

О.В. ДАНЬКО,
В.Є. ШЕСТЕРЕНКО
Національний університет харчових технологій

НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ НЕЯКІСНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА СОБІВАРТІСТЬ ПРОДУКЦІЇ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Показаний вплив неякісної напруги на електромагнітні та технологічні втрати, що проявляється у зростанні втрат потужності та енергії, зменшенні терміну служби обладнання і технологічних збитках. Таким чином, відхилення напруги є однією з найважливіших проблем в системах електропостачання промислових підприємств. Її вирішення є пріоритетним завданням при проектуванні систем електропостачання. Розглянуто шляхи підвищення ефективності харчових виробництв за рахунок зниження технологічних втрат, викликаних неякісною напругою. Запропоновано спосіб підвищення якості напруги.

Ключові слова: напруга, електроенергія, електрообладнання, збитки, втрати енергії.

Звичайно при оцінці впливу якості електроенергії виділяють дві складові: електромагнітну та технологічну [1]. Електромагнітна складова зв'язана із зміною втрат енергії при передачі. Електромагнітна складова більше пов'язана з нормально допустимими показниками, технологічна складова — з максимально допустимими показниками якості.

Зниження якості електроенергії проявляється у зростанні втрат потужності та енергії, зменшення терміну служби обладнання, технологічних збитках, що включають в себе зменшення виробництва продукції, зниження

випуску неякісної продукції. Технологічні збитки складають до 90...92 % усіх збитків і, як правило, приховані в собівартості продукції. Енергетики замовчують це питання, технологи, як правило, не знають причини технологічних збитків [1].

Показники якості електроенергії (ПЯЕ) нормуються міждержавним стандартом ГОСТ 13109 — 97 [2], який був уведений в Україні 01.01.2000 р. Відхилення напруги це повільна плавна зміна напруги, зумовлена зміною навантаження. Визначається як різниця між фактичним ustalеним U_y і номінальним $U_{ном}$ значеннями напруги даної мережі

$$\delta U_y = (U_y - U_{ном}) / U_{ном} \quad (1)$$

Норми ПЯЕ поділяються на нормально допустимі та гранично допустимі. Нормальні значення мають витримуватися з ймовірністю 0,95, тобто протягом 95 % часу доби ПЯЕ не повинні виходити за межі стандарту. Протягом решти часу (5 %) норми можуть бути вищими [2].

Нормально допустиме та гранично допустиме значення ustalеного відхилення напруги в точках загального приєднання споживачів елект-роенергії до електричних мереж напругою 0,38 кВ та вище дорівнює відповідно ± 5 та ± 10 % номінальної напруги електричної мережі. У після аварійних режимах ПЯЕ не повинні виходити за межі гранично допустимих значень.

Відхилення напруги 5 % допускається для промислових споживачів у Великобританії та Італії [1].

Більшість електроприймачів може працювати і за інших значень відхилення напруги, але при цьому спостерігатимуться відчутні народногос-подарські збитки.

© О.В. Данько, В.Є. Шестеренко, 2012

Відхилення напруги, зумовлені повільними процесами зміни навантажень у системі, справляють різний вплив на режим роботи окремих споживачів. Скажімо, тривале підвищення напруги на затискачах електричних двигунів — наймасовіших споживачів енергосистем — призводить до збільшення обертального моменту їх, зменшення ковзання й зростання втрат у сталі двигунів, збільшенню струму холостого ходу і, значить, зменшенню коефіцієнта потужності електродвигунів. Зниження напруги на затискачах електродвигунів призводить до зниження обертального моменту, збільшенню ковзання, зростанню струму статора й зменшенню терміну служби ізоляції електродвигунів [1, 2, 3, 4, 5].

У разі тривалої роботи електродвигуна при зниженій напрузі, зокрема на 90 % номінального значення, строк служби ізоляції двигуна зменшується на 18 — 20 %, що істотно знижує продуктивність технологічних механізмів, які приводить у дію цей двигун. Підвищення напруги на затискачах звичайного асинхронного двигуна на 1 % спричиняє збільшення струму холостого ходу й споживання двигуном реактивної потужності приблизно на 3 %. Але при цьому має місце перехід на нелінійну частину кривої намагнічування і двигун стає джерелом генерації вищих гармонік напруги. При відхиленнях напруги на затискачах асинхронних двигунів змінюється швидкість ротора, реактивна потужність та втрати активної потужності.

