



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

---

# КОЛЕСА ЗУБЧАСТІ ЦИЛІНДРИЧНІ ПРАВИЛА КОНТРОЛЮ

Частина 1. Контроль однойменних профілів зубців  
зубчастих коліс  
(ISO/TR 10064-1:1992, IDT)

ДСТУ ISO/TR 10064-1:2006

БЗ № 6–2006/389

*Видання офіційне*



Київ  
ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ  
2013

## ПЕРЕДМОВА

1 ВНЕСЕНО: Національний науковий центр «Інститут метрології» (ННЦ «Інститут метрології», м. Харків) Держспоживстандарту України

ПЕРЕКЛАД І НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ РЕДАГУВАННЯ: Г. Гафанович, канд. техн. наук (науковий керівник); Т. Гацкалова; А. Калін; О. Костріков; О. Лісова

2 НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Держспоживстандарту України від 16 серпня 2006 р. № 246 з 2007–10–01

3 Національний стандарт відповідає ISO/TR 10064-1:1992 Cylindrical gears — Code of inspection practice — Part 1: Inspection of corresponding flanks of gear teeth (Колеса зубчасті циліндричні. Правила контролю. Частина 1. Контроль однойменних профілів зубців зубчастих коліс)

Ступінь відповідності — ідентичний (IDT)

Переклад з англійської (en)

4 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

---

Право власності на цей документ належить державі.  
Відтворювати, тиражувати і розповсюджувати його повністю чи частково  
на будь-яких носіях інформації без офіційного дозволу заборонено.  
Стосовно врегулювання прав власності треба звертатися до Держспоживстандарту України

Держспоживстандарт України, 2013

## ЗМІСТ

	С
Національний вступ .....	V
1 Сфера застосування .....	1
2 Нормативні посилання .....	1
3 Позначки та відповідні терміни .....	2
3.1 Умовні позначки, що стосуються зубчастого колеса .....	2
3.2 Умовні позначки, що стосуються відхилів зубчастого колеса .....	2
3.3 Терміни, що стосуються контролю зубчастого колеса .....	3
4 Ступінь контролю колеса .....	3
5 Встановлення положення відхилів .....	4
5.1 Правий та лівий профіль .....	4
5.2 Правий та лівий нахил гвинтової лінії зубчастого колеса .....	4
5.3 Нумерація зубців та профілів .....	5
5.4 Нумерація кроків .....	5
5.5 Нумерація «к» кроків .....	5
5.6 Рекомендації для контролю .....	5
6 Контроль відхилу кроку та відхилу сукупного кроку .....	5
6.1 Загальні положення .....	5
6.2 Контроль точності одиничного кроку .....	8
6.3 Контроль точності нормального кроку з компаратором кроку .....	9
6.4 Вимірювання основного кроку $p_b$ та відхилів основного кроку $f_{pb}$ .....	10
6.5 Визначення сукупних відхилів кроку $F_{pk}$ і $F_p$ .....	12
6.6 Зауваження щодо вимірювання відхилу кроку й оцінювання результатів .....	15
7 Контроль відхилів профілю .....	15
7.1 Діаграма профілю .....	15
7.2 Оцінювання діаграм профілю .....	16
7.3 Алгебраїчні знаки $f_{f\alpha}$ і $f_{H\alpha}$ .....	17
7.4 Відхил кута профілю $f_\alpha$ .....	17
7.5 Відхил середнього нахилу профілю $f_{H\alpha m}$ .....	17
7.6 Різниця основного діаметра $f_{db}$ , середня різниця основного діаметра $f_{dbm}$ і ефективний основний діаметр $d_b^{eff}$ .....	18

7.7	Поле допуску профілю.....	18
7.8	Профіль, що має бочкуватість, $C_\alpha$ .....	19
8	Контроль відхилів гвинтової лінії.....	20
8.1	Діаграма гвинтової лінії .....	20
8.2	Оцінювання діаграм гвинтової лінії .....	21
8.3	Визначення відхилю гвинтової лінії контролем осьового кроку.....	22
8.4	Алгебраїчні знаки $f_{H\beta}$ і $f_\beta$ .....	22
8.5	Відхил середнього нахилу гвинтової лінії $f_{H\beta m}$ і відхил середнього кута гвинтової лінії $f_{\beta m}$ .....	22
8.6	Поле допуску гвинтової лінії .....	23
8.7	Додаткова опуклість зуба, $C_\beta$ .....	23
8.8	Хвилястості .....	24
9	Контроль кінематичної похибки.....	25
9.1	Загальні положення .....	25
9.2	Контроль пари «робоче колесо/еталонне колесо» .....	25
9.3	Приклади застосування .....	31
Додаток НА Перелік національних стандартів України, згармонізованих з міжнародними нормативними документами, на які є посилання в цьому стандарті .....		34

## НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей стандарт є тотожний переклад ISO/TR 10064-1: 1992 Cylindrical gears — Code of inspection practice — Part 1: Inspection of corresponding flanks of gear teeth (Колеса зубчасті циліндричні. Правила контролю. Частина 1. Контроль однойменних профілів зубців зубчастих коліс).

Технічний комітет, відповідальний за цей стандарт, — ТК 63 «Загальні норми і правила державної системи забезпечення єдності вимірювань».

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

- слова «ця рекомендація» та «технічний звіт» замінено на «цей стандарт»;
- вилучено попередній довідковий матеріал «Передмову» та «Вступ» до ISO/TR 10064-1:1992;
- долучено структурний елемент «Зміст» для зручності користувача;
- структурні елементи стандарту: «Титульний аркуш», «Передмову», «Зміст», «Національний вступ», першу сторінку і «Бібліографічні дані» — оформлено згідно з вимогами національної стандартизації України;
- у розділі 2 «Нормативні посилання» наведено «Національне пояснення», виділене в тексті рамкою;

— виправлено помилки оригіналу:

- 1) у назві підрозділу 7.3 замінено « $f_{\alpha}$ » на « $f_{f\alpha}$ »;
- 2) у формулах підрозділу 7.4 позначку тангенса « $\tan$ » замінено на « $tg$ », як це прийнято в Україні;

— позначки одиниць вимірювання фізичних величин відповідають серії стандартів ДСТУ 3651–97 Метрологія. Одиниці фізичних величин.

ISO 53, ISO 54, ISO 701, ISO 1328-1, ISO 1328-2, ISO/TR 10064-2, ISO/TR 10064-3 прийняті в Україні як національні стандарти. Їх перелік наведено в додатку НА. Інші стандарти, на які є посилання в цьому стандарті, в Україні не прийняті та чинних замість них немає.

Копії нормативних документів, на які є посилання в цьому стандарті, можна отримати в Головному фонді нормативних документів.

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

**КОЛЕСА ЗУБЧАСТІ ЦИЛІНДРИЧНІ. ПРАВИЛА КОНТРОЛЮ**  
Частина 1. Контроль однойменних профілів зубців зубчастих коліс

**КОЛЕСА ЗУБЧАТЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ. ПРАВИЛА КОНТРОЛЯ**  
Часть 1. Контроль одноименных профилей зубьев зубчатых колес

**CYLINDRICAL GEARS. CODE OF INSPECTION PRACTICE**  
Part 1. Inspection of corresponding flanks of gear teeth

Чинний від 2007-10-01

**1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ**

Цей стандарт містить правила стосовно контролю однойменних профілів евольвентних циліндричних зубчастих коліс, тобто вимірювань відхилів кроку, відхилів профілів, відхилів гвинтової лінії і відхилів тангенційних складових.

У цьому стандарті наведено методи контролю й аналізу результатів вимірювань, які є доповненням до ISO 1328, частина 1.

Визначення більшості використовуваних термінів наведено в ISO 1328, частина 1, визначення інших термінів, застосовуваних у цьому стандарті, наведено в розділі 3.

**2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ**

ISO 53:1954 Cylindrical gears for general and heavy engineering — Basic rack

ISO 54:1977 Cylindrical gears for general and heavy engineering — Modules and diametral pitches

ISO 701:1976 International gear notation — Symbols for geometrical data

ISO 1122-1:1983 Glossary of gear terms — Part 1: Geometrical definitions

ISO 1328-1:-<sup>1)</sup> Cylindrical gears — ISO system of accuracy — Part 1: Definitions and allowable values of deviations relevant to corresponding flanks of gear teeth

ISO 1328-2:-<sup>1)</sup> Cylindrical gears — ISO system of accuracy — Part 2: Definitions and allowable values of deviations relevant to radial composite allowance and backlash

ISO 10063:-<sup>1)</sup> Cylindrical gears — Flanks, undulation, surface roughness, shaft centre distance and parallelism of axes — Numerical values

ISO/TR 10064-2:-<sup>1)</sup> Cylindrical gears — Code of inspection practice — Part 2: Inspection of radial composite deviations, runout and tooth thickness allowance

ISO/TR 10064-3:-<sup>1)</sup> Cylindrical gears — Code of inspection practice — Part 3: Function groups, test groups and tolerance families.

**НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ**

ISO 53:1954 Циліндричні зубчасті колеса для загального і важкого машинобудування. Вихідна рейка

ISO 54:1977 Циліндричні зубчасті колеса для загального і важкого машинобудування. Модулі

ISO 701:1976 Міжнародні позначки для зубчастих коліс. Символи для геометричних даних

ISO 1122-1:1983 Словник термінів для зубчастих коліс. Частина 1. Геометричні визначення

<sup>1)</sup> Буде опубліковано

ISO 1328-1:- Колеса зубчасті циліндричні. Система точності ISO. Частина 1. Визначення і допустимі значення відхилів однойменних профілів зубців зубчастого колеса

ISO 1328-2:- Колеса зубчасті циліндричні. Система точності ISO. Частина 2. Визначення і допустимі значення відхилів радіальних складових і биття

ISO 10063:- Колеса зубчасті циліндричні. Бокові поверхні, хвилястість, поверхні заокруглень, міжосьова відстань і паралельність осей. Числові значення

ISO/TR 10064-2:- Колеса зубчасті циліндричні. Правила контролю. Частина 2. Контроль відхилів радіальної складової, биття та допустимі значення ширини зуба

ISO/TR 10064-3:- Колеса зубчасті циліндричні. Правила контролю. Частина 3. Групи функцій, випробувальні комплекти та множини допусків.

### 3 ПОЗНАКИ ТА ВІДПОВІДНІ ТЕРМІНИ

#### 3.1 Умовні позначки, що стосуються зубчастого колеса

$b$	— ширина колеса;
$d$	— ділильний діаметр;
$d_b$	— основний діаметр;
$m, m_n$	— нормальний модуль;
$m_t$	— окружний модуль;
$P_n$	— нормальний крок;
$P_t$	— окружний крок;
$P_b, P_{bn}$	— основний нормальний крок;
$P_{bt}$	— основний окружний крок;
$S$	— кількість кроків у секторі;
$z$	— число зубців;
$\alpha, \alpha_n$	— нормальний кут тиску;
$\alpha_t$	— окружний кут тиску;
$\beta$	— кут нахилу лінії зуба;
$\beta_b$	— основний кут нахилу;
$\varepsilon_\alpha$	— коефіцієнт торцевого перекриття;
$\varepsilon_\beta$	— коефіцієнт осьового перекриття;
$\varepsilon_\gamma$	— коефіцієнт загального перекриття.

#### 3.2 Умовні позначки, що стосуються відхилів зубчастого колеса

Позначки, використовувані для вимірювань відхилів індивідуальних елементів, позначають маленькою буквою «f» з індексами для «сукупних» чи «загальних» відхилів, що являють собою комбінацію відхилів кількох індивідуальних елементів, позначки позначають великою буквою «F» з індексами. Це необхідно, щоб відрізнити такий самий відхил з алгебраїчним символом.

Відхил вважають додатним, якщо його значення більше оптимального значення, і від'ємним, якщо його значення менше оптимального значення.

$f_{db}^{1)}$	— різниця основного діаметра;
$f_{dbm}^{1)}$	— різниця середнього основного діаметра;
$f_e (f_{eL}, f_{eR})$	— ексцентриситет між віссю колеса і віссю зубців колеса (чи однойменних профілів відповідно);
$f_{f\alpha}$	— відхил форми профілю;
$f_{f\beta}$	— відхил форми гвинтової лінії;
$f_{H\alpha}^{1)}$	— відхил нахилу профілю;
$f_{H\alpha m}^{1)}$	— відхил нахилу середнього профілю;
$f_{H\beta}^{1)}$	— відхил нахилу гвинтової лінії;
$f_{H\beta m}^{1)}$	— відхил нахилу середньої гвинтової лінії;
$f_j'$	— кінематична похибка на одному зубі (у зчепленні з еталонним колесом);
$f_j$	— складова частина довгого періоду кінематичної похибки;
$f_s'$	— складова частина короткого періоду кінематичної похибки;
$f'$	— відхил передачі на одному зубі (робоче колесо);

<sup>1)</sup> Ці відхилення можуть бути з «+» (додатні) чи з «—» (від'ємні).

$f_{pb}^{1)}$	— відхил основного кроку;
$f_{pbm}^{1)}$	— відхил середнього основного кроку;
$f_{pbt}^{1)}$	— відхил окружного кроку на основній окружності;
$f_{pS}^{1)}$	— відхил сектора кроків;
$f_{pt}^{1)}$	— одиничний відхил кроку;
$f_{w\beta}^{1)}$	— висота хвилястості (вздовж гвинтової лінії);
$f_{\alpha}^{1)}$	— відхил нормального кута профілю (нормальний);
$f_{\alpha m}^{1)}$	— відхил середнього кута профілю;
$f_{\beta}^{1)}$	— відхил кута нахилу гвинтової лінії;
$f_{\beta m}^{1)}$	— відхил середнього кута нахилу;
$F_p$	— загальний сукупний відхил кроку;
$F_{pk}^{1)}$	— сукупний відхил кроку;
$F_{pkS}^{1)}$	— сукупний відхил кроку на секторі;
$F_{pS}$	— загальний сукупний відхил кроку на секторі;
$F_i'$	— загальна кінематична похибка (у зчепленні з еталонним колесом);
$F'$	— загальний відхил передачі (робоче колесо);
$F_{\alpha}$	— загальний відхил профілю;
$F_{\beta}$	— загальний відхил гвинтової лінії.

### 3.3 Терміни, що стосуються контролю зубчастого колеса

$d_{beff}$	— ефективний основний діаметр;
$k$	— кількість послідовних кроків;
$l$	— лівий напрямок гвинтової лінії;
$r$	— правий напрямок гвинтової лінії;
$C_a$	— вершина рельєфу;
$C_f$	— низ рельєфу;
$C_{\alpha}$	— бочкуватість профілю;
$C_{\beta}$	— додаткова опуклість профілю (зубцевий вінець);
$C_l (C_{II})$	— кінець рельєфу на лицьовій (нелицьовій) стороні;
$L$	— лівий профіль;
$L_{AE}$	— активна довжина;
$L_{AF}$	— корисна довжина;
$L_E$	— довжина від початку активного профілю;
$L_{\alpha}$	— оцінний діапазон профілю;
$L_{\beta}$	— оцінний діапазон гвинтової лінії;
$N...$	— кількість зубців, кількість кроків;
$R$	— правий профіль;
$\lambda_{\beta}$	— довжина хвилі хвилястості (відноситься до гвинтової лінії);
$\lambda_{\beta x}$	— довжина хвилі хвилястості відносно осі;
$\xi$	— евольвентний кут профілю;
$I$	— лицьова сторона;
$II$	— нелицьова сторона.

## 4 СТУПІНЬ КОНТРОЛЮ КОЛЕСА

Контроль різних елементів зубців зубчастого колеса потребує окремих операцій вимірювання. Треба забезпечити, щоб під час усіх вимірювань з обертанням колеса вісь колеса співпадала з віссю обертання під час вимірювання.

Можливо, неекономно чи немає необхідності вимірювати усі відхилення елементів зубців зубчастого колеса, таких як крок, сукупний крок, профіль, гвинтову лінію, відхил радіальної та тангенційної складової, биття, шорсткість поверхні тощо, вплив деяких елементів може бути незначним на роботу колеса під навантаженням. У подальшому деякі вимірювання можуть бути часто замінені іншими, наприклад, контроль тангенційних складових може бути замінено контролем кроку або контролем радіальної складової чи контролем биття. Враховуючи вищенаведене, до частини 3

<sup>1)</sup> Ці відхилення можуть бути з «+» (додатні) чи з «—» (від'ємні)



ISO/TR 10064 долучено рекомендовані групи випробувань та сімейство допусків залежно від функціонування зубчастих коліс. Однак треба особливо зазначити, що зменшення якості вимірювань повинно бути погоджено між покупцем та виробником.

## 5 ВСТАНОВЛЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ВІДХИЛІВ

У цьому розділі встановлено відхилення, які відповідають вимірюванням лише правих профілів, лівих профілів, кроків або групи кроків.

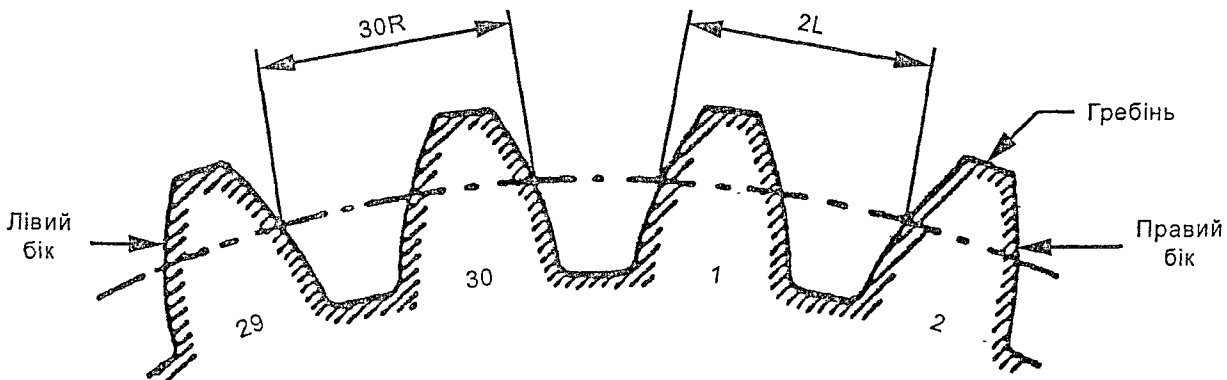
Нижче наведено зібрані описи, які досить добре визначають положення відхилів.

### 5.1 Правий та лівий профіль

Узгоджено, що приймається одна сторона колеса як лицьова сторона, і її маркують цифрою «I». Інша сторона може бути позначена як сторона «II».

Для спостерігача, який дивиться на лицьову сторону і бачить верхню половину зубчастого вінця, правий профіль перебуває справа, лівий профіль — зліва.

Правий та лівий профілі позначають літерами «R» та «L» відповідно.

