

ГЛАВА 11. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТОЧНОСТІ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

11.1 Види і параметри зубчастих передач

Сучасні машини, прилади, механізми переважно складаються з рушійних, передаючих та виконавчих механізмів.

В якості передач нарівні з іншими широко використовуються зубчасті передачі.

Вони є найбільш розповсюдженими в машинобудуванні.

Ці передачі відносяться до передач зачеплення і використовуються для передачі обертального руху між валами з паралельними осями та з осями, які перетинаються або перехрещуються, а також для перетворення обертального руху в поступальний (ДСТУ 3423-96).

Зубчаста передача між паралельними валами виконується циліндричними зубчастими колесами, основи зубів яких розташовані на поверхні прямого колового циліндра. Передача може бути з зовнішнім (рис. 11.1, а) та внутрішнім (рис. 11.1, б) зачепленням.

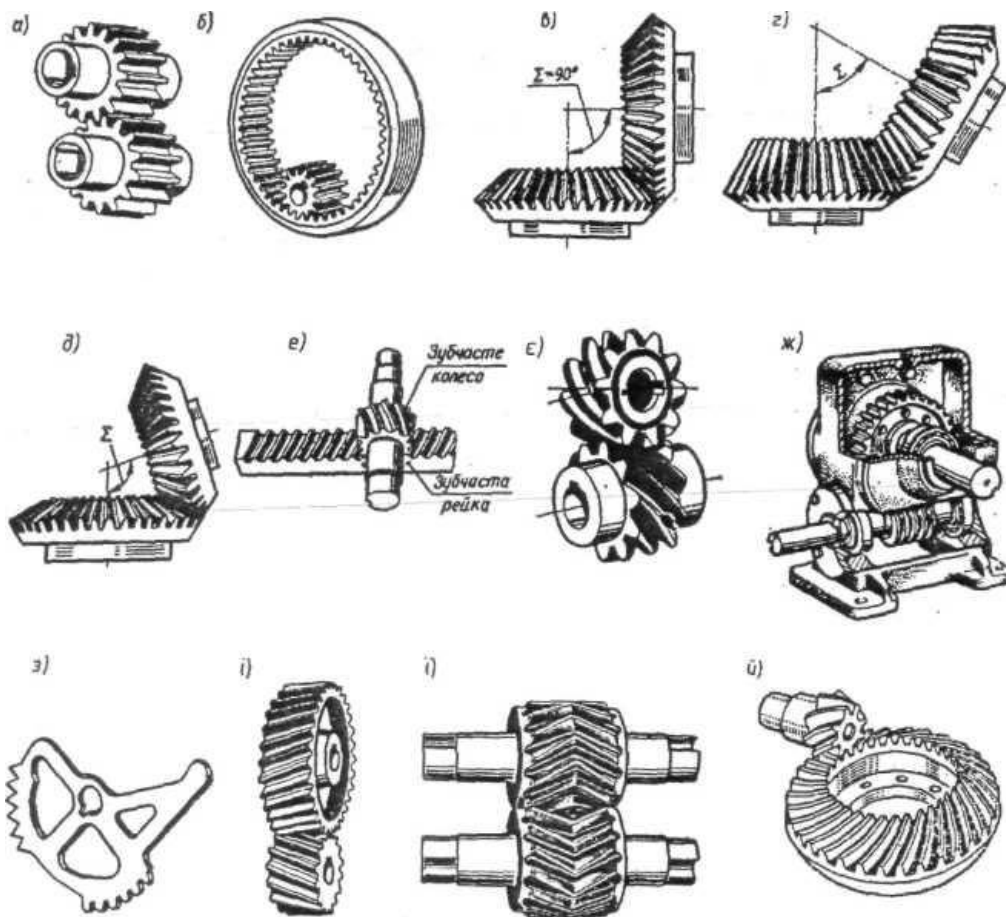


Рисунок 11.1
Типи зубчастих коліс

Якщо геометричні осі перетинаються, використовують конічні зубчасті колеса (рис. 11.1 в, г, д). Рейкова зубчаста передача використовується для перетворення обертального руху на поступальний (рис. 11.1, е).

Черв'ячна передача передає обертальний рух між валами, що перехрещуються. Вона складається з черв'яка (з трапецеїдальною різьбою) та черв'ячного колеса (рис. 11.1, ж).

