

- мов малых перемещений позиционного электропривода / Садовой А.В., Дерез А.Л. // Вестник КГПУ. – Кременчуг, 2007. – Вып. 3/2007 (44). – С.15-17.
12. Садовой А.В. Оптимизация по быстродействию режимов средних перемещений позиционных релейных СУЭП методом N-i переключений / Садовой А.В., Дерез А.Л. // Сборник научных трудов ДГТУ (технические науки). Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». – Днепро-дзержинск: ДГТУ. – 2007. – С.420-422.
13. Дерез А.Л. Адаптация системы оптимального по быстродействию управления позиционным электроприводом к изменению формы переходной траектории / Дерез А.Л., Садовой А.В. // Электротехнические и компьютерные системы. – Киев: Техника. – 2014. – №15(91). – С.72-74.

Поступила в редколлегию 28.03.2017.

УДК 621.396.67:001.57

С'ЯНОВ О.М., д.т.н., професор
КОСУХІНА О.С., к.т.н., доцент
ПОЛЯКОВ Р.М., аспірант

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

РОЗРАХУНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ НОВИХ І ПЕРСПЕКТИВНИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Вступ. Електричні машини є основним видом пристроїв електромеханічного перетворення енергії. Практично вся електрична енергія виробляється механічним шляхом за допомогою генераторів. Більше 60% всієї електроенергії, що виробляється, перетворюється знову в механічну за допомогою електродвигунів. Серед їх різних типів найбільш застосовуються асинхронні двигуни завдяки їх істотним перевагам. Асинхронні двигуни малої й середньої потужностей належать до таких електромеханічних пристроїв, які порівняно легко й швидко з незначними витратами можна виготовити у вигляді макетних зразків і одержати експериментальним шляхом їх інтегральні характеристики, а також перевірити ідеї конструкційного й іншого характеру. Саме завдяки цьому на сьогодні створено сучасні серії асинхронних двигунів з досить високими техніко-економічними показниками, а також розроблено двигуни з поліпшеними пусковими, регульовальними й динамічними властивостями [1, 2].

Постановка задачі. Методика розрахунків економічної ефективності асинхронних двигунів включає в себе визначення економічної доцільності або необхідності розробки й виготовлення нових зразків асинхронних двигунів. Розрахунки економічної ефективності нової техніки повинні враховувати найбільш загальні випадки: створення принципово нової техніки, що не має аналогів; створення нової техніки, що заміняє існуючу; удосконалення існуючої техніки та організації виробництва; створення нової техніки, що дає змогу відмовитися від імпорту закордонних товарів і збільшити експорт; продаж ліцензій на нові розробки тощо.

Взагалі рішення про виконання тих або інших робіт (проектів) приймається на підставі техніко-економічних обґрунтувань, основою яких є розрахунки економічного ефекту на річний обсяг виробництва в розрахунковому році. За розрахунковий рік береться перший рік після закінчення планованого (нормативного) терміну освоєння ви-

робництва нової техніки. Як правило, це другий або третій календарний рік випуску нової продукції або використання нової технології виробництва.

Результати роботи. Визначення складових економічної ефективності проводиться за всіма роками планованого періоду виробництва й експлуатації нової техніки. Визначення економічного ефекту проводиться на основі зіставлення наведених витрат по базовому (старому) і новому виробу. Наведені витрати визначаються сумою собівартості виробу й нормативного прибутку:

$$З = C + E_n K, \quad (1)$$

де Z – наведені витрати на одиницю продукції, грн.; C – собівартість одиниці продукції, грн.; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень (як правило $E_n = 0,15$ для забезпечення єдиного підходу до оцінки економічної ефективності нової техніки в масштабах усього виробництва); K – питомі капітальні вкладення у виробничі фонди.

При визначенні річного економічного ефекту повинно бути забезпечено порівняння варіантів нового й базового зразків техніки за наступними критеріями: обсягом виробленої за допомогою нової техніки продукції; якісними параметрами; фактором часу; цінами на сировину, матеріали, енергію й іншими порівнянними показниками; соціальними факторами виробництва й використання продукції, включаючи вплив на навколишнє середовище.