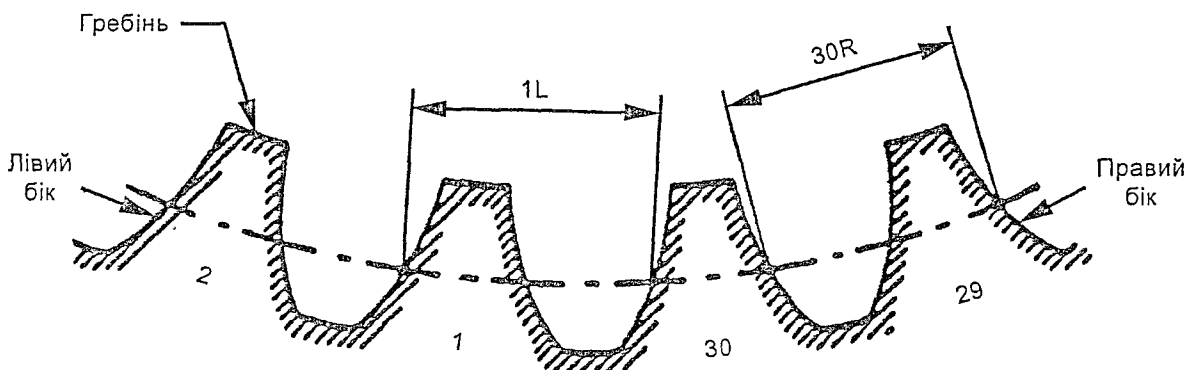


Де 30R — крок № 30, правий профіль;  
2L — крок № 2, лівий профіль.

Рисунок 1 — Позначки та нумерація для колеса зовнішнього зчеплення

### 5.2 Правий та лівий нахил ґвинтової лінії зубчастого колеса

ґвинтова лінія косозубого зубчастого колеса внутрішнього чи зовнішнього зчеплення може бути направлена в ліву чи в праву сторону.



Де 1L — крок № 1, лівий профіль;  
30R — крок № 30, правий профіль.

Рисунок 2 — Позначки та нумерація для коліс внутрішнього зчеплення

Нахил гвинтової лінії в праву сторону позначають літерою «r», у ліву — літерою «l».

Гвинтова лінія має правий нахил (лівий нахил), якщо, дивлячись на одну сторону поперечного перерізу профілю, видно поступове за часовою (проти часової) стрілкою переміщення зі збільшенням відстані від спостерігача.

### 5.3 Нумерація зубців та профілів

Зубці нумерують послідовно за часовою стрілкою, якщо дивитись на лицьову сторону зубчастого колеса. До номера зуба додають літеру «R» або «L», вказуючи тим самим на правий чи лівий профіль. Наприклад, «Профіль 29L».

### 5.4 Нумерація кроків

Нумерація кроків відповідає нумерації зубців таким чином: крок номер «N» лежить між одноіменними профілями зубців номер «N-1» та «N»; додаткова літера R або L вказує на те, що крок лежить між правим або лівим профілями.

Наприклад, «Крок 2L», див. рисунок 1.

### 5.5 Нумерація «к» кроків

Позначка відхилу з підписом «к» визначає кількість послідовних кроків, до яких відносять цей відхил.

На практиці число заміняє літеру «к», наприклад,  $F_{p3}$  — це сукупний відхил кроку на трьох кроках.

### 5.6 Рекомендації для контролю

Як правило, вимірювання зазвичай проводять приблизно на середині висоти зуба або на середині його ширини. Якщо ширина зуба більше ніж 250 мм, то проводять два вимірювання за профілем. Рекомендовано, щоб вимірювання були одне від одного і від кінців профілю на відстані 15 % від ширини. Відхил профілю та гвинтової лінії треба вимірювати на трьох або більше рівномірно розташованих ділянках однойменних профілів.

Для забезпечення точності вимірювань засоби вимірювальної техніки треба періодично повірити (калібрувати) відповідно до чинних стандартів.

## 6 КОНТРОЛЬ ВІДХИЛУ КРОКУ ТА ВІДХИЛУ СУКУПНОГО КРОКУ

### 6.1 Загальні положення

Під час контролювання відхилів кроку можуть бути проведені вимірювання дійсних значень або порівняння між однойменними профілями зубців по всьому колесу.

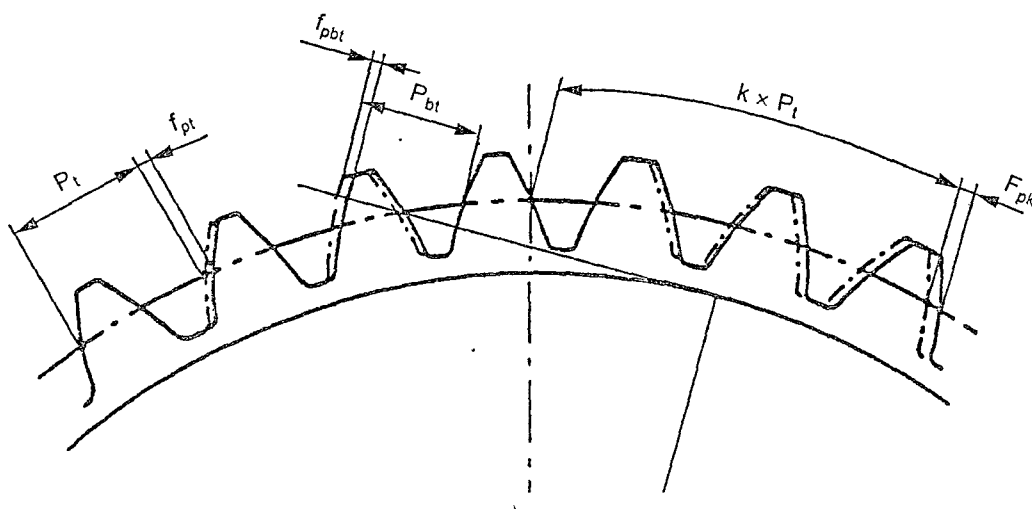


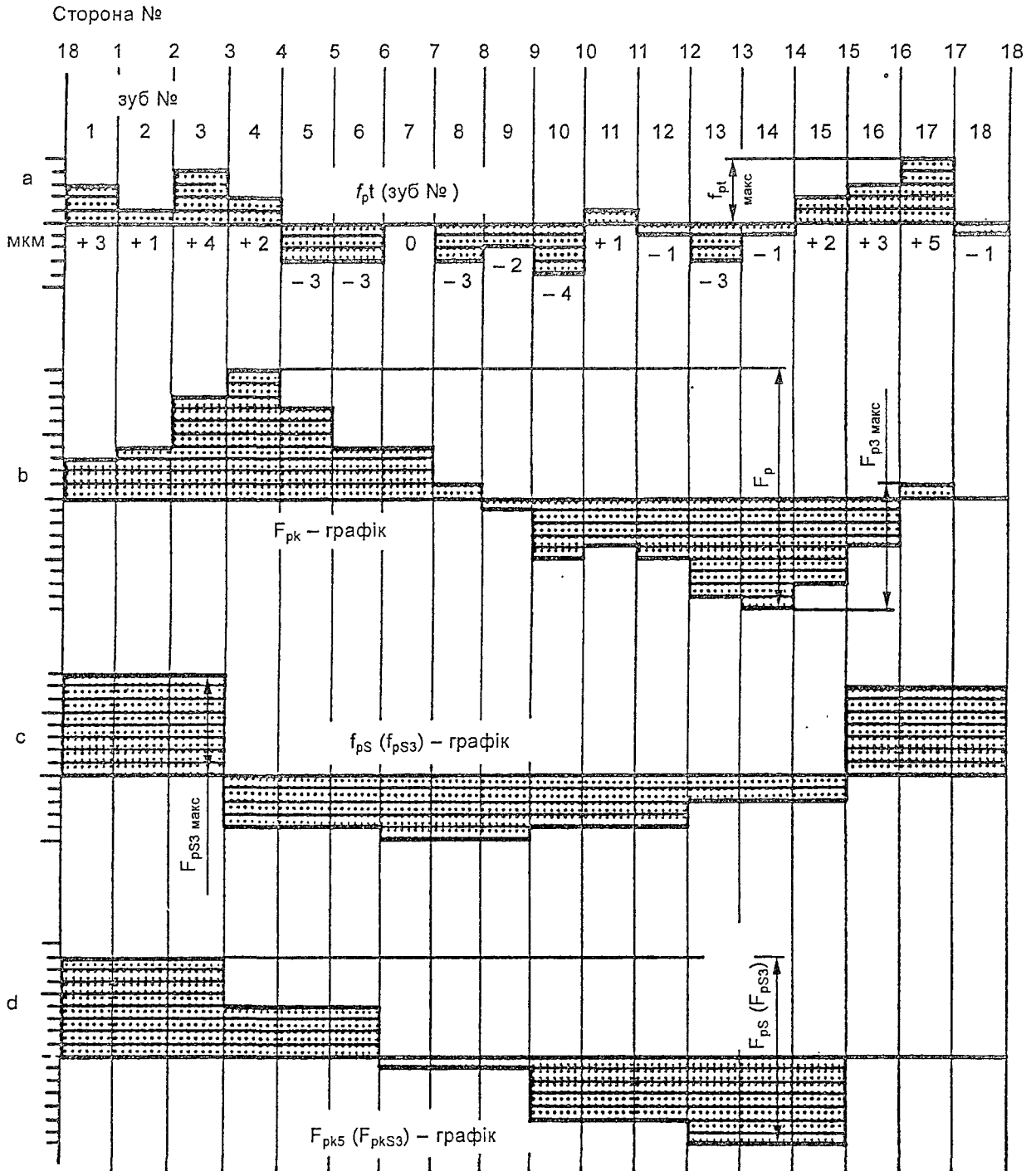
Рисунок 3 — Крок ( $P_t$ ), відхил кроку ( $f_{pt}$ ), окружний основний крок ( $P_{bt}$ ), відхил окружного основного кроку ( $f_{pbt}$ ), сукупний крок ( $k \cdot P_t$ , на рисунку  $k = 3$ ), відхил сукупного кроку ( $F_{pk}$ , на рисунку  $k = 3$ )

На відміну від звичайних вимірювань, вимірювання відхилів окружного кроку, сукупних відхилів кроку, відхилів основного кроку проводять у дотичній площині і вони не залежать від осі колеса.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A	25	23	26	24	19	19	22	19	20	18	23	21	19	21	24	25	27	21
B	22,00																	
C	+3	+1	+4	+2	-3	-3	0	-3	-2	-4	+1	-1	-3	-1	+2	+3	+5	-1
D	+3	+4	+8	+10	+7	+4	+4	+1	-1	-5	-4	-5	-8	-9	-7	-4	+1	0
<p>Де N = номер кроку;</p> <p>A = значення, отримані компаруванням (порівнянням за допомогою двох щупів) кроків, незалежно від визначеної абсолютної величини;</p> <p>B = середнє арифметичне усіх значень A;</p> <p>C = відхил кроку <math>f_{pi}</math>, виражений як різниця між індивідуальними значеннями і середнім значенням B;</p> <p>D = відхил сукупного кроку, отриманий послідовним складанням значень <math>f_{pi}</math> (C).</p> <p>Рисунку 4 відповідає діаграма на рисунку 5.</p>																		

Рисунок 4 — Приклад таблиці з гіпотетичними величинами відхилів, отриманими під час контролювання одиничного кроку компаруванням, цілі числа рідко трапляються

Коли вимірюють кутовий крок (один щуп), то значення D визначають, віднімаючи теоретичний кут від вимірюваного кута в кожному положенні, потім множачи різницю (у радіанах) на радіальну відстань до точок контакту «щуп/профіль». Значення C отримують, віднімаючи значення D з номером профілю N-I від значення D з номером профілю N.



- Де
- a — одиничний відхил кроку  $f_{pt}$ ; максимальний  $f_{pt} = +5$  мкм, на 17 кроці;
  - b — відхил сукупного кроку  $F_{pk}$ , на рисунку відповідає профілю 18; максимальний  $F_{pk}$  дорівнює загальному відхилу сукупного кроку;  $F_p = 19$  мкм між профілями 4 і 14; максимальний  $F_{p3}$  дорівнює 10 мкм між профілями 14 і 17;
  - c — відхил кроку на секторі  $f_{ps}$ , вимірюють за секторами,  $S = 3$  крокам кожний; максимальний  $f_{ps} = 8$  мкм між профілями 18 і 3;
  - d — відхил сукупного кроку сектора  $F_{pkS}$ , на рисунку це профіль 18, отриманий з вимірювання кроку секторами (c). Загальний відхил сукупного кроку сектора  $F_{pS} = F_{pS3} = 15$  мкм між профілями 3 і 15.

Рисунок 5 — Діаграма відхилів кроку для колеса з рисунка 4 ( $z = 18$ )

Взагалі, для великої кількості зубців різниця між  $F_p$  і  $F_{pS}$  стає незначною.

## 6.2 Контроль точності одиничного кроку

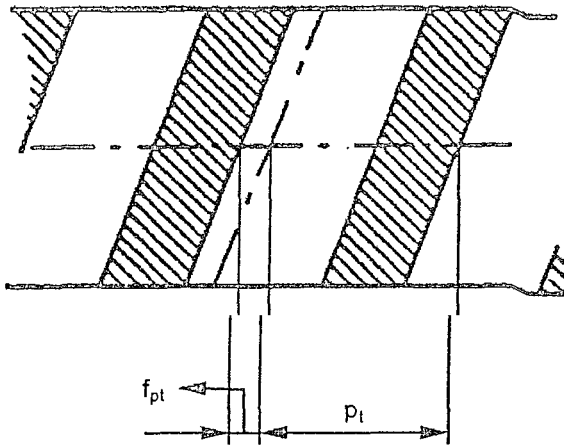


Рисунок 6 — Окружний крок  $p_t$  і відхил одиничного кроку  $f_{pt}$

Для того щоб перевіряти точність кроку, зазвичай використовують пристрої чи компаратори, що мають два щупи, чи кутовий ділильний пристрій, що має єдиний вимірювальний щуп. Методи контролю, що відповідають цим процесам, описані в 6.2.1 і 6.2.2 відповідно.

Координатно-вимірювальні машини без обертового столу можна також використовувати для вимірювання кроку і відхилів кроку, застосовуючи відповідні відносні рухи, що взагалі відповідають правилу, описаному в 6.2.2.

### 6.2.1 Контроль одиничного кроку з компаратором кроку (два щупи)

Два щупи мають бути розміщені на тій самій радіальній відстані від осі колеса й у тій самій поперечній площині. Напрямок зсуву щупа має бути тангенціальним до вимірюваного кола.

Через те що точне значення радіальної

відстані важко встановити, такі компаратори рідко використовують для визначення дійсних значень окружного кроку. Вони найбільше підходять для визначення відхилів кроку.

Деякі компаратори кроку обладнані кареткою ковзання, яка попередньо встановлює щупи до постійної радіальної глибини, зазвичай приблизно до середини глибини зуба (рисунок 7). Зубчасте колесо під час контролювання повільно повертається чи безупинно, чи періодично навколо його осі, і щупи на каретці ковзання переміщуються до та від положення повірки (калібрування).

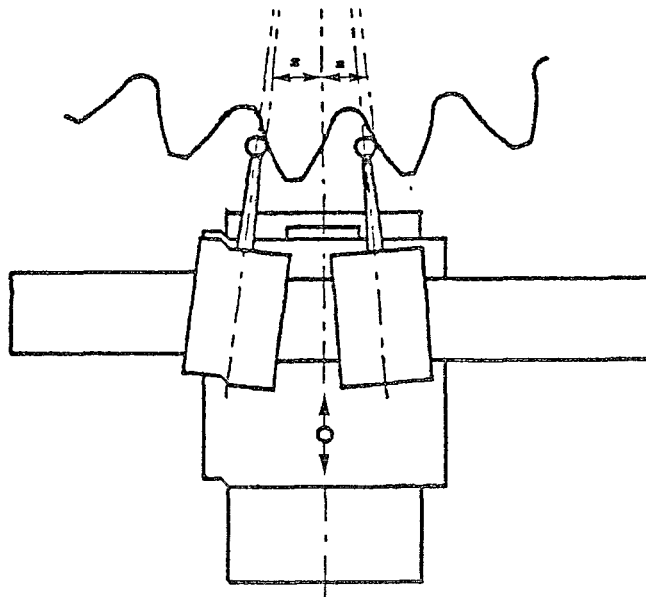


Рисунок 7 — Контроль кроку з компаратором кроку

### 6.2.2 Контроль кроку з використанням методу кутової індексації (один щуп)

Цей спосіб використовує кутовий апарат індексації. Ступінь його точності повинен бути сумісний з діаметром зубчастого колеса.

Вимірювальну головку встановлюють радіально до та від визначеного положення повірки (калібрування) для кожного профілю, вимірюють відхил дійсного положення від теоретичного поло-

ження. Кожне зареєстроване значення представляє відхил відповідного профілю щодо ділильного чи нульового профілю. Діаграма зареєстрованих значень показує відхил сукупного кроку  $F_{pk}$  навколо окружності зубчастого колеса.

Кожний відхил одиничного кроку визначають відніманням відхилю профілю з номером N-1 від відхилю профілю з номером N. Від'ємні значення має бути відповідно позначено.

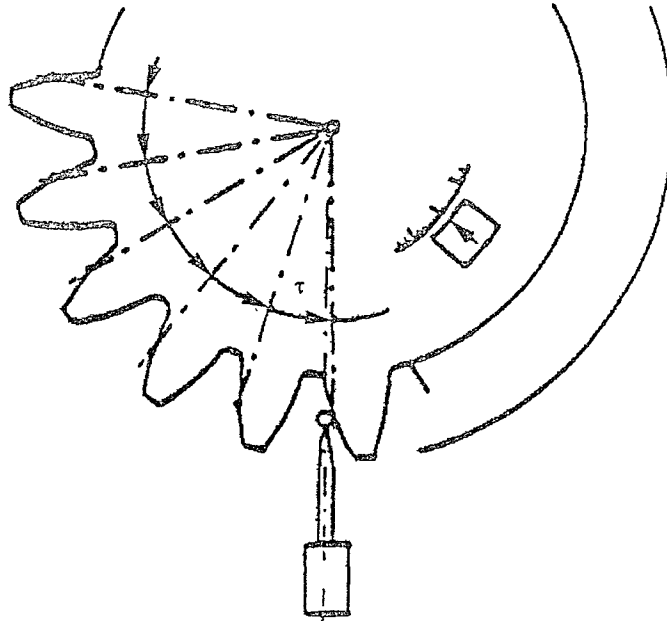


Рисунок 8 — Застосування методу кутової індексації для контролю кроку

### 6.3 Контроль точності нормального кроку з компаратором кроку

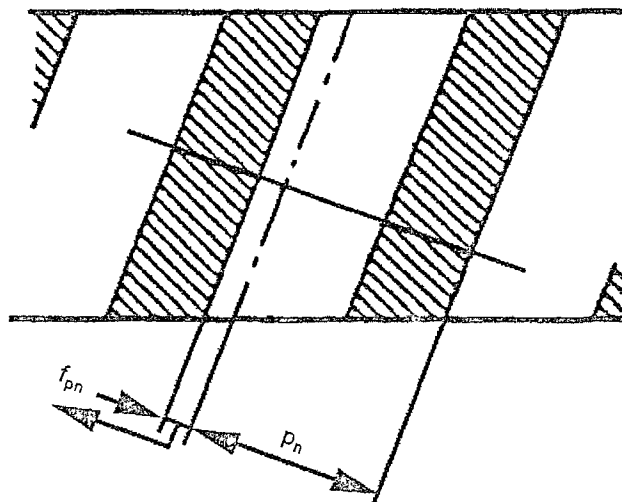


Рисунок 9 — Нормальний крок  $p_n$  і відхил нормального кроку  $f_{pn}$  (нормальний перетин)

Вимірювання відхилю нормального кроку треба замінити на вимірювання відхилю окружного кроку, коли переносний компаратор контролює лише відхили «нормального» кроку. З приладом

такого типу, як зображено на рисунку 10, вершину зубців зубчастого колеса використовують для розташування, і воно має бути концентричним з віссю зубчастого колеса. Інші компаратори, які можна застосувати для тієї самої мети, мають різний спосіб для розташування, і вони не використовують поверхню вершини зубців для базування приладу.