Широке використання зубчастих передач обумовлює багатоваріантність конструктивних форм зубчастих коліс.

Якщо потрібно в механізмах виконання оберту лише на деякий кут, використовують зубчасті сектори (рис. 11.1, з) різноманітних форм і конструкцій. При потребі безшумної і плавної роботи зубчастої передачі використовують косозубі (рис. 11.1, і), шевронні колеса (рис. 11.1, ї) або колові (рис. 11.1, є, й).

Конічні зубчасті передачі також бувають з зубами різної форми. Наприклад, на рис 11.1, в, г, д показані передачі прямозубі, на рис. 11.1, є, й - з коловими зубами. Рейкові передачі також бувають прямозубими та косозубими.

Термінологія, визначення, позначення елементів зубчастих передач дані в ГОСТ 16530-83 та ГОСТ 16531-83, зображення коліс на кресленнях - ГОСТ 2.402-68, ГОСТ 2.403-75, ГОСТ 2.405-75.

Зубчасте колесо будь-якої зубчастої передачі, яке передає обертання другому (парному) колесу, називається ведучим, а друге - веденим. Колесо передачі з меншим числом зубів називається шестернею, а з більшим - колесом. Якщо число зубів пари коліс однакове, то шестернею називається те колесо, яке веде (ГОСТ 2330-93).

Передача, яка складається з однієї пари коліс називається одноступеневою, з декількох пар коліс - багатоступеневою.

Зуб шестерні або колеса є основним робочим елементом зачеплення. Розміри зуба та його елементи визначає ділильна поверхня, яка на кресленні представляє собою ділильну окружність з діаметром, що позначається d згідно з ГОСТ 16530-83 (рис. 11.2).

Співвісна поверхня, що відділяє зуби від тіла зубчастого колеса, називається поверхнею впадин, а з протилежного боку поверхня вершин (або виступів) зубів. Цим поверхням на кресленні відповідають окружності вершин зубів зубчастого колеса з діаметром d_a та впадин з діаметром d_f . По ділильній окружності відкладають:

- окружний ділильний крок зубів P_t , що дорівнює відстані між однойменними профілями сусідніх зубів по дузі ділильної окружності. Таких кроків можна відкласти стільки, скільки зубів z має колесо, тобто відрізки P_t ділять окружність на z рівних частин (звідси її назва - ділильна). Число зубів z та крок P_t - величини постійні для даного колеса, а ділильна окружність у кожного колеса єдина;

- окружну товщину зуба S_t та окружну ширину впадини e_t .

При розгляданні зачеплення пари коліс вводиться поняття "початкова окружність".

