

## ЛЕКЦІЯ 4

### ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

*Мета лекції – набуття знань та навичок для виконання загальної оцінки ефективності споживання електроенергії.*

#### 4.1. Основні положення

Фінансові вкладення в зменшення обсягів споживання електроенергії як промисловістю, так і побутовими споживачами за рахунок упровадження прогресивних технологій значно менші, ніж в розвиток та побудову нових електростанцій, оскільки зростають технологічні витрати електроенергії на її розподіл і передачу. Тому зменшення величини енерговитрат за рахунок підвищення енергоефективності є одним з пріоритетних напрямів державної політики.

При аналізі електроспоживання прийнято виділяти дві складові витрат електроенергії: продуктивну і непродуктивну. Витрати електроенергії на транспортування в добре обладнаних мережах електропостачання, як правило, не перевищують 10 %, іноді 15, і реально знизити їх можливо не більш ніж на 5–7 %. У той же час величину витрат електроенергії на технологічних процесах, наприклад, освітлення або транспортування за допомогою конвеєрних установок, можна зменшити у 1,5 – 2 рази.

Дійсно, як свідчить практика, питомі одноразові затрати на вдосконалення процесу роботи електромеханічного устаткування з метою зниження витрат електроенергії звичайно менші порівняно з аналогічними витратами на вдосконалення або модернізацію мереж електропостачання.

Загальна витрата електроенергії підприємством – це один із важливих показників його роботи, але він не відображає ефективність її використання. Таким показником є питома витрата електроенергії на виготовлення одиниці продукції (наприклад, кВт·год/т). Для контролю фактичного рівня використання електроенергії застосовують нормалізовані питомі витрати, тобто питомі витрати на виготовлення продукції, які обчислюють з урахуванням проведення на установках енергозбережних заходів. Звичайно питомі норми витрати електроенергії визначаються за галузевими методиками, наприклад, для гірничих підприємств – за ДСТУ 30365–96 "Методи визначення норм витрачання електроенергії гірничими підприємствами". Стандарт встановлює класифікацію і склад нормалізованих питомих витрат електроенергії, а також основні методи їх визначення щодо технологічних і господарських об'єктів гірничої промисловості.

Питома витрата електроенергії – це інформативний показник для підприємства, яке працює стабільно і його продуктивність відповідає технологічному паспорту виробництва. Значення нормалізованих питомих витрат у цьому разі співпадають або близькі до фактичних значень питомих витрат електроенергії. При відхиленні рівня продуктивності або інших технологічних характеристик від паспортних значень фактичні питомі витрати електроенергії не відповідають нормалізованим. Така невідповідність фіксується при енергетичному

аудиті підприємства, враховується при складанні електробалансу і відображається у бізнес-плані як відповідні заходи з усунення причин нераціонального використання електроенергії.

У значній мірі величину питомих витрат електроенергії на підприємстві можливо зменшити при комплексному підході. З цієї точки зору найефективнішими вважаються такі заходи:

- інтенсифікація існуючого виробництва з метою підвищення продуктивності основних процесів і установок;
- розробка і впровадження у виробництво нових ефективних технічних і технологічних рішень, спрямованих на зниження споживання та витрат електричної енергії в елементах системи електропостачання (трансформаторах, лініях, реакторах тощо).

Безумовно, такі заходи мають сприяти зниженню питомих витрат електроенергії порівняно з нормалізованими, визначеними раніше. Однак вони не повинні спричиняти зниження продуктивності установок і вимог безпеки, регламентованих відповідними нормативними документами (ДСТУ).

## 4.2. Характеристики режимів електроспоживання

Більша частина електроенергії на підприємствах витрачається електродвигунами, що надають руху робочим органам різних машин і установок: вентилятори, насоси, компресори, конвеєри тощо.

Збільшення продуктивності (завантаження) робочої машини до номінальної зменшує частку непродуктивної витрати електроенергії, що асоціюється з "економією" електроенергії в деякому проміжку часу і характеризується її середньогодинною величиною.

Миттєва і годинна продуктивності установок співпадають тоді, коли машина працює безперервно з постійним навантаженням. При безперервній роботі, але зі змінним навантаженням, продуктивність установок на розрахунковому інтервалі прийнято характеризувати середньогодинним значенням.

На рис. 4.1 наведені можливі режими роботи електроприймачів, що характеризуються такими показниками:

*a* – рівномірний:  $P_c$  і  $P_{ном}$  – відповідно споживана та номінальна потужності електроприймача;

*б* – рівномірно змінний за вмиканням з холостим ходом: час роботи  $t_{p1} = t_{pi}$ ; час холостого ходу  $t_{xx1} = t_{xxi}$ ;  $P_{c1} = P_{ci}$ ; потужність холостого ходу  $P_{xx1} = P_{xxi}$ ;

*в* – нерівномірно змінний за вмиканням з холостим ходом:  $t_{p1} = t_{pi}$ ;  $t_{xx1} \neq t_{xxi}$ ;  $P_{c1} = P_{ci}$ ;

*г* – нерівномірно змінний за вмиканням і завантаженням з холостим ходом:  $t_{p1} \neq t_{pi}$ ;  $P_{c1} \neq P_{ci}$ ;

*д* – нерівномірно змінний за вмиканням і завантаженням без холостого ходу:  $t_{p1} \neq t_{pi}$ ;  $P_{c1} \neq P_{ci}$ ;  $t_{вим}$  – час вимикання електроприймача;

*е* – нерівномірно змінний за вмиканням і завантаженням з холостим ходом і без нього:  $t_{p1} \neq t_{pi}$ ;  $P_{c1} \neq P_{ci}$ .

