,":2,'a',Нульове.',":3,'a',aW[1]:6:2,'a',PW[1]:6:3,'a',RF1[1]:6:3,'a',rf2[1]:6:3,'a',
h[1],:6:3,'a', ral[1]:6:3,'a',ra2[1]:6:3,'a',sl[1]:6:3,'a',s2[1]:6:3,'a');
writeln (lst,":2,'|','Неравнозмі-
','a',aW[2]:6:2,'a',PW[2]:6:3,'a',RF1[2]:6:3,'|',rf2[2]:6:3,'|',h[2]:6:3,'a',
ral[2]:6:3,'a',ra2[2]:6:3,'a',sl[2]:6:3,'a',s2[2]:6:3,'a');
writeln (lst,":2,'a',щене.
','a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a');
writeln (lst/" :2' | Тип зачеп-а Sw1a Sw2 a Sbl a Sb2 a Sal a Sa2 a alal a ala2 a');
writeln (lst,":2,'і лення. а а а а а а а а а);
writeln (lst,":2,'-----');
writeln
(lst,":2,'|','Нульове.',":3,'a',swl[1]:6:3,'a',sw2[1]:6:3,'a',sbl[1]:6:3,'a',sb2[1]:6:3,'a',
sal[1]:6:3,'a',sa2[1]:6:3,'a',":3,alal[1]*(180/pi):6:3,":4,'a',ala2[1]*(180/pi):6:3,'a');
writeln (lst,":2,' -----');
writeln (lst,":2,'|'Неравнозмі-
'a'.swl[2]:6:3,'a',sw2[2]:6:3,'a',sbl[2]:6:3,'a',sb2[1]:6:3.'a',
sal[2]:6:3,'a',sa2[2]:6:3,'a',":3,alal[2]*(180/pi):6:3,":4,'a',ala2[2]*(180/pi):6:3,'a');
writeln(lst,":2,'a',щене.
','a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a',":6,'a');
writeln (lst,":2,' -----');
writeln (lst,":2,'!Тип зачеп-а Vhl a Vh2 a Roal a Roa2 a Rohl a Roh2 a Val a
Va2a

```

```

E'a');
writeln (lst,":2,' | лення. Аа а а а а а а а а');
writeln (lst,":2,' -----');
writeln
(":2,'а', 'Нульове.',":3,'а',vhl[1]:6:2,'а',vh2[1]:6:3,'а',goal[1]:6:3,'а',roa2[1]:6:3,'а',
', rohl[1]:6:3, 'а',roh2[1]:6:3, 'а',va1[1]:6:3, 'а',va2[1]:6:3, 'а',eps[1]:6:3,'а');
writeln (lst,":2,' -----');
writeln (lst,":2, 'а', 'Неравнозмі-', 'а',vhl[2]:6:2, 'а',vh2[2]:6:3, 'а',roal[2]:6:3,
'а',roa2[2]:6:3,'а',
rohl[2]:6:3,'а',roh2[2]:6:3,'а',val[2]:6:3,'а',va2[2]:6:3,'а',eps[2]:6:3, 'а');
writeln (lst,":2;'і',щенне.
', 'а',":6,'а',":6,'а',":6,'а',":6,'а',":6,'а',":6,'а',":6,'а',":6,'а',":6,'а');
writeln(lst,":2,' -----');
writeln (lst,":2,'! Тип зачеп-а N1N2 а invalal а invala2 а invalw а');
writeln (lst,":2,'! лення. а а а а а');
writeln (lst,":2,' -----');
writeln
(lst,":2,'а', 'Нульове.',":3,'а',":7,nln2[1]:6:3,"":7,'а',":8,invalal[1]:5:3,"":7,'а',":2,inval
a2[1]:5:3,"":2,'а',
writeln (lst,":2,' -----');
writeln (lst,":2, 'а Неравнозмі-
а',":7,nln2[2]:6:3,"":7, 'а',":8,invalal[2]:5:3,"":7, 'а',":2,invala2[2]:5:3,"":2, 'а',
":1,invalw[2]:8:6,"":1, 'а');
writeln (lst,":2,'а щенне. а а а а а');
writeln (lst,":2,' -----');
writeln ('Вставте новий лист і натисніть ON LINE');
writeln ('А ПОТІМ НАТИСНІТЬ "ENTER".....');
reaeln(z);
writehi (lst,":6,' -----');
writeln (lst,":6,' а Контролюючі параметри а');
writeln (lst,":6,' -----');
writeln (lst,":6,' а nl а n2 а wl а w2 а Sc1 а Sc2 а hcl а hc2 а');
writeln (lst,":6," -----');
writeln (kt,":6,'
'а',":1 ,nl:1:0,"":2,'а',":1,n2:1:0,"":2,'а',wl [1]:6:3,'а',w2[1]:6:3,'а',scl
[1]:6:3,"":1,'а',
sc2[1]:6:3,"":1,'а',hcl[1]:6:3,'а',hc2[1]:6:3,'а');
writeln (lst,":6,' -----');
writeln (lst,":6,'
'а',":1,nl:1:0,"":2,'а',":1,n2:1:0 ,":2,'а',wl [2]:6:3,'а',w2[2]:6:3,'а',scl
[2]:6:3,"":1,'а', sc2[2]:6:3,"":1,'а',hcl[2]:6:3,'а',hc2[2]:6:3,'а');
writeln (lst,":6,' -----');
writeln (1st,' ')

```

```

x1:=x11;x2:=x22;
fori:=1 to 2 do begin
  if i=1 then writeln(lst,":29,Тип зачеплення: нульове.')