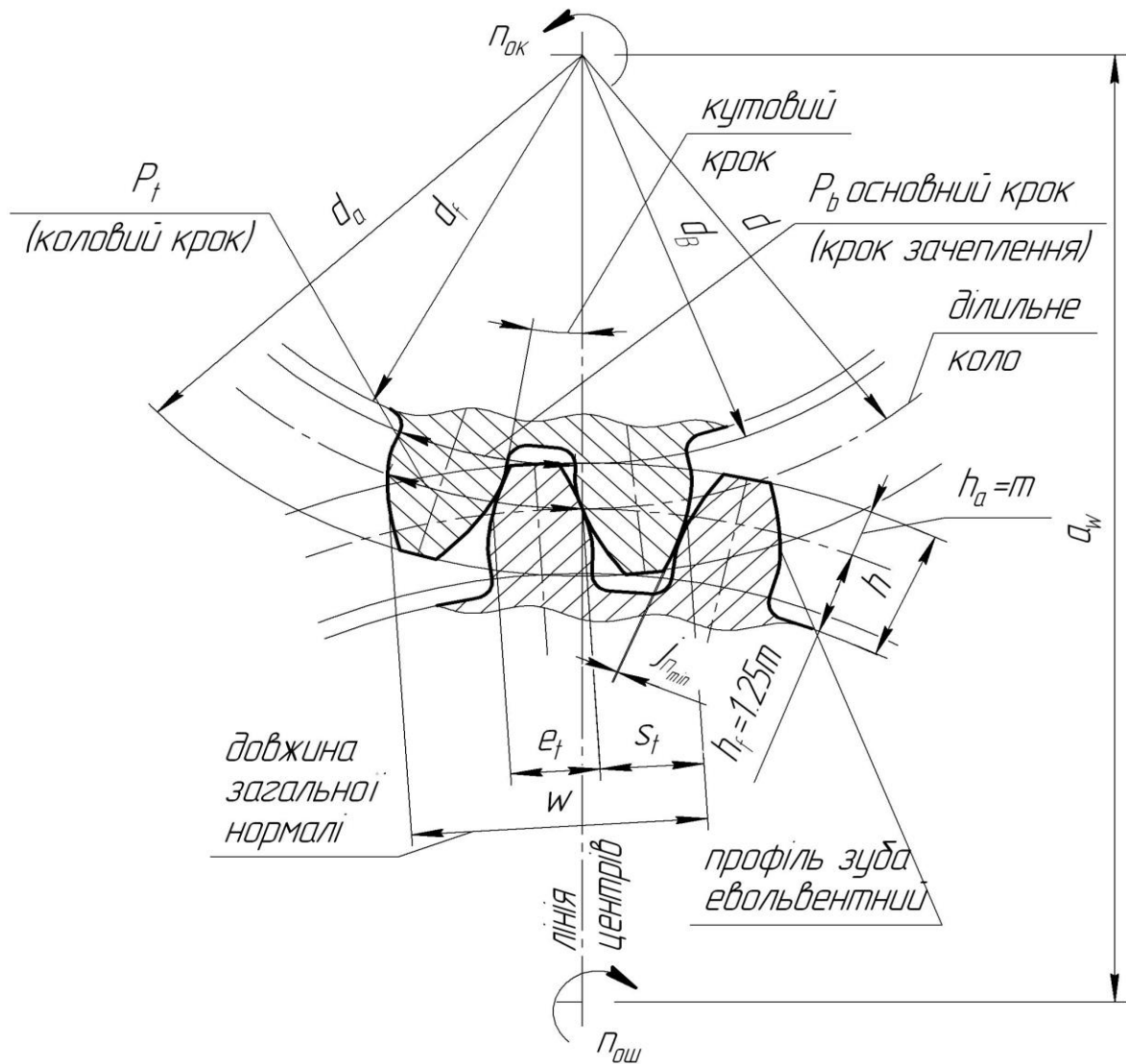


Рисунок 11.2

Параметри зубчастої передачі

Початкова окружність ділить зуб по його висоті h на дві нерівні частини: голівку з висотою h_a та на ніжку з висотою h_f .

$$h_a = \frac{d_a - d}{2} = m;$$

$$h_f = \frac{d - d_f}{2} = 1,25 \cdot m.$$

При монтажі зубчастої передачі абсолютно точно витримати міжосьову відстань a_w практично неможливо і тому ділильні окружності зачіплюваних коліс переважно не дотикаються одна до одної.

Тому різниця понять "ділильна окружність" та "початкова окружність" полягає в тому, що початкові окружності завжди дотикаються одна до одної в полюсі зачеплення передачі P , а ділильні можуть не дотикатись.

Якщо розглядається окреме колесо, то на кресленні вказують лише ділильну окружність; на складальному кресленні передачі вказують лише

початкові окружності коліс.

Основним розрахунковим параметром зубчастого зачеплення є модуль m .
З визначення:

$$m = \frac{P_t}{\pi}; \quad \pi \cdot d = P_t \cdot z; \quad d = m \cdot z.$$

Витікає два визначення модуля:

- модуль є відношення окружного кроку до π ;
- модуль є число міліметрів ділильного діаметру d , яке припадає на один зуб.

Числові значення модулів стандартизовані і мають два ряди значень (переважним є перший ряд) згідно з ГОСТ 9563-73.

Значення інших елементів колеса такі:

- повна висота зуба - h :

$$h = h_a + h_f = m + 1,25m = 2,25m;$$

(для коліс з $m = 1$ мм: $h = 2,3 - m$, $h_f = 1,3 - m$);

- коло вершин (виступів): $d_a = d + 2h_a$;
- коло впадин: $d_f = d - 2h_f$;
- товщина зуба: $S_t = 0,5P_t$;
- ширина впадини: $e_t = 0,5 + P_t$.

11.2 Точність і види спряжень зубчастих коліс

Похибки виготовлення і складання зубчастих передач викликають динамічні навантаження, шум, вібрації, нагрівання, концентрацію напружень на окремих частинах зубів, а також невідповідність кутів повороту обох коліс пари, що призводить до похибок відносного положення ланок і до помилок від мертвого ходу.