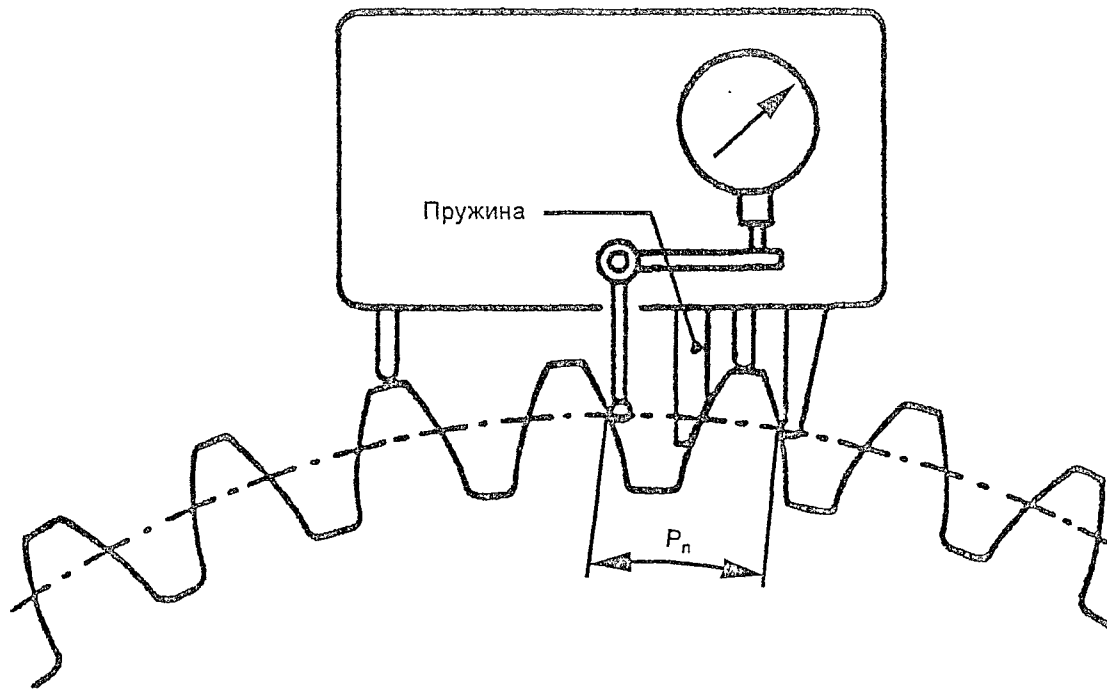


Рисунок 10 — Переносний компаратор кроку для контролю відхилів нормального кроку представлено на прямозубому циліндричному колесі

Оскільки границі допусків, наведені в частині 1 ISO 1328, відносять до окружного кроку, результати вимірювань відхилу нормального кроку мають бути перетворені до значення окружного кроку, перш ніж робити порівняння зі значеннями допуску.

Ця залежність є така:

$$f_{pt} = \frac{f_{pb}}{\cos \beta}.$$

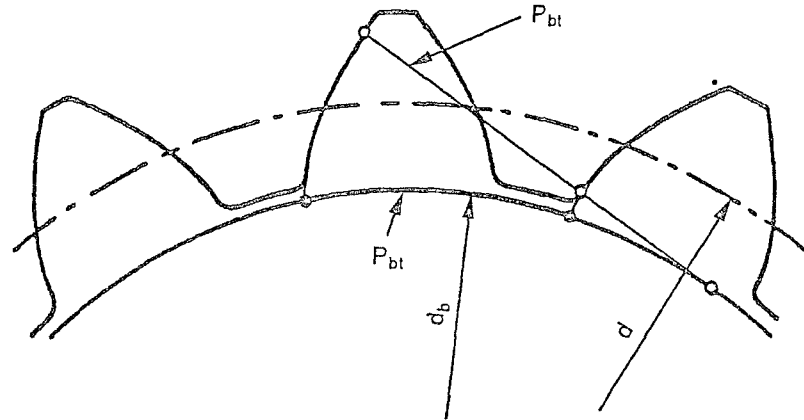
З іншого боку, значення допуску можуть бути помножені на  $\cos \beta$ , тоді, імовірно, буде необхідно менше обчислень.

Вимірювання відхилу нормального кроку не треба підсумовувати, щоб визначити відхил сукупного кроку.

#### 6.4 Вимірювання основного кроку $p_b$ та відхилів основного кроку $f_{pb}$

Основний окружний крок зубчастого колеса дорівнює довжині загальної нормалі до поперечних профілів двох послідовних відповідних профілів зуба. Це також довжина дуги основної окружності між початками евольвенти послідовних однойменних профілів (рисунок 11).

$$P_{bt} = db \cdot \frac{\pi}{z}.$$

Рисунок 11 — Основний окружний крок  $P_{bt}$ 

Нормальний і окружний кроки пов'язані відповідно таким рівнянням:

$$P_{bn} = P_{bt} \cdot \cos \beta_b.$$

Ефективний розподіл навантаження між зубцями зчеплених зубчастих коліс потребує адекватного контролю точності основного кроку обох елементів. Це особливо важливо, коли обидва елементи зубчастого колеса мають бути взаємозамінними. У таких випадках важлива мета вимірювання — це визначення значення основного середнього кроку, щоб порівняти з основними середніми кроками інших зубчастих коліс цього діапазону.

Теоретичне значення основного нормального кроку — це функція нормального модуля і нормального кута профілю:

$$P_{bn} = m \cdot \pi \cdot \cos \alpha_n.$$

Зазвичай переносний компаратор використовують для вимірювання відхилів нормального кроку. Принцип дії такого приладу зображено на рисунку 12. За допомогою відповідної міри компаратор основного кроку може бути повірено (відкалібровано), щоб безпосередньо виміряти відхилення від основного теоретичного кроку.

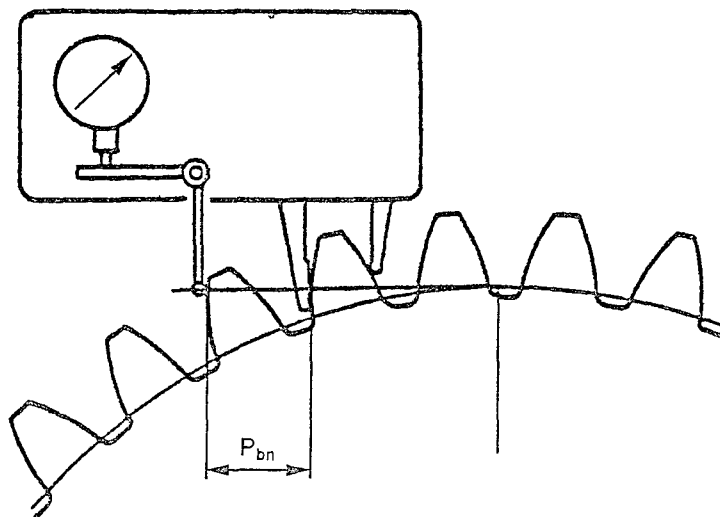


Рисунок 12 — Переносний прилад для вимірювання основного кроку, представлений на прямозубому циліндричному колесі

Під час вимірювання основного кроку треба забезпечити, щоб точки контакту зі щупами компаратора не лежали в зонах модифікованих профілів або гвинтової лінії.



Коли немає устаткування для контролю відповідного профілю, то виміряні значення відхилу основного кроку можуть бути основою, з якої може бути отримано значення відхилу кута профілю  $f_{\alpha}$ . Оскільки на вимірювані значення відхилу основного кроку впливають відхили кроку і відхили форми профілю, то цю процедуру можна застосовувати, лише коли два останніх відхили — малі значення.

У будь-якому обчисленні приблизних середніх значень кута профілю чи інших відхилів використовують середнє значення основного кроку.

Середній відхил нормального кроку,  $f_{pbm}$ , середня різниця основного діаметра,  $f_{dbm}$ , середній відхил кута профілю,  $f_{\alpha m}$ , і ефективний основний діаметр пов'язані так:

$$f_{dbm} = f_{pbm} \cdot z / \pi \cdot \cos \beta_b; f_{\alpha m} \approx -f_{pbm} / m \cdot \sin \alpha \cdot \pi;$$

$$d_{b \text{ eff}} = d_b + f_{pbm} \cdot z / \pi \cdot \cos \beta_b.$$

### 6.5 Визначення сукупних відхилів кроку $F_{pk}$ і $F_p$

Сукупні відхили кроку можуть бути визначені за допомогою алгебраїчного підсумовування вимірювань відхилів будь-якого точно встановленого номера окружного кроку (див. рисунок 5b). Індивідуальні значення одиничного відхилу кроку визначені відповідно до 6.2.1.

Метод кутової індексації, описаний у 6.2.2, безпосередньо надає значення сукупного відхилу кроку.

#### 6.5.1 Визначення загального сукупного відхилу кроку $F_p$

За визначенням, «загальний сукупний відхил кроку» — це максимальний сукупний відхил кроку будь-якого сектора однойменних профілів зубчастого колеса. Його значення дорівнює відстані, виміряній у відповідному масштабі між найвищими і найнижчими точками кривої сукупного відхилу кроку (див. рисунок 5b).

#### 6.5.2 Контроль сукупного кроку по секторах

Коли застосовують метод компарування одиничного кроку на зубчастому колесі з великою кількістю зубців, то результат вимірювання може мати значні похибки за рахунок процесу підсумовування. Одним джерелом неточності є те, що не можна гарантувати, що задній щуп завжди встановлюють у те саме місце, де був ведучий щуп протягом попереднього вимірювання.

Перевіряючи сектори кроків, можна знижувати частоту останніх згаданих похибок, і тому рекомендовано, щоб вимірювання секторних відхилів було прийнято для зубчастих коліс, що мають більше ніж 60 зубців. Рисунок 13 пояснює правило вимірювання відхилу сектора з 4 кроками, охоплюючи, наприклад, кроки 1—4. Наступний вимірюваний сектор долучив би кроки 5—8, коли задній щуп, що видно праворуч, входить у контакт із тією точкою на торці зуба номер 4, де був ведучий щуп, який видно ліворуч. Запобіжні заходи, описані в 6.2.1, однаково необхідні для вимірювання відхилів сектора кроку.

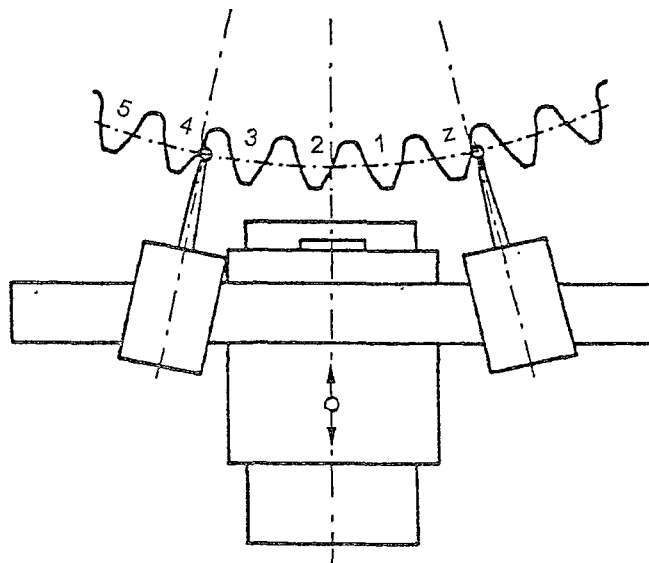


Рисунок 13 — Правило вимірювання кроку секторами

Треба вибрати кількість (S) кроків у секторі таким чином:

- а) Довжина секторної хорди підходить для компаратора, що використовують.
- б) Кількість отриманих значень задовольнить умови побудови кривої сукупного відхилю.

Як допомога для вибору відповідної кількості кроків слугує рисунок 14.

Якщо це можливо, то  $z/S$  повинно бути цілим числом.

Коли, однак, частка  $z/S$  — не ціле число, то кількість секторних вимірювань відхилів повинна дорівнювати наступному цілому числу, більшому ніж  $z/S$ , і тоді останній сектор буде долучати деякі з тих кроків, уже долучених у перший сектор.

*Приклад*

$z = 239$ ,  $m = 8$ , вибраний  $S = 5$ .

Отже, кількість секторів (даних) повинна принаймні дорівнювати  $239 : 5 = 47,8$ . З 48 секторами (дані) є перекриття  $(5 \cdot 48) - 239 = 1$  крок.

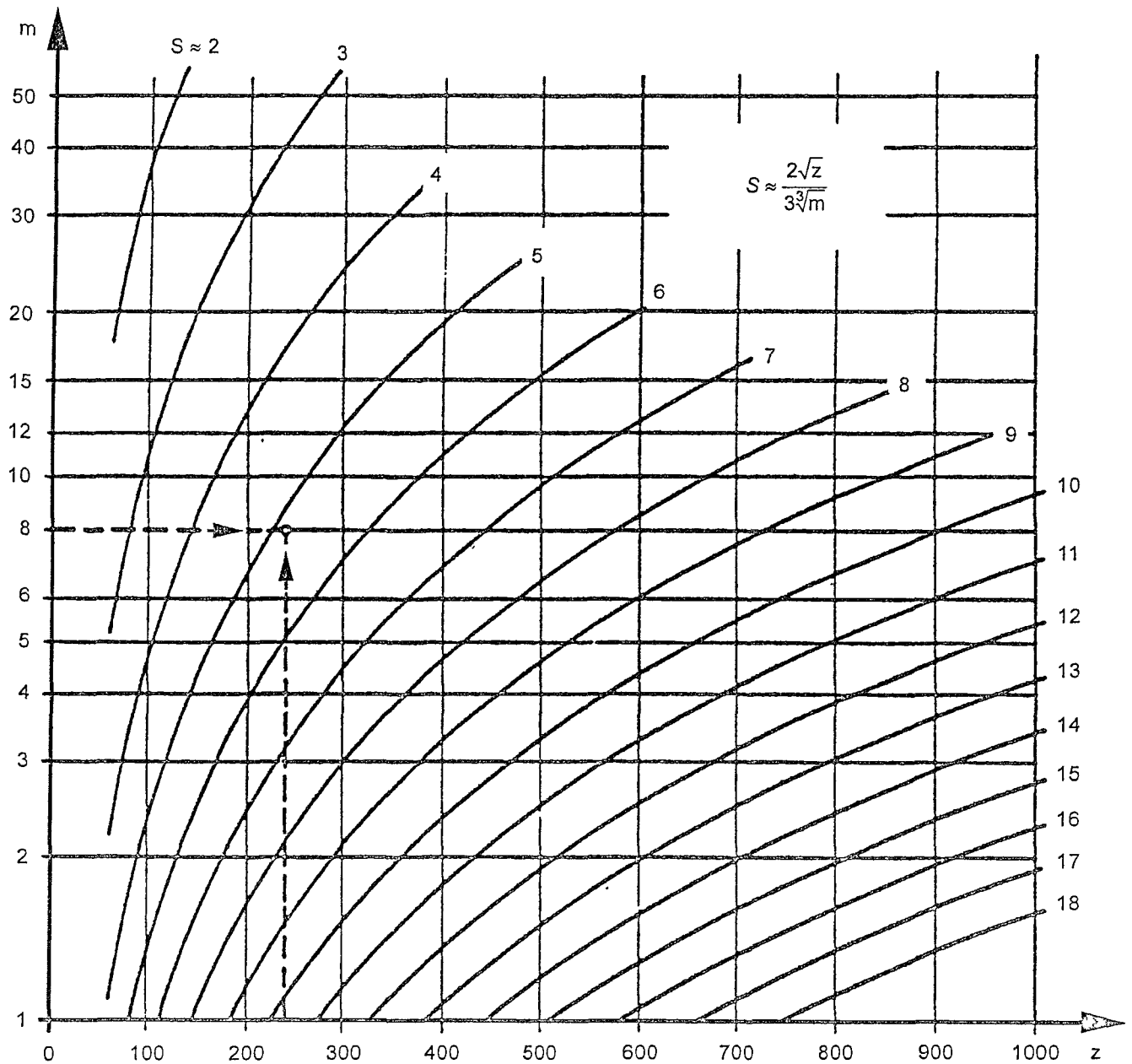


Рисунок 14 — Настанова щодо вибору кількості (S) кроків у секторі для вимірювання кроку секторами

### 6.5.3 Оцінювання результатів контролю кроку секторами

Важливо визнати, що загальний сукупний відхил кроку не завжди відкривається в кривій, основаній на алгебраїчному підсумовуванні відхилів секторів кроку. Це тому, що ефект будь-яких максимальних відхилів одиничного кроку, що лежить у межах секторів, в інших умовах впливав би на значення загального сукупного відхилю кроку, а в даному разі може компенсуватись у межах сектора.

Таким чином, якщо будь-які значення містяться поблизу перевищення границь точно встановлених допусків, відхили кроку в мінімумі, максимумі і зони перекриття мають бути змішані в сукупну криву відхилю сектора кроку, щоб визначити загальний сукупний відхил кроку більш точно.

Це буде зручним, щоб підставляти числові значення в нижні індекси символів  $F_{ps}$  і  $F_{pks}$  представлення сукупного відхилю сектора кроку. Цим позначають відповідну довжину дуги та/чи кількість кроків у секторі. Наприклад,  $F_{p24s4}$  вказує на сукупний відхил кроку по дузі, де  $k = 24$  крокам, основаним на вимірюваннях секторів 4 кроків.

### 6.5.4 Значення сукупного відхилю кроку $F_{pk}$

Якщо сукупні відхили кроку відносно малої кількості кроків є занадто великими, то в умовах експлуатації це призводить до швидкого зношення. Це особливо важливо для швидкодіючих механізмів, де ці динамічні навантаження можуть бути значні. Отже, потрібні допуски на сукупні кроки по малих кількостях кроків.