Величина додаткової реактивної потужності δQ в порівнянні з $Q_{\text{ном}}$, що споживається АД при $U_{\text{ном}}$ приблизно дорівнює

$$\delta Q = \left[K \left((5\delta U)^2 + 3,5\delta U \right) + (K - 1) \frac{(\delta U)^2 + 2\delta U}{(1 - \delta U)^2} K_3^2 \right] Q_{\text{ном}}, \quad (2)$$

де δU — відхилення напруги, K_p — додаткові втрати в АД, $K_p = \Delta P : P_{\text{ном}}$

При тривалій роботі з пониженою напругою термін служби двигуна зменшується. Відносне старіння ізоляції

$$R = \frac{T_{\text{ном}}}{T}, \quad (3)$$

де $T_{\text{ном}}$ — термін служби ізоляції при $U_{\text{ном}}$ та $K_3 = K_{3\text{ном}}$; T — термін служби ізоляції при відхиленнях δU від $U_{\text{ном}}$ та при $K_3 = K_{3\text{ном}}$;

$$K = \begin{cases} (47(\delta U)^2 - 7,55\delta U + 1)K_3^2 & \text{при } -0,2 \leq \delta U \leq 0 \\ K_3^2 & \text{при } +0,2 \geq \delta U \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

K — коефіцієнт, що дорівнює відношенню реактивної потужності, що витрачається на намагнічування сталі при $U_{\text{ном}}$ до сумарної реактивної потужності, що споживається двигуном при $K_3 = 1$ та $U_{\text{ном}}$.

Активна потужність, що споживається асинхронним двигуном

$$P_{\text{АД}} = (K_3 P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{ном}})(1 + K_p) \quad (5)$$

$$K_p = (11,84K_3^3 - 18,25K_3^2 + 3,9K_3)(\delta U)^3 + (-2,67K_3^3 + 9,5K_3^2 - 3,08K_3 + 1)(\delta U)^2 + (-2,35K_3^3 + 1,55K_3^2 - 0,81K_3)\delta U$$

при $K_3 = 1$

$$K_p = -2,51(\delta U)^3 + 4,75(\delta U)^2 - 0,75 \delta U.$$

Додаткові питомі витрати при експлуатації асинхронних двигунів:

$$Z = Z_1(\delta P + \delta P_n) + \frac{0,2533_{\text{кВ}}}{8760} \delta Q - \gamma \delta P_n, \quad (6)$$

де Z — вартість 1 кВт.г., δP — додаткові втрати в двигуні, δP_n — додаткове споживання енергії двигуном внаслідок зміни частоти обертання ротора.

$$\delta_n = \frac{n - n_{\text{ном}}}{m_{\text{синхр}}} \cdot 100\%,$$

де n — частота обертання при напрузі U та $Kz \neq 1$; $n_{\text{ном}}$ — частота обертання при $U = U_{\text{ном}}$, $n_{\text{синхр}}$ — синхронна частота.

Найбільший вплив відхилення напруги справляє на режими роботи нагрівальних приймачів електричної енергії. Так, зниження напруги на затискачах плавильних печей всього на 5 % від номінального значення збільшує час плавки в 1,5 – 2 рази, знижує світловий потік ламп розжарювання на 18 – 20 %, що може призвести до травматизму працівників. Таким чином, відхилення напруги є однією з найважливіших проблем в системах електропостачання промислових підприємств. Її вирішення є пріоритетним завданням при проектуванні систем електропостачання.

Найжорсткіші вимоги до якості напруги ставлять освітлювальні електроприймачі. Зміна основних параметрів ламп при відхиленнях напруги на їхніх затискачах, що не перевищують ± 10 %, з достатнім ступенем точності описується рівняннями

$$\frac{F}{F_{\text{ном}}} = \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}}\right)^n; \quad \frac{P}{P_{\text{ном}}} = \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}}\right)^m; \quad \frac{T}{T_{\text{ном}}} = \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}}\right)^l; \quad (7)$$

де F , $F_{\text{ном}}$, P , $P_{\text{ном}}$ — дійсні та номінальні значення відповідно світлового потоку, споживаної потужності та терміну служби ламп; U , $U_{\text{ном}}$ — дійсне і номінальне значення напруги на затискачах ламп; n , m , l — показники, які залежать від типу лампи.

Для ламп розжарювання $n = 3,61$, $m = 1,58$, $l = 14$, для люмінесцентних ламп $n = 1,5$, $m = 2,75$, $l = 3,72$, для ламп типу ДРЛ $n = 3$, $m = 1,78$, $l = 3,72$.

