

УДК 621.316.9

Дьяченко Віра Вікторівна, канд.техн.наук, доц. кафедри електропостачання промислових підприємств. Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна, вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, Україна, 69000. Тел. +38 0617 698-280. E-mail: vera.dyachenko.1964@mail.ru

СКЛАДАННЯ ПЕРЕЛІКУ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ ДЛЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Запропоновано алгоритм формування переліку енергозберігаючих заходів для системи електропостачання. Алгоритм визначає чітку послідовність впровадження запропонованих енергозберігаючих заходів. План цих заходів дозволить реалізувати максимально можливий технічно допустимий та економічно доцільний потенціал енергозбереження систем електропостачання. Наведено результати використання розробленого алгоритму на прикладі системи електропостачання електротехнічного заводу.

Ключові слова: система електропостачання, енергоефективність, втрати електричної енергії, енергозберігаючі заходи.

Дьяченко Вера Викторовна, канд.техн.наук, доц. кафедры электроснабжения промышленных предприятий. Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина, ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, Украина, 69000. Тел. +38 0617 698-280. vera.dyachenko.1964@mail.ru

СОСТАВЛЕНИЕ ПЕРЕЧНЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Предложен алгоритм формирования перечня энергосберегающих мероприятий для системы электроснабжения. Алгоритм определяет четкую последовательность внедрения предлагаемых энергосберегающих мероприятий. План этих мероприятий позволит реализовать максимально возможный технически допустимый и экономически целесообразный потенциал энергосбережения систем электроснабжения. Приведены результаты использования разработанного алгоритма на примере действующей системы электроснабжения электротехнического завода.

Ключевые слова: система электроснабжения, энергоэффективность, потери электрической энергии, энергосберегающие мероприятия.

Dyachenko Vera Viktorovna, Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Industrial Energy Supply chair, Zaporozhye National Technical University, Zaporozhye, Ukraine, Str. Zhukovsky, 64, Zaporozhye, Ukraine, 69000. Tel. 38 0617 698-280. E-mail: vera.dyachenko.1964@mail.ru

MAKE A COMPLETE LIST OF SAVING MEASURES POWER SUPPLY SYSTEMS

There is proposed the algorithm of the energy-saving measures list formation for the power supply system. In this algorithm there is taken into account the relationship between all possible and permissible changes in the power supply system parameters; present evidence and visibility of energy-saving criteria, reflecting the specific economic situation. Here, the criterion is the saved energy cost. The algorithm determines the precise implementation sequence of the proposed energy saving measures. These measures implement plan will permit technically to achieve possible energy saving potential maximum of power supply systems. There are presented the results of the algorithm appliance on an example of the current electrical plant power supply system.

Keywords: power supply system, energy efficiency, loss of electrical power, energy-saving, energy saving measures.

Вступ

Сучасна система електропостачання (СЕП) повинна відповідати таким основним вимогам [1, 2]: надійність, економічність, безпека, зручність експлуатації, забезпечення належної якості електроенергії, можливість розширення під час розвитку виробництва. Також одним з головних задач в електропостачанні є зниження втрат електричної енергії (ВЕЕ) при її передачі по СЕП [1-4], що і додає до переліку основних вимог до неї - енергоефективність. В існуючій практиці енергозбереження на підприємствах стосовно електропостачання, незважаючи на широкий перелік рекомендованих енергозберігаючих заходів (ЕЗЗ) [5-8], відсутні методи визначення їх повного переліку, що не дозволяє створювати і реалізовувати ефективні програми енергозбереження, а, отже, і гальмує процес енергозбереження в цій галузі.

Недосконалість СЕП з точки зору підвищених ВЕЕ, що виникають у ній, обумовлена відсутністю таких підходів, що враховують енергозберігаючий фактор, в основних задачах побудови системи, а також до їх комплексної реалізації в практиці проектування СЕП [9, 10]. До таких задач відносяться, наприклад, вибір числа і потужності трансформаторів, визначення місць розміщення джерел живлення, вибір перерізів провідників, формування схеми та ін. У наявній практиці проектування СЕП критерієм прийняття рішень є річні приведені витрати [11], в яких відображається і вартість ВЕЕ. До недавнього часу остання мали незначну частку в зазначеному критерії. Тому фактор енергозбереження в прийнятих проектних рішеннях був, по суті, не задіяний в належній мірі, що і позначилося на енергоефективності існуючих СЕП у цілому.

До того ж при плануванні заходів щодо економії енергоресурсів, заснованому на поточному обстеженні та аналізі енерговикористання на окремих ділянках, цехів і електроспоживачів підприємства, процес енергозбереження носить фрагментарний характер. Це не дозволяє достовірно оцінити весь обсяг можливої економії електроенергії в СЕП, тобто її потенціал енергозбереження.

