

Заняття 1

1. Назва теми: Розрахунок конічної зубчастої передачі.

2. Основні терміни: кут ділильного конуса δ ; зовнішній ділильний діаметр d_e ; середній ділильний діаметр d ; зовнішній коловий модуль m_e ; ширина зубчастого вінця.

3. Основні поняття:

- Зубчасту передачу з осями, що перетинаються, і у якій початкові і ділильні поверхні коліс конічні, називають конічною.
- Зовнішній коловий модуль вибирають з стандартного ряду. Цей модуль називають виробничим і за його значенням визначають всі геометричні параметри зубчастих коліс.

4. Матеріал заняття.

Завдання на практичну роботу №5

Тема: Розрахунок геометричних параметрів конічної прямозубої передачі.

Мета: Отримати навички у розрахунках геометричних параметрів та узгодження їх з стандартом та рядом нормальних лінійних розмірів.

Задача

Конічна прямозуба передача з передаточним числом u створює обертовий момент на вихідному валу передачі T_2 , Н·м..

Визначити основні геометричні параметри шестерні та колеса, якщо матеріал колеса має допустимі контактні напруження $[\sigma]_{H2}$ МПа, а допустимі напруження згину $[\sigma]_{F2}$ МПа.

Вихідні данні для розрахунку.

Варіант	u	T_2 , Н·м	$[\sigma]_{H2}$ МПа	$[\sigma]_{F2}$ МПа	Варіант	u	T_2 , Н·м	$[\sigma]_{H2}$ МПа	$[\sigma]_{F2}$ МПа
1	2	125	514	256	20	5	160	580	294
2	2,24	95	580	294	21	5,6	170	650	310
3	2,5	80	650	310	22	6,3	380	514	256
4	2,8	120	514	256	23	2	450	580	294
5	3,15	64	580	294	24	2,24	420	650	310
6	3,55	150	650	310	25	2,5	500	514	256
7	4	180	514	256	26	2,8	520	580	294
8	4,5	220	580	294	27	3,15	550	650	310
9	5	230	650	310	28	3,55	600	514	256
10	5,6	160	514	256	29	4	620	580	294
11	6,3	190	580	294	30	4,5	550	650	310
12	2	135	650	310	31	5	200	514	256
13	2,24	180	514	256	32	5,6	250	580	294
14	2,5	210	580	294					
15	2,8	250	650	310					
16	3,15	300	514	256					
17	3,55	280	580	294					
18	4	320	650	310					
19	4,5	140	514	256					

Послідовність розрахунку:

1. Визначити зовнішній ділительний діаметр колеса d_2

$$d_{e2} = 165 \cdot \sqrt[3]{\frac{u \cdot T_2 \cdot 10^3}{\vartheta_H [\sigma]_H^2}} K_{H\beta}, \text{ мм}$$

де $K_{H\beta}=1$ – колеса припрацьовуються;

$\vartheta_H=1$ – коефіцієнт виду конічних коліс;

T_2 , Н·м;

$[\sigma]_{H2}$ МПа.

Отримане значення округлити до найближчого числа по таблиці 1 (додаток).

2. Визначити кути ділительних конусів шестерні δ_1 і колеса δ_2

$$\delta_2 = \arctg(u);$$

$$\delta_1 = 90^\circ - \delta_2$$

3. Визначити зовнішню конусну відстань R_e

$$R_e = \frac{d_e}{2 \cdot \sin \delta_2}, \text{ мм}$$

Отримане значення до цілого числа не округляти.

4. Визначити ширину зубчастого вінця шестерні та колеса

$$b = \psi_R \cdot R_e, \text{ мм}$$

де $\psi_R=0,285$ – коефіцієнт ширини вінця.

Отримане значення округлити до цілого по ряду R_{a40} таблиця 1 (додаток).