    else writeln(lst,":29,Тип зачеплення: неравнозміщене. ');
  if sa l[i]>=0.4*m then write (lst,":2,'Зуб колеса 1 не загострений')
    else write (lst,":2,'Зуб колеса 1 загострений');
  if sa2[i]>=0.4*m then writehi (lst,":2,'Зуб колеса 2 не загострений')
    else writehi (lst,":2,'Зуб колеса 2 загострений');
  lub:=0.5*z1*sin(alw[i])*sin(alw[i]);
  if ha-x 1 <=lub then write (lst,":2,'Зуб колеса 1 не підрізаний')
    else write (lst,":2,'Зуб колеса 1 підрізаний');
  lub 1 :=0.5*z2*sin(alw[i])*sin(alw[i]);
  if ha-x2<=lub1 then writehi (lst,":2,'Зуб колеса 2 не підрізаний')
    else writeln (lst,":2,'Зуб колеса 2 підрізаний');
  lub2:=m*(0.5*z1*sin(al)-(ha-x1)/sin(al));
  if roh l[i]>=lub2
    then writeln ('lst,":2,'Ітерференція між зубцями колеса 2 і викружками',
'зубців колеса 1 ВІДСУТНЯ')
    else writeln ('lst,":2,'Ітерференція між зубцями колеса 2 і викружками',
'зубців колеса 1 Є');
    then writeln ('lst,":2,'Ітерференція між зубцями колеса 1 і викружками',
    else writeln ('lst,":2,'Ітерференція між зубцями колеса 1 і викружками',
'зубців колеса 2 Є');
      x1:=x111;x2:=x222
    end;
END.

```

2.3. Інструкція для роботи з програмою TMM_.EXE

Для роботи з програмою необхідно відкрити файл TMM_.EXE і натиснути ENTER. Програма завантажиться в оперативну пам'ять комп'ютера і почне своє виконання.

Робота з програмою TMM_.EXE.

На екрані заставка – натиснути ENTER. Перейти на російський клавішею правий/лівий SHIFT (жовта рамка) або правим CTRL+SHIFT (фіолетова рамка).

На екрані з'явиться меню, що складається із 5 рядків:

- перегляд результатів;
- розрахунок;
- введення даних;
- друк;
- вихід;

Вибрати пункт «Введення даних»- натиснути ENTER. У вікні «Введення даних» ввести:

- прізвище - ENTER;
- групу - ENTER;
- значення модулю зачеплення (m,мм) - ENTER;
- значення числа зубців 1-го колеса (z_1) - ENTER;
- значення числа зубців 2-го колеса (z_2) – ENTER;

На екрані - діалогове вікно «Дані правильні» «Так» - ENTER, якщо «ні»- ESC. Вибрати стрілками (вверх-вниз) неправильне значення, клавіша ENTER очищає поле для введення нового значення. Набрати нове значення і знову ENTER. Якщо більше коректувати не треба, натиснути ESC .

Тепер "Данные верны?"-"Да"- ENTER.

Стрілками (вверх-вниз) вибрати пункт «розрахунок» - ENTER на екрані повідомлення «чекайте, іде розрахунок».

Після розрахунку вибрати пункт «Перегляд результатів» - ENTER На екрані чисте вікно «Перегляд результатів»- стрілку (вниз), у вікні з'являться результати розрахунку. Стрілка (вниз) - перелистувати вперед, стрілки направо/наліво переміщення таблиці з результатами направо/наліво, ЕХС- вихід із перегляду і повернення в меню.