При визначенні попереднього й очікуваного річного економічного ефекту у процесі вибору найбільш ефективного варіанта створення й впровадження нової техніки, а також при ухваленні рішення про постановку виробу на виробництво використовуються проектні, нормативні й планові показники.

Визначення ж фактичного річного економічного ефекту нової техніки проводиться з урахуванням даних калькуляцій і зведеного обліку витрат, що відбивають реальні витрати й обсяг виробництва.

У тих випадках, коли капітальні вкладення здійснюються протягом ряду років, а також коли поточні витрати й результати виробництва внаслідок зміни режиму роботи об'єкта нової техніки суттєво змінюються по роках експлуатації, необхідно враховувати фактор часу. Це здійснюється шляхом приведення до одного часу (початку розрахункового року) одноразових і поточних витрат на створення й впровадження нової й базової техніки й результатів їх застосування з використанням коефіцієнта

$$\alpha_t = (1 + E)^t, \quad (2)$$

де α_t – коефіцієнт приведення; $E = 0,1$ – норматив приведення; t – число років й результати, що відокремлюють витрати даного року від початку розрахункового року. Витрати й результати, що здійснюються й одержуються до початку розрахункового року, множаться на α_t , а після розрахункового року – діляться на цей коефіцієнт.

Сумарні капітальні вкладення, приведені до розрахункового року, визначаються за формулою

$$K_T = \sum_{n=1}^T K_n (1 - E)^{T-n}, \quad (3)$$

де K_n – капітальні вкладення n -го року, грн.; T – загальна тривалість створення й освоєння нової техніки, рік; n – порядковий рік створення й освоєння нової техніки; $T - n$ – число років приведення капітальних вкладень.

Розрахунки річного економічного ефекту від розробки, виготовлення й застосування нових асинхронних двигунів проводяться шляхом порівняння вихідних показників за собівартістю й витратами на збільшення виробничих основних і обігових фондів з показниками, отриманими після впровадження нових двигунів, і множення отриманих результатів на річний обсяг виробництва:

$$E = (Z_{\text{б}} - Z_{\text{н}})A_{\text{н}} = [(C_{\text{б}} + E_{\text{н}}K_{\text{б}}) - (C_{\text{н}} + E_{\text{н}}K_{\text{н}})]A_{\text{н}}, \quad (4)$$

де $Z_{\text{б}}$ й $Z_{\text{н}}$ – наведені витрати на одиницю продукції, виробленої за допомогою базової (старої) і нової техніки, визначені за формулою (1), грн.; $C_{\text{б}}$ і $C_{\text{н}}$ – собівартість одиниці продукції до й після впровадження нової техніки, грн.; $K_{\text{б}}$ і $K_{\text{н}}$ – питомі капітальні витрати, тобто сума виробничих основних і обігових фондів на одиницю річного випуску продукції (питома фондомісткість) до й після впровадження нової техніки, грн.; $A_{\text{н}}$ – річний обсяг виробленої продукції в натуральних одиницях після початку впровадження нової техніки.

При розрахунках зниження собівартості продукції враховуються тільки ті витрати, які змінюються у зв'язку із застосуванням цього заходу. У випадках, коли нова техніка впроваджується на діючому підприємстві й нові капітальні витрати додаються до діючих повністю, розрахунки річного економічного ефекту здійснюються за формулою

$$E = [(C_{\text{б}} - C_{\text{н}}) - E_{\text{н}}K_{\text{д}}]A_{\text{н}}, \quad (5)$$

де $K_{\text{д}}$ – нові капітальні витрати у виробничі основні фонди й у приріст (або зниження) обігових фондів, віднесені до одиниці річного випуску нової продукції.