5. Визначити зовнішній окружний модуль m_e

$$m_e = \frac{14 \cdot T_2 \cdot 10^3}{\vartheta_F \cdot d_{e2} \cdot b \cdot [\sigma]_F} K_{F\beta}, \text{ мм}$$

де $K_{F\beta}=1$ – коефіцієнт, що враховує розподілення навантаження по ширині вінця;

$\vartheta_F=0,85$ – коефіцієнт виду конічних коліс;

T_2 , Н·м;

$[\sigma]_{H2}$ МПа.

Отримане значення модуля з точністю до двох знаків після коми. Не округлювати до стандартного.

6. Визначити число зубів колеса z_2 і шестерні z_1

$$z_2 = \frac{d_{e2}}{m_e}; \quad z_1 = \frac{z_2}{u}$$

Отримане значення z_2 і z_1 округлити до найближчого цілого числа. З умови зменшення шуму і відсутності підрізання зубів рекомендується прийняти

$$z_1 \geq 18$$

7. Визначити фактичне передаточне число і перевірити його відхилення від заданого

$$u_\phi = \frac{z_2}{z_1}; \quad \Delta u_\phi = \frac{|u_\phi - u|}{u} \cdot 100\% \leq 4\%$$

При невиконанні умови потрібно змінити z_2 і z_1

8. Визначити дійсні кути ділительних конусів шестерні δ_1 і колеса δ_2

$$\delta_2 = \arctg(u_\phi);$$
$$\delta_1 = 90^\circ - \delta_2$$

9. Визначити фактичні ділительні діаметри шестерні d_{e1} і колеса d_{e2}

$$d_{e1} = m_e z_1$$
$$d_{e2} = m_e z_2$$

Точність обчислень до 0,01 мм

10. Визначити середні ділительні діаметри шестерні d_1 і колеса d_2

$$d_1 = 0,857 \cdot d_{e1}$$
$$d_2 = 0,857 \cdot d_{e2}$$

11. Визначити діаметри вершин зубів шестерні d_{ae1} і колеса d_{ae2}

$$d_{at1} = d_{e1} + 2m_e \cos \delta_1$$
$$d_{at2} = d_{e2} + 2m_e \cos \delta_2$$

12. Визначити діаметри западин зубів шестерні d_{fe1} і колеса d_{fe2}

$$d_{fe1} = d_{e1} - 2,4m_e \cos \delta_1$$
$$d_{fe2} = d_{e2} - 2,4m_e \cos \delta_2$$

5. Дати відповіді на питання:

1. Чому дорівнює висота голівки зубця?
2. Чому дорівнює висота ніжки зубця?

Додаток

Ряди			Ряди			Ряди		
R _Z 10	R _Z 20	R _Z 40	R _Z 10	R _Z 20	R _Z 40	R _Z 10	R _Z 20	R _Z 40
8,0	8,0	8,0	32	32	32	125	125	125
		8,5			34			130
	9,0	9,0		36	36		140	140
		9,5			38			150
10	10	10	40	40	40	160	160	160
		10,5			42			170
	11	11		45	45		180	180
		11,5			48			190
12	12	12	50	50	50	200	200	200
		13			53			210
	14	14		56	56		220	220
		15			60			240
16	16	16	63	63	63	250	250	250
		17			67			260
	18	18		71	71		280	280
		19			75			300
20	20	20	80	80	80	320	320	320
		21			85			340
	22	22		90	90		360	360
		24			95			380
25	25	25	100	100	100	400	400	400
		26			105			420
	28	28		110	110		450	450
		30			120			480

Заняття 2

1. Назва теми ПЕРЕДАЧА ГВИНТ-ГАЙКА

2. Основні терміни: передача; гвинт; гайка

3. Основні поняття: Передача гвинт - гайка призначена для перетворення обертального руху в поступальний, при цьому гайка і гвинт можуть мати або одне з названих рухів, або обидва рухи разом.

4. Зміст лекції

1. Гвинтові передачі: принцип роботи, будова, переваги, недоліки, область використання.

Запам'ятайте: Передача складається з двох основних деталей: ведуча ланка - гвинт і ведена ланка - гайка.