Перейти до друку. Вибрати стрілкою пункт “Друк” і Enter.

На екрані меню для друку:

- друк титульного листа;
- друк результатів;
- вихід.

Курсор стоїть на першому пункті меню, натиснути Enter. Появляється діалогове віконце із запитом про готовність друкарського приладу. Підготувати принтер: заправити папір, ввімкнути його готовність (кнопка ON LINE на принтері) і натиснути ENTER. На принтері розпечатається титульний лист і знову на екрані меню.

Вибрати другий пункт “Друк результатів” - ENTER. Знову запит на готовність принтера, заправити новий лист папіру - ENTER. Виводиться перший лист з результатами. На екрані повідомлення про друк. Після закінчення друку першого листа з результатами натиснути на ENTER. На екрані запит на готовність принтера, заправити новий лист папіру, натиснути на Enter. Виводиться другий лист з результатами. На екрані повідомлення про друк. Після закінчення друку другого листа з результатами натиснути на ENTER.

Після друку – повернення в меню друку. Вихід із меню друку через третій рядок – “Вихід” ENTER.

Повертаємось в основне меню: Знову перевести курсор на “Вихід” - ENTER.. Кінець програм.

2.4 Приклад розрахунку.

Прізвище:

Група:

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

Вхідні данні

ha*	c*	al	e	m	z1	z2	x1	x2
1	0.25	0.349	0.0000	5.0	12	27	0.000	0.000
1	0.25	0.349	0.0000	5.0	12	27	0.572	0.481

Геометричні параметри колес і зачеплення

Тип зачеплення	P	Pb	r1	r2	rb1	rb2	alw	rw1	rw2
Нульове	15,708	14,761	30,000	67,500	28,191	63,429	20,000	30,000	67,500
Нерівноміщене	15,708	14,761	30,000	67,500	28,191	63,429	26,144	31,404	70,658

Тип зачеплення	aw	Pw	rf1	rf2	h	ra1	ra2	S1	S2
Нульове	97,500	15,708	23,750	61,250	11,250	35,000	72,500	7,854	7,854
Нерівноміщене	102,06	16,443	26,610	63,655	10,547	37,157	74,202	9,936	9,605
Тип зачеплення	Sw1	Sw2	Sb1	Sb2	Sa1	Sa2	ala1	ala2	
Нульове	7,854	7,854	8,221	9,271	3,104	3,638	36,346	28,969	
Нерівноміщене	9,166	7,277	10,177	10,916	2,330	3,649	40,651	31,260	
Тип зачеплення	Vh1	Vh2	Roal	Roa2	Roh1	Roh2	Va1	Va2	E
Нульове	9,83	-2,703	20,743	35,114	-1,767	12,604	0,730	1,113	1,525
Нерівноміщене	-1,65	-1,623	24,206	38,505	6,466	20,766	0,619	0,622	1,202
Тип зачеплення	N1N2		invala1		invala2			invalaw	
Нульове	33,347		0,101		0,048			0,014905	
Нерівноміщене	44,971		0,149		0,061			0,034560	

 Контролюючі параметри

n1	n2	W1	w2	Sc1	Sc2	hc1	hc2
1	3	22.981	53.553	6.935	6.935	3.378	3.738
1	3	24.938	55.298	8.774	8.481	5.560	5.158

Тип зачеплення: нульове.

Зуб колеса 1 не загострений Зуб колеса 2 не загострений

Зуб колеса 1 підрізаний Зуб колеса 2 не підрізаний

Інтерференція між зубцями колеса 2 і викривками зубців колеса 1 ВІДСУТНЯ.

Інтерференція між зубцями колеса 1 і викривками зубців колеса 2 ВІДСУТНЯ

Тип зачеплення: неравнозміщене.

Зуб колеса 1 не загострений Зуб колеса 2 не загострений

Зуб колеса 1 не підрізаний Зуб колеса 2 не підрізаний

Інтерференція між зубцями колеса 2 і викривками зубців колеса 1 ВІДСУТНЯ.

Інтерференція між зубцями колеса 1 і викривками зубців колеса 2 ВІДСУТНЯ

3. Креслення елементів зубчатого зачеплення

Нерівнозміщене зачеплення будується за таким масштабом, щоб висота зуба на кресленні дорівнювала 40-50мм. Бажано, щоб вибраний масштаб був стандартним. З урахуванням прийнятого масштабу складається таблиця геометричних параметрів зачеплення.