Годинна продуктивність машини з безперервним режимом роботи залежить від завантаженості установки (привідного електродвигуна), яку прийнято характеризувати коефіцієнтом завантаження

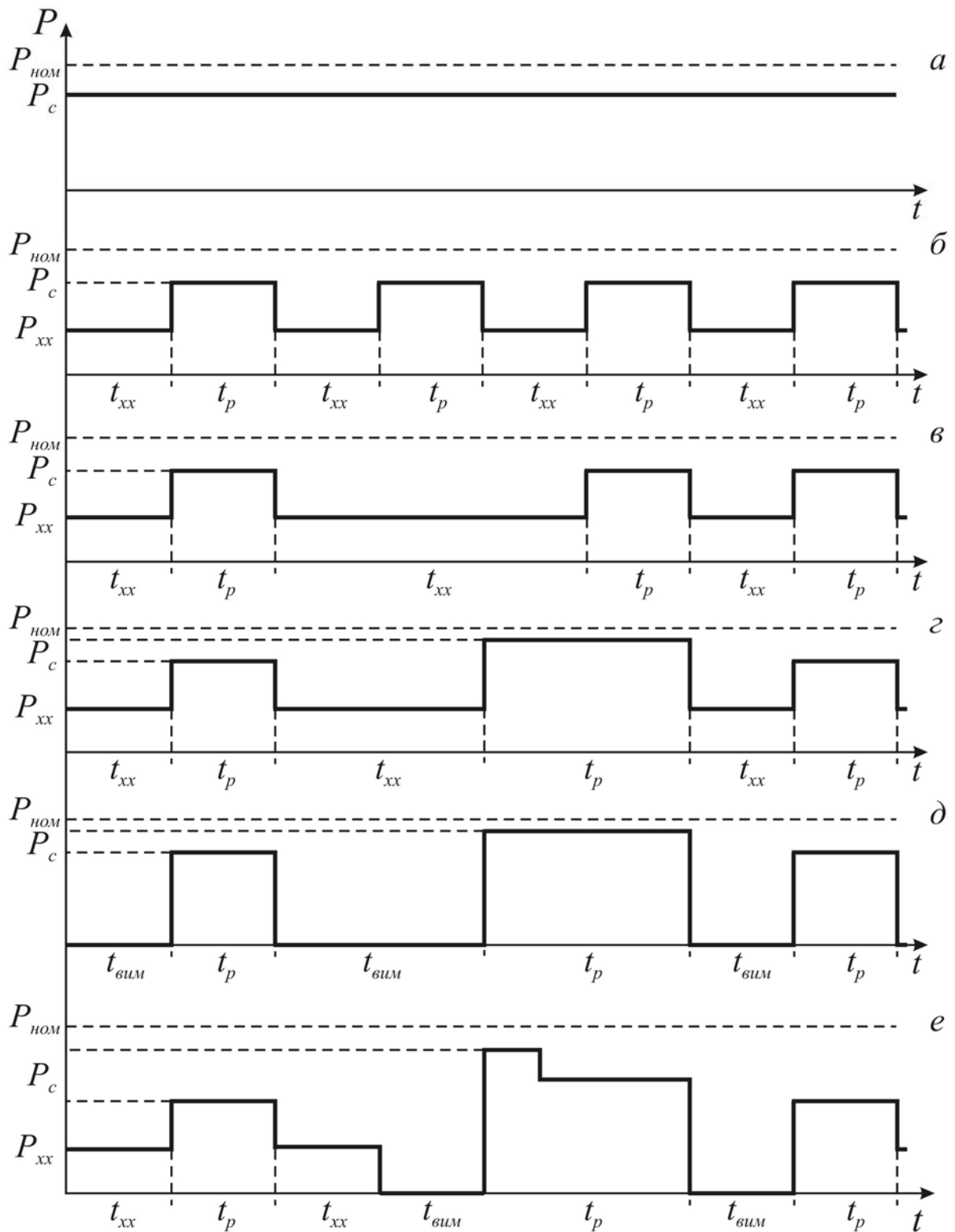
$$K_z = P_c / P_{ном}, \quad (4.1)$$

де  $P_c, P_{ном}$  – відповідно середньогодинна (споживана) і номінальна потужності електродвигуна.

Розрахунковий період  $T$ , за який аналізують роботу установок, включає час їх роботи та час перерв і простоїв, тому його характеризують середньою продуктивністю. При цьому коефіцієнти використання технологічного устаткування і привідного двигуна будуть різними. Так, коефіцієнт використання машини за часом

$$K_t = \frac{t_p}{t_p + t_{xx}}, \quad (4.2)$$

де  $t_p, t_{xx}$  – відповідно час роботи машини під навантаженням і при холостому ході.



**Рис. 4.1. Діаграми основних режимів роботи електроприймачів**

Потужність двигуна при роботі під навантаженням визначається за показаннями приладів (лічильників, амперметрів і вольтметрів), увімкнених у коло статора двигуна, або аналітично за відповідною методикою, суть якої полягає у такому.

Споживана електродвигуном з мережі активна потужність, кВт:

$$P_c = \sqrt{3}UI \cos \varphi \cdot 10^{-3}, \quad (4.3)$$

де  $I$ ,  $U$  – фактичні значення струму (А) і напруги (В) за результатами вимірів;  $\cos \varphi$  – фактичний коефіцієнт потужності електродвигуна, що залежить від його завантаження.

Для використання залежності (4.3) необхідно знати величину  $\cos \varphi$ , що в умовах експлуатації визначити важко, оскільки зі зміною навантаження змінюється струм статора і  $\cos \varphi$ . Крім того, струм холостого ходу залежить від типу двигуна. В асинхронних двигунах загального призначення він складає 20–30 % від номінального.

Між струмом статора  $I$  та навантаженням на валу двигуна немає чіткої пропорційності. З точністю, достатньою для інженерних розрахунків, фактичне навантаження на валу двигуна  $P$  і споживана з мережі активна потужність  $P_c$  можуть бути визначені за узагальненими залежностями, наведеними на рис. 4.2. Для цього потрібні каталожні дані двигуна: номінальна потужність  $P_n$ , номінальний струм  $I_n$  і холостого ходу  $I_{xx}$ . Порядок розрахунку параметрів такий:

- за струмом статора визначається співвідношення  $I_{xx} / I_n$ , згідно з яким на рис. 4.2 вибирається відповідна крива;
- за величиною фактичного струму статора  $I$  розраховується співвідношення  $I / I_n$ ;
- визначається співвідношення  $P / P_n$ , яке дорівнює  $K_3$ ;
- обчислюється фактична потужність на валу  $P = K_3 P_n$ ;
- знаходиться споживана з мережі активна потужність  $P_c = P / \eta_d$ , де  $\eta_d$  – фактичне значення ККД двигуна, що відповідає знайденому коефіцієнту завантаження  $K_3$  (рис. 4.3).