Запам'ятайте: *Конструктивно передача гвинт-гайка виконується:*

- обертальний рух гвинта та поступальний рух гайки;
- гвинт обертається і одночасно рухається поступально – гайка нерухома;
- обертальний рух гайки і поступальний рух гвинта;
- гвинт нерухомий – гайка обертається і рухається поступально.

Запам'ятайте: *Переваги:*

- 1 . Простота конструкції та виготовлення.
- 2 . Компактність при високій здатності навантаження .
- 3 . Висока надійність .
- 4 . Плавність і безшумність .
- 5 . Великий виграш в силі.
- 6 . Можливість забезпечення повільних переміщень з великою точністю.

Запам'ятайте: *Недоліки:*

- 1 . Підвищений знос різьби внаслідок великого тертя.
- 2 . Низький к. к. д.

Застосування :

- для створення великих зусиль (преси , домкрати , тиски і т. п.);
- для точних переміщень (механізми подачі верстатів, вимірювальні прилади, установчі та регулювальні пристрої) .

2. Передачі з тертям ковзання і тертям кочення

Запам'ятайте: Передачі гвинт-гайка за видом тертя поділяють на передачі – тертям ковзання і тертям кочення.

Передачі тертям ковзання

Гвинт має форму круглого циліндра з різьбою.

Запам'ятайте: В залежності від призначення передачі гвинти бувають: вантажні, ходові та установчі.

Вантажні гвинти

- при знакозмінному навантаженні мають трапецеїдальну різьбу,
- при великому однобічному навантаженні - упорну різьбу.

Гайки вантажних гвинтів суцільні.

В домкратах для великого виграшу в силі і забезпечення самогальмування застосовують однозаходну різьбу з малим кутом підйому.

Ходові гвинти

Застосовуються для переміщень в механізмах подачі. Для зменшення тертя мають переважно трапецеїдальну багатозаходну різьбу. Для усунення «мертвого» ходу через зношування різьби гайки ходових гвинтів виконують роз'ємними.

Установчі

Застосовуються для точних переміщень і регулювань. Мають метричну різьбу. Для забезпечення безлюфтової передачі гайки роблять здвоєними.

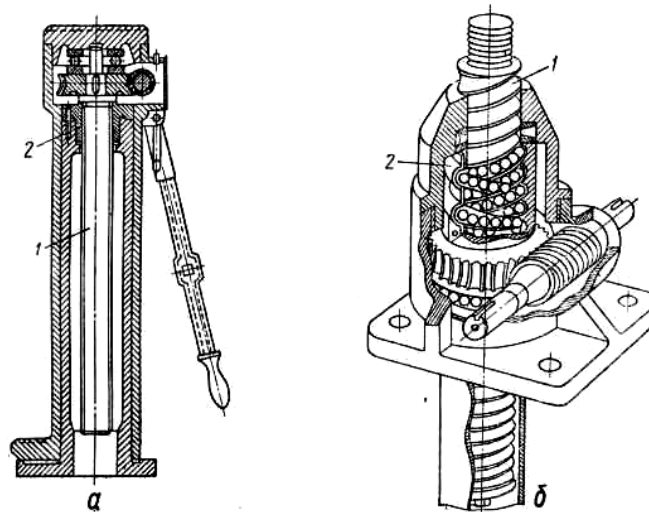


Рисунок 1. передачі гвинт-гайка : а – ковзання; б – кочення.

Передачі тертям кочення мають високий к.к.д., але складні за конструкцією і досить дорогі у виготовленні.

Використовують у відповідальних приводах високої точності. Контакт гвинта і гайки здійснюється через тіла кочення – кульки або ролики. В таких передачах при обертанні гвинта кульки перекочуються по гвинтових рівцях на гвинті та у гайці і циркулюють по спеціальному обвідному каналу у гайці, повертаючись в робочу зону.

Використовують в механізмах рульового керування автомобіля.

3. ККД і передаточне число передачі.