Таблиця 3.1- Значення геометричних параметрів зачеплення

Геом. параметр	r_1	r_2	r_{b1}	r_{b2}	r_{w1}	r_{w2}	a_w	r_{a1}	r_{a2}	r_{f1}	r_{f2}	h	p	S_1	S_2
Дійсне значення, мм															
На кресленні, мм															

Побудова евольвентних профілів зубів виконується в такій послідовності (рис.3.1).

Проводимо лінію центрів, на якій відкладаємо міжосьову відстань a_w . Проводимо початкові окружності радіусами r_{w1} і r_{w2} , які торкаються в полюсі зачеплення P , основні окружності радіусами r_{b1} і r_{b2} та лінію зачеплення, дотичну до основних окружностей, яка при правильній графічній побудові повинна пройти через полюс P . Проводимо перпендикуляри O_1N_1 і O_2N_2 з центрів O_1 і O_2 на лінію зачеплення. Контролюємо кут зачеплення: $\angle O_1N_1P = \angle O_2N_2P = \alpha_w$.

Будуємо евольвенти двох зубчастих коліс, що дотинаються в полюсі P .

Для побудови евольвентного профілю зуба першого колеса відрізок теоретичної лінії зачеплення N_1P ділимо на рівні частини (в нашому випадку на 4). Ці відрізки відкладаємо по основній окружності першого колеса вправо і вліво від точки N_1 . Отримаємо точки **0,1,2,3,4,5,6,7**. Через ці точки, крім **0**, проводимо дотичні до основної окружності. На дотичній, що проведена через точку **1**, відкладаємо один відрізок, рівний $\frac{1}{4}N_1P$, на дотичній, що проведена через точку **2**, відкладаємо два відрізка,

рівних $\frac{1}{4}N_1P$ і т.д. Виконавши аналогічні побудови на кожній з дотичних, отримаємо ряд точок. Крива, проведена через ці точки, є евольвентою зуба першого колеса, яка проходить через полюс **P**.

Таким же способом будується евольвентний профіль зуба другого колеса, для чого використовується відрізок **PN₂**, який треба розділити на 6-8 рівних частин, так як $z_2 > z_1$ і $(PN_2) > (PN_1)$. Проводимо окружності вершин радіусами r_{a_1} та r_{a_2} , та окружності впадин радіусами r_{f_1} і r_{f_2} . Контролюємо висоту зуба **h**. Якщо $r_f < r_b$, то профіль ніжки зуба від основної окружності до окружності впадин окреслюється по радіальній прямій, що з'єднує початок евольвенти з центром колеса. Основа зуба кожного колеса сполучується з окружністю впадин радіусом $\rho = 0,25m$.

Проводимо ділильні окружності радіусами **r₁** і **r₂**. Від кожної евольвенти відкладаємо по ділильній окружності $\frac{S}{2}$ і проводимо радіальну пряму – вісь симетрії зуба. По законам симетрії та за допомогою шаблона або лекала будуємо симетричний профіль зуба кожного колеса.

Для побудови осей симетрії сусідніх зубів використовуємо шаг по ділильній окружності **p**: відрізок, рівний $\frac{p}{8}$ відкладаємо від осі симетрії зуба 8 раз по ділильній окружності і через отриману точку проводимо радіальну пряму – вісь симетрії сусіднього зуба, будуємо 5-6 зубів на кожному колесі.

На кресленні проставляються обчислені значення параметрів: **p**, **r**, **r_w**, **r_b**, **r_a**, **r_f**, α_w . Визначається активна частина лінії зачеплення **AB** (довжина зачеплення). Точки **A** і **B** – це точки перетину теоретичної лінії зачеплення **N₁N₂** з окружностями вершин.

Будуються робочі ділянки профілів зубів, для визначення яких з центра кожного колеса проводяться до евольвент дуги окружностей радіусами **O₁A** та **O₁B** – для першого колеса, і **O₂A** та **O₂B** – для другого колеса.

На активній частині лінії зачеплення **AB** будуються зони двохпарного та однопарного зачеплення.

На теоретичній лінії зачеплення, яка виноситься, як показано на рис.3.1, будуються графіки коефіцієнтів питомих ковзань обчислених за таблицею 3.2.