З урахуванням усіх графіків режимів роботи електроприймачів, наведених на рис. 4.1, можна побудувати узагальнений графік електричних навантажень (див. рис. 4.4) та за його допомогою розрахувати величину витрати електроенергії  $W$ .

У цьому разі  $W = \sum P_i \Delta t_i = \int dP dt$ , що складно визначити. Тому вводять величину  $T_m$  (час використання максимуму електричного навантаження  $P_m$ ), і ця формула набуває такого вигляду:

$$W_{роз} = P_m T_m = \sum P_i \Delta t_i = W_{факт}.$$

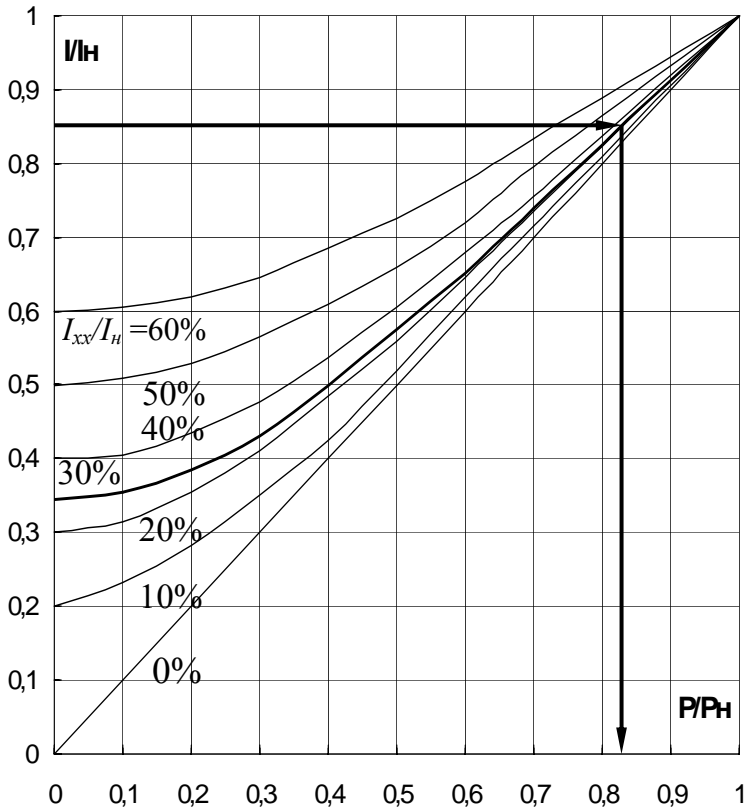


Рис. 4.2. Узагальнені залежності струму статора  $I$  від навантаження для різних значень струму холостого ходу  $I_{x0}$

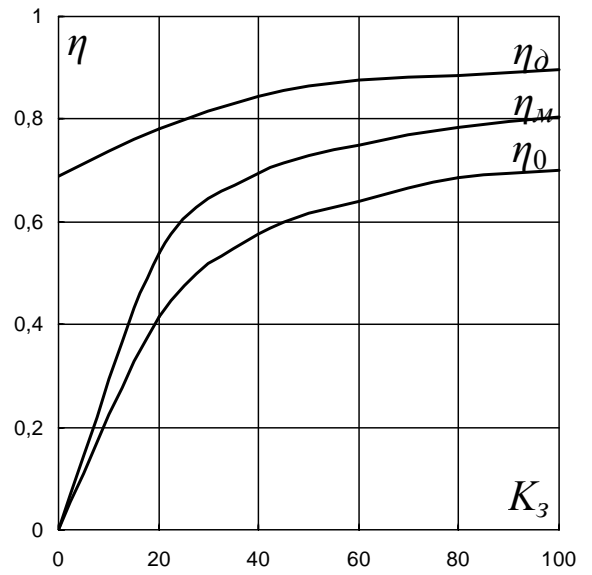


Рис. 4.3. Графіки залежності ККД робочої потужності машини  $\eta_m$ , двигуна  $\eta_d$  і всього приводу  $\eta_0$  від коефіцієнта завантаження  $K_3$

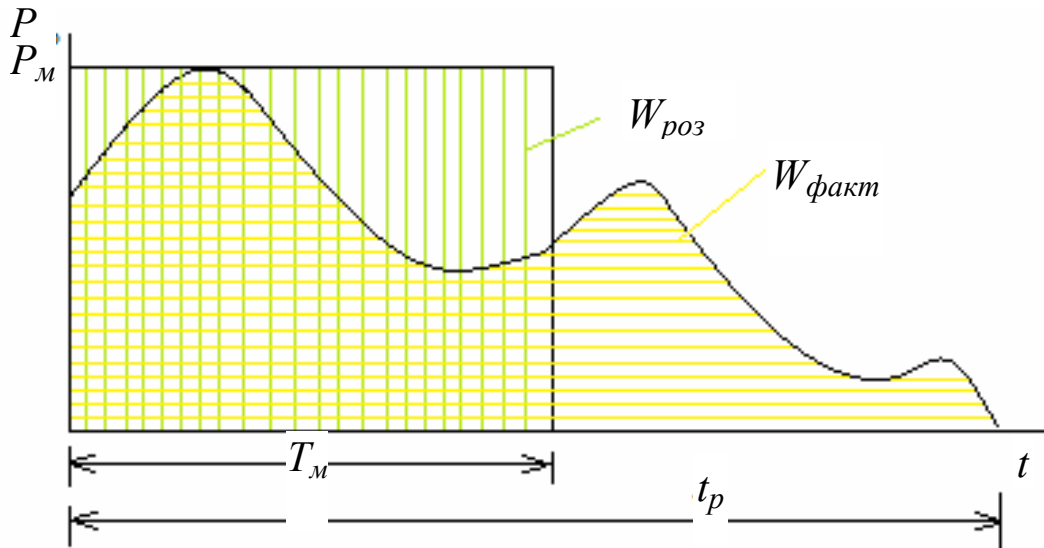


Рис. 4.4. Узагальнений графік електричного навантаження

### 4.3. Розрахунок обсягу зниження витрати електроенергії

Для визначення обсягів зниження витрати електроенергії використовують відповідний коефіцієнт її зміни, співвіднесений до вибраного інтервалу (хвилин, годин, доби і т.п.):

$$K_w = W / W_0, \quad (4.4)$$

де  $W$  – фактичне значення витрати електроенергії (кВт·год) за фіксований проміжок часу при  $K_3 < 1,0$  і  $K_t < 1,0$ ;  $W_0$  – мінімально можлива величина витрати електроенергії при  $K_3 = 1,0$  і  $K_t = 1,0$ .