Найкритичнішим параметром зміни напруги є термін служби ламп. Підвищення напруги на затискачах ламп розжарювання на 6 % викликає зниження терміну служби на 50 %. Для люмінесцентних ламп ця залежність відображена слабше. Проте, як підвищення, так і зниження напруги на їхніх затискачах небажане. У першому випадку відбувається інтенсивне розпилення оксидної речовини з електродів і перегрів ПРА, у другому — зміна тиску пари ртуті у колбі, що призводить до зниження терміну служби та нестійкого запалювання. Враховуючи, що вартість люмінесцентних ламп у 10 разів вища за вартість ламп розжарювання, навіть зниження терміну служби їх на 20 – 30 % при підвищенні напруги на 10 % викликає значні народногосподарські збитки.

Зниження напруги у ламп розжарювання на 1 % викликає зменшення світлового потоку на 2,7 %, у люмінесцентних ламп — на 1,25 %. Зменшення світлового потоку, у свою чергу, призводить до погіршення санітарно-гігієнічних умов для працюючих і до зниження продуктивності праці. Наприклад, підвищення освітленості вдвічі сприяло підвищенню продуктивності праці в механічних цехах на 12 %, у шовкопрядильних — на 21 %, тобто додаткові затрати на поліпшення освітленості окупаються, і «дорого коштує погане освітлення» [1].

Продуктивність праці:

$$P = \left(1 - \frac{\lg B_{\text{мін}}}{\lg B_p}\right), \quad (8)$$

де $B_{\text{мін}}$ — мінімальна освітленість за вимогами охорони, B_p — реальна освітленість.

Чутливість виробництва до освітленості

$$z_0 = \frac{\tau_p - \tau_M}{\tau_M}, \quad (9)$$

де τ_p , τ_M — сумарні тривалості операцій при відповідних умовах освітленості.

У виробничих цехах з безперервним циклом при відхиленнях напруги на 7...11 % потреба в лампах зростає в три рази.

Технологічні збитки визначаються за характеристиками конкретних машин. Чутливі до відхилень напруги автоматизовані виробництва, насоси та інше. При зниженні напруги на 7 % технологічний процес подовжується на 40...60 %.

Відхилення напруги призводять до зміни продуктивності насосів.

Економічні характеристики насосів моделює рівняння

$$Z = c\delta U + k(\delta U)^2, \quad (10)$$

де $c = -0,087$ грн /кВт, г; $k = -0,345$ грн / кВт, г.

Відхилення напруги впливають на характеристики перетворювачів енергії. При підвищенні напруги збільшується кут регулювання, що призводить до зменшення коефіцієнта потужності перетворювача.

Суттєво чутливі до відхилень напруги термічні установки та електропечі. Зниження напруги призводить до збільшення тривалості технологічних циклів. Продуктивність печей знижується, підвищуються витрати електроенергії, збільшується собівартість продукції. При відхиленнях 10 % з'являється брак.

Реактивна потужність конденсаторних батарей пропорційна квадрату напруги, тому зниження напруги у мережі викликає різке зменшення виданої конденсаторами реактивної потужності і, як наслідок, підвищення споживаної реактивної потужності з зовнішньої мережі й додаткове збільшення втрат напруги. Вказані явища призводять до лавиноподібного зниження напруги й до масового вимкнення двигунів. При цьому спостерігаються такі види народногосподарських збитків: брак продукції, скорочення терміну служби обладнання і застосування понаднормових робіт для до випуску продукції.

Величину збитків при неякісній напрузі можна визначити за виразом

$$Y = \int_0^{+V_{MAX}^1} f(V)\varphi(V)d + \int_0^{+V_{MAX}^{11}} f(V)\varphi(V)d, \quad (11)$$

де $+V_{MAX}^1 - -V_{MAX}^{11}$ — максимальні значення відхилення від $U_{НОМ}$; V — дійсне значення напруги (позначення для економічних розрахунків); $f(V)$ — економічна характеристика споживача; $\varphi(V)$ — густина ймовірності появи відхилення напруги.

Проте, охарактеризувати якість напруги, а також збитки при погіршенні її, тільки за величиною відхилень недостатньо. Точнішою є оцінка за середнім відхиленням $V_{сеп}$ за розрахунковий проміжок часу T :

$$V_{сеп} = \frac{1000}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} V_{от} dt.$$

Широко використовується оцінка за середньоквадратичним відхиленням, введеним Айєра [1]:

$$(V_{ск})^2 = \frac{1000}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} (V)^2 dt. \quad (12)$$

Народногосподарські збитки від неякісної напруги:

$$Y = \sum_{k=1}^n d \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} (V)^2 P(t) dt, \quad (13)$$

де $P(t)$ — миттєве значення активної потужності; d — коефіцієнт, що враховує вид навантаження.