На рисунку 15 подано діаграми сукупного відхилю кроку для двох зубчастих коліс. Загальні сукупні відхили кроку показано кожною кривою — подібні, але максимальні сукупні відхили кроку на малих кількостях кроків помітно різняться, як видно в секторах «k» на кривих «a» і «b». Залежно від точно встановлених допусків, відхил  $F_{p4}$  у кривій «a»  $F_{pk}$  міг би бути прийнятним, тоді як для кривої «b» це може бути недопустимо.

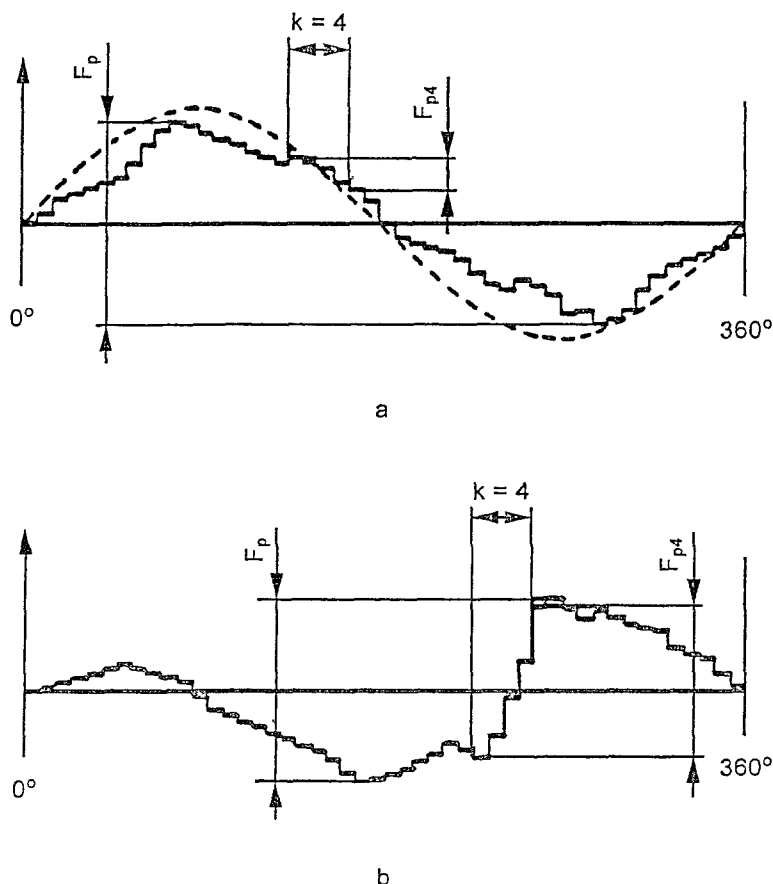


Рисунок 15 — Діаграми сукупного відхилю кроку

Максимальний сукупний відхил кроку  $F_{pk}$  точно встановленої кількості кроків  $k$  може бути отримано з діаграми  $F_{pk}$  виділенням для кожного профілю зубчастого колеса по черзі довжини дуги ( $k \cdot P_t$ ). Практично максимальне значення може бути знайдено спостереженням невеликої кількості секторів.

Розглядаючи значення, наведені в прикладі на рисунку 5, де  $k = 3$ , максимальний сукупний відхил кроку більше ніж три кроки дорівнює 10 мкм, представлені сумою одиничних відхилів кроків з номерами 15, 16 і 17.

Зручний спосіб визначити положення будь-якого значення  $F_{pk}$  полягає в тому, щоб внести відповідні номери кроку в круглі дужки; наприклад, вищезгаданий приклад був би позначений так:

$$F_{p3} (15...17) = 10 \text{ мкм.}$$

### 6.6 Зауваження щодо вимірювання відхилу кроку й оцінювання результатів

Одиничні щупи і щупи компаратора зазвичай мають сферичні кінці. Кожна вісь щупа повинна бути паралельна радіальній лінії, яка проходить через вісь зубчастого колеса та точку «щуп/контакт» профілю (рисунки 7, 8 і 13).

Для всіх вимірювань відхилів кроку, крім відхилів основного кроку, виміряних з компаратором кроку, радіальні й осьові значення биття мають бути настільки малі, щоб ними можна було знехтувати. Проте якщо вісь розглядуваного зубчастого колеса не співпадає з віссю обертання вимірювального приладу і положення пристрою для перевірки (калібрування) встановлено щодо останньої осі, то синусоїдна складова, яка має подвійну амплітуду, що дорівнює подвоєному ексцентриситету, буде додана до дійсної кривої сукупного відхилу кроку зубчастого колеса.

Синусоїдна крива вищезгаданого ексцентриситету  $f_e$ , яка є частиною діаграми сукупного відхилу кроку на рисунку 15а, отримана лише з однойменних профілів. Її амплітуда і фаза може відрізнитись від кривої радіального биття, отриманого з обох лівих і правих профілів у комбінації, що буде мати подвійну амплітуду, що дорівнює  $2f_e$ .

Значення ексцентриситету, отримане з вимірювань сукупного відхилу чи тангенціальної складової відхилу, визначене правим чи лівим профілями, позначають позначкою  $f_{eR}$  чи відповідно  $f_{eL}$ .

## 7 КОНТРОЛЬ ВІДХИЛІВ ПРОФІЛЮ

За визначенням (ISO 1328, частина 1, підрозділ 4.2), відхил профілю — є нормаль до зубців профілів у поперечних площинах. Однак відхил може бути виміряний по нормалі до поверхні профілю і такі виміряні значення мають бути перетворені перед порівнянням їх з границями допусків, розділяючи значення на  $\cos \beta_b$ .

### 7.1 Діаграма профілю

Діаграма профілю містить лінію профілю, криву на папері чи іншим чином, передбаченим приладом для вимірювання профілю зуба. Відхил кривої від прямої лінії представляє відхил профілю від евольвенти.

Модифікації профілю також з'являються як відхили від евольвенти, але вони не будуть відхилами від «розрахункового профілю».

Будь-яка довільна точка на діаграмі профілю може бути пов'язана з радіусом, довжиною розгортання та кутом розгортання.

На рисунку 16 показано типовий профіль зуба і відповідну йому лінію профілю разом з відповідними термінами. Детально терміни, визначення понять і концептуальні положення щодо лінії профілю наведено в частині 1 ISO 1328.

Оцінний діапазон профілю,  $L_\alpha$ , дорівнює активній довжині,  $L_{AE}$ , але скорочений на 8 % у вершині фаски, щоб вилучити з оцінки ненавмисно маломірні зони вершин, що можуть впливати з процесу обробки на верстаті і які не послабляють характеристики зубчастого колеса. Однак, щоб оцінити загальний відхил профілю ( $F_\alpha$ ) і відхил форми профілю ( $f_{f\alpha}$ ), 8 % надлишку матеріалу в межах зони, що залишається і що збільшує значення відхилу, має бути взято до уваги. Для відхилів з дефектом металу в зонах кінця допуски збільшено.

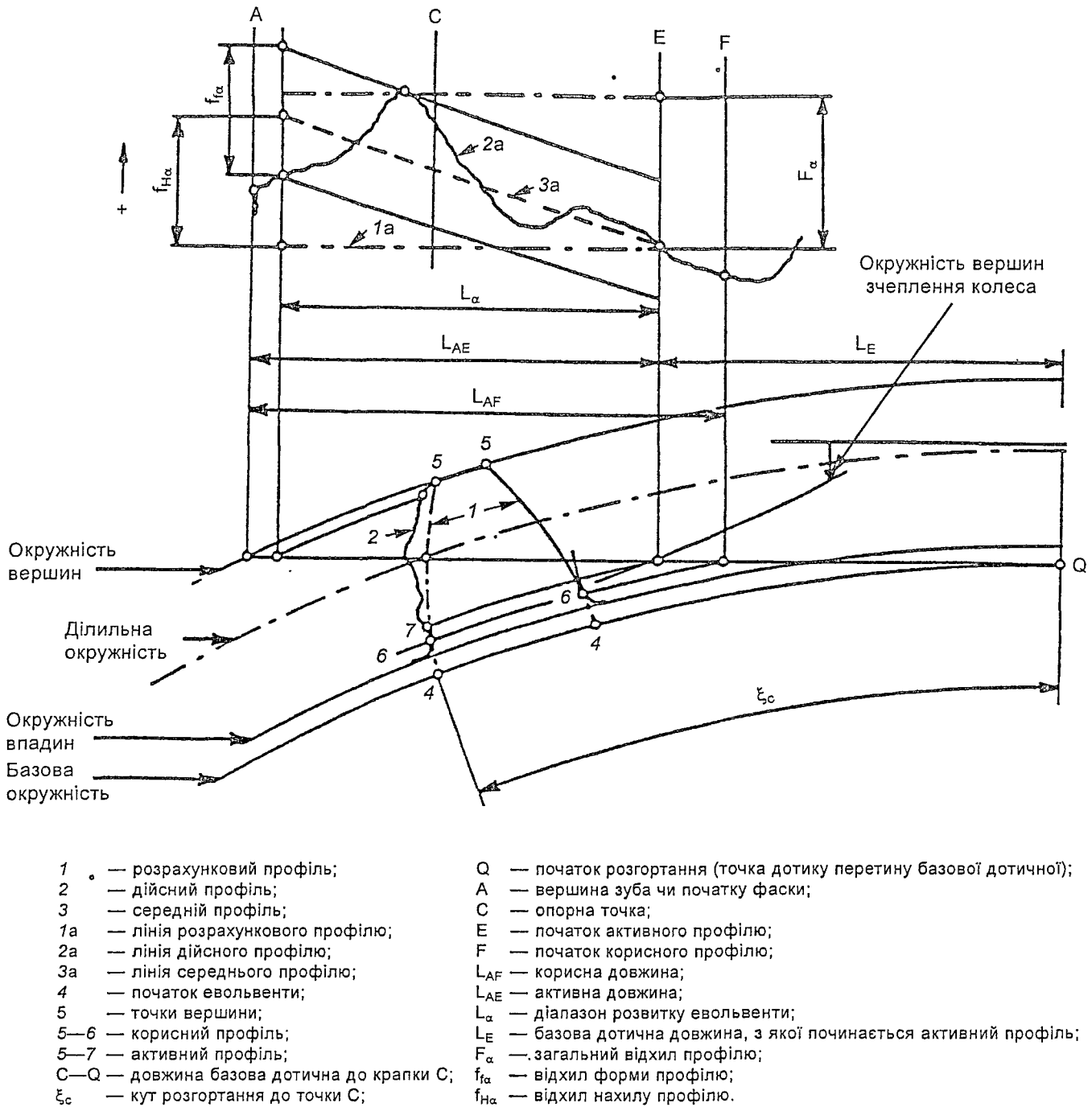


Рисунок 16 — Профіль зуба та діаграма профілю

### 7.2 Оцінювання діаграм профілю

З метою класифікації якості зубчастого колеса треба перевірити лише «загальне відхилення профілю»  $F_\alpha$  згідно з частиною 1 ISO 1328.

Однак для деяких цілей може бути корисно визначити « $f_{f\alpha}$  — відхил форми профілю» і « $f_{H\alpha}$  — відхил кута нахилу профілю». Для цього необхідно накласти «лінію середнього профілю» на діаграму, як показано на рисунку 16, також на рисунках 2, 3 і 4 частина 1, підрозділу 4.2 ISO 1328. Настанову щодо встановлення значень  $f_{f\alpha}$  і  $f_{H\alpha}$  наведено в частині 1 додатка В ISO 1328.

Коли відхили профілю вимірюють по нормалі до профілю зуба і їх не було перетворено засобами вимірювання до поперечних значень, результати треба розділити на  $\cos \beta_b$ , щоб перетворити

їх до відповідних значень профілів. Отримані таким чином значення можуть бути порівняні з точно встановленими границями допусків, що відносяться до відхилів, які вимірювали по нормалі до поперечних профілів.

### 7.3 Алгебраїчні знаки $f_{f\alpha}$ і $f_{H\alpha}$

Відхил кута нахилу профілю називають додатним, і відповідний відхил кута нахилу профілю є від'ємним значенням, коли лінія середнього профілю на вершині зуба діаграми зміщується до точки А, як показано на рисунку 16 на діаграмі. На рисунку 17 показано і додатні, і від'ємні нахили, спричинені ексцентриситетом.

Якщо нахили, помічені в діаграмах профілю сполучених зубчастих коліс, рівні і мають такий самий знак, то відхили взаємно компенсуються. Це стосується зубчастих коліс зовнішнього та внутрішнього зчеплення.

### 7.4 Відхил кута профілю $f_{\alpha}$

Зростання профілю до кінця вершини зуба свідчить, що кут натиску занадто малий.

Відхил кута профілю  $f_{\alpha}$  може бути отримано з відхилу кута нахилу профілю, використовуючи такі рівняння, у радіанах:

$$f_{\alpha} = - f_{H\alpha} / L_{\alpha} \cdot \operatorname{tg} \alpha_t \cdot 10^3;$$

у кутових секундах:

$$f_{\alpha} = - 206,26 f_{H\alpha} / L_{\alpha} \cdot \operatorname{tg} \alpha_t;$$

$$f_{H\alpha} \text{ у мкм, } L_{\alpha} \text{ у мм.}$$

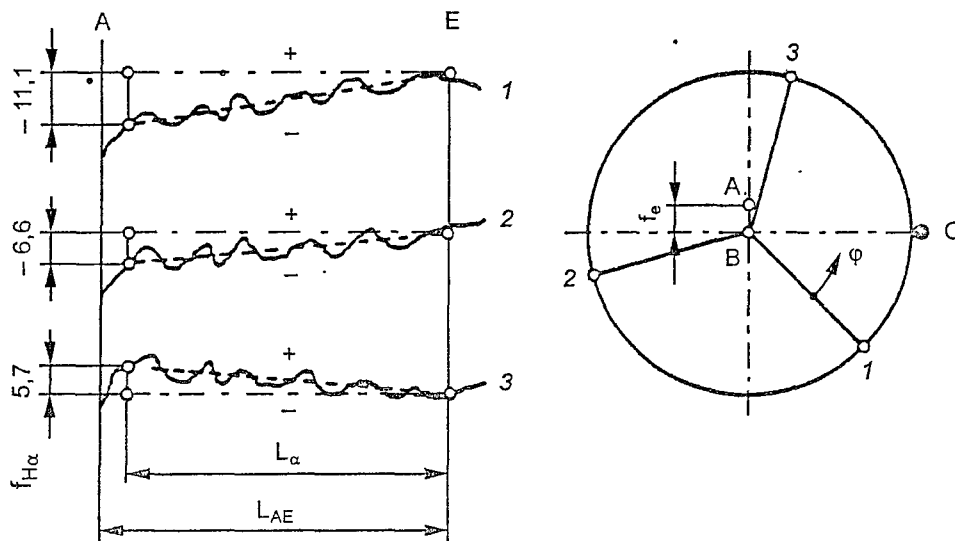
І для зовнішнього, і для внутрішнього зчеплення:

коли  $f_{H\alpha} > 0$ , тоді  $f_{db} > 0$  і  $f_{\alpha} < 0$ .

### 7.5 Відхил середнього нахилу профілю $f_{H\alpha m}$

Відхили нахилу індивідуальних профілів можуть бути обумовлені долученням ексцентриситетів до похибок під час виробництва чи під час установлення на перевірку, однак такі відхили змінюються під час обертання зубчастого колеса. У середньому значенні відхилу нахилу профілю, пов'язаному з однойменними профілями, такі варіації урівноважені.

Ефект ексцентриситету на нахил профілю і визначений відхил середнього профілю показано на рисунку 17.



$$\text{Де } f_{H\alpha m} = 1/3(-11,1 - 6,6 + 5,7) = -4 \text{ мкм};$$

A — вісь обертання верстата відносно цього зубчастого колеса;

B — вісь обертання вимірювального приладу і цього зубчастого колеса;

C — положення інструмента чи профілю, що вимірюють щупом;

1, 2, 3 — положення профілів, від яких було отримано лінії (у  $45^\circ$ ,  $165^\circ$ ,  $285^\circ$ ) і відповідні лінії профілю.

Рисунок 17 — Відхил нахилу середнього профілю,  $f_{H\alpha m}$

Треба обчислити середнє значення відхилів нахилу однойменних профілів зубців шестерні як крок до можливого рішення щодо того, яких заходів треба вжити, щоб виправити положення верстата чи інших відповідних дій.

Для всіх практичних цілей зазвичай достатньо обчислити середній арифметичний відхил нахилу профілів, які рівномірно розташовані по окружності колеса.

Відповідне середнє значення може бути отримано від ліній однойменних профілів двох діаметрально протилежних зубців. Однак якщо відхили нахилу профілю змінюються по зубчастому колесу, то це буде не завжди розкриватись, якщо лінії профілів принаймні трьох рівномірно розташованих однойменних профілів не отримано.

**7.6 Різниця основного діаметра  $f_{db}$ , середня різниця основного діаметра  $f_{dbm}$  і ефективний основний діаметр  $d_{b\text{ eff}}$**

Різниця основного діаметра  $f_{db} = d_{b\text{ eff}} - d_b$  безпосередньо пов'язана з відхилом нахилу профілю  $f_{Ha}$ . Залежність така:

$$f_{db} = f_{Ha} \cdot \frac{d_b}{L_\alpha}$$

Таким чином, коли «середнє значення відхилу нахилу профілю»  $f_{Ha,m}$  визначено (див. 7.5), то середня різниця основного діаметра та ефективний основний діаметр можуть бути отримані з таких рівнянь:

$$f_{dbm} = f_{Ha,m} \cdot \frac{d_b}{L_\alpha};$$

$$d_{b\text{ eff}} = d_b \cdot \left( 1 + \frac{f_{Ha,m}}{L_\alpha} \right).$$

**7.7 Поле допуску профілю**

Зручна інспекційна процедура має перевірити, чи дійсно лінія профілю може бути у точно встановленій області допуску.

Багато областей допуску мають форми, що грубо нагадують букву «К» (рисунок 18), отже, є добре відомий термін «К-діаграма».

Використання такої діаграми зображено на рисунку 18а, на якому лінія профілю перебуває в межах області допуску, тоді як на рисунку 18б лінія профілю виходить за ці області допуску.

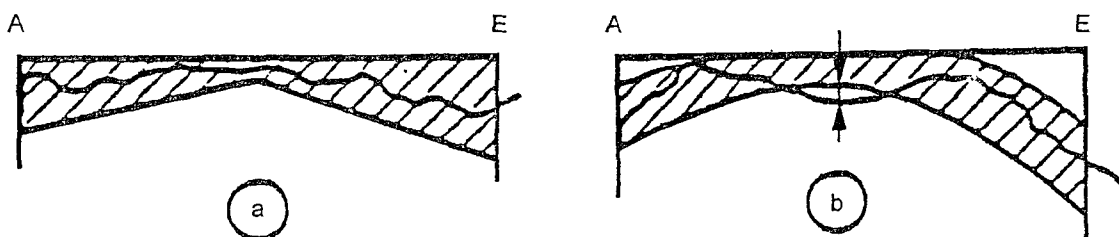


Рисунок 18 — Перевірка точності профілю, порівнюючи його з межами допуску

У разі потреби, можна застосувати комбінацію двох типів оцінювання точності профілю (зі стандартними допусками і за методом області допуску), як показано в прикладі на рисунку 19.