Призначаючи допуски на зубчасті передачі, найбільш розповсюджені в промисловості, та точність складальних операцій, потрібно враховувати:

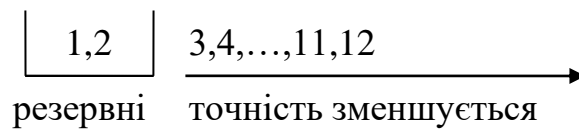
- забезпечення кінематичної точності, тобто відповідності кутів повороту обох коліс передачі;
- забезпечення плавності роботи, тобто обмеження циклічних похибок, які багаторазово повторюються за один оберт колеса (різкі місцеві зміни відхилень кутів обертання колеса);
- забезпечення контакту зубів, тобто такого прилягання зубів по довжині і по висоті, при якому навантаження від одного зуба до іншого передається з

максимальним використанням всієї активної поверхні зуба;

- забезпечення бокового зазору для запобігання заклинювання зубів при роботі та обмеження мертвих ходів у передачі.

Допуски циліндричних зубчастих передач нормуються за ГОСТ 1643-81 і розповсюджуються на евольвентні циліндричні передачі зовнішнього та внутрішнього зачеплення з прямозубими, косозубими та шевронними зубчастими колесами з ділительним діаметром до 6300 мм, шириною вінця до 1200 мм, модулем зубів від 1 до 56 мм.

По точності виготовлення зубчасті колеса поділяють в порядку зниження точності на дванадцять ступенів точності:



Ступінь точності зубчастого колеса - це заданий рівень допустимої невідповідності значень дійсних розмірів зубчастого колеса розрахунковим (номінальним значенням).

Приклади використання ступенів точності зубчастих коліс наведені в табл. 11.1.

Таблиця 11.1

Приклади використання зубчастих коліс різних ступенів точності

Ступінь точності циліндричного зубчастого	Область використання	Окружні швидкості коліс: а) прямозубих; б) непрямо зубих
5-й (прецизійний)	- зубчасті колеса призначені для передач з прецизійною погодженістю обертання або таких, які працюють на високих швидкостях з найбільшою плавністю і безшумністю. Колеса прецизійних механізмів* або високошвидкісних передач (турбінні). Вимірювальні колеса для контролю коліс 8-го і 9-го ступенів точності.	а) понад 30 м/с б) понад 50 м/с

6-й (високоточний)	- зубчасті колеса, призначені для передач з точною погодженістю обертання або таких, які працюють на підвищених швидкостях з великими навантаженнями плавно і безшумно. Колеса ділильних механізмів* або швидкісних редукторів**, відповідальні колеса авіа-, авто- та верстатобудування**;	а) до 15 м/с б) до 30 м/с
-----------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------

Продовження табл. 11.1

7-й (точний)	- зубчасті колеса, які працюють на підвищених швидкостях з помірними навантаженнями, або навпаки, колеса подачі в верстатах, де необхідна погодженість рухів; колеса редукторів нормального ряду; колеса авіа- та	а) до 10 м/с б) до 15 м/с
8-й (середньої точності)	- зубчасті колеса загального машинобудування, які не потребують особливої точності; колеса верстатів, які не входять в ділильні ланцюги; невідповідальні шестерні авіа-, авто- і тракторобудування; колеса вантажопідйомних механізмів	а) до 6 м/с б) до 10 м/с
9-й (зниженої точності)	- зубчасті колеса, призначені для грубої роботи, до яких не пред'являються вимоги середньої точності, ненавантажені передачі, виконані більш з конструктивних міркувань, ніж за	а) до 2 м/с б) до 4 м/с
Примітка: *Ступінь за нормами плавності може бути на один грубішим **Ступінь за нормами кінематичної точності може бути на один грубішим		

В залежності від призначення зубчасті передачі поділяються на:

– **відлікові** - забезпечують високу кінематичну точність, тобто узгодженість обертання коліс. Звичайно це колеса, що входять в кінематичні ланцюги приладів, верстатів, слідкуючих пристроїв;

– **швидкісні** - повинні працювати плавно та безшумно при високих швидкостях обертання. Це зубчасті колеса коробок передач автомобілів, верстатів, двигунів, турбін, редукторів;

– **силові** - передають великі зусилля, тому для них повинна бути забезпечена повнота контакту зубів.