Величина  $K_w$  залежить від коефіцієнтів завантаження  $K_3$  та використання робочої машини за часом  $K_t$  (рис. 4.5).

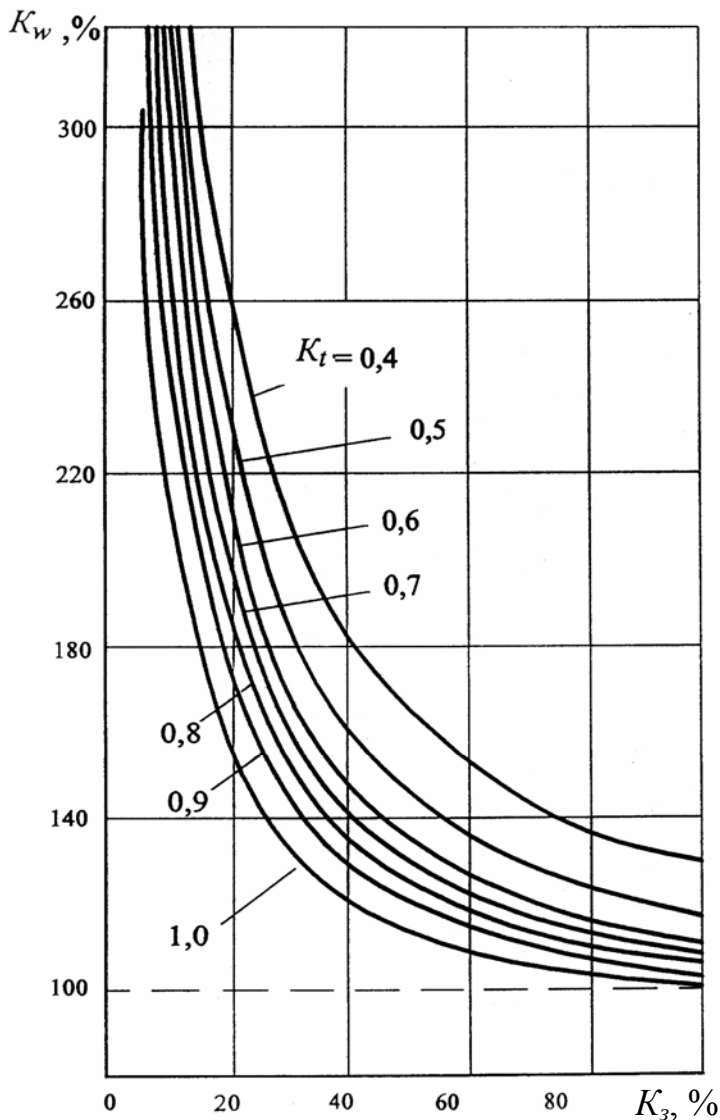


Рис. 4.5. Криві залежності  $K_w = f(K_3)$

а також  $W_2 = K_{w2} W_1 / K_{w1}$ . Звідкіля  $W_2 = 1,04 \cdot 3000 / 2,02 = 1545$  кВт·год/добу. Очікуване річне зниження витрати електроенергії:

$$\Delta W = (W_1 - W_2)n_p = (3000 - 1545) 300 = 436500 \text{ кВт·год.}$$

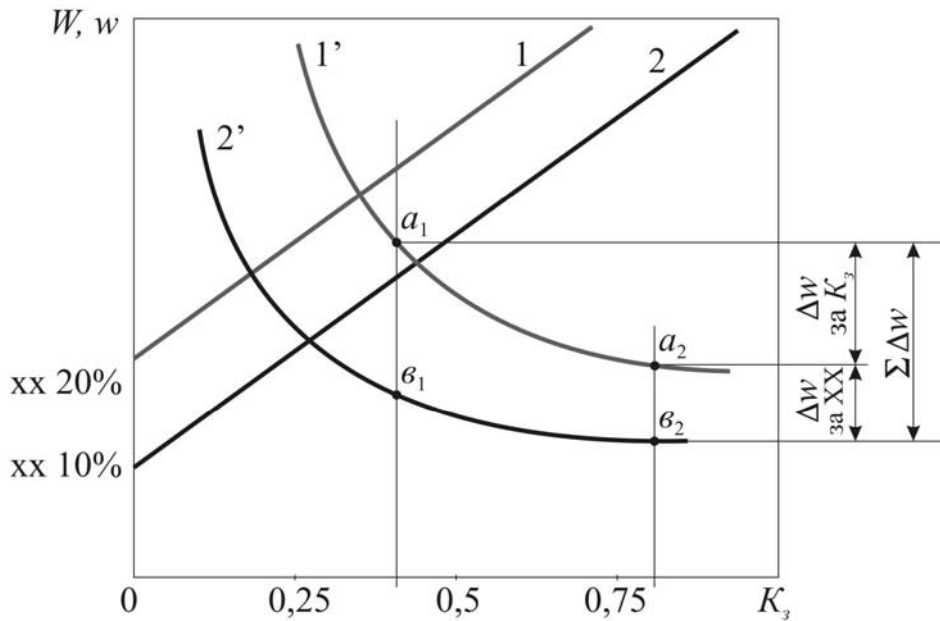
На рис. 4.6 наведені узагальнені залежності основних показників використання електроенергії – її загальних та питомих витрат.

**Приклад 4.1.** Технологічна установка працює зі значеннями коефіцієнтів  $K_{t1} = 0,5$  і  $K_{31} = 0,25$ . Після вдосконалення технологічного процесу деякі установки не працюють у режимі холостого ходу ( $t_{xx} = 0$ ), і тому коефіцієнти відповідно  $K_{t2} = 1,0$  і  $K_{32} = 0,8$ . Визначити очікуване річне зниження витрати електроенергії за умови, що добове її споживання установкою до вдосконалення технологічного процесу  $W_1 = 3000$  кВт·год/добу. Кількість днів роботи установки за рік –  $n_p = 300$ .