Метою роботи є розробка алгоритму формування переліку ЕЗЗ для СЕП, впровадження яких дозволить економічно доцільно реалізувати граничний обсяг потенціалу енергозбереження систем, що підвищить ефективність процесу енергозбереження, а також застосування цього алгоритму на прикладі СЕП електротехнічного заводу.

Основою визначення потенціалу енергозбереження СЕП є структурна і параметрична оптимізація СЕП з використанням критерію - мінімуму сумарних ВЕЕ у всіх її елементах за заданий період часу. Результатом вирішення такої задачі будуть топологія та перелік технічних параметрів системи, а також показники її режимів електроспоживання, забезпечення яких в сукупності призведе до граничного зниження цих втрат при допустимих технічних умовах експлуатації системи [12]. Отримана таким чином енергоефективна система, буде мати відмінну від реальної структуру і інший склад елементів, а також характеризуватися меншими власними сумарними ВЕЕ за той же розглянутий період часу. Різниця між втратами у реальній і в отриманій таким чином енергоефективній системі і дасть граничне значення резерву економії електроенергії [13].

Для максимального зниження втрат у системі рекомендується впровадження зміненого складу електрообладнання та структури енергоефективної СЕП. Реалізація такої модифікацій параметрів системи і є тими заходами, які забезпечать максимальний потенціал. Будь-який вплив на систему призводить до тих чи інших показників її енергоефективності. Очевидно, що необхідно залишити ті заходи, які є економічно доцільними в даний час, або з урахуванням прогнозу зміни цін на електрообладнання і тарифів на електроенергію в найближчій перспективі. Останнє забезпечується виконанням умови [14]: собівартість зекономленої електроенергії ($\beta_{ек}$, грн/кВт·год) не повинна перевищувати значення чинного тарифу ($\beta_{д}$). Для отримання на початковому етапі процесу енергозбереження якомога більшого ефекту, послідовність реалізації вже економічно допустимих ЕЗЗ може бути визначена через ранжування (за спаданням) їх за таким показником як, наприклад, обсяг зекономленої електроенергії.

Таким чином, алгоритм формування переліку ЕЗЗ для СЕП буде складатися з наступних кроків:

1. Складається перелік всіх можливих технічних ЕЗЗ, впровадження яких є допустимим за умовами, що вимагаються під час експлуатації системи. Формується такий список на порівнянні низці параметрів, отриманих в результаті оптимізації СЕП з позиції мінімуму сумарних ВЕЕ в ній, з реальними параметрами системи. Та заміні останніх на одержані нові структури, технічні характеристики електрообладнання.

2. На підставі отриманого вище списку ЕЗЗ визначаються економічно доцільні заходи, виходячи з умови, що собівартість зекономленої електроенергії, на основі їх реалізації, не повинна перевищувати діючий тариф. Цей показник обчислюється таким чином:

$$\beta_{ек} = (eK + \Delta C) / \Delta W, \quad (1)$$

де e – внутрішня норма ефективності капітальних вкладень;

K – капітальні витрати, що пов'язані з реалізацією ЕЗЗ (витрати на придбання та монтаж електрообладнання, а при необхідності й будівельних конструкцій), тис грн;

ΔC – зміна експлуатаційних поточних витрат при заміні електрообладнання або при інших модифікаціях системи, тис. грн.;

ΔW – обсяг економії електроенергії за рахунок реалізації ЕЗЗ, МВт·год.

3. Уточнений вище список вже економічно доцільних і технічно можливих ЕЗЗ ранжується за зменшенням обсягу зекономленої електроенергії, що і визначає послідовність їх реалізації.

Як приклад визначимо потенціал енергозбереження СЕП електротехнічного заводу. Працює підприємство у дві зміни, річна тривалість використання максимуму активного навантаження – 4000 годин. Сумарний річний обсяг споживаної активної електроенергії дорівнює 27862 МВт·год. Площа займаної території заводу становить 0,48 км².

Електроспоживачами підприємства є дев'ять цехів, де здійснюються основні (цехи 1 – 3, 10) й допоміжні (цехи 4 – 8) технологічні процеси, компресорна станція (9), а також адміністративна (11). Розташовуються цехи 1–6 у головному багатоповерховому корпусі підприємства, решта мають окремі виробничі приміщення. Електроприймачі основного виробництва та компресорної станції з точки зору забезпечення надійності електропостачання відносяться до другої, а допоміжного – до другої й третьої категорій. Високовольтними електроприймачами є чотири синхронних двигуна 10 кВ (СД10кВ) номінальною потужністю 400 кВт компресорної станції, які використовуються як джерела реактивної потужності. Схема розташування електроспоживачів і вузлів електричних мереж досліджуваної СЕП підприємства представлена на рис. 1.

Джерелом живлення тут є ГЗП150/10 з одним трансформатором типу ТДН-10000/150/10 з резервним вводом на низькій напрузі від підстанції сусіднього підприємства, розташованого на відстані 100 м. Зазначений ввід здійснюється двома кабелями типу ААШс2(3x240), що прокладені в траншеї. ГЗП150/10 підприємства отримує живлення по одноланцюгової повітряної лінії 150 кВ на металевих опорах з проводом типу АС-120 і довжиною 9 км від підстанції енергосистеми.