Якщо в результаті впровадження двигунів з поліпшеними пусковими, регулювальними й динамічними властивостями підвищується довговічність двигуна, механізмів і машин, поліпшується якість і знижується собівартість продукції, що випускається, або досягаються інші переваги, то річний економічний ефект для виробника визначається як алгебраїчна сума річних економічних ефектів, отриманих у виробника й у споживача. При цьому використовується формула

$$E = \left(Z_{\text{б}} \frac{V_{\text{н}} P_{\text{б}} + E_{\text{н}}}{V_{\text{б}} P_{\text{н}} + E_{\text{н}}} + \frac{(I_{\text{б}} - I_{\text{н}}) - E_{\text{н}}(K'_{\text{н}} - K'_{\text{б}})}{P_{\text{н}} + E_{\text{н}}} - Z_{\text{н}} \right) A_{\text{н}}, \quad (6)$$

де $V_{\text{н}}/V_{\text{б}}$ – коефіцієнт обліку росту продуктивності праці; $V_{\text{б}}$ і $V_{\text{н}}$ – річні обсяги продукції, вироблені при використанні базового й нового двигунів, шт./рік; $(P_{\text{б}} + E_{\text{н}})/(P_{\text{н}} + E_{\text{н}})$ – коефіцієнт обліку зміни терміну служби нового двигуна в порівнянні з базовим; $P_{\text{б}}$ і $P_{\text{н}}$ – частки відрахувань від балансової вартості на повне відновлення (реновацію) базового й нового двигунів,

$$P = \frac{E}{(1 + E)^{T_{\text{с}}} - 1}, \quad (7)$$

$T_{\text{с}}$ – термін служби, рік; $I_{\text{б}}$ і $I_{\text{н}}$ – річні експлуатаційні витрати у споживача; $K'_{\text{б}}$ і $K'_{\text{н}}$ – супутні капітальні вкладення споживача.

Розрахунок річного економічного ефекту від виробництва й використання нових двигунів, що застосовуються у декількох сферах споживання, проводиться за формулою

$$E = \sum_{i=1}^n E_i A_i, \quad (8)$$

де n – кількість сфер споживання.

У складі капітальних вкладень виготовлювачів і споживачів нових двигунів урахуються як безпосередні капітальні вкладення, так і інші одноразові витрати, необхідні для створення й використання нових двигунів незалежно від джерел фінансування. До них відносяться такі показники [3]: витрати на науково-дослідні й дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування й доробку дослідних зразків; витрати на придбання, доставку, монтаж, демонтаж, технічну підготовку, налагодження й освоєння виробництва; витрати на поповнення обігових фондів, пов'язаних зі створенням і використанням нової техніки; вартість необхідних виробничих площ та інших елементів основних фондів; витрати на технічні заходи й установки, що запобігають негативним наслідкам впливу експлуатації техніки на природне середовище (запобігання забрудненню), а також на умови праці (зниження виробничого шуму й т. п.); збиток (зі знаком плюс) або прибуток (зі знаком мінус) від виробництва й реалізації продукції в період освоєння виробництва, що передує розрахунковому року.

При наявності розробок і можливості виготовлення декількох варіантів нових двигунів вибирається кращий з них. Критерієм найбільшої економічної ефективності служать найменші наведені витрати за нормативний термін окупності, визначені за формулою

$$Z_T = C_i + (C_a + C_o)T_H + E_H(C_p + C_b) + C_e, \quad (9)$$

де C_i – вартість виготовлення двигуна й витрати на його монтаж, грн.; C_a – річні витрати на активні витрати електроенергії, грн.; C_o – річні витрати на обслуговування двигуна (витрати на амортизацію й ремонти, компенсацію збитку від простою устаткування через вихід з ладу двигуна), грн.; C_p – одноразові витрати на розробку й доведення до впровадження, грн.; C_b – одноразові витрати на впровадження (на будівлю додаткових приміщень і споруджень, перепланування й переустаткування існуючих виробничих приміщень, придбання й монтаж нового або додаткового устаткування, виготовлення нового оснащення й інструменту та ін.), грн.; C_e – витрати споживача на компенсуючі пристрої й необхідні виробничі площі, грн.; T_H – нормативний термін окупності, рік,

$$T_H = \frac{K_H - K_6}{C_6 - C_H} = 1/E_H. \quad (10)$$

При спрощених розрахунках витрати на виготовлення двигуна підрозділяються на такі укрупнені статті: витрати на матеріали; витрати на основну заробітну плату виробничих робітників; витрати на додаткову заробітну плату виробничих робітників і відрахування на соціальне страхування; цехові витрати, включаючи витрати на утримання та експлуатацію устаткування; загальнозаводські витрати; позавиробничі витрати на збут продукції (на упакування, транспортування до станції відправлення, рекламу й т.п.).