У відповідності з поділом зубчастих передач на групи побудована система допусків на зубчасті колеса.

Існують три норми точності зубчастих коліс для кожного ступеню

точності. Ці норми можуть бути однаковими для кожного ступеню або комбінуватись та призначатись з різних ступенів точності.

Норми кінематичної точності - визначають точність передачі обертання з одного валу на інший, тобто величину повної похибки кута повороту зубчастого колеса в межах одного оберту.

Норми плавності роботи характеризують ступінь плавності зміни кінематичної похибки передачі при рівномірному обертанні.

Норми контакту зубів визначають повноту прилягання поверхні зубців контактуючих коліс в передачі.

При комбінуванні ступенів точності за кожною з норм повинні виконуватись такі вимоги:

- **норма плавності роботи** повинна бути не більше ніж на два ступені точніша або на один ступінь грубіша за норму кінематичної точності;

- **норми контакту** можуть бути призначені за будь-якими ступенями, більш точними, ніж норми плавності роботи, а також не більше ніж на один ступінь грубіше за норму плавності;

- незалежно від точності виготовлення передач і коліс призначаються вимоги до бокового зазору між неробочими профілями зубів у зібраній передачі, поєднані в **норму бокового зазору**.

Боковий зазор $j_{n \min}$ (див. рис. 11.2):

- забезпечує невеликий люфт (поворот) зубчастого колеса в передачі при загальмованому та нерухомому іншому колесі, необхідний для запобігання заклинювання передачі при її нагріванні під час роботи;

- для компенсації похибок монтажу;

- для забезпечення змащування коліс.

Незалежно від ступеню точності зубчастих коліс і передач встановлено шість видів спряжень *A, B, C, D, E, H*, та вісім видів допуску на боковий зазор, що позначаються в порядку його збільшення літерами *h, d, c, b, a, (z, y, x)* (див. рис. 11.3).