У дослідженні цехові електричні мережі підприємства аналізуються ділянками від пунктів розподільних (РР) різного конструктивного виконання (магістральні, розподільні шинопроводи, силові пункти, щити станції управління, щитки освітлення) до РУ-0,4 кВ цехових ТП. Ці ТП являють собою комплектні одно і двотрансформаторні підстанції 10/0,4 з номінальною потужністю трансформаторів 400 і 1000 кВА типу ТМЗ в кількості 11 шт.

Схема внутрішньозаводських електричних мереж підприємства – радіальна двоступенева і виконана кабельними лініями типу ААШв. Напруга внутрішньозаводської мережі – 10 кВ. Джерелами живлення ТП 10/0,4 і СД 10 кВ є три РП 10 кВ, які підключені до ГЗП150/10. В якості джерел реактивної потужності крім СД 10 кВ використовуються чотири високовольтні установки типу 2xУК-10,5-900У3 і 2xУК-10,5-450У3, які підключені до ЗРУ-10 кВ РП1 і РП2 відповідно. Це забезпечує на межі балансової належності системи коефіцієнт реактивної потужності – 0,16.

Згідно із зазначеними вище вихідними даними були розраховані сумарні річні ВЕЕ у всіх елементах досліджуваної СЕП електротехнічного заводу, величина яких досягає 765,8 МВт·год. Після проведення оптимізації системи, в результаті якої пропонуються інші структура, склад та технічні характеристики електрообладнання, значення річних витрат в отриманій енергоефективній системі підприємства складе - 586,5 МВт·год. Технічний потенціал енергозбереження в розглянутій СЕП тоді дорівнює 179,3 МВт·год.

У результаті оптимізації параметрів та структури досліджуваної СЕП отримана нова топологія електричної мережі (рис. 1) та параметри її елементів, а саме запропоновано:

замість одинадцяти цехових ТП 10/0,4 застосувати шість, РП2 - демонтувати, а цехові ТП23 й ТП 89 (які рекомендовано для встановлення замість ТП2, ТП3 й ТП8, ТП 9 відповідно)

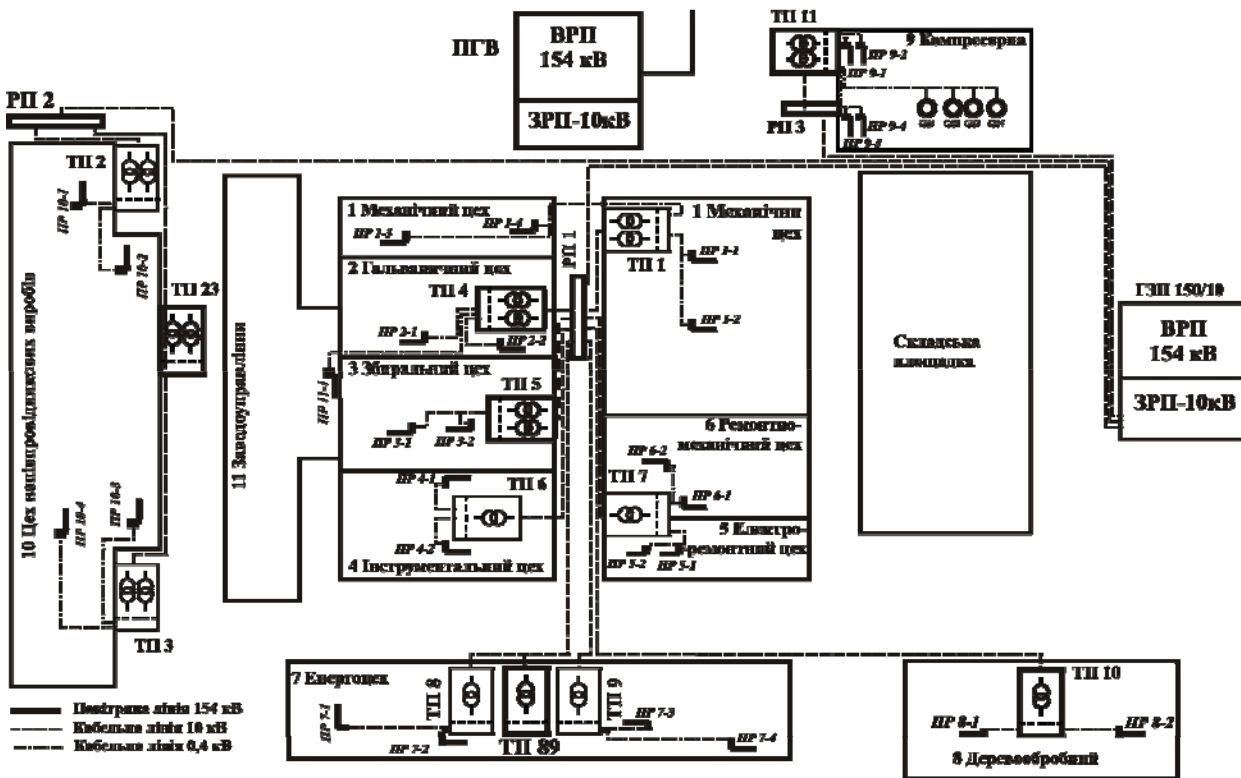


Рис. 1. Схема розташування вузлів електричної мережі електротехнічного заводу згідно її існуючої та нової топології