Витрати на матеріали складаються з витрат на активні матеріали $C_{ам}$ (витрати на електротехнічну сталь C_c , витрати на матеріал обмотки статора $C_{м1}$, обмоток короткозамкнутого й фазного роторів $C_{м2}$):

$$C_{ам} = C_c + C_{м1} + C_{м2}; \quad C_c = m_c \Pi_c; \quad C_{м1} = m_{м1} \Pi_{м1}; \quad C_{м2} = m_{м2} \Pi_{м2}, \quad (11)$$

де m – заготівельна маса матеріалу, кг; Π – ціна матеріалу, грн./кг.

На основі зіставного аналізу встановлено закономірності, характерні для серій двигунів з однаковим класом нагрівостійкості ізоляції й властивостями електротехнічної сталі. Ці закономірності для різних матеріалів виражаються формулами

$$\lambda_{ам} = C_{ам}/C_M = \text{const}; \quad \lambda_{им} = C_{им}/C_M = \text{const}; \quad \lambda_k = C_k/C_M = \text{const}, \quad (12)$$

де C_M – сумарні витрати на матеріали для даного типу двигуна, грн. Для сучасних двигунів загального призначення з висотами осі обертання 160...250 мм $\lambda_{ам} = 0,52 \dots 0,54$.

Виходячи з першої формули (11), можна обґрунтовано рекомендувати спрощений спосіб розрахунків витрат на матеріали: 1) визначити для проєктованого двигуна $C_{сн}$, $C_{м1н}$, $C_{м2н}$ і $C_{ам}$ за формулами (11); 2) визначити для базового двигуна $C_{сб}$, $C_{м1б}$, $C_{м2б}$, $C_{амб}$ і $C_{мб}$ за плановими або звітними калькуляціями заводів-виготовлювачів; 3) визначити λ за формулами (12); 4) визначити витрати на матеріали нового двигуна:

$$C_{мн} = \frac{1,06 C_{амн}}{\lambda_{амб} K_{\lambda_m}}, \quad (13)$$

де 1,06 – числовий коефіцієнт, що враховує транспортні витрати; K_{λ_m} – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив на структуру витрат на матеріали особливостей нової конструкції двигуна, $K_{\lambda_m} = 1$. Коефіцієнт K_{λ_m} буде відрізнятися від одиниці при значній відмінності нових матеріалів від базових за класом нагрівостійкості ізоляції, властивостями електротехнічних сталей, цінами на застосовувані матеріали, конструкційним виконанням. Значення K_{λ_m} визначається експертною оцінкою.

До витрат на матеріали належать також витрати на напівфабрикати, покупні комплектуючі вироби, запчастини й штатний інструмент.

При розрахунках *трудових витрат* на виготовлення нових двигунів виходять із повної собівартості двигунів

$$C = K_{вн} (C_M + C_T), \quad (14)$$

де $K_{вн}$ – коефіцієнт обліку поза виробничих витрат; C_T – трудові витрати.

Встановлено, що для кожної серії асинхронних двигунів характерна сталість відношення

$$\lambda_M = C_M/C = \text{const}, \quad (15)$$

тому витрати на виготовлення нових двигунів можна визначити за формулою

$$C_H = C_{мн} / \lambda_{мб} K_{\lambda}, \quad (16)$$

де $\lambda_{мб} = C_{мб}/C_{б}$, визначається за плановими або звітними калькуляціями заводів-виготовлювачів; K_{λ} – поправочний коефіцієнт, обумовлений експертною оцінкою, що враховує особливості нових двигунів. Звичайне відношення λ_M міняється меншою мірою, ніж кожна зі складових собівартості. Для двигунів з висотами осі обертання до 250 мм можна прийняти $\lambda_M = 0,6 \dots 0,65$ й $K_{\lambda} \approx 1$.

Розрахунки витрат на виготовлення двигунів ведуться таким чином: 1) вибирається базовий двигун; 2) за плановими або звітними калькуляціями заводів-виготовлювачів для базового двигуна визначаються $C_{мб}$, $C_б$ і $\lambda_{мб}$; 3) визначається для нового двигуна $C_{мі}$; 4) експертною оцінкою визначається K_λ ; 5) за виразом (16) знаходиться $C_н$.