#### Розв'язування.

Використовуючи значення коефіцієнтів  $K_{31} = 0,25$  і  $K_{t1} = 0,5$ , за графіком (рис. 4.5) знаходимо величину  $K_{w1} = 2,02$ . Аналогічно для  $K_{32} = 0,8$  і  $K_{t2} = 1,0$  знаходимо  $K_{w2} = 1,04$ . Далі згідно з виразом (4.4) запишемо:

$$K_{w1} = W_1 / W_0 \text{ та } K_{w2} = W_2 / W_0,$$



**Рис. 4.6. Графіки зміни показників використання електроенергії: 1, 2 – загальних витрат при холостому ході 20 і 10 % відповідно; 1', 2' – питомих витрат відповідно до загальних витрат 1 і 2**

Аналіз залежностей (див. рис. 4.5 і 4.6) виявив, що істотне зниження величини питомих витрат електроенергії можливо досягти за рахунок збільшення завантаження приводів робочих машин до значень  $K_3 = 0,7 \dots 0,8$  (від точки  $a_1$  до  $a_2$  або від  $b_1$  до  $b_2$ ) та при зменшенні холостого ходу, тобто підвищенні  $K_t$  (від точки  $a_1$  до  $b_1$  або від  $a_2$  до  $b_2$ ). При одночасному збільшенні значень  $K_3$  і  $K_t$  досягається можливе максимальне зниження величини питомих витрат електроенергії (від точки  $a_1$  до  $b_2$ ). При цьому для всіх режимів спостерігається зростання величини загальних витрат електроенергії, а тому їх зменшення ще не свідчить про підвищення продуктивності або енергоефективності її використання. Феноменальність цього явища полягає у зростанні ефективності використання електроенергії, критерієм якої є її величина питомих витрат.

Якщо завантаження існуючого електродвигуна робочої машини мале і збільшити його через технологічні обмеження неможливо, то розглядається варіант заміни електродвигуна на менш потужний. При цьому очікується, що така заміна сприятиме зменшенню величини питомих витрат електроенергії в мережі та відповідно зниженню непродуктивної витрати електроенергії у самому двигуні. Перевірка доцільності заміни двигуна виконується за нерівністю

$$\frac{1 - \eta_1}{\eta_1} + K_e \frac{\operatorname{tg} \varphi_1}{\eta_1} > \frac{1 - \eta_2}{\eta_2} + K_e \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{\eta_2}, \quad (4.5)$$

де  $\eta_1$  і  $\eta_2$  – ККД порівнюваних електродвигунів;  $\operatorname{tg} \varphi_1$  і  $\operatorname{tg} \varphi_2$  – тангенси кутів, що відповідають значенням коефіцієнтів потужності  $\cos \varphi_1$  і  $\cos \varphi_2$ ;  $K_e$  – економічний еквівалент реактивної потужності, кВт/квар.



**Приклад 4.2.** Визначити доцільність заміни асинхронного електродвигуна потужністю  $P_{н1} = 75$  кВт з такими номінальними параметрами:  $\eta_{н1} = 91$  %;  $\cos \varphi_{н1} = 0,92$ ;  $K_{з1} = 0,6$  (споживана з мережі потужність  $P_c = 45$  кВт) на двигун потужністю  $P_{н2} = 55$  кВт, у якого  $\eta_{н2} = 90,5$  %;  $\cos \varphi_{н2} = 0,91$ . Відомо, що еквівалент  $K_e = 0,125$ . При розв'язанні задачі скористатися даними табл. 4.1.

**Розв'язування.** З урахуванням  $K_{з1} = 0,6$  визначимо фактичні параметри першого двигуна (табл. 4.1):  $\eta_1 = 0,97\eta_{н1} = 0,97 \cdot 0,91 = 0,883$ ;  $\cos \varphi_1 = 0,93\cos \varphi_{н1} = 0,93 \cdot 0,92 = 0,86$ , тоді  $\operatorname{tg} \varphi_1 = 0,605$ . Аналогічно для іншого двигуна при  $K_{з2} = 45/55 = 0,82$ , знаходимо:  $\eta_2 = 1,0 \cdot 0,905 = 0,905$ ;  $\cos \varphi_2 = 0,91$ ;  $\operatorname{tg} \varphi_2 = 0,45$ .

За виразом (4.5) перевіряємо виконання умови

$$\frac{1 - 0,883}{0,883} + 0,125 \frac{0,605}{0,883} > \frac{1 - 0,905}{0,905} + 0,125 \frac{0,45}{0,905},$$

що відповідає нерівності  $0,218 > 0,161$ .

Робимо висновок, що заміна існуючого електродвигуна на двигун меншої потужності – доцільна.

**Таблиця 4.1**

**Орієнтовні значення коефіцієнтів для перерахунку  $\eta$  і  $\cos \varphi$  асинхронних двигунів залежно від фактичної величини  $K_z$**

$K_z$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$K_\eta$	0,68	0,79	0,86	0,93	0,97	1,0	1,0	1,0
$K_{\cos \varphi}$	0,56	0,7	0,79	0,84	0,93	0,97	1,0	1,0

Виконання умови (4.5) є необхідним, але недостатнім для заміни електродвигуна. Вирішальною буде величина економічного ефекту (див. задачу 4.1) і його співвідношення з витратами на придбання і монтаж нового електродвигуна, а також на демонтаж діючого (старого). Якщо є можливість продати демонтований двигун, то в економічних розрахунках ураховується його залишкова вартість. Заміна недовантажених електродвигунів, вбудованих у технологічні механізми, настільки складний і дорогий процес, що він практично завжди є економічно недоцільним.

Електроприймачі машин циклічної дії (підіймальні установки, транспортні системи тощо) у технологічній паузі звичайно працюють у режимі холостого ходу. Технологічна пауза обумовлена, наприклад, навантажувально-розвантажувальними операціями. Такий режим роботи електродвигунів є економічно недоцільним, оскільки призводить до непродуктивних витрат активної електроенергії ( $W = P_{xx}t_x$ , де  $P_{xx}$  – потужність холостого ходу). І хоча при цьому загальне навантаження знижується, проте електрична мережа залишається навантаженою реактивною потужністю ( $Q_{xx} \approx 0,65Q_{ном}$ , де  $Q_{ном} = P_{ном} \operatorname{tg} \varphi_H / \eta_H$  – реактивна потужність електродвигуна при номінальному навантаженні).

При виконанні орієнтовних розрахунків реактивна потужність холостого ходу асинхронних електродвигунів визначається за співвідношенням  $Q_{xx} \approx 0,4P_{ном}$ .