необхідно підключити до РП1, а також збільшити переріз кабельних ліній (КЛ) й прокласти додаткові кабелі на всіх ділянках електричних мереж. Для енергоефективної СЕП заводу місця розташування обох РП збігаються з вихідною системою, як і їх схема підключення до свого джерела живлення – ГЗП 150/10, яку пропонується встановити у новому місці, як підстанцію глибокого воду (ПГВ). За підсумками оптимізації номінальна потужність і кількість трансформаторів джерела живлення заводу залишаються такими ж.

Оптимальні координати місць установки ТП4, ТП5, ТП11 і ТП10 збігаються з існуючими, однак при цьому корегується схема підключення ПР до деяких з ТП. Останнє обумовлено зміною кількості ТП, що призводить й до використання трансформаторів ТП інших номінальних потужностей, а саме: ТП10, ТП6 і ТП89. Згідно з результатами оптимізації залишаються колишніми схеми цехових електричних мереж для ТП10 та ТП11, а також схема розподільчої мережі для РП3 (тут замінюються тільки параметри провідників до й вище 1000 В).

Внаслідок оптимізації параметрів досліджуваної СЕП підприємства зміниться і засіб компенсації реактивної потужності (КРП) в електричних мережах. Пропонується встановити низьковольтні компенсуючі пристрої (НКП) на шинах РУ-0,4 кВ ТП сумарною номінальною потужністю 4,16 МВАр, а для збереження балансу реактивної потужності відключити компенсуючі пристрої на стороні високої напруги РП1 й РП2 та відмовитися від роботи СД 10кВ в режимі генерації, що знизить теплове навантаження на двигун. Коефіцієнт реактивної потужності при такому засобі КРП складе 0,13.

Результати оптимізації показали, що можливо знизити ВЕЕ в даній системі заводу більш, ніж на 30 %. Однак, при цьому залишаються наступні питання – наскільки таке зниження втрат економічно доцільно, або які з прогнозованих заходів з економії

електроенергії в системі, сприятимуть економічно доцільної реалізації потенціалу енергозбереження.

Для визначення собівартості зекономленої електроенергії при впровадженні всього (або деякої його частини) переліку оптимальних параметрів системи необхідно обчислити техніко-економічні показники (ТЕП) досліджуваної та енергоефективної СЕП. Оцінюються наступні сумарні показники системи: капіталовкладення ($K_{СЕП}$), що необхідні для покупки, монтажу та будівництва елементів системи з новими характеристиками, а також витрати на демонтаж старого обладнання; щорічні витрати на експлуатацію ($Секспл_{СЕП}$); річні ВЕЕ ($\sum \Delta W_{СЕП}$); щорічні витрати на покриття втрат ($Све_{СЕП}$), які обчислені при тарифі βd , рівному 0,70 грн/кВт·год (чинному на момент дослідження); щорічні витрати на оплату реактивної потужності ($Сопл_{PM}$) при заданому енергопостачальною організацією економічному еквіваленті реактивної потужності D , рівному 0,057 кВт/кВАр. Підсумкові результати розрахунків зазначених ТЕП для досліджуваної та енергоефективної СЕП даного підприємства наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Техніко-економічні показники досліджуваної і енергоефективної систем електропостачання електротехнічного заводу

| ТЕП системи | Досліджувана СЕП | Енергоефективна СЕП |
|---------------------------------|------------------|---------------------|
| $K_{СЕП}$, тис.грн | - | 2014,2 |
| $Секспл_{СЕП}$, тис.грн/рік | 392,2 | 401,8 |
| $\sum \Delta W_{СЕП}$, МВт·год | 765,8 | 586,5 |
| $Све_{СЕП}$, тис.грн/рік | 528,1 | 404,5 |
| $Сопл_{PM}$, тис. грн/рік | 173,8 | 141,2 |

Таким чином, створення енергоефективної СЕП підприємства, що відповідає повній реалізації її загального технічного потенціалу енергозбереження, потребуватиме вкладень у розмірі більше двох млн.грн, при цьому витрати на покриття річних ВЕЕ в системі знизяться на 123,6 тис грн. Отриманий спосіб КРП в даній СЕП підприємства, незважаючи на необхідність додаткових витрат на придбання та встановлення НКП дозволяє знизити щорічну оплату за споживання реактивної електроенергії на 32,6 тис.грн, що є також додатковим ефектом. У зв'язку з тим, що з'явилися нові елементи системи (такі як НКП, додаткові лінії КЛ до і вище 1000 В), щорічні витрати на експлуатацію отриманої системи збільшаться на 9,6 тис.грн, незважаючи на те, що при цьому зменшилася кількість ТП і РП і скоротилися довжини провідників цехової й внутрішньозаводської мереж.