Витрати на основну заробітну плату визначаються за формулою

$$T_3 = a \sum_i \tau_i, \quad (17)$$

де a – середня оплата однієї нормогодини, грн.; τ_i – трудомісткість одного виду робіт з виготовлення двигуна, норма-година; $\sum_i \tau_i$ – сумарна трудомісткість, норма-година.

Важливість правильного визначення трудомісткості виготовлення характеризується наступними факторами: 1) при спрощених розрахунках витрати на додаткову заробітну плату виробничих робітників і соціальне страхування, цехові й загальнозаводські витрати обчислюються пропорційно T_3 ; 2) дані про трудомісткість виробів є вихідною базою найважливіших розрахунків планових, економічних і соціальних показників і, в першу чергу, розрахунків потреби в робочій силі.

Технологічні процеси виготовлення асинхронних двигунів при спрощених розрахунках групують за наступними п'ятьма видами робіт: 1) ливарні і зварювальні, τ_1 ; 2) обробка металів різанням, τ_2 ; 3) виготовлення магнітопроводів (штамбування, термообробка, лакування, шихтування), τ_3 ; 4) ізолювання, виготовлення й укладання обмоток, просочення й сушіння, τ_4 ; 5) складання вузлове й загальне, контрольно-іспитові роботи, обробка й консервація, τ_5 .

При розгорнутих розрахунках групу τ_4 розділяють на два види робіт: ізолювання й укладання обмотки, просочення й сушіння; а групу τ_5 – на складання, випробування, обробку й консервацію.

Розрахунки трудомісткості виготовлення нових двигунів проводяться в такій послідовності: 1) вибирають базовий двигун; 2) за плановими або звітними калькуляціями заводів-виготовлювачів для базового двигуна обчислюють трудомісткість по окремих групах робіт $\tau_1 \dots \tau_5$ і середню оплату однієї нормогодини; 3) знаходять поправочні коефіцієнти експертною оцінкою $\lambda_{\tau_i} = \tau_{iн} / \tau_{iб}$; 4) визначають $\lambda_{\tau_i} = \sum_{i=1}^5 \tau_{iн} = \sum_{i=1}^5 \lambda_{\tau_i} \tau_{iб}$;

5) за допомогою експертної оцінки знаходять поправочний коефіцієнт для середньої оплати нормогодини $\lambda_a = a_н / a_б$; 6) обчислюють $T_{зн} = \lambda_a a_б \sum_{i=1}^5 \tau_{iн}$.

У статтю "Додаткова заробітна плата виробничих робітників" включаються виплати, передбачені трудовим законодавством або трудовими договорами за невідпрацьований на виробництві час (відпустки, оплата пільгових годин та ін.). Виходячи зі зразкової структури річного корисного фонду часу [3], приблизно вважають, що додаткова заробітна плата становить:

$\frac{259 \cdot 8}{230 \cdot 7,52} - 1 \approx 0,2$ від основної, де 259 – число календарних робочих днів за рік; 230 – число робочих днів за рік; 8 – число годин робочого

дня; 7,52 – середня тривалість робочого дня. У статтю "Відрахування на соціальне страхування" включаються виплати на ці цілі за встановленими ставками із загальної суми заробітної плати виробничих робітників.

Цехові й загальнозаводські витрати при спрощених розрахунках обчислюються пропорційно основній заробітній платі виробничих робітників. Вони залежать від ступеня механізації й автоматизації виробництва, серійності випуску, організації виробництва, системи керування ним і інших факторів. Для різних підприємств ці витрати можуть значно відрізнятися. *Позавиробничі витрати* обчислюються пропорційно виробничій собівартості двигуна.

Повна собівартість двигуна визначається за формулою

$$C_H = [C_{MH} + T_{3H} \times (1,28 + K_C + K_O)] K_{BH}, \quad (17)$$

де 1,28 – коефіцієнт витрат на аварійну плату й соціальне страхування.