ККД. В передачі гвинт-гайка втрати виникають в різьбі і в опорах. Запам'ятайте: Втрати в різьбі складають головну частину. Вони залежать від профілю різьби, кількості її заходів, матеріалу гвинтової пари, точності виготовлення і способу мащення.

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \lambda}{\operatorname{tg}(\lambda + \varphi)} \quad (1)$$

де λ - кут підйому різьби;

φ - зведений кут тертя.

Для випадку самогальмування: $\lambda \leq \varphi$

Передаточне число. В передачі гвинт - гайка обертання гвинта (або гайки) здійснюється за допомогою штурвала, зубчастого колеса, рукоятки тощо. Поняття передаточного числа в звичайному сенсі для передачі гвинт - гайка не існує, так як тут відбувається перетворення обертового руху в поступальний, і навпаки. Умовне передаточне число - так, назовемо відношення переміщення штурвала $\Delta_{ш}$ до переміщення гайки $\Delta_{г}$, тобто

$$i = \frac{\Delta_{ш}}{\Delta_{г}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{S_1} \quad (2)$$

де R - радіус штурвала (зубчастого колеса) або довжина рукоятки ;

S_1 - хід різьби .

У передачі гвинт - гайка передаточне число i велике, тому, i великий виграш у силі.

4. Види руйнувань передачі.

Запам'ятайте:

Основною причиною виходу з ладу гвинтів і гайок є великий знос їх різьби. Тому при визначенні розмірів передачі виходять з розрахунку на зносостійкість різьблення за допустимим тиском $[p]$ з наступною перевіркою гвинта на міцність. Втрата стійкості довгих стислих гвинтів може бути також причиною руйнування передачі .

5. Матеріали гвинтової пари.

Запам'ятайте: Матеріали гвинта і гайки повинні представляти антифрикційні пару, тобто бути зносостійкими і мати невисокий коефіцієнт тертя. Вибір марки матеріалу залежить від призначення передачі, умов роботи і способу обробки різьби .

Для гвинтів рекомендуються сталі Ст. 5, 45, 50 , 40Х , 40ХГ та ін. У відповідальних передачах для підвищення зносостійкості застосовують загартування гвинтів з наступним шліфуванням різьби .

Гайки відповідальних передач виготовляють з олов'яних бронз Бр. ОФ 10-1, Бр. ОЦС 6-6-3 та ін, а в тихохідних передачах - з антифрикційних чавунів АВЧ - 1, АСЧ - 3 та ін.

6. Проектний і перевірний розрахунок передачі з тертям ковзання.

Запам'ятайте: Основним критерієм працездатності передачі є зносостійкість, яка оцінюється за величиною середнього тиску p між витками різьби гвинта і гайки. Розрахунок передачі ведуть з умови зносостійкості, припускаючи, що навантаження по витках різьби розподіляється рівномірно:

$$p_c = \frac{F_a}{\pi \cdot d_2 \cdot h \cdot z} \leq [p_c] \quad (3)$$

де F_a - осьова сила;

d_2 - середній діаметр різьби;

h - робоча висота профілю;

z - число витків в гайці

Допустимий тиск в різьбі приймається згідно таблиць.

Формула проектного розрахунку для визначення середнього діаметра

різьби:

$$d_2 = \sqrt{\frac{2F_a}{\pi \cdot \psi \cdot [p_c]}} \quad (4)$$

де ψ - коефіцієнт висоти гайки.

Запам'ятайте: Після визначення середнього діаметра різьби всі інші параметри різьби приймаються з стандарту.

Для довгих стиснутих гвинтів додатково проводять розрахунок на стійкість.

7. Допустимі напруження.

Для матеріалів передачі гвинт - гайка рекомендуються :

1 . Допустиме напруження $[\sigma]$ на розтягнення або стиснення сталевих гвинтів за формулою:

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_T}{[n_T]} \quad (5)$$

де $[n_T] = 3$ - коефіцієнт запасу міцності;

σ_T – границя текучості.

