

I. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ОТРИМАННЯ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ

УДК 622.272:621

Г.Г. ПІВНЯК, д-р техн. наук, професор, академік НАН України,

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», м. Дніпро

І.В. ЖЕЖЕЛЕНКО, д-р техн. наук, професор,

Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь

Г.Г. ТРОФІМОВ, д-р техн. наук, професор,

Алматинський університет енергетики та зв'язку, Казахстан

Ю.А. ПАПАЙКА, канд. техн. наук, доцент,

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», м. Дніпро

ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

У статті розглянуто питання експертної оцінки збитків в електричних мережах від неякісної електроенергії. Показані значення збитків для підприємств різних галузей промисловості. Проаналізовані значення відносних втрат електроенергії для промислово розвинених країн світу. Запропонований комплексний підхід вирішення проблеми якості та надійності електропостачання.

Ключові слова: *якість електричної енергії, відносні втрати електроенергії, електромагнітні збитки.*

В статье рассмотрены вопросы экспертной оценки ущерба в электрических сетях от некачественной электроэнергии. Показаны значения ущербов для предприятий различных отраслей промышленности. Проанализированы значения относительных потерь электроэнергии для промышленно развитых стран мира. Предложен комплексный подход к решению проблемы качества и надежности электроснабжения.

Ключевые слова: *качество электрической энергии, относительные потери электроэнергии, электромагнитный ущерб.*

The article deals with the issues of expert estimation of losses in electric networks from low-quality electric power. The values of losses for enterprises of different industries are shown. Analyzed values of relative electric power losses for industrialized countries of the world. The proposed comprehensive approach to solving the problem of quality and reliability power supply.

Key words: *power quality, relative power losses, electromagnetic losses.*

Високий рівень технічних втрат в електричних мережах пов'язаний з низьким рівнем компенсації реактивної потужності, 70-відсотковим фізичним та моральним зносом мережі, з недостатнім використанням засобів оптимізації режимів роботи та

регулювання напруги, але в першу чергу, з невирішеністю проблем з якістю електричної енергії (ЯЕЕ).

В теперішній час немає необхідності доводити значимість проблеми ЯЕЕ. Як і проблема енергоресурсозбереження, вона відноситься до найважливіших проблем сучасної електроенергетики та є частиною проблеми підвищення енергоефективності електричних мереж. Експертна оцінка значення щорічних втрат від низької якості електроенергії ґрунтується на відомих цифрах: сучасне споживання електроенергії в світі складає приблизно 20 трлн. кВт·год, втрати від недотримання вимог якості електроенергії оцінюються величиною 500 млрд. дол. Враховуючи, що середнє значення тарифа на електроенергію 0,1 дол/ кВт·год, тоді питомий збиток, що обумовлений низькою якістю електроенергії, складає $500 \cdot 10^9 / 20 \cdot 10^{12} = 0,025$ дол/ кВт·год. У кінці минулого століття за завданням Держкомітету з науки та техніки були проведені масові дослідження економічного збитку, обумовленого низькою якістю електроенергії у масштабі колишнього СРСР. Щорічний збиток був оцінений сумою 10 млрд. руб. Пізніші дослідження, їх уточнення дозволили оцінити цей збиток сумою 10 млрд. дол./рік.

Найбільша частина збитку обумовлена відхиленнями напруги; близько половини його приходить на металургійні та машинобудівні заводи, 10% - на хімічні підприємства. Збиток, викликаний несинусоїдністю та несиметрією напруг, в середньому в 2-2,5 рази менший. Збиток, зв'язаний з несиметрією напруги в найбільшій мірі проявляється на металургійних (35%), машинобудівних (30%) та хімічних (30%) заводах. Близько 50% загального збитку від впливу вищих гармонік мають місце в хімічній промисловості, 25% - в чорній та кольоровій металургії [1, 2].

Технологічна складова збитку (90% загальної суми) обумовлена відхиленнями та несиметрією трифазної системи напруг. При значеннях показників якості електроенергії (ПЯЕ) в межах, що допустимі згідно з ГОСТ 13109-97, значення економічного збитку, обумовленого наявністю несиметрії, несинусоїдності та коливань напруги, а також неоптимальним значенням відхилень напруги, незначні: до 5-6%.