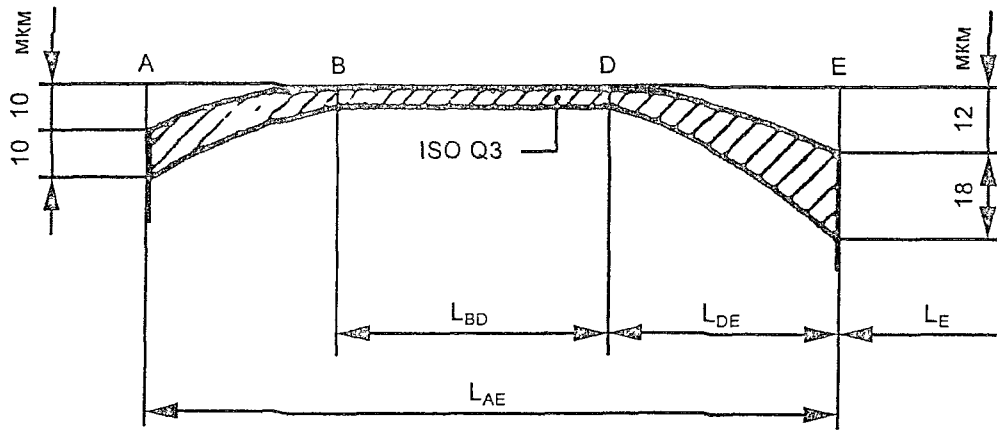


Рисунок 19 — Різні системи допуску для різних зон профілю

### 7.8 Профіль, що має бочкуватість, $C_\alpha$

Для деяких областей застосування змінюють профіль зуба до дугоподібної форми, що зазвичай простягається від приблизно середини зуба до вершини і кореня зубців шестерні. Див. рисунок 20.

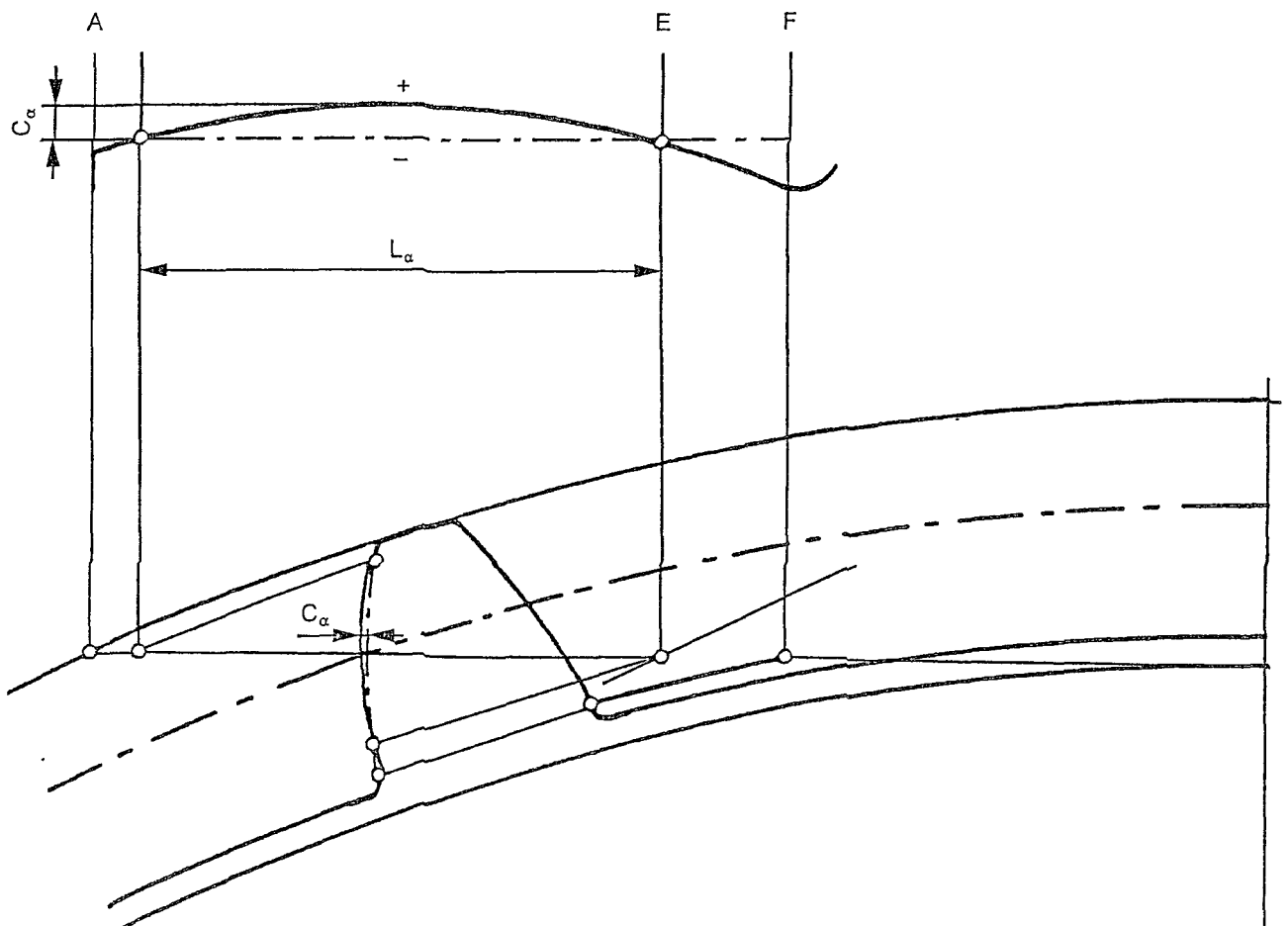


Рисунок 20 — Профіль, що має бочкуватість,  $C_\alpha$



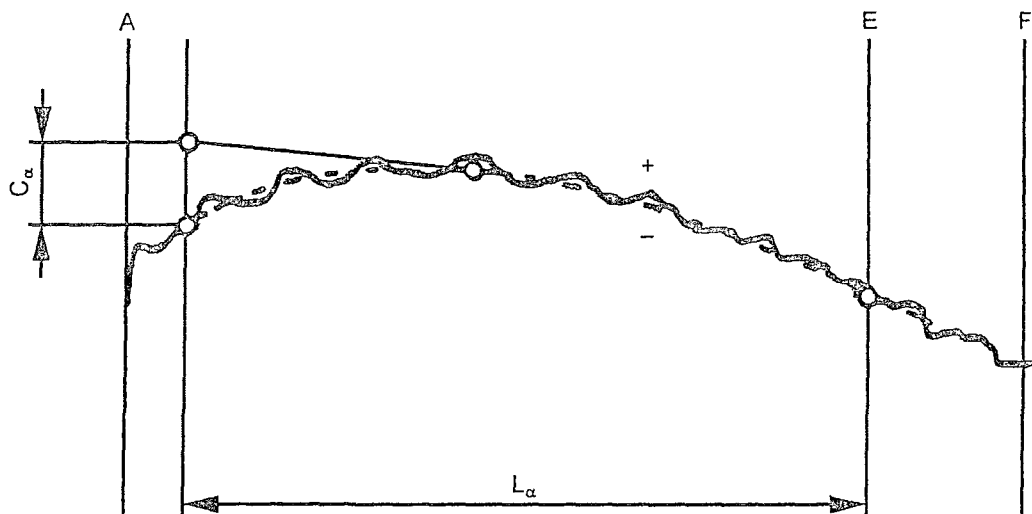


Рисунок 21 — Визначення профілю, що має бочкуватість,  $C_\alpha$

Значення, на яке викривлена евольвента, можна визначити, як описано нижче.

На діаграмі пряма лінія проходить через точки перетину лінії профілю чи його середню лінію з кінцями оцінного діапазону, як показано на рисунку 21. Відстань між цією лінією і паралельною їй, котра є дотичною до середини кривої, вимірювана у напрямку зареєстрованих відхилів, дорівнює значенню бочкуватості профілю ( $C_\alpha$ ).

У діаграмах профілів, які мають значну бочкуватість зубців, розрахункова і середня лінія профілю — зазвичай параболічні криві.

## 8 КОНТРОЛЬ ВІДХИЛІВ ҐВИНТОВОЇ ЛІНІЇ

За визначенням відхили Ґвинтової лінії — значення, виміряні в напрямку поперечних основних дотичних, на які дійсна Ґвинтова лінія відхиляється від розрахункової. Якщо відхили виміряні по нормалі до профілів зуба, то їх треба поділити на  $\cos \beta_b$ , щоб перетворити ці значення, перш ніж порівняти з межами допусків.

### 8.1 Діаграма Ґвинтової лінії

Діаграма Ґвинтової лінії містить лінію Ґвинтової лінії, криву на папері чи іншим чином, що передбачено приладом для вимірювання Ґвинтової лінії зуба. Відхили кривої від прямої лінії представлено у збільшеній формі відхилами дійсної Ґвинтової лінії від немодифікованої Ґвинтової лінії.

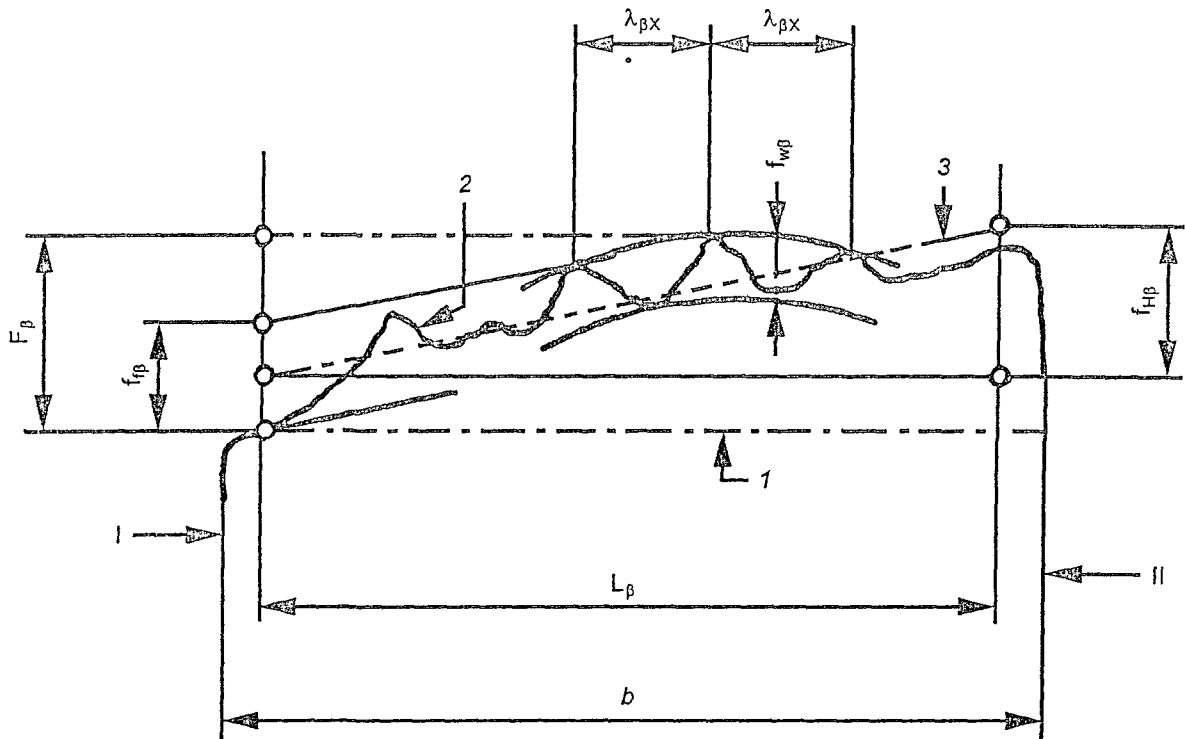
Зміни Ґвинтової лінії, введені проектувальником, також з'являються як відхили від прямої лінії, але вони не будуть відхилами від «розрахункової Ґвинтової лінії» згідно з ISO 1328, частиною 1, підпунктом 4.3.1.4.

Іноді довжину лінії малої ширини зуба збільшують чи перетворюють представленням великої ширини зуба. Визначення «довжина лінії» також наведено в частині 1, підпункті 4.3.1.2 ISO 1328.

Відповідно до лівого і правого нахилу Ґвинтової лінії позначки чи індекси позначають літерами «l» і «r».

На рисунку 22 наведено типовий приклад діаграми відхилів Ґвинтової лінії немодифікованого профілю зуба. Модифіковану Ґвинтову лінію буде представлено відповідними кривими.

Терміни, визначення понять і концептуальні положення щодо лінії Ґвинтової лінії наведено в частині 1 ISO 1328.



- |   |  |
|---|--|
| 1 — лінія проектної гвинтової лінії;            | $f_{fb}$ — відхил форми гвинтової лінії;         |
| 2 — лінія дійсної гвинтової лінії;              | $f_{f\beta}$ — відхил нахилу гвинтової лінії;    |
| 3 — лінія середньої гвинтової лінії;            | $\lambda_{\beta x}$ — довжина хвилі хвилястості; |
| $b$ — ширина зуба чи відстань між фасками;      | $f_{w\beta}$ — висота хвилястості;               |
| $L_{\beta}$ — оцінний діапазон гвинтової лінії; | I — лицьова поверхня;                            |
| $F_{\beta}$ — загальний відхил гвинтової лінії; | II — неліцьова поверхня.                         |

Рисунок 22 — Діаграма гвинтової лінії

Оцінний діапазон гвинтової лінії  $L_{\beta}$  дорівнює довжині лінії, що зменшена з кожного кінця на 5 % від довжини лінії, але не більше ніж на один модуль  $l \cdot m$ . Це зниження зроблене, щоб гарантувати, що ненавмисні, тонкі зрізи на кінцях профілю зуба, зумовлені деякими умовами обробки на верстаті, які зазвичай долучають під час оцінювання значення відхилу, призначені для порівняння із встановленими допусками. Щоб оцінити загальний відхил гвинтової лінії ( $F_{\beta}$ ) і відхил форми гвинтової лінії ( $f_{fb}$ ), надлишок матеріалу в межах 5 % від зон кінця, що збільшує значення відхилу, треба брати до уваги. Для відхилів з дефектом металу в зонах кінця допуски збільшено.

### 8.2 Оцінювання діаграм гвинтової лінії

З метою класифікації якості зубчастого колеса треба перевірити лише «загальний відхил гвинтової лінії»  $F_{\beta}$ . Див. частину 1 ISO 1328.

Однак для деяких цілей може бути корисно визначити «відхил нахилу гвинтової лінії»  $f_{f\beta}$  і «відхил форми гвинтової лінії»  $f_{fb}$ . Для цього треба провести «лінію середньої гвинтової лінії» на діаграмі, як показано на рисунку 22. Рекомендації для значень допусків  $f_{f\beta}$  і  $f_{fb}$  наведено в частині 1 додатка B ISO 1328.

Коли відхили гвинтової лінії виміряні по нормалі до профілю зуба і не перетворені засобами вимірювання до поперечних значень, то результати треба поділити на  $\cos \beta_{\beta}$ , щоб перетворити їх на відповідні значення профілів.

Отримані таким чином значення можна порівнювати з точно встановленими межами допусків, що відносяться до відхилів, які вимірювали по нормалі до поперечних профілів.

### 8.3 Визначення відхилу гвинтової лінії контролем осьового кроку

Коли діаграми спіралі не можуть бути отримані, наприклад, на дуже великих зубчастих колесах, що не можуть бути перевірені на вимірювальних приладах, то «відхил нахилу гвинтової лінії»  $f_{H\beta}$  може бути визначено з вимірювань осьового кроку.

Інструменти цього типу в основному містять точний рівень і два кулькових наконечники. Наконечники відрегульовані так, щоб інтервал між ними приблизно дорівнював цілому числу осьових кроків.

Наконечники розміщують на поверхні профілю зубчастого колеса на лінії, що паралельна осі зубчастого колеса. Рівень відрегульовано до нуля, і будь-який відхил кута нахилу в інших положеннях на зубчастому колесі буде визначено.

Визначення відхилу кута нахилу разом з відстанню між наконечниками може бути пов'язано математично із середнім відхилом нахилу гвинтової лінії профілів. Цей метод не має високої точності.

Якщо вимірювання проведено на трьох чи більше рівномірно розподілених положеннях по зубчастому колесу, то ефект відхилів основного кроку в результаті може бути скасованим, і приблизний середній «відхил нахилу гвинтової лінії», що є незалежним від осі зубчастого колеса, може бути розраховано.

Крім того, середнє значення «відхилу нахилу гвинтової лінії» для лівих і правих профілів може бути визначено, якщо профіль зубчастого колеса не має серйозних відхилів і профілі не короновані (не мають додаткової опуклості).

Вимірювання можуть бути прийняті для зубчастих коліс у будь-якому відношенні. Для цього методу треба, щоб зубчасті колеса мали ширину профілю більшу, ніж один осьовий крок.

### 8.4 Алгебраїчні знаки $f_{H\beta}$ і $f_{\beta}$

Відхил нахилу гвинтової лінії,  $f_{H\beta}$ , і відхил кута нахилу гвинтової лінії,  $f_{\beta}$ , мають бути з алгебраїчним знаком.

Відхили вважають додатними ( $f_{H\beta} > 0$  і  $f_{\beta} > 0$ ), коли кути гвинтової лінії є більшими і від'ємними, а також коли кути гвинтової лінії є меншими, ніж кут розрахункової гвинтової лінії.

Відхили гвинтової лінії прямозубих циліндричних коліс, крім нульового нахилу, позначені нижніми індексами «r» і «l» замість алгебраїчного знака, визначаючи відхили в праву чи ліву сторону відповідно.

Якщо відхили гвинтової лінії,  $f_{H\beta}$  і  $f_{\beta}$ , зубчастого колеса і його зчеплених профілів рівні за значенням та алгебраїчним знаком, то відхили взаємно компенсуються.

### 8.5 Відхил середнього нахилу гвинтової лінії $f_{H\beta m}$ і відхил середнього кута гвинтової лінії $f_{\beta m}$

Якщо під час виготовлення зубчасте колесо було встановлено зі зміщенням його осі від осі обертання зубонарізного механізму, то нахили відхилів гвинтової лінії зубців по всьому колесу були б різні (див. рисунок 23).

Навіть коли відхили лежать у границях точно встановлених допусків, то цим відхилам треба приділяти увагу через їх можливий вплив під час роботи, щоб уникнути в майбутньому поширення їх впливу.