Зменшити непродуктивні витрати і втрати електроенергії в установках і машинах, працюючих тривалий час без навантаження, можливо за допомогою обмежувачів холостого ходу. Застосування таких обмежувачів на електроприймачах робочих машин, які мають міжопераційний час холостого ходу  $t_{xx} = 10$  с та більше, як правило, приводить до зниження витрат електроенергії. Величину ефективності використання обмежувачів холостого ходу можна визначити за допомогою діаграми, наведеної на рис. 4.7.

Для цього необхідно знати:

- середню потужність холостого ходу  $P_{xx}$ , що визначається як сума механічної потужності холостого ходу системи електропривода і втрат потужності в сталі електродвигуна;

- номінальну потужність електродвигуна  $P_{ном}$ ;

- тривалість холостого ходу (міжопераційного часу)  $t_{xx}$ ;

- число циклів роботи  $n_{ц}$  за годину.

За ціми даними розраховують параметри діаграми:

$$a = P_{xx} / P_{ном}; \quad b = 1/(4t_{xx}),$$

а потім знаходять показник ефективності  $\varepsilon$ , за допомогою якого визначається годинна економія електроенергії, кВт·год:

$$\Delta W_2 = \varepsilon \frac{n_{ц} P_{ном} t_{xx}}{3600}. \quad (4.6)$$

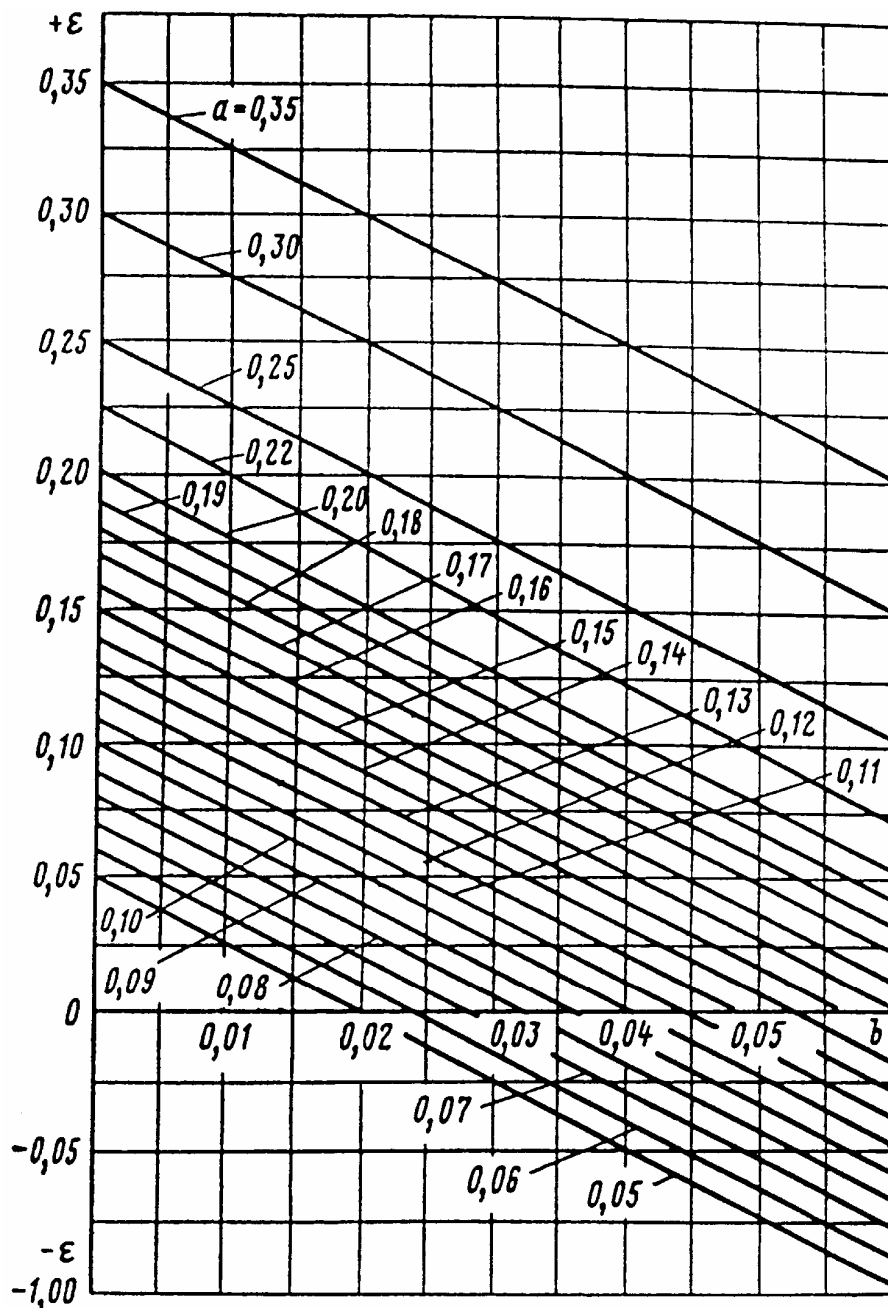


Рис. 4.7. Діаграма визначення величини ефективності застосування обмежувачів холостого ходу

**Приклад 4.3.** Робоча машина з електродвигуном номіальною потужністю  $P_{ном} = 1000$  кВт має  $P_{xx} = 130$  кВт. Час холостого ходу  $t_{xx} = 20$  с;  $n_{ц} = 15$  циклів за годину. Оцінити доцільність застосування обмежувача холостого ходу.

**Розв'язування.** За діаграмою визначаємо параметри (рис. 4.7):

$$a = 130 / 1000 = 0,13; \quad b = 1 / (4 \cdot 20) = 0,0125.$$

Далі знаходимо  $\varepsilon = 0,1$ .

Очікуване годинне зниження величини витрат електроенергії згідно з виразом (4.6)

$$\Delta W_2 = 0,1 \frac{15 \cdot 1000 \cdot 20}{3600} = 8,33 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

При кількості робочих годин у зміні – 6, тризмінній роботі та 300-х робочих днях на рік зниження величини витрат електроенергії:

$$\Delta W_p = 8,33 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 300 = 44982 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Як бачимо, економія електроенергії від застосування обмежувачів холостого ходу досить суттєва.