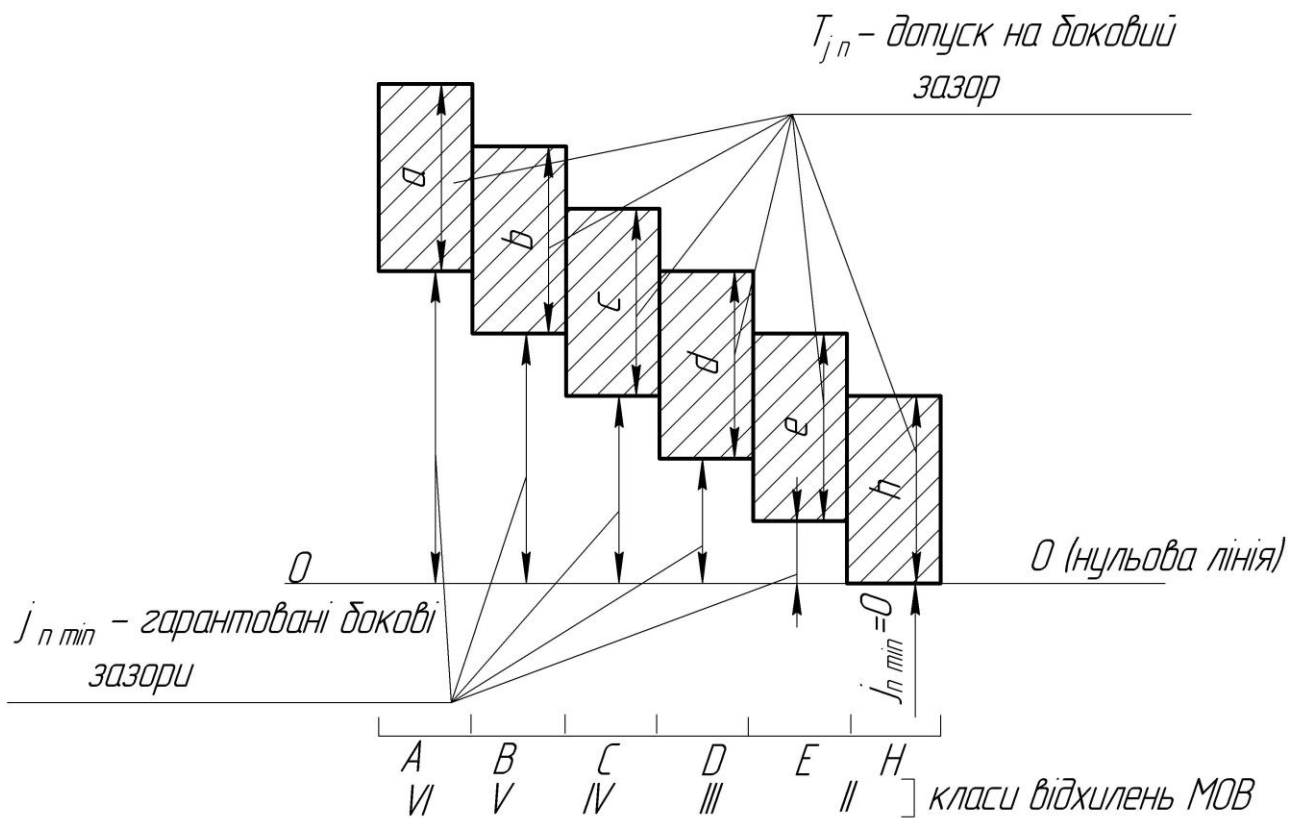


Рисунок 11.3

Види спряжень та види допусків на боковий зазор

На кожен вид спряження встановлений допуск T_{jn} , на боковий зазор.

При відсутності спеціальних вимог видам спряжень E та H відповідає допуск на боковий зазор h , а спряженням D, C, B, A - відповідно d, c, b , та a . Крім того, встановлені збільшені допуски x, y, z , які можуть бути використані при необхідності замість вказаних вище видів допусків для кожного виду спряжень, тобто відповідність видів спряжень зубчастих коліс та допусків дозволяється змінювати з використанням допусків x, y, z .

Для циліндричних зубчастих передач стандартами встановлені 6 класів відхилень міжосьової відстані (МОВ), що впливають на гарантований боковий зазор $j_{n \min}$: I, II, III, IV, V, VI (в порядку зменшення точності). При цьому:

- спряження зубчастих коліс H, E забезпечується при II класі МОВ;
- спряження D, C, B, A - відповідно при класах III, IV, V, VI (див. рис. 11.3, табл. 11.2).

Таблиця 11.2

Співвідношення показників точності циліндричних зубчастих передач

Вид спряжень зубчастих коліс	H	E	D	C	B	A
Допуск на боковий зазор	h	h	d	c	b	a
Клас відхилення МОВ	II	II	III	IV	V	VI

Відповідність видів спряжень та вказаних класів відхилення на МОВ можна замінювати. При цьому змінюється боковий зазор, що вказується в позначенні передачі:

$$j'_{n \min} = j_{n \min} - 0,68(|f'_a| - |f_a|), \quad (11.1)$$

де $j_{n \min}$, f_a - стандартні значення гарантованого бокового зазору та відхилення МОВ для даного спряження;

f'_a - відхилення МОВ для призначеного (звичайно більш грубого) класу.

Вид спряження в зубчастій передачі призначають в залежності від гарантованого бокового зазору, $j_{n \min}$, мкм:

$$j_{n \min \text{ розр}} = j_{nt} + j_{n1}, \quad (11.2)$$

де j_{nt} - боковий зазор, що відповідає температурній компенсації;

$$j_{nt} = a_w \cdot [a_1 (t_1 - 20^\circ) - a_2 (t_2 - 20^\circ)] 2 \sin \alpha,$$

де a_w - МОВ передачі, мм;

a_1 , a_2 - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу колеса та корпусу;

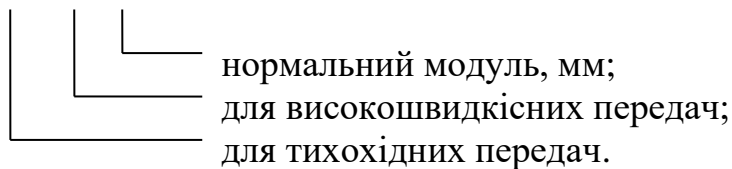
t_1 , t_2 - робочі температури колеса та корпусу;

α - кут зачеплення,

$\alpha = 20^\circ$ - для евольвентного зачеплення $2 \sin \alpha = 0,684$;

j_{n1} - боковий зазор, що забезпечує нормальні умови змащування:

$$j_{n1} = (10 \dots 30)m$$



Згідно з ГОСТ 1643-81 вибирають вид спряження, що має гарантований боковий зазор, $j_{n \min \text{ табл}}$, рівний, чи дещо більший розрахованого за формулою (11.2), тобто $j_{n \min \text{ розр}}$:

$$j_{n \min \text{ табл}} \geq j_{n \min \text{ розр}}$$

Після призначення ступенів точності та виду спряження за ГОСТ 1643-81 вибирають допуски та відхилення контрольованих показників за всіма видами точності.