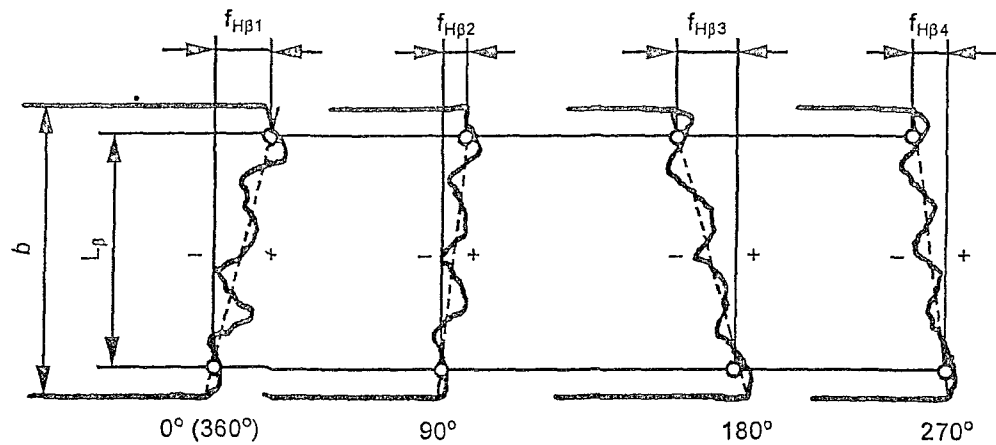


Рисунок 23 — Лінії від чотирьох профілів, однаково розташованих по колесу, які ілюструють залежність нахилу гвинтової лінії від ексцентриситету чи коливання

Для деяких цілей, наприклад, щоб виправити положення зубонарізного верстата чи положення зубчастого колеса, треба визначити середній відхил гвинтової лінії обчисленням середнього відхилення з кількох відхилів, виміряних на трьох чи більше профілях зубців, рівномірно розташованих по колесу.

$$f_{H\beta m} = 1/n(f_{H\beta 1} + f_{H\beta 2} + \dots + f_{H\beta n})$$

Відповідне середнє значення може бути отримано з діаграм гвинтової лінії однойменних профілів двох діаметрально протилежних зубців. Однак якщо відхили нахилу гвинтової лінії змінюються по зубчастому колесу, то для їхнього визначення треба мати лінії принаймні трьох профілів, рівномірно розташованих по колесу.

### 8.6 Поле допуску гвинтової лінії

Зручний спосіб перевіряти точність гвинтової лінії полягає в тому, щоб перевірити, чи дійсно її лінія лежить у точно встановленій області допуску.

Деталі цього методу ті самі, як описано для «поля допуску профілю» в 7.7.

### 8.7 Додаткова опуклість зуба, $C_{\beta}$

На діаграмі лінія гвинтової лінії немодифікованого профілю зуба представлена більш-менш прямою лінією, в той час як відповідною лінією профілю зуба з повздовжньою модифікацією буде дугоподібна крива. На діаграмах гвинтової лінії, які навмисно мають додаткову опуклість профілів зубців, розрахункова і середня лінії гвинтової лінії — зазвичай параболічні криві.

Процедура для оцінювання бочкуватості профілю,  $C_{\alpha}$ , яку описано в 7.8, може однаково бути застосовною до оцінювання додаткової опуклості зуба,  $C_{\beta}$ .

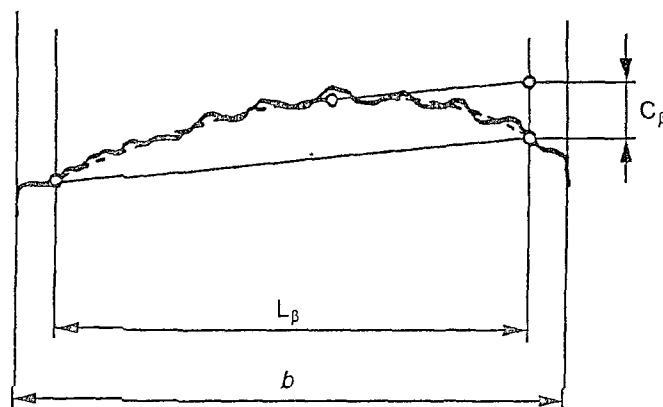


Рисунок 24 — Додаткова опуклість зуба,  $C_{\beta}$

### 8.8 Хвилястості

Хвилястості — це відхили форми ґвинтової лінії, що мають сталу довжину хвилі і майже сталу висоту. Пертурбації елементів передачі зубонарізного верстата — їх загальна причина, особливо виділяють такі:

- а) супорт привода інструмента, що нарізає зубці;
- б) черв'як привода черв'ячного колеса.

Довжину хвилі хвилястостей, зумовлених причинами типу а), вимірюють у напрямку ґвинтової лінії, і вона дорівнює кроку ґвинтової подачі, поділеному на  $\cos \beta$ .

Хвилястості, які зумовлені причинами типу б), мають довжину хвилі:

$$\lambda_{\beta} = d \cdot \pi / z_M \cdot \sin \beta.$$

Кількість хвилястостей, зумовлених причинами типу б), проєктованих у поперечну площину, дорівнює кількості зубців  $z_M$  тягового механізму. Вони можуть бути джерелами небажаних високо-частотних компонентів шумових спектрів, частота відповідає частоті обертання пошкодженого зубчастого колеса, помноженого на  $z_M$ .

Застосування методу для вимірювання хвилястості ґвинтової лінії і прилад для цього показано на рисунку 25. Це вказано нижче.

Коли хвилястості визначають причинами типу а) чи б), що згадані вище, то їх треба вимірювати, відповідну довжину хвилі розраховують і сферичні опори встановлюють на непарному числі довжин хвилі.

Значення хвилястості визначають щупом, розташованим на середині між опорами, оскільки останні рухаються по ґвинтовій лінії.

Як видно з рисунка 25, розташування щупа спочатку на вершині, а потім у впадині дає подвійне значення хвилястості, яке вимірює щуп. Ця особливість збільшує чутливість приладу, який також дає результати у формі діаграми.

Треба зазначити, що хвилястості не були б визначені, якщо опори були б розташовані на відстані, яка дорівнює парному числу довжин хвиль, як показано на рисунку 25, де  $s = 4 \lambda_{\beta}$ .

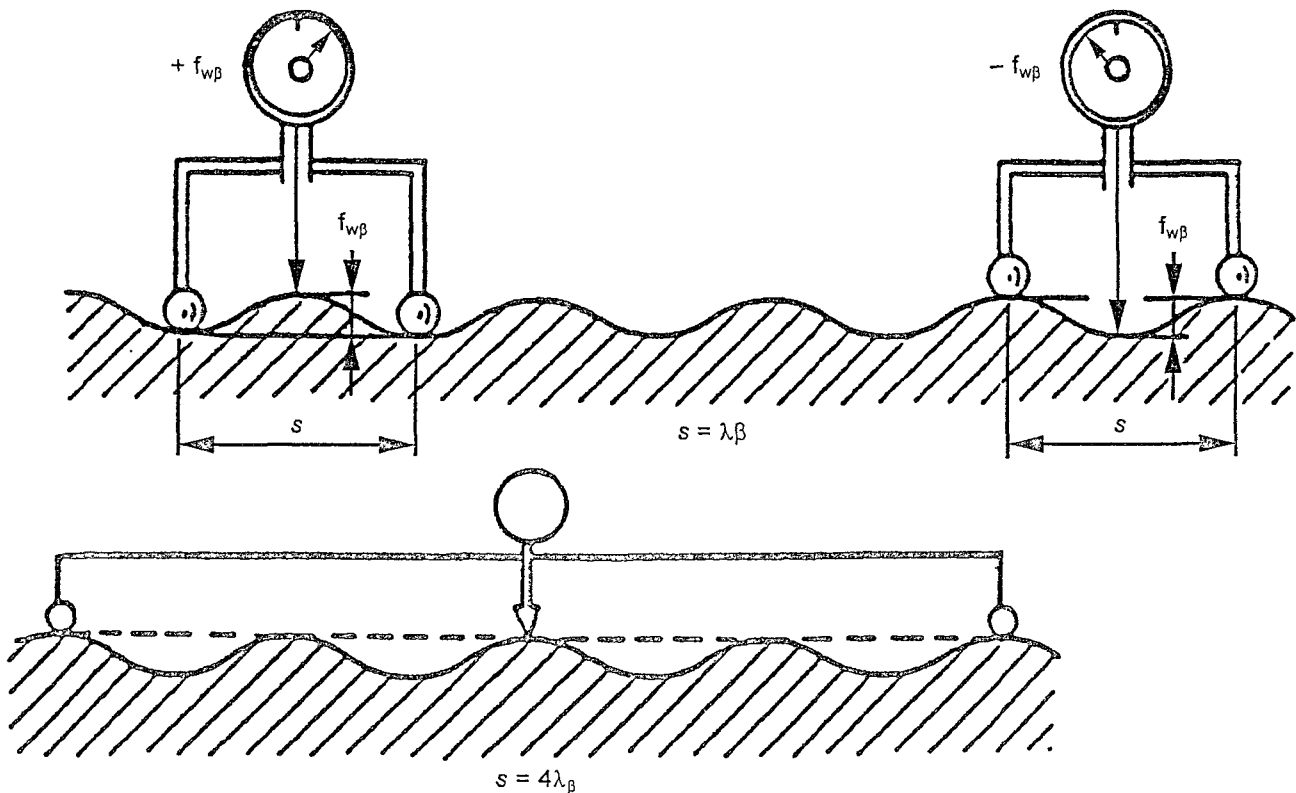


Рисунок 25 — Правило контролю хвилястості

## 9 КОНТРОЛЬ КІНЕМАТИЧНОЇ ПОХИБКИ

### 9.1 Загальні положення

З метою класифікації кінематичної похибки два зубчастих колеса, одне з яких може бути еталонним, вводяться у зчеплення. Зубчасті колеса обертаються, контакт відбувається лише на однійменних профілях, доки не зроблено повну діаграму.

Протягом контролю кінематичної похибки контакт профілів зуба підтримується під легким навантаженням і низькою кутовою швидкістю. За такого способу зроблені записи відображують об'єднаний вплив відхилів елементів зуба обох зубчастих коліс (тобто профіль, гвинтову лінію та крок).

Можуть бути проконтрольовані такі комбінації:

- а) робоче колесо у зчепленні з еталонним колесом;
- б) зчеплення пари робочих коліс;
- с) ланцюг зубчастих коліс з більше ніж двома зубчастими колесами у зчепленні.

Випадку а) відповідає запис, зроблений протягом одного повороту робочого колеса. Увагу треба приділити тому факту, що точність еталонного колеса впливає на результати контролю.

Похибками еталонного колеса зазвичай зневажають, якщо його точність принаймні на 4 ступені якості вище, ніж робоче колесо. Якщо якість еталонного колеса менше ніж чотири ступені якості робочого колеса, то похибки еталонного колеса треба взяти до уваги.

Загальна кінематична похибка ( $F'_i$ ) — це максимальна різниця між ефективним і теоретичним зміщенням по колу під час контролювання колеса, коли воно робить один повний оберт.

Кінематична похибка на одному зубі ( $f'_i$ ) — це значення кінематичної похибки за оберт на один крок.

Випадку б) відповідають відхилення ( $F'$  і  $f'$ ) зчеплення двох робочих коліс, що мають назву «відхили передачі пари коліс». Щоб цілком дослідити повний спектр відхилів, треба продовжити обертання, доки обидва робочих колеса не зроблять таку кількість поворотів, яка дорівнює кількості зубців колеса зчеплення, поділеного на загальний найбільший дільник, що відповідає кількості зубців двох зчеплених робочих коліс ( $z_1$  і  $z_2$ ). Кількість обертів, визначених цим способом, відповідає повному періоду зчеплення пари коліс. Зроблена діаграма зображає відхили елементів зубців обох робочих коліс як пари. Якщо відхили зубців індивідуальних зубчастих коліс треба ідентифікувати, то дані треба відповідно обробити, як наведено в 9.3.3.2.

Кінематичні похибки сильно навантажених зубчастих коліс можуть також бути подібно проконтрольовані, коли є відповідне пристосування. За таких обставин на зареєстровані відхили впливає вантаж, який деформує зубці, варіації твердості у зчепленні і, залежно від швидкості обертання, недосконалості геометрії зуба. В частині 1 ISO 1328 немає посилань на такий контроль.

Третій випадок с) — це оцінювання кінематики зубчастої передачі. Такий контроль перебуває за межами сфери застосування ISO 1328.

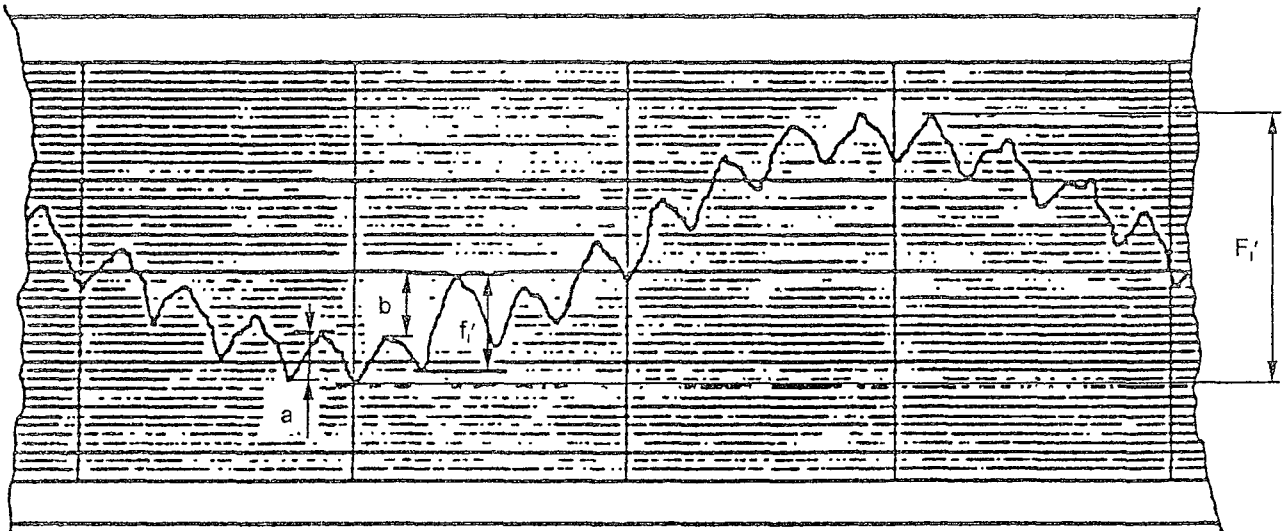
### 9.2 Контроль пари «робоче колесо/еталонне колесо»

#### 9.2.1 Прямозубі циліндричні колеса

Зареєстровані діаграми кінематичної похибки взагалі охоплюють короткі компоненти періоду, що відповідають послідовному зчепленню зубців, і компоненти довгого періоду, пов'язані з повними обертами кожного з зубчастих коліс зчеплення.

Діаграма на рисунку 26 представляє запис кінематичної похибки, зроблений протягом одного обертання шестерні, що має шістнадцять зубців, коли вона перебуває у зчепленні з еталонним колесом.

На рисунку показано «загальну кінематичну похибку»  $F'_i$ , максимальну «кінематичну похибку на одному зубці»  $f'_i$ , профільну компоненту «а» і компоненту одиничного кроку «б».



Де  $f'_k$  — кінематична похибка на одному зубці (максимальне значення);  
 $F'_k$  — загальна кінематична похибка,  
 $a$  — відхил, більша частина якого зумовлена відхилом профілю,  
 $b$  — компонента одиничного кроку

Рисунок 26 — Діаграма кінематичної похибки прямозубого колеса

### 9.2.1.1 Вплив відхилів профілю прямозубих циліндричних зубчастих коліс

Коли використовують еталонне колесо під час контролювання кінематичної похибки, то допускають, що застосовують еталонне колесо особливої точності, і тоді діаграма кінематичної похибки представляє лише комбіновані відхили елементів зубців робочого колеса.

На рисунку 27 схематично показано кінематичну похибку трьох послідовних циклів зчеплення зубців еталонного колеса і робочого колеса, перша схема профілю, який є немодифікованим і бездоганним, друга схема профілю, що модифікований від середини висоти до межі активного профілю, і третя схема відповідає профілю з «відхилом кута нахилу».

На рисунку 27 А показано діаграму прямої лінії, що була зроблена випробним зубчастим колесом і еталонним колесом, у яких немодифіковано зубці.

На рисунку 27 В показано вплив модифікації профілю вершини і ніжки зуба у формі бочкуватості  $C_\alpha$ . Від початку зчеплення зуба, з першим контактом у вершині зуба робочого колеса, відхил поступово збільшується від нуля, оскільки контакт відбувається на середині висоти зуба, потім змінюється на поступово зменшувану, оскільки контакт наближається до кінця циклу зчеплення зуба.

На рисунку 27 С діаграма з трьома компонентами показує поступовий відхил кінематичної похибки від нуля до від'ємного значення, оскільки контакт проходить від вершини зуба робочого колеса до активного профілю зуба. У цій точці контакт різко переходить до наступного зуба з введенням однакового позитивного значення кінематичної похибки.

Треба пам'ятати, що діаграми кінематичної похибки не тільки відображають вплив відхилів профілю під час контролю кількох зубців, але й можуть мати вплив на контакт робочих поверхонь зубців робочого колеса.

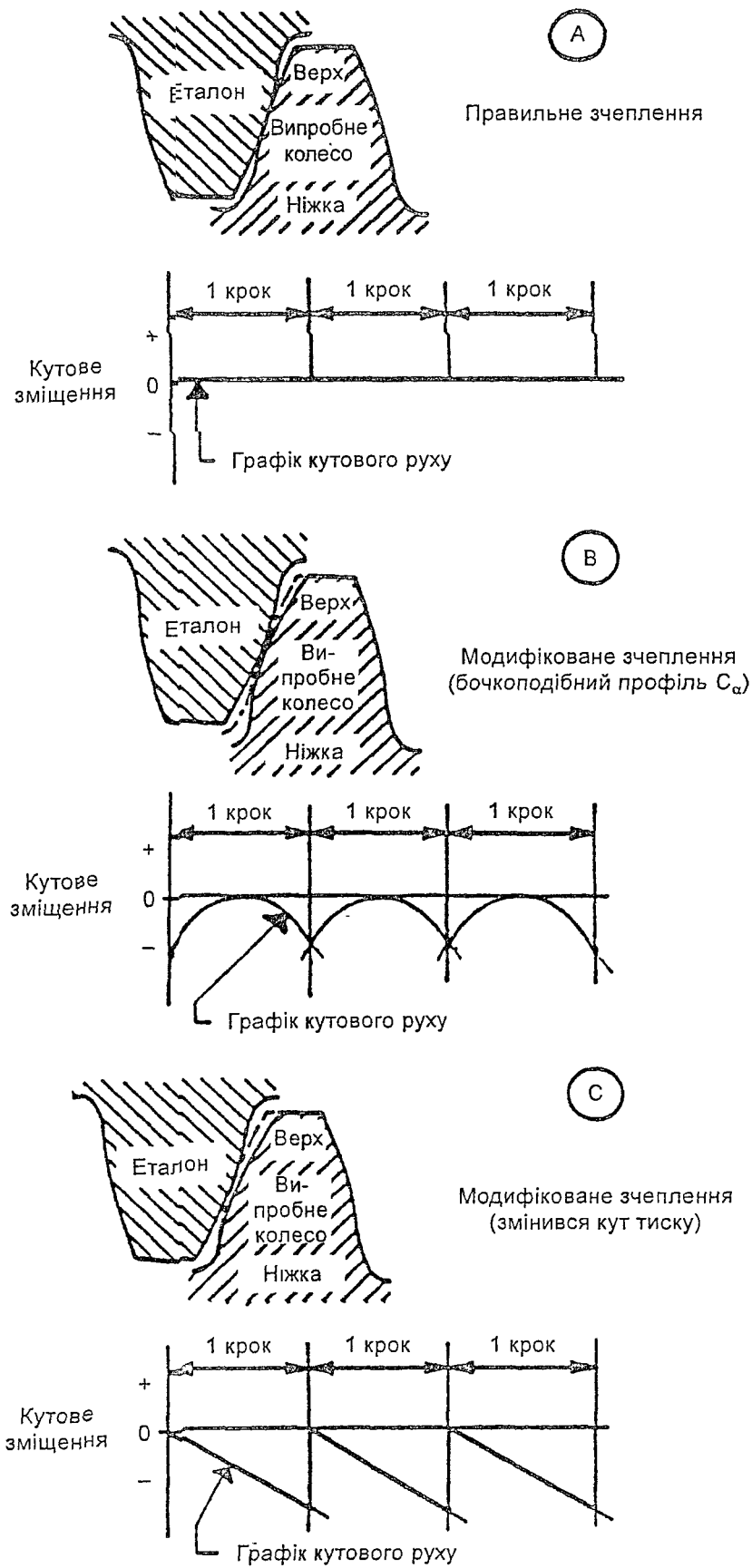


Рисунок 27 — Вплив відхилів профілю прямозубих циліндричних коліс



**9.2.1.2 Вплив відхилів кроку прямозубих циліндричних коліс**

У разі відхилів кроку на кроці N, коли під час обертання контакт переходить від зуба з номером N-1 до зуба з номером N, локальна кінематична похибка буде відображатися, як показано на діаграмі кінематичної похибки, зсувом діаграми одного з компонентів профілю.