Проте не для всіх робочих машин подібне рішення є економічно доцільним. Так, для певного типу технологічного устаткування й електроприводів кількість пусків до капітального ремонту обмежена, що відзначено у паспорті з експлуатації. Наприклад, для окремих типів турбокомпресорів допустима кількість пусків складає не більше 500. Для порівняння, у прикладі 4.3 при застосуванні обмежувача кількість пусків на добу складе 360, що для турбокомпресора неприпустимо.

Кожна зупинка устаткування та його подальше вмикання у роботу пов'язано з додатковою витратою енергії. Для більшості електроприводів період пуску малий і не залежить від тривалості технологічних пауз. Проте для ряду установок (нагрівальні печі, сушильні, холодильні установки тощо) витрата енергії на запуск значна і залежить від тривалості пауз.

Необхідно мати на увазі, що енергія витрачається непродуктивно як при холостому ході привідного двигуна, так і при його зупинці (вимиканні), коли обсяг енергії, запасений в установці і необхідний для нормального перебігу робочого процесу, розсіюється у навколишнє середовище.

Для деяких агрегатів показник витрати енергії при пуску вдається розкласти на ряд складових. Це втрати енергії:

- акумульованої при зупинці, наприклад, нагрівальної печі, енергетичного котла;
- у результаті її розсіювання в навколишнє середовище;
- унаслідок нестаціонарності перебігу технологічного процесу.

Тому задача доцільності застосування обмежувачів холостого ходу має розв'язуватися на основі співставлення витрат електроенергії на холостий хід та на пуск технологічної установки з урахуванням допустимої кількості пусків електропривода.

Взагалі доцільність вимикання привідного двигуна визначається за критичним часом  $T_{кр}$  перебування технологічної установки у режимах, що розглядаються. Іноді його називають критичним часом зупинки (вимикання) двигуна. Визначення  $T_{кр}$  полягає у знаходженні витрат енергії для порівнюваних режимів.

Величина витрати енергії при пуску зупиненого двигуна

$$W_{пуск} = P_c t_{ен}, \quad (4.7)$$

де  $P_c$  – потужність, споживана з мережі електродвигуном на час відновлення технологічного процесу (запуску обладнання)  $t_{ен}$ .

Величина витрати енергії у разі, коли на період паузи у технологічному процесі привідний двигун не вимикається:

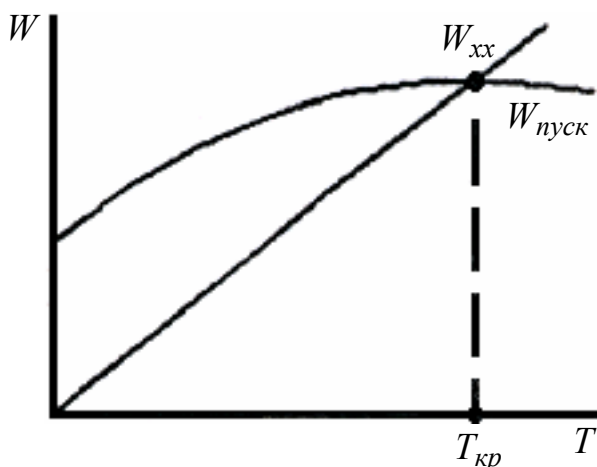
$$W_{xx} = P_{xx}t_{зуп}, \quad (4.8)$$

де  $P_{xx}$  – потужність холостого ходу;  $t_{зуп}$  – тривалість можливої зупинки двигуна.

Сумісне розв'язання рівнянь (4.7) і (4.8) дозволяє визначити тривалість критичного часу вимикання двигуна, тобто

$$T_{кр} = \frac{W_{пуск}}{P_{xx}}. \quad (4.9)$$

Аналіз залежностей на рис. 4.8 виявив, що, якщо тривалість перерви технологічного процесу не перевищує  $T_{кр}$ , то двигун вимикати недоцільно, і навпаки, якщо перевищує – то треба відключати.



**Рис. 4.8. Графік визначення критичного часу  $T_{кр}$  вимикання установки**

Окрім розглянутих способів підвищення ефективності використання електричної енергії (збільшення завантаження устаткування і скорочення часу холостого ходу) цієї мети можна досягти за рахунок збільшення коефіцієнта корисної дії елементів, перетворюючих енергію, та узгодження режимів роботи устаткування, що входить у технологічні комплекси і підсистеми конкретного виробництва або підприємства.

Для конкретизації у наступному розділі буде розглянуто декілька установок та основні технічні і технологічні рішення, а також заходи, які забезпечують

зниження величини витрати електроенергії.

#### 4.4. Вартісна оцінка зниження витрати електроенергії

Як відомо, для зменшення витрати електроенергії необхідно вкладати у виробництво певні матеріальні кошти у вигляді одноразових (капітальних) затрат  $Z_k$  на придбання нового устаткування та удосконалення технологічних процесів (купівля і монтаж обмежувачів холостого ходу, НІ, сучасних пристроїв керування, автоматизації, систем регульованого електропривода тощо). Крім того, слід мати на увазі певні щорічні витрати  $Z_e$ , пов'язані з експлуатацією вказаного обладнання.

Ці обставини слід враховувати при розрахунку зниження величини витрати електроенергії від упровадження різних енергозберіжних заходів. Кількісна характеристика зміни показників економії електроенергії наведена на рис. 4.9.

Вартість збереженої за рік електроенергії (як валового доходу) визначається за такою формулою:

$$C_{W_p} = C_{0W} \Delta W_p, \quad (4.10)$$

де  $C_{0W}$  – вартість 1 кВт·год електроенергії;  $\Delta W_p$  – річне зниження величини витрати електроенергії, кВт·год.

Функція  $C_{W_p} f(K_3)$  має гіперболічний вигляд, тобто при зменшенні  $K_3$  вона швидко спадає, а при його збільшенні – зростає.

Витрати на експлуатацію систем керування і приводу з урахуванням автоматизації режиму електроспоживання визначаються як добуток питомих витрат  $Z_e$  на вартість збереженої енергії, з урахуванням значень  $K_3$  і  $K_t$ :

$$Z_E = C_{W_p} \frac{Z_e}{100}, \quad (4.11)$$

де питомі витрати  $Z_e$  (%) визначаються як частка від річного зниження величини електроспоживання та залежать від  $K_3$  (табл. 4.2).