Відповідно до формули (1) обчислюється собівартість зекономленої електроенергії при внутрішній нормі ефективності, прийнятої 0,2:

$$\beta_{ек} = (0,2 \cdot 2014,2 + 9,6 - 32,6) / 179,3 = 2,12 \text{ грн/кВт·год,}$$

значення якої перевищує чинний тариф на електричну енергію ($2,12 \geq 0,70$) на момент дослідження СЕП підприємства. Це говорить про недоцільність реалізації енергоефективної СЕП у повному вигляді, тобто забезпечення всього отриманого переліку оптимальних параметрів системи на даний момент часу і при заданій внутрішній нормі ефективності є економічно не вигідним, оскільки вартість 1 кВт·год покупної електроенергії майже в 3 рази дешевше, ніж зекономлена. Тому згідно запропонованого алгоритму виконується перехід до наступного кроку.

Складається загальний список ЕЗЗ (у прив'язці до кожного джерела живлення електричних мереж) як перелік дій, спрямованих на зміну існуючих параметрів СЕП підприємства на оптимальні. Весь перелік технічно можливих ЕЗЗ для СЕП та операції, пов'язані з реалізацією кожного з заходів, наведені у табл. 2. Паралельно обчислюються ТЕП системи, що відповідають кожному зміненому параметричному стану системи, який

обумовлений впровадженням у систему частині оптимальних параметрів. Потім обчислюється собівартість зекономленої енергії при здійсненні кожного з заходів. Значення останньої наведено на рис. 2.

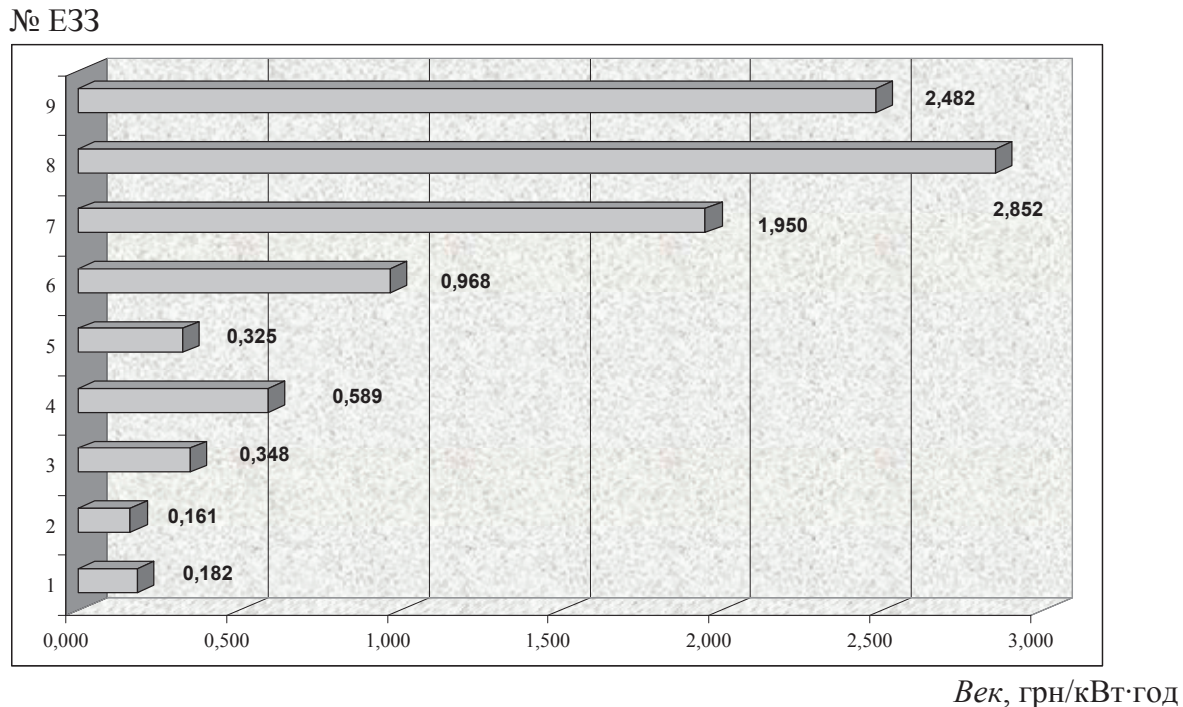


Рис. 2. Собівартість зекономленої електроенергії за рахунок реалізації запропонованих ЕЗЗ для СЕП електротехнічного заводу

Як було зазначено вище, платежі за спожиту реактивну потужність розглядаються як частина експлуатаційних витрат, і при прогнозі ЕЗЗ, що пов'язані з додатковою установкою компенсуючих пристроїв, вони найчастіше більше, ніж величина економії електроенергії у вартісному вираженні. Тому їх облік при визначенні економічної доцільності заходів призводить до негативних значень собівартості зекономленої енергії, що порушує її економічний сенс. У той же час відмова від відображення зниження платежів за реактивну потужність призводить до заниження економічної ефективності ЕЗЗ в СЕП промислових підприємств.