Показники точності зубчастого колеса і зубчастої передачі є комплексними. Якщо кінематична точність та плавність роботи зібраної передачі відповідає вимогам стандарту, то контроль коліс за цими нормами окремо не проводиться.

Якщо колеса, що входять до передачі відповідають стандарту, то контроль зібраної передачі не є обов'язковим.

Це положення поширюється і на контроль за нормами контакту зубів.

Кожен ступінь точності може бути охарактеризований рядом комплексних показників і контроль проводиться за комплексами (див. рис. 11.4)

Вибір комплексу контролю проводиться в залежності від ступеня точності передачі та наявності вимірювальних засобів.

11.3 Позначення точностних параметрів зубчастих коліс на кресленнях

Точність зубчастих коліс та передач на кресленнях позначають в таблиці параметрів, виконаній згідно з ГОСТ 2.402-68; ГОСТ 2.403-75; ГОСТ 2.405-75:

- ступенем точності;
- видом спряження за нормами бокового зазору.

Нижче наведені приклади позначень точнісних параметрів зубчастих коліс:

7-С ГОСТ 1643-81

- вид спряження зубчастих коліс С;
- відповідність між видом спряження та видом допуску на боковий зазор;
- відповідність між видом спряження та IV класом відхилення MOV;
- сьомий ступінь точності за всіма трьома нормах точності.

8-7-6-B a ГОСТ 1643-81

- вид допуску на боковий зазор;
- вид спряження зубчастого колеса;
- ступінь точності 6 за нормами контакту зубів;
- ступінь точності 7 за нормами плавності;
- ступінь точності 8 за нормами кінематичної точності.

8-N-7-A ГОСТ 1643-81

- вид А спряження зубчастого колеса;
- відповідність між видом спряження зубчастого колеса А і видом допуску а на боковий зазор;
- відповідність між видом спряження А і IV класом відхилення MOV;
- ступінь точності 7 (норма контакту зубів); згідно з нормами плавності роботи ступінь точності не задана (може бути не задана будь-яка з норм точності);
- ступінь точності 8 (норма кінематичної точності.)

Клас точності MOV вказують тільки в тих випадках, коли він не відповідає рекомендованому виду спряження зубчастих коліс. При цьому також вказується мінімальний зазор, перерахований за формулою 11.1.

7-Са/V-128 ГОСТ 1643-81

- $J_n \min = 128 \text{ мкм}$;
- V – клас відхилень MOV.

11.4 Контроль точності зубчастих коліс і передач

Виконання вимог кожного виду норм може контролюватися перевіркою на виробництві комплексних показників або декількох поелементних показників.

Це передбачено стандартом у встановлених комплексах контролю (див. рис. 11.4).