Попередня ціна двигуна визначається за виразом

$$C_D = C_H (1 + p_H), \quad (19)$$

де p_H – норматив рентабельності, для серійних двигунів приймається $p_H = 12$.

Одноразові витрати на монтаж включаються в одноразові витрати на придбання двигуна й становлять $Z_M \approx 0,3C_D = 0,3 \cdot 1,12 = 0,34C_H$.

У повні витрати включаються й витрати на монтаж, тобто

$$C_{IH} = 1,34C_H. \quad (20)$$

Річні витрати на втрати активної електроенергії визначаються за формулою [3]

$$C_a = C_a t \xi \frac{P_2}{\eta_\xi} (1 + p_e - \eta_\xi), \quad (21)$$

де C_a – середня ціна електроенергії, грн/кВт·год; t – число годин роботи двигуна за рік; ξ – коефіцієнт завантаження; η_ξ – ККД двигуна при реальному завантаженні; p_e – середні питомі втрати потужності на 1 кВт·год. електроенергії, що передається в межах одного ступеня трансформації.

Витрати на обслуговування складаються з витрат на амортизацію, ремонти й компенсацію збитку від простою устаткування через вихід з ладу двигуна. У свою чергу амортизаційні відрахування складаються з відрахувань на реновацію й капітальний ремонт.

Відрахування на реновацію можуть бути розраховані за формулою (7), а відносні значення амортизаційних відрахувань для двигунів потужністю до 100 кВт можуть бути прийняті $p_{a1} = 0,055$ й для двигунів понад 100 кВт – $p_{a1} = 0,04$.

Витрати на амортизацію за один рік становлять $Z_{am} = P_{am} C_H$.

Витрати на обслуговування містять витрати на планово-попереджувальні (дрібні й середні) ремонти всіх двигунів і на відбудовні (капітальні) ремонти двигунів, що вийшли з ладу, протягом нормативного терміну окупності. До них належать й витрати на компенсацію збитку внаслідок виходу з ладу двигуна. Для орієнтовних розрахунків приймають, що всі ці витрати становлять 0,4...0,8 ціни двигуна залежно від тяжкості умов експлуатації.

З урахуванням надійності двигуна витрати на ремонт можна розрахувати за формулою

$$Z_{рем} = (S_y P_2 + S_k) \left[- \ell n R(T_{нар}) \right] \frac{t}{T_{сл}} + (K_m n_m S_m + K_{ср} n_{ср} S_{ср}), \quad (22)$$

де $T_{нар}$ – заданий наробок електродвигуна, год.; $R(T_{нар})$ – імовірність безвідмовної роботи протягом заданого наробку. Відповідно до діючих норм на двигуни серій 4А і 4АН $T_{сл} = 10000$ год. $R(T_{сл}) = 0,9$; S_y – питомий збиток від простоїв устаткування при виході з ладу двигуна, грн./кВт; S_k , $S_{ср}$ і S_m – витрати на один капітальний, середній і дрібний ремонт відповідно, грн.; n_m і $n_{ср}$ – число дрібних і середніх ремонтів на рік відповідно. Якщо умови експлуатації не обумовлені, то рекомендується приймати для двигунів зі ступенем захисту IP44 $n_{ср} = 2$, $n_m = 4$, а для двигунів IP23 – $n_{ср} = 3$, $n_m = 7,5$; K_m і $K_{ср}$ – коефіцієнти, що характеризують зменшення потрібної кількості дрібних і середніх ремонтів на рік відповідно, завдяки підвищенню надійності нових двигунів. Вони беруться рівними від 1 до 0 і встановлюються експертною оцінкою значимості запроєктованих заходів щодо підвищення надійності. Сумарні витрати на обслуговування на рік становлять $C_o = Z_{ам} + Z_{рем}$.

Досі будь-яких нормативних документів на визначення витрат на розробку й впровадження не існує. У кожному конкретному випадку при розрахунках економічного ефекту необхідно скласти кошторис витрат по статтях.

За даними [4] в електротехнічній промисловості витрати на науково-дослідні й дослідно-конструкторські роботи становлять 3...3,3% річної вартості валової продукції. З урахуванням витрат на розробку технології, виготовлення оснащення, освоєння виробництва, технічне переозброєння підприємств, пов'язаних з випуском нової продукції, вони досягали 8...9%.