2 . Допустимі напруження для матеріалу гайки:

на зминання бронзи або чавуну по чавуну або сталі $[\sigma]_{cm} = 42 \dots 55$ МПа

на розтяг: для бронзи $[\sigma]_p = 34 \dots 42$ МПа, для чавуну $[\sigma]_p = 20 \dots 24$ МПа

3 . Допустимий тиск в різьбі: сталь по чавуну $[p] = 5 \dots 6$ МПа,

сталь по бронзі $[p] = 8 \dots 10$ МПа,

загартована сталь по бронзі $[p] = 10 \dots 12$ МПа

Для гвинтів домкратів, тобто порівняно рідко працюючих механізмів, значення $[p]$ підвищують на 30...40 %.

5. Закріплення головного

Чи засвоїли Ви :

1. Як поділяють передачі гвинт- гайка за видом тертя ?
2. Що є основною причиною виходу з ладу гвинтів і гайок?
3. Який основний критерій працездатності передачі?
4. Який параметр передачі визначається при проектному розрахунку?

6. Відповіді:

- Передачі гвинт-гайка за видом тертя поділяють на передачі – тертям ковзання і тертям кочення.

- Основною причиною виходу з ладу гвинтів і гайок є великий знос їх різьби.

- Основним критерієм працездатності передачі є зносостійкість, яка оцінюється за величиною середнього тиску p між витками різьби гвинта і гайки.

- При проектному розрахунку виходячи з умови зносостійкості, визначають середній діаметр різьби. Після визначення середнього діаметра різьби всі інші параметри різьби приймаються з стандарту.

7. Дайте відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання:

1. Які чотири випадки комбінації руху гвинта і гайки можливі в передачі гвинт - гайка?
2. Вкажіть, які різьби застосовують для вантажних гвинтів, і дайте їх характеристику?
3. Що впливає на величину к.к.д. передачі гвинт - гайка?
4. Яка умова самогальмування в гвинтовій парі?

Заняття 3

1. Назва теми: Проектний розрахунок передачі гвинт-гайка з тертям ковзання.

2. Основні терміни: передача гвинт-гайка, зносостійкість; середній діаметр різьби; крок різьби.

3. Основні поняття: Основним критерієм працездатності передачі є зносостійкість, яка оцінюється за величиною середнього тиску p між витками різьби гвинта і гайки. Розрахунок передачі ведуть з умови зносостійкості, припускаючи, що навантаження по витках різьби розподіляється рівномірно.

4. Матеріал заняття

Завдання на практичну роботу № 6

Тема: Проектний розрахунок передачі гвинт-гайка з тертям ковзання.

Мета: Отримати навички виконання проектного розрахунку передачі гвинт – гайка.

Задача 1 (для варіантів 1-15)

Провести розрахунок гвинтової пари домкрата вантажопідйомністю F . Матеріал гвинта - сталь 45 нормалізована, матеріал гайки – бронза БрАЖ9 –4. Різьба трапецеїдальна, однозаходна з коефіцієнтом робочої висоти профілю $\xi=0,5$. Гайка суцільна з коефіцієнтом висоти $\psi_H = 1,8$. Дані для свого варіанту взяти з таблиці 1.

Таблиця 1.

Дані для розрахунку	Варіанти														
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
F , кН	40	50	55	60	65	70	75	80	85	35	30	45	90	25	20

Задача 2 (для варіантів 16-30)

Провести розрахунок гвинтової пари ручного преса на осьову силу F . Матеріал гвинта - сталь 5 (з границею текучості $\sigma_T = 270$ МПа), матеріал гайки – сірий чавун СЧ21-40. Різьба трапецеїдальна, однозаходна з коефіцієнтом робочої висоти профілю $\xi=0,5$. Гайка суцільна з коефіцієнтом висоти $\psi_H = 2$. Коефіцієнт тертя в різьбі прийняти $f=0,12$. Дані для свого варіанту взяти з таблиці 2.

Таблиця 2.