Спотворення економічного сенсу цього показника ефективності, можна виправити шляхом переказу грошових коштів, що залишилися на підприємстві при зменшенні платежів за реактивну електроенергію в еквівалент обсягу зекономленої електроенергії, який підприємство могло б придбати за зазначені кошти. Представлений таким чином додатковий об'єм - $\Delta W_{PM} = \Delta C_{оплPM} / \beta \delta$, переноситься в праву частину (знаменник) формули (1), тобто додається до резерву економії активної електроенергії від впровадження ЕЗЗ. Результати обчислення $\beta_{ек}$, що наведені на рис. 2, отримані за цим принципом.

Розрахунки показали, що у список економічно доцільних ЕЗЗ згідно запропонованої оцінці увійдуть заходи, що описані для п'яти ТП, крім ТП23. Не увійдуть заходи, що пов'язані з реалізацією оптимальних параметрів електричних мереж від РП1, РП2 і ГЗП, так як критерій ефективності цих ЕЗЗ значно перевищує допустиме значення - більш, ніж в 2, 3 й 4 рази відповідно.

Таким чином, заходи для СЕП електротехнічного заводу на основі використання оптимальних параметрів системи, що отримані з точки зору мінімуму сумарних ВЕЕ в ній, і оцінених з точки зору допустимості з позиції економічної доцільності включають в себе перелік, послідовність виконання яких зазначена в табл. 3. Дана послідовність визначена за принципом вибору на початку тих заходів, які забезпечують найбільший обсяг економії електроенергії.

Перелік ЕЗЗ для СЕП електротехнічного заводу

| Джерело живлення електричних мереж | Перелік ЕЗЗ | Технічні ЕЗЗ |
|------------------------------------|------------------|---|
| ТП4 | ЕЗЗ ₁ | Підключення ПР цехів 1 и 2 КЛ з оптимальними перерізами; встановлення НКП типу 4хУК-0,4-180-20УЗ; приєднання до РП1 кабелем ААШВ (3х50) |
| ТП5 | ЕЗЗ ₂ | Підключення ПР цехів 3 - 6 КЛ з оптимальними перерізами; встановлення НКП типу 4хУК-0,4-200-20УЗ; приєднання до РП1 кабелем ААШВ (3х50) |
| ТП89 | ЕЗЗ ₃ | Встановлення нової ТП з трансформатором типу ТМЗ-630/10 у місці між ТП8 й ТП9; встановлення НКП типу УК-0,4-200-20УЗ; підключення усіх ПР цеху 7 КЛ з оптимальними перерізами; приєднання до РП1 кабелем ААШВ (3х50) |
| ТП10 | ЕЗЗ ₄ | Заміна трансформатора на ТМЗ-250/10; встановлення НКП типу УК-0,4-200-20УЗ; підключення всіх ПР цеху 8 з оптимальними перерізами; приєднання до РП1 кабелем ААШВ (3х50) |
| ТП11 | ЕЗЗ ₅ | Заміна КЛ 0,4 кВ в компресорній; встановлення НКП типу 2хУК-0,4-360-20УЗ; приєднання до РП3 кабелем ААШВ (3х50) |
| ТП23 | ЕЗЗ ₆ | Встановлення нової ТП з трансформатором типу 2хТМЗ-1000/10 у місці між ТП2 й ТП3; встановлення НКП типу 2хУК-0,4-360-20УЗ, 2хУК-0,4-300-20УЗ; підключення всіх ПР цеху 10 КЛ з оптимальними перерізами; приєднання до РП1 кабелем ААШВ (3х50) |
| РП1 | ЕЗЗ ₇ | Підключення ТП1, ТП23, ТП4, ТП5, ТП89, ТП10 до РП1 КЛ з оптимальними параметрами; заміна КЛ 10 кВ живлячої ділянки при існуючому розташуванні ГЗП 150/10 |
| РП3 | ЕЗЗ ₈ | Підключення ТП11, СД 10 кВ до РП3 з оптимальними характеристиками; заміна КЛ 10 кВ живлячої ділянки при існуючому розташуванні ГЗП 150/10 |
| ГЗП | ЕЗЗ ₉ | Встановлення ПГВ; приєднання РП1 и РП2 кабелем ААШВ 2(3х120) |

В результаті реалізації заходів для п'яти зазначених ТП в сукупності, загальний потенціал енергозбереження для досліджуваної СЕП складе – 139,9 МВт·год. Впровадження зазначених ЕЗЗ потребуватиме вкладень грошових коштів – 918,0 тис.грн, що призведе до збільшення річних експлуатаційних витрат на 7,4 тис.грн та до зменшення оплати за споживання реактивної електроенергії на 123,8 тис грн, що в цілому забезпечує собівартість зекономленої електроенергії – 0,48 грн/кВт·год.