Аналіз ряду нових розробок показав, що для проектних розрахунків приблизно можна прийняти витрати на розробку й впровадження серійних двигунів, які становлять 10% їх повної вартості.

Витрати на компенсуючі пристрої визначаються за формулою

$$C_r = C_r K_{махн} \xi \frac{P_2}{\eta_\xi} \times (\operatorname{tg} \varphi_\xi - \operatorname{tg} \varphi_o) (1 + T_n p_o), \quad (23)$$

де C_r – вартість 1 квар-год. компенсуючих пристроїв, грн./кВАр-год.; $K_{махн}$ – коефіцієнт участі електродвигунів у максимальних навантаженнях у системі, $K_{махн} = 0,25$; $\operatorname{tg} \varphi_\xi = \operatorname{tg}(\arccos \varphi_\xi)$; $\cos \varphi_\xi$ – коефіцієнт потужності при фактичному завантаженні двигуна; $\operatorname{tg} \varphi_o = \operatorname{tg}(\arccos \varphi_o)$; $\cos \varphi_o$ – нейтральний коефіцієнт потужності, приймається $\cos \varphi_o = 0,9$; T_n – нормативний термін окупності, рік; p_o – відносні витрати на обслуговування, включаючи амортизаційні відрахування.

Облік додаткових втрат потужності, обумовлених споживанням додаткової реактивної енергії, проводиться за формулою

$$P_r = p_r (\operatorname{tg} \varphi_\xi - \operatorname{tg} \varphi_o) \frac{P_r}{\eta_\xi} \xi, \quad (24)$$

де p_r – питомі втрати на генерування й передачу 1 кВАр потужності або питомі втрати, пов'язані з компенсацією 1 кВАр потужності за допомогою конденсаторних батарей. У першому випадку $p_r = 0,11$ кВт/кВАр, у другому – $p_r = 0,085$ кВт/кВАр.

Величина додаткових втрат потужності залежить від параметрів і режимів роботи двигунів і може бути віднесена до втрат у двигунах. Сумарні втрати двигунів називаються наведеними втратами, а ККД, розрахований з урахуванням додаткових втрат, – наведеним ККД

$$\eta'_\xi = \frac{\eta_\xi}{1 + p_r(\operatorname{tg} \varphi_\xi - \operatorname{tg} \varphi_o)}. \quad (25)$$

Критерій оптимальності (сумарні витрати) у більшості випадків при пошукових розрахунках визначається за наближеною формулою

$$Z_m \cong K(C_\partial + C_r) + C_a T_n + C_k, \quad (26)$$

де $K = 1 + T_n(p_{ам} + p_o)$ – коефіцієнт, що враховує амортизаційні відрахування й витрати на обслуговування при експлуатації двигуна; $p_{ам}$ – амортизаційні відрахування, $p_{ам} = 0,065$; p_o – відносні витрати на обслуговування під час експлуатації, $p_o = 0,069$; C_∂ – виробнича собівартість двигуна.

При відсутності точних даних щодо витрати й вартості конструкційних матеріалів C_k і трудозатрат C_m розрахунки виробничої собівартості двигунів потужністю до 100 кВт проводять за спрощеними формулами (методики ВНДІЕМ)

$$C_k = \left[D_{1H}^2 K_{k1} (K_{k2} + D_{1H}) + K_{k3} D_{1H} \ell_1 (K_{k4} + D_{1H}) \right] \Pi_k, \quad (27)$$

де K_{k1} , K_{k2} , K_{k3} , K_{k4} – конструктивні коефіцієнти; Π_k – середньозважена ціна конструкційних матеріалів.

Трудові витрати визначаються за формулою

$$C_T = K_{T1} D_{a1}^2 (K_{T2} + \ell_1 / D_{1H}), \quad (28)$$

де K_{m1} й K_{m2} – коефіцієнти вартості виготовлення, $K_{m1} = 500$ і $K_{m2} = 0,4$.