Електромагнітна складова збитку при наявності несиметрії та вищих гармонік в значній мірі визначається втратами в електродвигунах та трансформаторах. Викликаний ними нагрів ізоляції (зазвичай класу А та Б) різко активізує її старіння й передчасний вихід зі строю. Як результат, знижується рівень надійності. Практика експлуатації свідчить, що значення скорочення терміну служби ізоляції та зменшення надійності приблизно однакові. В останні роки спостерігається збільшення аварійності електрообладнання та зниження надійності його функціонування внаслідок ряду причин: значного зносу основних фондів (в Україні та країнах СНД до 70%); внаслідок збільшення рівнів гармонічних спотворень в результаті масового впровадження частотних перетворювачів у споживачів; нарешті, зростання виробництва не завжди супроводжується заходами з покращення ПЯЕ [1, 2].

Значення зниження втрат і зменшення шкоди від впливу ВГ і несиметрії в результаті застосування відповідних заходів і технічних засобів оцінюється значеннями наступних коефіцієнтів [2]:

$$\gamma_{\text{ВГ}} = \frac{\sum_{n=1}^{\alpha} \Lambda_n (U_{\text{нн}}^2 - U_{\text{нк}}^2)}{\sum_{n=1}^{\alpha} \Lambda_n U_{\text{нн}}^2} \quad (1)$$

$$\gamma_2 = \frac{U_{2\text{н}}^2 - U_{2\text{к}}^2}{U_{2\text{н}}^2}, \quad (2)$$

де $U_{\text{нн}}$ і $U_{\text{нк}}$ - напруги на частоті n -ої гармоніки до і після впровадження заходів по мінімізації рівнів ВГ; $U_{2\text{н}}$ і $U_{2\text{к}}$ - те ж, до і після проведення заходів щодо зниження несиметрії в мережі; Λ_n - гармонійний коефіцієнт.

Тоді значення зниження втрат потужності

$$\delta P_{\text{ВГ}} = \Delta P_n \gamma_{\text{ВГ}} = \delta \Delta t_n \quad (3)$$

а термін служби ізоляції

$$\delta P_2 = \Delta P_{\text{нс}} \gamma_2 = \delta \Delta t_n. \quad (4)$$

Як показали дослідження, економічний збиток, обумовлений зниженням якості напруги, має дві складові: електромагнітну і технологічну. Електромагнітна складова в основному обумовлена зміною втрат активної потужності і в результаті зміною терміну служби ізоляції електрообладнання. При цьому збиток, пов'язаний з несинусоїдальністю, несиметрією і коливаннями напруги, буде дорівнює нулю при синусоїдальній і симетричній системі лінійних напруг і відсутності коливань напруги в мережі. Збиток приймається також рівним нулю при напрузі, рівній оптимальній.

Технологічна складова збитку характеризується впливом якості напруги на продуктивність технологічних установок і відповідно собівартістю продукції, що випускається.

При оцінці електромагнітної складової шкоди, зумовленої відхиленням напруги, розподільна мережа підприємства представляється опорами r_c і x_c .

Відхилення напруги в бік негативних значень призводить до збільшення споживання струму електроприймачами і додаткових втрат активної потужності в системах електропостачання, що можна уявити так [2]:

$$\Delta P_{\text{а.доп}} = 6I\Delta r_c \quad (5)$$

Таким чином збиток від втрат електроенергії (електромагнітна складова збитку) за рік:

$$Y_E = \Delta P_{\text{а.доп}} C_E T_{\text{П}}, \quad (6)$$

де C_E - вартість 1 кВт · год електроенергії на даному підприємстві.

Додаткові втрати активної потужності, зумовлені несинусоїдальний напруги,

$$\Delta P_{\Pi} = \frac{\Delta P_{\text{м.ном.п}}}{z_{1*}^2} \sum_{n=2}^s \frac{U_{n*}^2}{n\sqrt{n}}, \quad (7)$$

де $\Delta P_{\text{м.ном.п}}$ - номінальні втрати активної потужності в струмоведучих частинах електрообладнання, кВт; $z_{1*} = \frac{z_1}{z_{\text{ном}}}$ - відносне повне значення опору елемента мережі струму основної гармоніки; $U_{n*} = \frac{U_n}{U_{\text{н}}}$ - відносне значення напруги n -ої гармоніки; n - число розглянутих гармонік напруги.

З урахуванням викладеного щорічний збиток, обумовлений додатковими втратами активної потужності і додатковим тепловим старінням ізоляції електрообладнання становить [2]:

$$Y_n^{(\Delta P)} = \beta T^{(s)} \Delta P^{(s)} 10^3 + \Delta I_{p*}^{(s)} I_{p*}^{(s)} K^{(s)}, \quad (8)$$

де β - вартість 1 кВт · год втрат електроенергії, грн / кВт · год; $T^{(s)}$ - тривалість роботи k -го виду електрообладнання на рік, тис. год; $I_{p*}^{(s)}$ - нормативний коефіцієнт відрахувань на реновацію від капітальних витрат $K^{(s)}$ k -го виду електрообладнання.