Висновки

Запропоновано алгоритм складання переліку технічних енергозберігаючих заходів для СЕП, який базується на порівнянні та заміні параметрів досліджуваної системи на параметри енергоефективної, що отримані у результаті оптимізації зі застосуванням критерію – мінімум втрат електричної енергії під час її передачі по системі. Остаточний вибір з цього переліку економічно доцільних енергозберігаючих заходів застосовано на визначенні собівартості зекономленої електроенергії, яка не повинна перевищувати значення діючого тарифу на

момент дослідження. При потенційній реалізації запропонованих змін параметрів в системі враховується їх взаємовплив, так як процес оптимізації спирається на комплексне вирішення всіх основних задач синтезу енергоефективної системи.

Впровадження переліку ЕЗЗ, що складений для досліджуваної СЕП електротехнічного заводу згідно запропонованого алгоритму дозволить знизити ВЕЕ у системі на 139,9 МВт·год. Це становить 80 % від визначеного максимального обсягу потенціалу енергозбереження та забезпечує при цьому собівартість зекономленої електроенергії у розмірі 0,48 грн/кВт·год. Однак, у перспективі можливо досягнення реалізації цього потенціалу й у повному обсязі, якщо врахувати динаміку зростання тарифів на електричну енергію.

Отримані автором результати можуть використовуватися під час реконструкції СЕП з метою підвищення їх енергоефективності. Також запропонований підхід до складання переліку ЕЗЗ може бути рекомендований для служб експлуатації електричних мереж з метою підвищення ефективності процесу енергозбереження на підприємстві.

Таблиця 3

Перелік економічно доцільних ЕЗЗ для СЕП електротехнічного заводу

| № | Енергозберігаючі заходи | Техніко-економічні показники | | |
|---|--|------------------------------|----------------------|----------------------------|
| | | $K_{СЕП}$, тис. грн | ΔW , МВт·год | $\beta_{ек}$, грн кВт·год |
| 1 | Підключення: ТП4 до РП1; ПР цехів 1 і 2 до ТП4 КЛ з оптимальними перерізами; НКП до ТП4 | 170,6 | 50,0 | 0,182 |
| 2 | Підключення: ТП5 до РП1; ПР цехів 3 - 6 до ТП5 КЛ з оптимальними перерізами; НКП до ТП5 | 215,4 | 40,3 | 0,161 |
| 3 | Встановлення ТП89; підключення: ТП5 до РП1; ПР цеху 7 до ТП 89 КЛ з оптимальними перерізами; НКП до ТП89 | 237,8 | 19,8 | 0,348 |
| 5 | Заміна КЛ 0,4 кВ в компресорній; встановлення НКП на ТП11; приєднання до РПЗ КЛ з оптимальними перерізами | 124,7 | 18,7 | 0,325 |
| 4 | Заміна трансформатора на ТП10; підключення: ТП10 до РП1, ПР цеху 8 до ТП 10 з оптимальними перерізами; НКП до ТП10 | 169,5 | 11,1 | 0,589 |

Список використаної літератури:

1. Васи́лга П. О. Електропостачання: навчальний посібник / Васи́лга П. О. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2008. – 415 с.
2. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий / Кудрин Б. И. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 414 с.
3. Кузнецов В. Г. Проблемы оптимального функционирования систем электропостачання / В. Г. Кузнецов // Технічна електродинаміка. – 1997. – № 1. – С. 21–24.
4. Кузнецов В. Г. Тенденції розвитку систем електропостачання / В. Г. Кузнецов, Ю. І. Тугай // Електротехніка та електроенергетика. – 2000. – № 2. – С. 73–74.
5. Кузнецов В. Г. Графовая модель системы энергосберегающих мероприятий // В. Г. Кузнецов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 3/8 (63). – 61–65.
6. Киреева Э. А. Рациональное использование электроэнергии в системах промышленного электроснабжения. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2000. – 76 с.
7. Анчарова Т. В. Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях / Т. В. Анчарова, С. И. Гамазин, В. В. Шевченко – М.: Высш.шк., 1990. – 143 с.
8. Копытов Ю. В. Экономия электрической энергии в промышленности / Ю. В. Копытов, Б. А. Чуланов. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 110 с.
9. Автоматизация проектирования систем электроснабжения / [Винославский В. Н., Тарадай В. И., Бруцц У., Хайнце Д.]. – К. : Выща школа, 1988. – 208 с.