Висновки. Методика розрахунку економічної ефективності нових та перспективних асинхронних двигунів побудована на базі принципових положень основних методик, інструкцій, нормативно-довідкових матеріалів до інструкцій та інших нормативних документів визначення економічної ефективності й річного економічного ефекту, одержаних у результаті впровадження нової техніки, погоджених і затверджених державними органами. Усі числові дані (ціни на матеріали, вартість трудових витрат і т. д.) вимагають уточнення як зараз, так і в майбутньому. У кожному конкретному випадку розрахунки річного економічного ефекту можуть бути зроблені за значно спрощеним алгоритмом залежно від того, який з показників найбільш вагомий.

ЛІТЕРАТУРА

1. Качура О.В. Индукційні реостати з покращеними масогабаритними показниками для асинхронних двигунів з фазним ротором: монографія / О.В.Качура, С.В.Количев, О.М.С'янов. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2011. – 209с.
2. Могильников В.С. Теория, технология и режимы работы асинхронных двигателей с двухслойным ротором / Могильников В.С., Олейников А.М. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 20008. – 350с.

3. Стогній Б.С. Енергетична безпека України. Світовий та національний виклики [ТЕКСТ] / Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. – Київ.: Українські енциклопедичні знання, 2006. – 408с.
4. Каневский Л.М. О системе основных экономических показателей технического прогресса / Каневский Л.М. // Электротехника. – 1971. – №3. – С.49-52.

Надійшла до редколегії 27.02.2017.

УДК 658.26:621.316.1

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ Є.Д., к.т.н., доцент
КЛЮЄВ О.В., к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРІВ ВИЩИХ ГАРМОНІК У МЕРЕЖІ 10 КВ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ

Вступ. Аналізуючи ситуації з виникненням однофазних замикань на землю в мережах промислових підприємств, доводиться стикатися з тим фактом, що кількість uszkodжень кабельних мереж (пробоїв ізоляції, виникнення пожеж в кабельних тунелях) тісно пов'язана з рівнем вищих гармонік (ВГ) в цих мережах. Негативний вплив ВГ проявляється в тому, що височастотні електричні поля викликають іонізаційні процеси в ізоляції кабеля, внаслідок чого знижується її електрична міцність і виникає пробій – однофазне замикання на землю. Вказаний вплив ВГ залежить від спектра генеруючих тиристорних перетворювачів частоти і рівня гармонік. Найбільш раціональним способом зниження рівня гармонік є установка силових резонансних фільтрів.

Існуюча практика застосування резонансних фільтрів ґрунтується на використанні комплекту фільтрів, налагоджених в резонанс по можливості точно на частоти гармонік, що переважають в амплітудному спектрі струмів нелінійних навантажень. Такий підхід застосовний у разі фільтрів малої і середньої потужності, коли відношення потужності батареї фільтра до потужності короткого замикання (КЗ.) в точці підключення менше $0,5 \cdot 10^{-2}$. Більш високе значення цього параметра дозволяє уникнути посилення окремих гармонік напруги, перевантаження фільтрів за струмом і інших несприятливих явищ. Окрім цього застосування потужних фільтрів дозволяє понизити вимоги до точності налаштування, визначити прийнятні межі зниження коефіцієнта несинусоїдальності напруги. Відомо, що фільтри ВГ покращують баланс реактивної потужності у вузлі навантаження, а отже, впливають на режим напруги в мережі. Усі ці процеси взаємно пов'язані, до того ж залежать від характеру навантаження, яке змінюється за кількістю і якістю в широких межах.

Постановка задачі. На підставі параметрів активних і реактивних елементів фільтрів визначити коефіцієнти завантаження силових фільтрів за струмом і коефіцієнти ефективності роботи фільтрів, а також обґрунтувати доцільність застосування фільтра третьої гармоніки.

Результати роботи. Розраховано коефіцієнти завантаження за струмом і коефіцієнти ефективності фільтрів 3-5-7-11 гармонік, запропоновано заходи із зміни структури фільтро-компенсуючого пристрою.

Загальна характеристика вузла електропостачання. Вузол сортопрокатних цехів металургійного комбінату живиться від підстанції глибокого вводу КРЗ-5, де встановлено понижуючі трансформатори потужністю 2×32 МВАр напругою 150/10 кВ.