Принципова схема на рисунку 28 пояснює вплив одиничних відхилів кроку на діаграму кінематичної похибки.

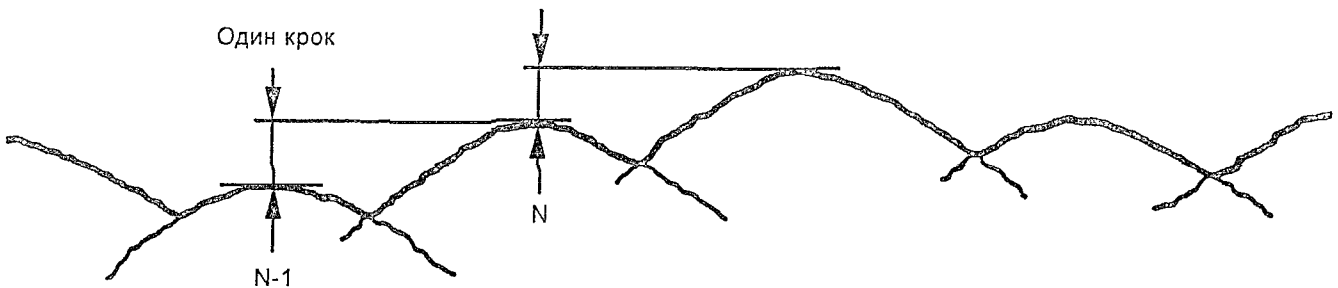


Рисунок 28 — Вплив одиничного відхилення кроку прямозубих циліндричних коліс

Одиничні відхилення кроку мають сукупний ефект на тангенціальну складову дуги зсуву, оскільки вони проходять по зчепленню. Їхній вплив добре видно на діаграмі кінематичної похибки, з якої значення відхилення сукупного кроку можуть бути визначені (наприклад, коли  $k = 2$ ,  $k = 3$  тощо) як окремі координати тангенсів на вершині відповідної кількості кроків.



Рисунок 29 — Діаграми компонентів кінематичної похибки прямозубого циліндричного колеса

Правило проілюстровано на рисунку 29, на якому показано вплив відхилення одиничного кроку, комбінований відхил одиничного кроку і відхил профілю й також приблизний загальний відхил.

**9.2.1.3 Вплив відхилів гвинтової лінії прямозубих циліндричних коліс**

Відхил гвинтової лінії є сталим за значенням і за знаком, тобто є загальним для кожного зуба зубчастого колеса. Кінематична похибка впливає неістотно.

Коли відхилення гвинтової лінії змінюються за значенням і знаком (тобто напрямок) по зубчастому колесу, то кінематична похибка може мати вплив. Зміна значення відхилення гвинтової лінії може впливати на кінематичну похибку.

Якщо відхилення профілю різні в протилежних кінцях зчеплення, то компоненти діаграми профілю (зуб-до-зуба) кінематичної похибки будуть також впливати.

**9.2.1.4 Вплив коефіцієнта перекриття прямозубих циліндричних коліс**

Діаграма кінематичної похибки, яка одержана від зчеплення «еталонне колесо/робоче колесо», складена з почергових кривих, що представляють, головним чином, відхил профілю, як подано на рисунку 30.

Показано залежність між фазами зчеплення «дві пари/одиночна пара/дві пари» і діаграму кінематичної похибки протягом повного циклу зчеплення зуба. Визначають, що максимальна довжина плями контакту одиночної пари досягається, коли коефіцієнт перекриття,  $\epsilon_\alpha$ , дорівнює одиниці. Якщо коефіцієнт перекриття збільшується, то ця довжина зменшується, і коли коефіцієнт перекриття більше ніж два, то немає ніякої плями контакту взагалі.

Щоб отримати максимальну кількість корисних даних, зубці еталонного колеса треба зробити настільки глибокими, як і ширина вершини зуба. Це дасть змогу проводити контроль на такій відстані між центрами, що коефіцієнт перекриття дорівнює одиниці і під час іншого контролю, з іншою відстанню між центрами профілі буде цілком досліджено.

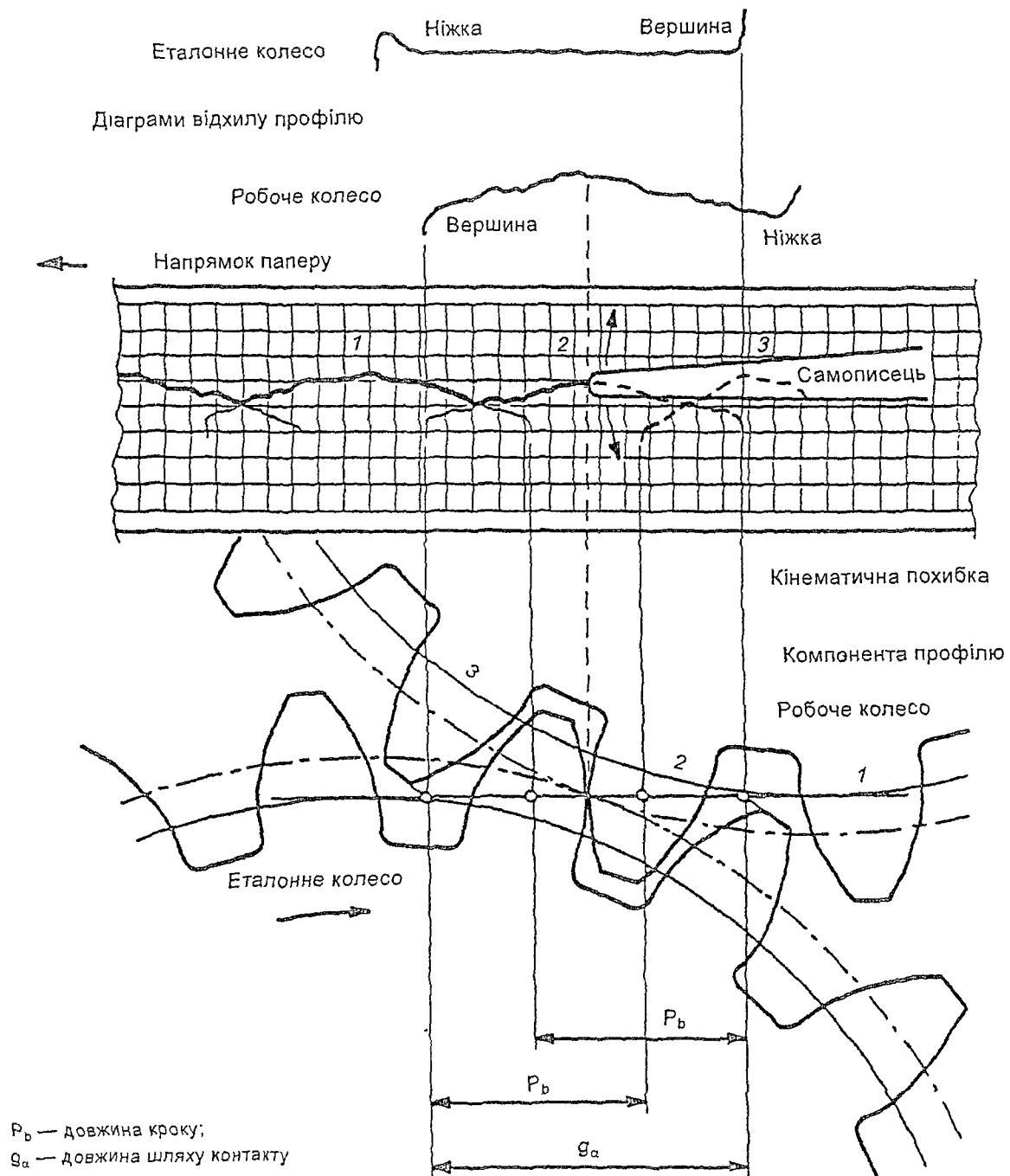


Рисунок 30 — Ефект переходу контакту на профілі в діаграмі кінематичної похибки (прямозубі циліндричні колеса)

### 9.2.2 Косоzubі зубчасті колеса

Коли загальний коефіцієнт перекриття,  $\epsilon_\gamma$ , менше ніж 2,0, то умови передачі для косоzubих зубчастих коліс подібні тим, що мають прямоzubі циліндричні колеса, коефіцієнт перекриття яких,  $\epsilon_\alpha$ , менше ніж 2,0 — і в такому разі всі вищенаведені виклади щодо прямоzubих циліндричних коліс застосовують до косоzubих зубчастих коліс.

Коли загальний коефіцієнт перекриття,  $\epsilon_\gamma$ , косоzubих зубчастих коліс більше ніж два, який зазвичай має місце, то короткі періоди компонент, що показують нерівності профілю, згладжені до деякої міри, тому що взагалі одночасний контакт наявний на двох чи більше парах зубців.

Діаграми на рисунку 31: діаграма «А», яка отримана від косоzubих зубчастих коліс, і діаграма «В» від прямоzubих циліндричних коліс пояснюють різницю між шляхами, в яких є вплив зчеплених зубців для двох типів комбінацій.

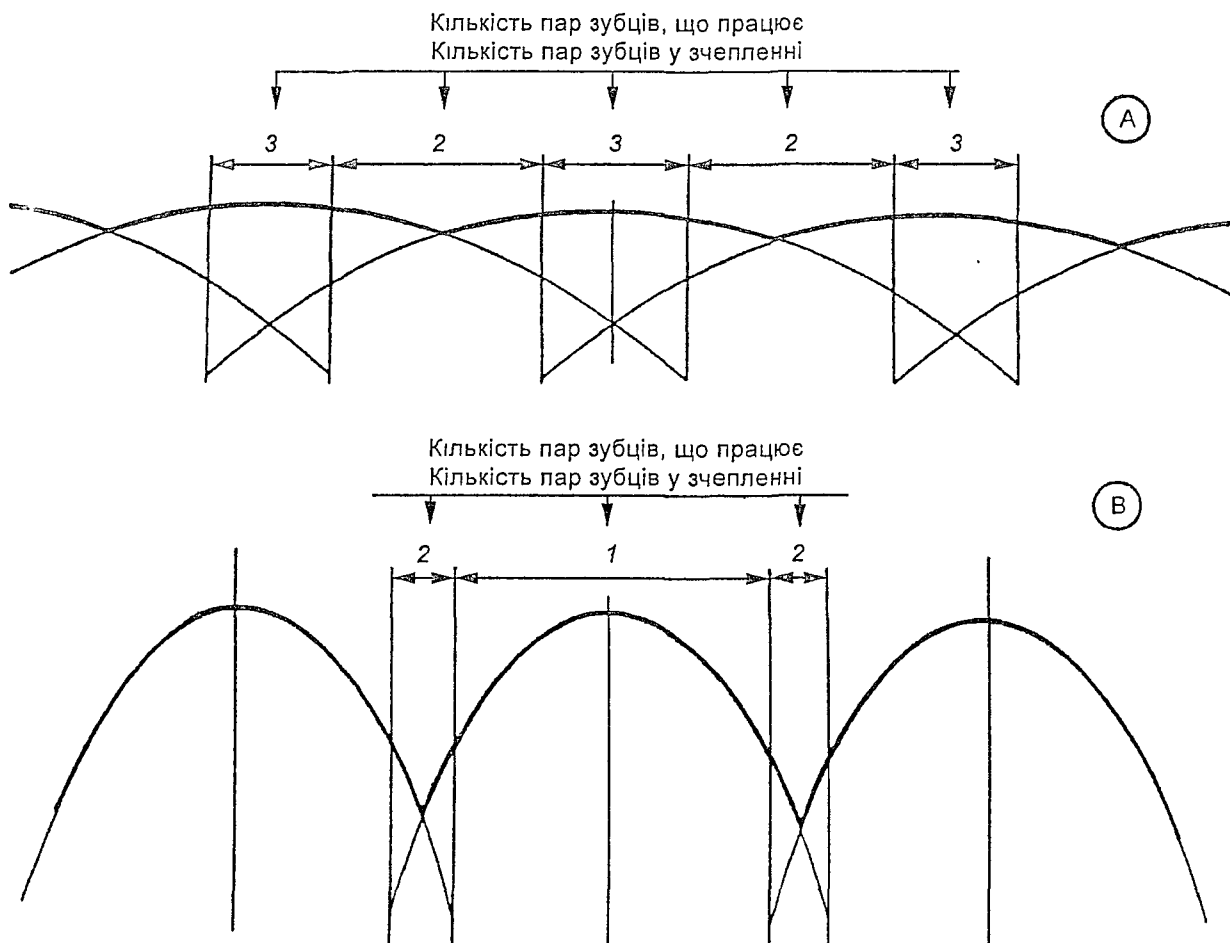


Рисунок 31 — Вплив коефіцієнта перекриття

Важливо виявляти уважність під час оцінювання результатів контролю кінематичної похибки, тому що вони можуть дуже відрізнятись від очікуваних результатів, отриманих з розгляду теоретичного коефіцієнта перекриття і припущення, що контакт є ідеальним за профілями зуба і за його шириною у косоzubих зубчастих коліс.

На кінематичну похибку може впливати модифікація профілю зуба і гвинтової лінії (профілю голівки, додаткова опуклість тощо), можливі деформації валів, корпусів і зубців під навантаженням.

Якщо під граничним навантаженням пляма контакту рівномірно розподілена по робочих поверхнях зубців, що навряд чи має місце за умов легкого навантаження, то контроль кінематичної похибки можна проводити за умови обмеженої плями контакту. За таких обставин коефіцієнт перекриття протягом контролю — набагато менший, ніж теоретичний.

### 9.3 Приклади застосування

#### 9.3.1 Ідентифікація та локалізація дефектів

Контроль кінематичної похибки полегшує ідентифікацію та локалізацію похибок, що можуть погіршити якість передачі. Наприклад, як зазначено на діаграмі рисунка 32, наявність дефектного зуба одразу може бути помічено. Крім того, іноді можна виконати коригувальні критерії на місці, коли ефективність регуляторів може бути перевірена без затримки.



Рисунок 32 — Частина діаграми кінематичної похибки.  
Приклад інтерпретації

#### 9.3.2 Селективне зачеплення зубчастих коліс

У деяких виняткових випадках, збираючи передачі з зубчастих коліс з однаковою кількістю зубців або передатним відношенням і які також можуть не бути взаємозамінні, може бути вжито спеціальних заходів, щоб забезпечити оптимальну характеристику передачі. Такі зубчасті колеса можуть бути зчеплені після вибору фазового зміщення через дев'яносто градусів, у якому кінематичні похибки є найменшими. Такий процес можна повторювати, зчіплюючи зубчасті колеса з фазовими зміщеннями менше ніж на дев'яносто градусів, щоб знайти оптимальну зчеплювальну фазу.

На діаграмах рисунка 33 показано положення пари зубчастих коліс у різних фазах сполучення.

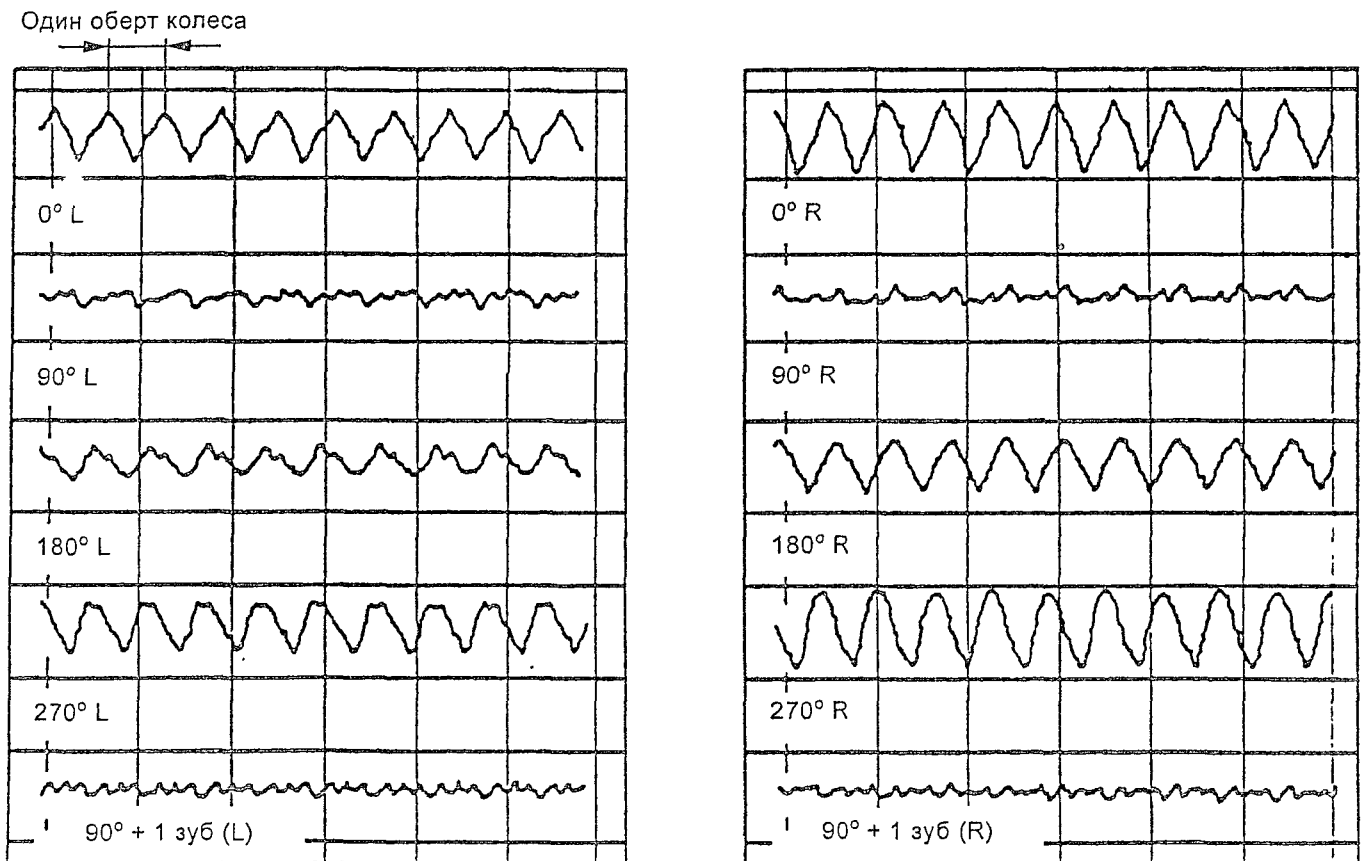


Рисунок 33 — Діаграми кінематичної похибки, на яких показано вплив зміни фази сполучення

Очевидно, що діаграми кінематичної похибки для лівих і правих профілів — не ті самі; тому може бути необхідно вибрати проміжне положення, що дає краще компромісне рішення, якщо високий ступінь точності передачі необхідний для обох напрямків обертання.