10. Шукин Б. Д. Применение ЭВМ для проектирования систем электроснабжения / Б. Д. Шукин, Ю. Ф. Лыков. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 176 с.
11. Денисов В. И. Технично-экономические расчеты в энергетике. Методы экономического сравнения вариантов / Денисов В. И. – М. Энергоатомиздат, 1985. – 216 с.
12. Качан Ю. Г. Алгоритм синтеза оптимальной энергоэффективной системы электроснабжения промышленных предприятий / Ю. Г. Качан, В. В. Дьяченко // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн.зб. – Дніпропетровськ: НГУ, 2010. – Вип. 85. – С. 11–17.
13. Качан Ю. Г. Об оценке потенциала энергосбережения в системах электроснабжения / Ю. Г. Качан, В. В. Дьяченко // Інтегровані технології та енергозбереження: Щоквартальний наук.-практ. журн. – Харків: НТУ «ХПІ», 2005. – № 2 – С. 154–156.
14. Качан Ю. Г. Оценка потенциала и программы энергосбережения в системе электроснабжения на примере коксохимического производства / Ю. Г. Качан, В. В. Дьяченко // Энергетика: економіка, технології, екологія. – К.:НТУУ «КПІ», 2007. – № 2 (21). – С. 55–59.

References:

1. Vasilega P. O. (2008), Power supply: tutorial [Elektropostachannja: navchal'nij posibnik], VTD «Universitets'ka kniga», Sumi, 415 p.
2. Kudrin B. I. (1995), Power supply of industrial enterprises [Jelektrosnabzhenie promyshlennyh predprijatij], Jenergoatomizdat, Moscow, 414 p.
3. Kuznecov V. G. (1997), "Problems of optimal power supply functioning" ["Problemi optimal'nogo funkcionuvannja sistem elektropostachannja"], Technical electrodynamics, No. 1, P. 21–24.
4. Kuznecov V. G., Tugaj, Ju.I. (2000), "Trends in the power supply development" ["Tendencii rozvitku sistem elektropostachannja"], Electronics and electricity, No. 2, P.73–74.
5. Kuznecov V. G. (2013), "Graph models of energy-saving measures" ["Grafovaja model' sistemy jenergosberegajushhijh meroprijatij"], Eastern European Journal of Advanced Technologies, No. 3/8 (63), P. 61–65.
6. Kireeva Je. A. (2000), Efficient use of electricity in industrial power supply systems [Racional'noe ispol'zovanie jelektrojenergii v sistemah promyshlennogo jelektrosnabzhenija], NTF «Jenergoprogress», Moscow, 76 p.
7. Ancharova T. V., Gamazin S. I., Shevchenko V. V. (1990), Energy saving in industrial enterprises [Jekonomija jelektrojenergii na promyshlennyh predprijatijah], Vyssh.shk., Moscow, 143 p.
8. Kopytov Ju. V., Chulanov B. A. (1982), Electrical energy saving in industry [Jekonomija jelektricheskij energii v promyshlennosti], Jenergoatomizdat, Moscow, 110 p.
9. Vinoslavskij V. N., Taradaj V. I., Brutc U., Hajnce D. (1988), Automation of power supply systems designing [Avtomatizacija proektirovanija sistem jelektrosnabzhenija], Vyshha shkola, Kyiv, 208 p.
10. Shhukin B. D., Lykov Ju. F. (1982), Computer application for power supply systems designing [Primenenie JeVM dlja proektirovanija sistem jelektrosnabzhenija], Jenergoatomizdat, Moscow, 176 p.
11. Denisov V. I. (1985), [Tehniko-jekonomicheskie raschety v jenergetike. Metody jekonomicheskogo sravnenija variantov], Jenergoatomizdat, Moscow, 216 p.
12. Kachan Ju. G., D'jachenko V. V. (2010), "Synthesis algorithm of optimal energy-efficient industrial enterprises power supply system" ["Algoritm sinteza optimal'noj jenergojeffektivnoj sistemy jelektrosnabzhenija promyshlennyh predprijatij"], Mining Electromechanics and Automation, Is. 85, P. 11–17.
13. Kachan Ju. G., D'jachenko V. V. (2005), "About the energy saving potential estimation in power supply systems" ["Ob ocenke potencijala jenergosberezhenija v sistemah jelektrosnabzhenija"], Integrated technologies and energy saving, No. 2, P. 154–156.
14. Kachan Ju. G., D'jachenko V. V. (2007), "Assessment of the potential and energy conservation program in the power supply system on the example of coke production" ["Ocenka potencijala i programmy jenergosberezhenija v sisteme jelektrosnabzhenija na primere koksohimicheskogo proizvodstva"], Power: economy, technology, ecology, No. 2(21), P. 55–59.

Поступила в редакцию 09.06 2015 г.