Електромагнітна складова збитку при несиметрії напруги характеризується збільшенням втрат активної потужності, збільшенням споживання активної та реактивної потужностей, прискоренням процесу старіння ізоляції електрообладнання, недовикористанням конденсаторами і синхронними машинами реактивної потужності, необхідністю завищення номінальних потужностей електродвигунів і трансформаторів, перетинів кабелів і проводів, зниженням освітленості робочих поверхонь і скороченням терміну служби світильників.

Додаткові втрати потужності ΔP_2 , обумовлені несиметрією напруг, при стабільному режимі роботи елементів системи електропостачання:

$$\Delta P_2 = \frac{U_{\text{н}}^2 r_2}{z_2^2} \alpha_{U*}^2, \quad (9)$$

де r_2 і z_2 - активний і повний опір зворотньої послідовності.

Тоді щорічний збиток (грн / рік), обумовлений протіканням струму зворотньої послідовності в s -му виді електрообладнання:

$$Y_{\text{нс}}^{(\Delta P)} = \beta T^{(s)} \Delta P_2^{(s)} 10^3 + \Delta I_{p*}^{(s)} I_{p*}^{(s)} K^{(s)}. \quad (10)$$

Величина відносних втрат електроенергії в електричних мережах промислово розвинених країн світу (за даними Міжнародного енергетичного агентства) знаходиться в межах 4-7 %: в Німеччині – 4%, Японії та Франції – 5%, Австрії, США – 6%, Італії та

Швейцарії – 7%. Ці країни відносяться до країн з високим внутрішнім валовим продуктом (ВВП) за паритетом купівельної спроможності (ПКС) на душу населення, що перевищує 50 тис. дол. США. В країнах з ВВП за ПКС нижче 10 тис. дол. США – в Молдові, Індії, Судані, Замбії, Албанії, відносні втрати в мережах складають 21-25%, а в Камбоджі та Непалі з ВВП 2,6-2,8 тис. дол. США втрати в мережах – 28-34 %. Таким чином, в електричних мережах України фактичні втрати приблизно в 2,5-3 рази вище, чим в електричних мережах промислово розвинених країн.

Очевидно, що є зв'язок втрат електроенергії в електричних мережах різних країн не тільки з особливостями самих електричних мереж та їх режимами але й з економікою цих країн. В країнах з більш розвинутою економікою, як правило, вище технічна культура виробництва, передачі та розподілу електроенергії.

Проблема якості електроенергії нерозривно пов'язана з проблемою надійності електропостачання. Сучасний рівень надійності ряду енергооб'єднань України знаходиться в межах 0,96-0,98, що нижче нормативу – 0,996. Зарубіжні нормативи надійності бездефіцитного електропостачання складають у США та Франції 0,9997, Нідерландах – 0,9995, Скандинавських країнах – 0,999. З метою обґрунтування значень резерву генеруючих потужностей в якості нормативних значень приводяться вірогідності бездефіцитної роботи в годинах протягом року: во Франції – 3 години, в Нідерландах – 4 години, в Німеччині – 8 годин. Підвищення індексу надійності понад значення 0,996 пов'язано зі значними витратами порядку не менш 0,25 дол/кВт·год.

На наш погляд, першочергові заходи зі зменшення втрат в електричних мережах та підвищення якості електроенергії полягають у наступному:

Розробка та впровадження шкали підвищувальних та понижувальних коефіцієнтів до тарифів на електроенергію за компенсацію реактивної потужності та якість електроенергії в точках загального приєднання споживачів.

Розробка та затвердження допустимих вимог до електроприймачів, що мають нелінійне навантаження за допустимим спотворюючим струмом.

Література

1. Трофимов Г.Г. Качество электроэнергии и энергоэффективность / Г.Г. Трофимов, И.В. Жежеленко / Сборник трудов Всемирного конгресса инженеров и ученых WSEC – 2017. С. 1-7.
2. Расчеты показателей электромагнитной совместимости: учебное пособие / Г.Г. Пивняк, И.В. Жежеленко, Ю.А. Папаика; МОН Украины, Национальный горный университет.- Д. НГУ, 2014, 113с.