### 9.3.3 Інтерпретація даних кінематичної похибки

Інформацію щодо інтерпретації даних, представлених на діаграмах кінематичної похибки, наведено в 9.2. Коли діаграму кінематичної похибки отримано, використовуючи еталонне колесо, то потрібен лише один оберт робочого колеса. Якщо у зчепленні перебувають два робочих колеса, то може бути необхідно кілька обертів обох, щоб зробити адекватну діаграму кінематичної похибки.

Апаратура оброблення даних відокремлює і робить запис довгих і коротких компонентів періоду кінематичної похибки, відносно легко робить ідентифікацію і локалізацію істотних значень.

Кінематична похибка на одному зубці,  $f_i'$  (рисунок 34 А) істотно зменшується, коли компонента довгого періоду відфільтрована. У такому разі максимальний відхил,  $f_i'$ , не обов'язково буде представлено у фільтрованих даних, короткі компоненти періоду наведено на рисунку 34 С.

#### 9.3.3.1 Аналіз даних випробування зчеплення «робоче колесо/еталонне колесо»

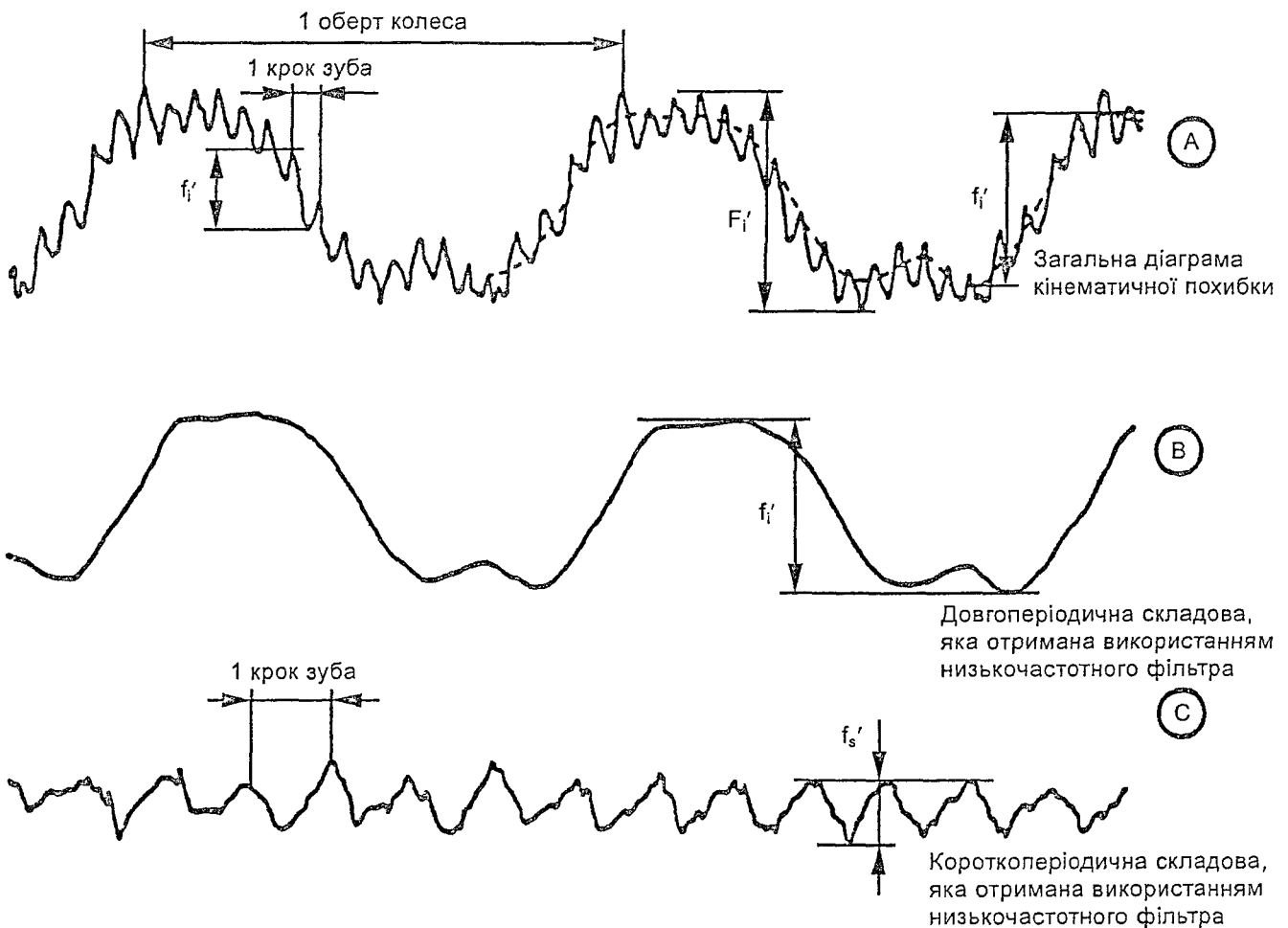


Рисунок 34 — Аналіз діаграми відхилу тангенційної складової довгого і короткого періодів

Загальну кінематичну похибку,  $F_i'$ , і максимальне значення на одному зубці,  $f_i'$ , можна ідентифікувати з діаграми загальної кінематичної похибки. Однак для ідентифікації максимального значення компоненти довгого періоду,  $f_i'$ , та істотної короткої компоненти періоду,  $f_s'$ , зручно обробити дані крізь систему фільтрів, щоб вилучити високі та малі компоненти.

На рисунку 34 А показано діаграму нефільтрованого сигналу кінематичної похибки, на рисунку 34 В і рисунку 34 С показано діаграми компонентів довгого і короткого періодів того сигналу, який описано вище.

### 9.3.3.2 Аналіз даних випробувань робочого колеса

Діаграми кінематичних похибок, отриманих зчепленням пар робочих коліс, зазвичай показують відхилення послідовних періодів відповідних циклів зубчастого зчеплення як шестерні, так і передачі в цілому.

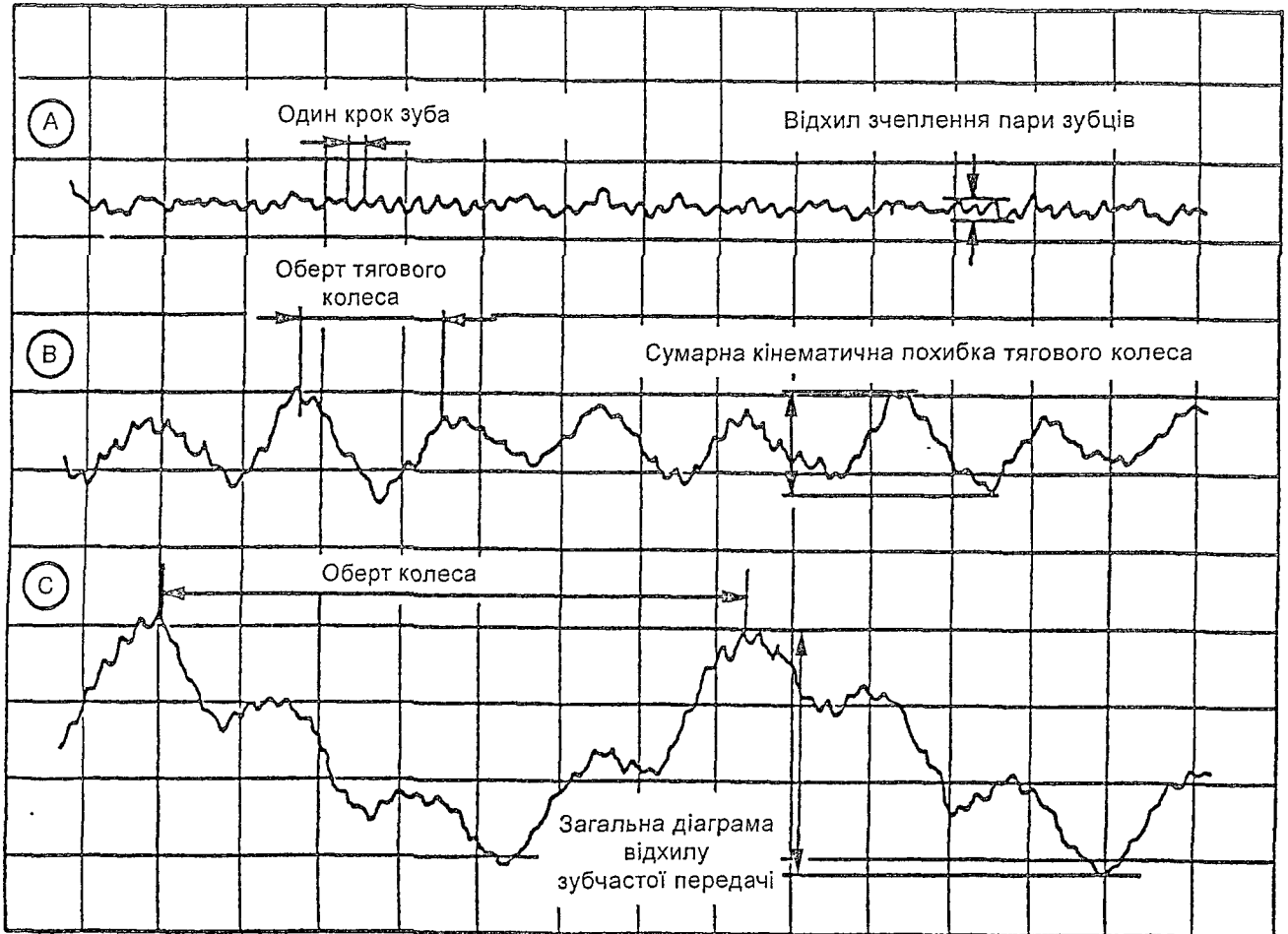


Рисунок 35 — Аналіз діаграми відхилення тангенційної компоненти.  
Результат фільтрації сигналу

Сигнал кінематичної похибки за повний оберт, як зображено на рисунку 35 С, дає окремо компоненти високі, малі і компоненти після фільтра. Довгу компоненту періоду шестерні показано на рисунку 35 В. Коротку компоненту періоду кінематичної похибки показано на рисунку 35 А.

### 9.3.3.3 Дані аналізу методом швидкого перетворення Фур'є

Сигнали можуть бути оброблені, з'єднуючи вихід від засобу вимірювальної техніки безпосередньо на відповідний частотний аналізатор для аналізу методом швидкого перетворення Фур'є.

Діаграми на рисунку 36 представляють діаграму загальної кінематичної похибки разом з результатами аналізу методом швидкого перетворення Фур'є.

Ця форма аналізу дуже ефективна, тому що зберігає багато інформації щодо різних дефектів шестерні та зубчастого колеса, охоплюючи довгі і короткі компоненти періоду кінематичної похибки.

Щоб виконувати аналіз Фур'є за умов, що, імовірно, дають адекватні і точні результати, необхідно отримати сигнал, що охоплює ціле число обертів обох зубчастих коліс.

Істотні компоненти аналізу методом швидкого перетворення Фур'є, показаного на рисунку 36, позначені проти їхньої гармоніки номерами «n», відносять до частоти обертання більшого зубчастого колеса. Треба пам'ятати, що шум зубчастого колеса і спектри вібрації можуть містити істотні компоненти низьких, високих гармонік частоти зубчастої передачі.

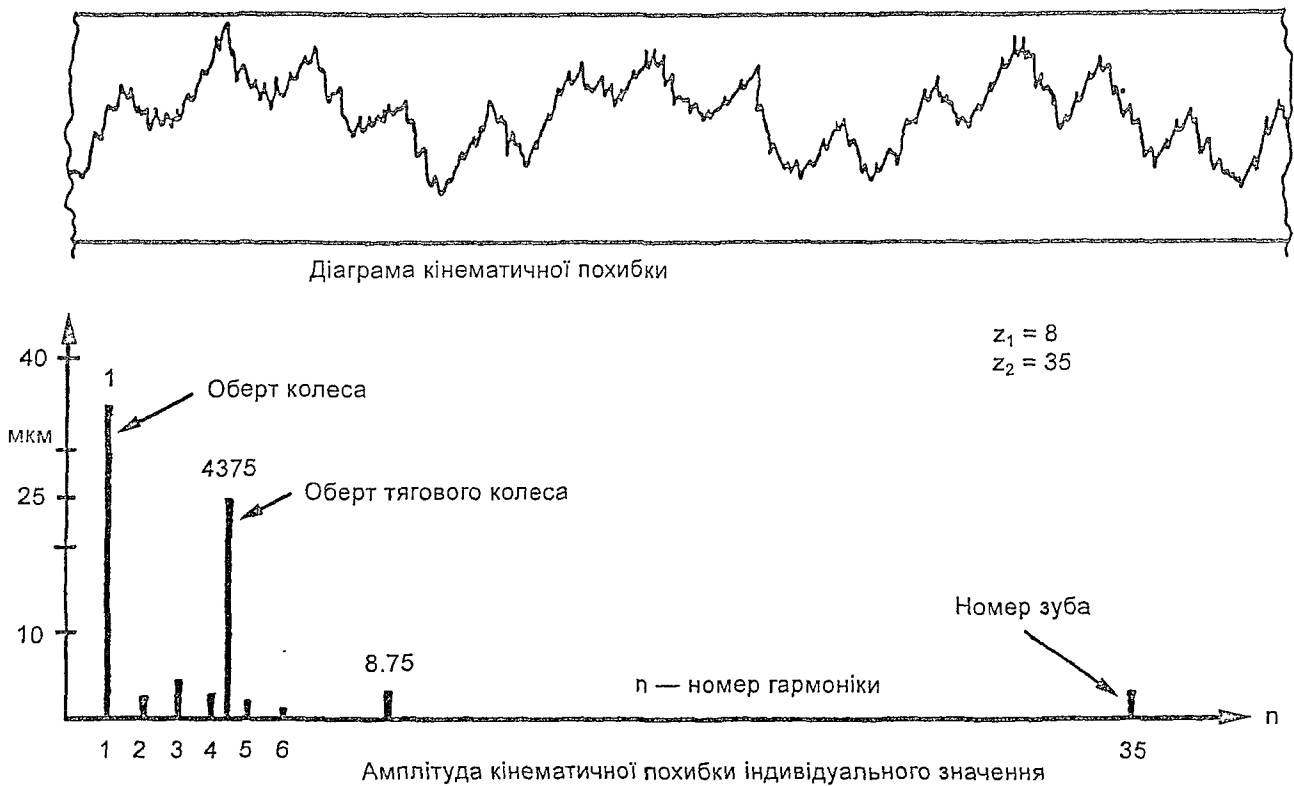


Рисунок 36 — Результат аналізу Фур'є контролю кінематичної похибки пари робочих зубчастих коліс

У цьому прикладі сигнал охоплює 8 обертів зубчастого колеса, що має 35 зубців, у цьому разі загальна кількість циклів зчеплення зуба дорівнює 280.

ДОДАТОК НА  
(довідковий)

**ПЕРЕЛІК НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ,  
ЗГАРМОНІЗОВАНИХ З МІЖНАРОДНИМИ НОРМАТИВНИМИ ДОКУМЕНТАМИ,  
НА ЯКІ Є ПОСИЛАННЯ В ЦЬОМУ СТАНДАРТІ**

ДСТУ ISO 53–2001 Передачі зубчасті циліндричні для загального і важкого машинобудування. Стандартний вихідний контур (ISO 53:1998, IDT)

ДСТУ ISO 54–2001 Передачі зубчасті циліндричні для загального і важкого машинобудування. Модулі (ISO 54:1996, IDT)

ДСТУ ISO 701–2001 Міжнародна система позначень зубчастих передач. Умовні позначення геометричних даних (ISO 701:1998, IDT)

ДСТУ ISO 1328-1:2006 Колеса зубчасті циліндричні. Системи точності ISO. Частина 1. Терміни та визначення понять і встановлені допуски відхилень бокових поверхонь зубців зубчастого колеса (ISO 1328-1:1995, IDT)

ДСТУ ISO 1328-2:2006 Колеса зубчасті циліндричні. Системи точності ISO. Частина 2. Терміни та визначення понять і встановлені допуски відхилень радіальних складових і биття (ISO 1328-2:1997, IDT)

ДСТУ ISO/TR 10064-2:2006 Передачі циліндричні зубчасті. Правила приймання. Частина 2. Перевірка виміральної міжосьової відстані, биття, товщини зуба і бічного зазору (ISO/TR 10064-2:1996, IDT)

ДСТУ ISO/TR 10064-3:2005 Передачі циліндричні зубчасті. Правила приймання. Частина 3. Рекомендації стосовно заготовок зубчастих коліс, міжосьової відстані та паралельності осей (ISO/TR 10064-3:1996, IDT).

---

Код УКНД 21.200

Ключові слова: вимірювання відхилів, засоби вимірювання, колеса, правила контролю, циліндричні зубчасті колеса.

---



Редактор М. Клименко  
Технічний редактор О. Касіч  
Коректор Л. Позняк  
Верстальник Р. Дученко

---

Підписано до друку 24.04.2013. Формат 60 x 84 1/8.  
Ум. друк. арк. 4,65. Зам. 706 Ціна договірна.

---

Виконавець  
Державне підприємство «Український науково-дослідний і навчальний центр  
проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»)  
вул. Святошинська, 2, м. Київ, 03115

Свідоцтво про внесення видавця видавничої продукції до Державного реєстру  
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції серія ДК № 1647 від 14.01.2006