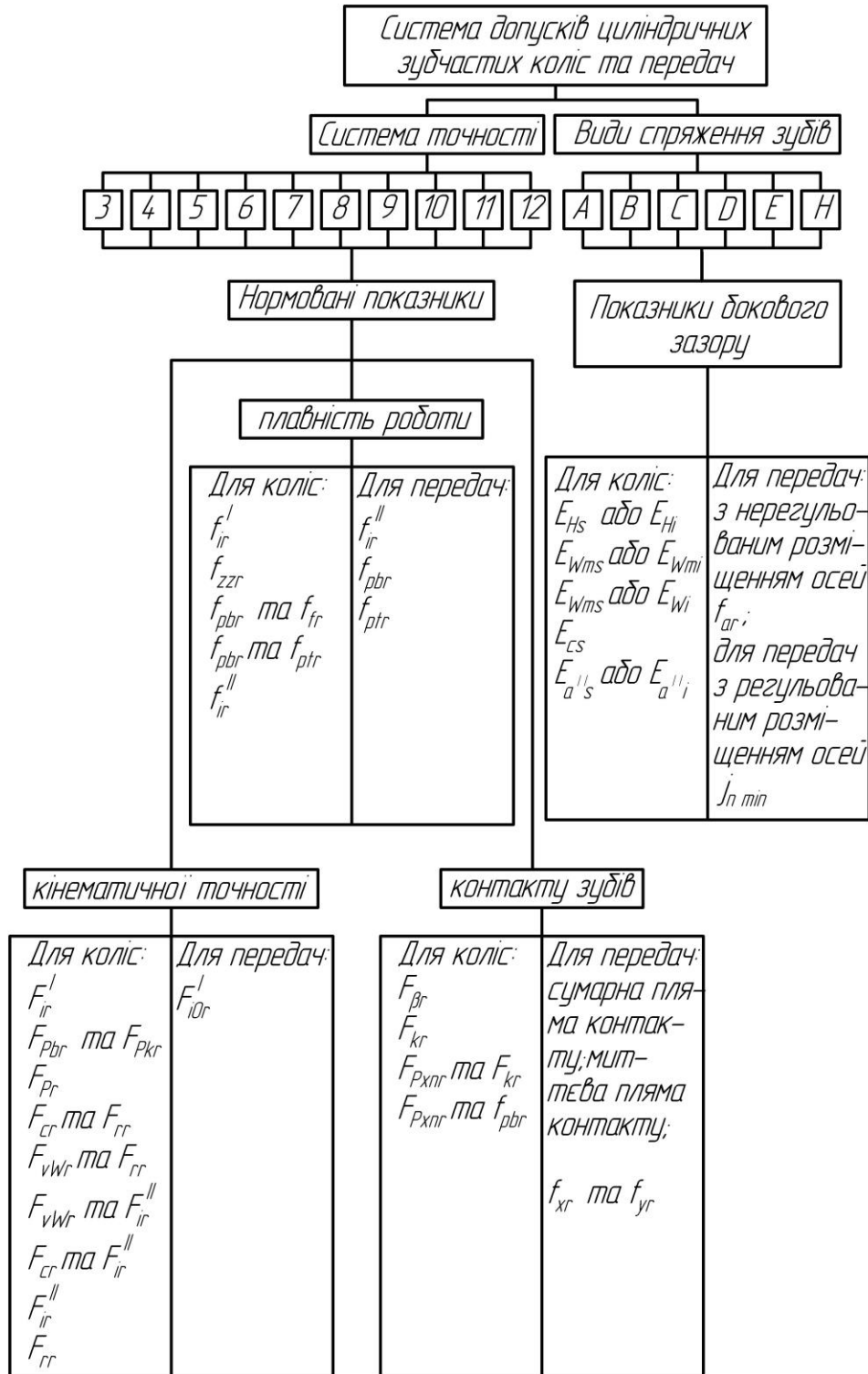


Рисунок 11.4

Система допусків циліндричних зубчастих коліс та передач

Комплекси контролю, що використовуються при прийманні коліс, є рівноправними, але не рівноцінними. Вибір того чи іншого комплексу контролю залежить від призначення і точності зубчастих коліс і передач, їхніх розмірів, встановленої практики контролю, об'єму та умов виробництва та інших факторів. Контрольовані елементи встановлюються галузевими стандартами.

11.5 Контрольні запитання

1. На які основні групи можна розділити зубчасті передачі з погляду їхніх експлуатаційних функцій?
2. Основні вимоги, пред'явлені до зубчастих передач.
3. Які встановлені норми точності циліндричних зубчастих коліс?
4. Скільки ступенів точності встановлено стандартами для зубчастих коліс?
5. Основні параметри циліндричних зубчастих коліс, що визначають кінематичну норму точності і норму плавності роботи.
6. Які параметри визначають норму контакту і норму бокового зазору в передачі?
7. Для чого слугує боковий зазор у зубчастій передачі?
8. Які існують види сполучень зубів зубчастих коліс?
9. Позначення показників точності зубчастих коліс на кресленнях.
10. Дати розшифровку заданого умовного позначення зубчастого колеса.

11.6 Теми для самостійного вивчення

1. Розроблення системи допусків на циліндричні зубчасті передачі [29, С. 303 - 322], [17].
2. Оформлення креслень циліндричних зубчастих коліс [6, С. 355 - 364], [8, С. 333 - 346].