Вказані витрати можна отримати з досвіду експлуатації, проте за відсутності таких даних можна використовувати табл. 4.2 та залежність (4.11).

Величина прибутку (економічний ефект) визначається як

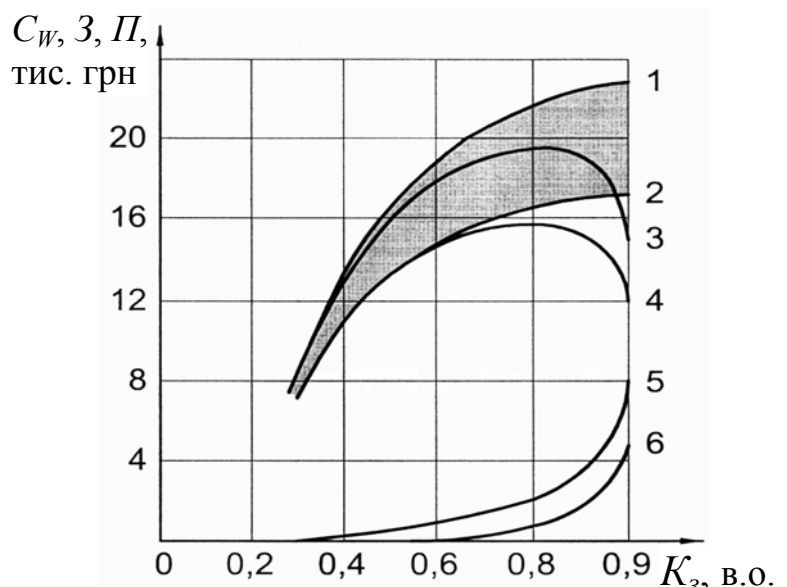
$$\Pi = C_{W_p} - Z_E. \quad (4.12)$$

Функція прибутку  $\Pi f(K_3)$  диференціюється і має максимум (рис. 4.9). Проте величина максимального прибутку ( $\Pi = \max$ ) не єдиний критерій, за яким ухвалюється остаточне рішення щодо доцільності впровадження відповідних заходів. Прийнятними мають бути одноразові затрати  $Z_k$ , які на момент ухвалення рішення звичайно невідомі, і термін їх окупності  $t_{ок}$ . Щоб зробити задачу більш визначеною, розраховують одноразові затрати для ряду реалістичних термінів окупності  $t_{ок.i} = \{1, 2, 3, \dots, n\}$  і величину прибутку  $\Pi_i$ , тобто знаходять ряд оптимальних вкладень  $Z_{к.i}^{opt} = \Pi_i t_{ок.i}$ .

**Таблиця 4.2**  
**Питомі витрати на експлуатацію  $Z_e$  систем керування та приводу з урахуванням автоматизації режиму електроспоживання**

Величина $K_3$	Витрати $Z_e$ , %, при $K_t$	
	0,4	1,0
1,0	28,0	22,0
0,9	15,0	10,0
0,8	10,0	6,0
0,7	6,8	3,2
0,6	4,8	1,5
0,5	3,2	0,0
0,4	1,8	0,0
0,3	0,6	0,0

*Примітка.* Витрати  $Z_e$  для проміжних значень  $K_t$  можна визначати шляхом інтерполяції для кожного значення  $K_3$ .



**Рис. 4.9.** Криві зміни узагальнених економічних показників  $C_W$  (1, 2),  $\Pi$  (3, 4) і  $Z$  (5, 6) при розрахунку на 1000 кВт·год збереженої електроенергії на добу (криві з парними номерами отримані при  $K_t = 1,0$ , а з непарними – при  $K_t = 0,4$ )

Затрати  $Z_k^{opt}$  необхідні для проведення тендера з організаціями, які претендують на виконання робіт з удосконалення технологічних процесів, або для бізнес-плану з метою отримання інвестицій.

Сучасні системи електропривода завдяки широкому впровадженню напівпровідникових перетворювачів енергії для перебігу технологічних процесів можуть бути дуже складними. Вони потребують встановлення додаткового обладнання для реалізації "чистих" режимів з боку системи електропостачання (фільтрокомпенсувальних пристроїв та ін.). Багато фахівців стверджують, що впровадження напівпровідникових перетворювачів у системи електропривода технологічних установок дозволяє значно зменшити витрати електроенергії, але й багато ставлять цей факт під сумнів (див. лекцію 6).

### Контрольні питання

1. Які та для яких основних режимів роботи електроприймачів слід застосувати заходи зі зниження обсягу електроспоживання?
2. Назвіть критерій оцінки величини витрати електроенергії.
3. Для яких умов можливо ефективно виконувати обмеження холостого ходу?
4. Що відображає час використання максимального електричного навантаження?
5. З якою метою визначаються коефіцієнти завантаження та використання робочої машини за часом?
6. Як обчислити коефіцієнт завантаження асинхронного двигуна?
7. Наведіть послідовність розрахунку величини зниження витрати електроенергії за допомогою коефіцієнтів завантаження та використання робочої машини за часом.
8. За допомогою рис. 4.6 поясніть, як змінюються показники електроспоживання.
9. У яких випадках корисна заміна електродвигуна на менш потужний?
10. Наведіть приклади, коли слід використовувати обмежувачі холостого ходу?
11. Поясніть доцільність застосування обмежувачів холостого ходу двигуна за критичним часом.
12. Як виконується економічна оцінка зниження величини витрати електроенергії?

### Завдання до самостійної роботи

Без сторонньої допомоги розглянути основні положення стандарту ДСТУ 30365–96, скласти стислий реферат та висловити свою думку щодо змісту цього стандарту.

*Оцінка ефективності електроспоживання виконується з урахуванням зниження питомих витрат електроенергії, що пов'язано з режимами роботи електроприймачів. Будь-яка технологічна установка має працювати з максимальним навантаженням та мінімальною тривалістю роботи у режимі холостого ходу. Для вирішення проблеми ефективного споживання електроенергії наведені відповідні розрахункові коефіцієнти (див. рис.4.5).*

*Зміна показників використання електроенергії технологічними установками (її загальних і питомих витрат) проілюстрована на рис. 4.6.*

*Для підвищення ефективності використання електроенергії застосовують обмежувачі холостого ходу та інші засоби.*