Дані для розрахунку	Варіанти														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
F , кН	15	20	25	30	35	40	45	18	22	27	50	60	55	10	12

Послідовність розрахунку:

1. Вибрати допустимі напруження на розтяг:

для гвинта $[\sigma]_p = \sigma_T / [S_T]$. Прийняти: коефіцієнт запасу міцності $[S_T] = 3$;
для сталі 45 $\sigma_T = 480$ МПа

для бронзи в межах $[\sigma]_p = 34 \dots 44$ МПа

2. Вибрати допустимі напруження на зминання бронзи в межах $[\sigma]_{3M} = 42 \dots 55$ МПа.

3. Вибрати допустимий тиск в різьбі:

сталь по чавуну $[p]_{3H} = 5 \dots 6$ МПа;

сталь по бронзі $[p]_{3H} = 8 \dots 10$ МПа;

загартована сталь по бронзі $[p]_{3H} = 10 \dots 12$ МПа.

4. Визначити середній діаметр різьби з умови зносостійкості гвинтової пари

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{F}{\pi \psi_H \xi [P]_{3H}}}$$

де $[p]_{3H}$ - допустимий тиск в різьбі, МПа;

F - осьова сила, Н;

d_2 – мм.

5. По ДСТ 9484 – 81 прийняти стандартні параметри різьби: d, d_1 , d_2 і крок різьби p

Таблиця 3. Різьба трапецеїдальна по ДСТ 9484 – 81 (витяг)

Розміри в мм

Зовнішній діаметр d	Крок різьби p	Середній діаметр d_2	Внутрішній діаметр d_1
32	3	30,5	28,5
	6	29	25
	10	27	21
40	3	38,5	36,5
	6	37	33
	10	35	29
50	3	48,5	46,5
	8	46	41
	12	44	37
60	3	58,5	56,5
	8	56	51
	12	54	47

6. Визначити кут підйому однозаходної різьби:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{p}{\pi d_2}$$

Знайти кут γ в градусах і хвилинах.

7. Визначити зведений кут тертя $\rho^1 = \operatorname{arctg}(f/\cos 15^\circ)$.
Значення коефіцієнта тертя f прийняти з таблиці 4

Таблиця 4. Значення коефіцієнта тертя.

Матеріал	f
Сталь по сталі	0,04-0,05
Сталь по сталі або по чавуну, чавун по чавуну.....	0,15-0,18
Сталь по бронзі.....	0,08-0,10

8. Перевірити умову самогальмування гвинтової пари:

$$\gamma < \rho^1$$

9. Визначити висоту гайки:

$$H = \psi_H d_2$$

10. Визначити число витків різьби z в гайці:

$$z = H/p$$

Якщо число витків отримано $z > 10$, то необхідно прийняти різьбу з іншими розмірами і повторити розрахунки.

11. Визначити розрахункову силу $F_{\text{роз}}$:

$$F_{\text{роз}} = 1,3F$$

12. Визначити зовнішній діаметр гайки D з умови міцності її тіла на розтяг і кручення:

$$D \geq \sqrt{\frac{4F_{\text{роз}}}{\pi[\sigma_p]} + d^2}$$

де $[\sigma]_p$ - в МПа,

d, D - в мм

Отримане значення D округлити до цілого числа.

13. Визначити діаметр буртика гайки D_1 з умови міцності на зминання:

$$D_1 \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi[\sigma_{3M}]} + D^2}$$

14. Висоту буртика гайки прийняти $a=0,25 \cdot H$, мм

15. Визначити ККД гвинтової пари

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho^1)}$$

16. (Для задачі 1). Прийняти довжину гвинта домкрата (висоту підйому) в межах $L=(8 \dots 10)d$, де d – зовнішній діаметр гвинта.

Контрольні питання.

1. Назвіть основну причину виходу з ладу передачі гвинт-гайка.
2. Записати і пояснити формулу умови зносостійкості.
3. З яких матеріалів виготовляють гвинти і гайки силових передач?
4. Записати і пояснити умову самогальмування.