Таблиця 3.2 – Значення коефіцієнтів питомих ковзань

Величина	Положення										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{\rho_2}{\rho_1}$	0	$\frac{1}{9}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{4}{6}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{6}{4}$	$\frac{7}{3}$	$\frac{8}{2}$	$\frac{9}{1}$	∞
$\frac{\rho_2 z_1}{\rho_1 z_2}$	0										∞
$v_1 = 1 - \frac{\rho_2 z_1}{\rho_1 z_2}$	1										$-\infty$
$\frac{\rho_1}{\rho_2}$	∞	$\frac{9}{1}$	$\frac{8}{2}$	$\frac{7}{3}$	$\frac{6}{4}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{4}{6}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{1}{9}$	0
$\frac{\rho_1 z_2}{\rho_2 z_1}$	∞										0
$v_2 = 1 - \frac{\rho_1 z_2}{\rho_2 z_1}$	$-\infty$										1

Для контролю правильності побудови порівнюємо параметри, отримані обчисленням та кресленням.

Таблиця 3.3- Параметри, визначені аналітично та графічно

Параметр	S_{w_1}	S_{w_2}	S_{b_1}	S_{b_2}	S_{a_1}	S_{a_2}	ϵ	\bar{S}_{c_1}	\bar{h}_{c_1}	\bar{S}_{c_2}	\bar{h}_{c_2}	w_1	w_2	v_{H_1}	v_{a_2}	v_{H_2}	v_{a_1}
Обчислені значення																	
Накреслені																	

Контрольні питання

1. Покажіть на кресленні та назовіть усі зображені окружності та дайте їх визначення.
2. Виведіть формулу товщини зуба по ділильній окружності.
3. Покажіть лінію зачеплення, довжину зачеплення, зони одно - та двохпарного зачеплення. Поясніть, що називається коефіцієнтом перекриття і який його зв'язок з активною частиною лінії зачеплення та побудованими зонами.
4. Покажіть радіуси кривизни евольвент на початку зачеплення, в полюсі та в кінцевій точці контакту.
5. Знайдіть на профілі зуба зони однопарного та двохпарного зачеплення.
6. Знайдіть на профілі зуба другого (першого) колеса точку контакту з заданою точкою першого (другого) колеса.
7. Які зміщення кожного з коліс, а також пари, вживані у Вашому проекті ? Які параметри коліс та зачеплення як змінюються у порівнянні з нульовим зачепленням ?
8. Яке зачеплення називається щільним ?
9. Що таке вихідний контур та які його параметри ? Що таке коефіцієнт зміщення ?
10. У якому випадку зуб підрізується інструментальною рейкою ?
11. Виведіть формулу умови відсутності підрізування. Яка властивість евольвенти при цьому використовується ?
12. Поясніть зміст величини та знаку коефіцієнта питомих ковзань.

ЗМІСТ

Вступ.....	2
1.Геометричний розрахунок циліндричної зубчастої передачі.....	3
1.1.Загальні положення.....	3
1.2. Порядок розрахунку геометричних параметрів зачеплення.....	3
1.3.Перевірка якості зубців.....	9
1.4. Перевірка якості зачеплення.....	10
1.5 Обчислення контрольних розмірів які проставляються на кресленні.....	12
2. Розробка алгоритму і програми геометричного розрахунку зачеплення на мові TURBO-PASKAL.....	12
2.1. Опис алгоритму геометричного розрахунку прямозубого евольвентного зачеплення на ПК.....	12
2.2. Програма розрахунку геометрії зачеплення прямозубих евольвентних коліс.....	15
2.3. Інструкція для роботи з програмою ТММ.EXE.....	22
2.4. Результати розрахунку.....	24
3. Креслення елементів зубчатого зачеплення.....	26

ЛІТЕРАТУРА

1. Кореняко А.С. и др. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин. -Киев: Высшая школа,1970. – 329 с.
2. Методичні вказівки до оформлення курсових проектів (робіт). - Донецьк: ДонДТУ, 2000 – 14с.
3. Довгаль С.І., Литвинов Б.Ю., Сбитнев О.І. Персональные ЭВМ, Турбо Паскаль 6.0, объектное программирование, локальные сети. - Киев: Информсистема сервис, 1993 – 426 с.

Автори:

Гордієнко Емілія Леонідівна - ст. викладач ДонНТУ

Кучер Валентина Семенівна - кандидат технічних наук, доцент ДАК

Мазуренко Валерій Васильович - кандидат технічних наук, доцент ДонНТУ

Підготувала до видання українською мовою

Е. Л. Гордієнко.