Підінтегральний вираз є одним з основних показників при визначенні економічності роботи мережі й зустрічається під назвою «неоднаковість» напруги.

Втрати потужності у системах електропостачання підприємств залежать від відхилень напруги й визначається за виразом:

$$\Delta P = \beta^2 \Delta P_{НОВ,НОМ} \left(\frac{100}{100 + V} \right)^2 + P_{Х,НОМ} \left(\frac{100}{100 + V} \right)^2, \quad (14)$$

де $\Delta P_{НОВ,НОМ}$, $P_{Х,НОМ}$ — втрати відповідно навантажувальні та холостого ходу при номінальній напрузі; V — відхилення напруги, (позначення для економічних розрахунків).

Знизити збитки можна шляхом регулювання напруги на кожному підприємстві харчової промисловості [1, 6], оскільки забезпечити допустимий режим напруги тільки генераторами електростанцій неможливо. Необхідно застосовувати додаткові регульовальні пристрої, причому закони регулювання напруги мають установлюватися з умов забезпечення найекономічнішої спільної роботи джерел реактивної потужності, електричних мереж та електроприймачів. Найперспективнішим є метод регулювання шляхом дії на напругу і на реактивну потужність. При цьому пристрої керування регулятором напруги та КУ мають бути взаємозв'язані чи навіть змонтовані в одному блоці. Необхідність застосування регульовальних пристроїв у

ме-режі визначається, виходячи з одержання максимально можливих передбачуваних втрат напруги у мережах при допустимих відхиленнях напруги на затискачах приймачів [1, 6].

Висновки. 1. При зниженні якості електроенергії зростають електромагнітні та технологічні втрати. Електромагнітні втрати електроенергії проявляються у зростанні втрат потужності та енергії, у зменшенні терміну служби обладнання. Технологічні втрати включають в себе зменшення продукції, зниження якості продукції, випуск неякісної продукції. Технологічні збитки складають до 90...92 % усіх збитків і, як правило, приховані в собівартості продукції.

2. Зниження напруги у ламп викликає зменшення світлового потоку, що в свою чергу, призводить до погіршення санітарно-гігієнічних умов для працюючих і до зниження продуктивності праці. Додаткові затрати на поліпшення освітленості завжди окупляться, і дорого коштує «погане освітлення».

3. На кожному підприємстві слід передбачити засоби регулювання напруги.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: підручник / Шестеренко В.Є. — Вінниця: Нова Книга, 2011. — 656 с.

2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ.01.01.2000.— К.: Изд-во стандартов, 1998; Госстандарт Украины, с доп. и попр. 1999. — 31 с.

3. ДСТУ 3465-96. Якість електричної енергії. Терміни та визначення. Чинний від 1998-01-01.— К.: Держстандарт України, 1996. — 35 с.

4. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України від 25.10.2006.

5. Правила користування електричною енергією. Затверджено постановою НКРЕ 31.07.2005 № 910. Зареєстровано в міністерстві юстиції України 18.11.2005 № 1399/11679.

6. Патент України № 7443, G 05 F 1/22. Система регулювання напруги та режиму роботи електричної мережі./ Шестеренко В.Є. — Опубл. 15.06.2005. Бюл. № 6.

Показано влияние некачественного напряжения на электромагнитные и технологические потери, что проявляется в росте потерь мощности и энергии, уменьшении срока службы оборудования и технологических убытках. Таким образом, отклонение напряжения является одной из важнейших проблем в системах электроснабжения промышленных предприятий. Ее решение является приоритетным заданием при проектировании систем электроснабжения. Рассмотрены пути повышения эффективности пищевых производств за счет снижения технологических потерь, вызванных некачественным напряжением. Предложен способ повышения качества напряжения.

Ключевые слова: напряжение, электроэнергия, электрооборудование, ущерб, потери энергии.

O. Danko, V. Shesterenko

Negative influence of off-grade electric power is on an unit cost in food industry

The shown influence of off-grade tension is on electromagnetic and technological losses. The decline of quality of electric power shows up in the increase of losses of power and energy, reduction to tenure of employment of equipment, technological losses, that include for itself reduction to the products, decline of quality of products, producing of off-grade products. Thus, a rejection of tension is one of major problems in the systems of power supply of industrial enterprises. Her decision is foreground job at planning of the systems of power supply. The ways of increase of efficiency of food productions are considered due to the decline of the technological losses caused by off-grade tension. The method of upgrading of tension offers.

Key words: voltage, electric power, electrical equipment, damage, losses of energy.

Одержана редколлегією 16.08.2012 р.