

DOI: 10.31319/2519-2884.40.2022.15

УДК 621.311

Ю.Г. Качан, д.т.н., професор

О.А. Шрам, к.т.н., доцент, alexshrum@yahoo.com

Національний університет “Запорізька політехніка”, м. Запоріжжя

ЩОДО ДОЦІЛЬНИХ ОБСЯГІВ ЯКІСНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ ПІДПРИЄМСТВ

В статті розглянуто вплив показників якості електричної енергії на режими роботи електрообладнання та електротехнологічних установок підприємств. Проведено аналіз технічних та організаційних заходів щодо підвищення якості електричної енергії, які застосовуються в промисловості й визначені розміри додаткової вартості на її забезпечення по кожному з них. Запропоновано класифікувати характерних електроспоживачів на категорії, відносно необхідності виконання для них існуючих вимог щодо якості електроенергії. Проведено оцінку доцільної кількості якісної електроенергії в мережах деяких промислових підприємств й розраховані обсяги зайвих витрат, які необхідні для виконання існуючих вимог щодо якості всієї спожитої ними електроенергії.

Ключові слова: *якість електричної енергії; споживачі електроенергії; електричні мережі промислових підприємств; вищі гармонічні складові; заходи щодо підвищення якості електроенергії.*

The influence of electric energy quality indicators on operating modes of electrical equipment and electrotechnological installations of enterprises is considered in the article. The analysis of technical and organizational measures to improve the quality of electricity used in the industry has been carried out. The dimensions of the additional cost for quality assurance for each of them are determined. It is proposed to classify characteristic electrical consumers into categories regarding the need to fulfill the existing requirements for them on the quality of electricity. An assessment of the reasonable amount of high-quality electricity in the networks of some industrial enterprises was carried out and the amount of unnecessary costs that are necessary to fulfill the existing requirements for the quality of all electricity consumed by them was calculated.

Keywords: *electricity quality; electricity consumers; electrical networks of industrial enterprises; higher-order harmonics; measures to improve the quality of electricity.*

Постановка проблеми

Як відомо, якість електричної енергії безпосередньо впливає на режими роботи електроспоживачів всіх промислових підприємств у цілому. Згідно з ГОСТ 13109-97 [1] та ДСТУ EN 50160:2014 [2] до основних її показників відносяться:

- усталене відхилення напруги ΔU_y ;
- відхилення частоти Δf ;
- розмах коливання напруги δU_i ;
- доза флікера P_f ;
- коефіцієнт спотворення синусоїдальної кривої напруги K_U ;
- коефіцієнт n-го гармонічного складника напруги $K_{U(n)}$;
- коефіцієнт несиметрії напруг за зворотної послідовності K_{2U} ;
- коефіцієнт несиметрії напруг за нульової послідовності K_{0U} ;
- тривалість провалу напруги Δt_{II} ;
- імпульсна напруга $U_{\text{имп}}$;
- коефіцієнт тимчасової перенапруги $K_{\text{пер } U}$.

Діапазон допустимої зміни значень основних показників якості електроенергії для різних класів напруги представлено в табл. 1. Дослідження впливу показників якості електричної енергії на режими роботи електрообладнання та електротехнологічних установок, а також оцінка доцільних обсягів її в електромережах промислових підприємств є важливою та актуальною задачею.

Таблиця 1. Діапазон допустимої зміни основних показників якості електроенергії

| Показник якості ЕЕ | ГОСТ 13109-97 | | ДСТУ EN 50160:2014 | |
|--|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| | Нормально допустиме значення | Гранично допустиме значення | Нормально допустиме значення | Гранично допустиме значення |
| усталене відхилення напруги ΔU_y | $\pm 5 \%$ | $\pm 10 \%$ | - | $\pm 10 \%$ |
| відхилення частоти Δf | ± 0.2 Гц | ± 0.4 Гц | $\pm 1 \%$ | +4 ... -6 % |
| розмах коливання напруги δU_t | - | $\pm 10 \%$ | НН: $\pm 5 \%$ СН: $\pm 4 \%$ | НН: $\pm 10 \%$ СН: $\pm 6 \%$ |
| коефіцієнт спотворення синусоїдальної кривої напруги K_U | 0,38 кВ | 8 % | - | 8 % |
| | 6 – 20 кВ | 5 % | | |
| | 35 кВ | 4 % | | 6 % |
| | 110 – 330 кВ | 2 % | | 3 % |
| коефіцієнт несиметрії напруг за зворотної послідовності K_{2U} | 2 % | 4 % | - | 2 % |
| коефіцієнт несиметрії напруг за нульової послідовності K_{0U} | 2 % | 4 % | - | - |

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемам якості електричної енергії та електромагнітної сумісності споживачів присвячено багато робіт вітчизняних та закордонних вчених: І. В. Жежеленко, Г. Г. Півняка, Ю. Л. Саєнко, Д. Арриллага, Г. Боджера, Д. Бредлі та інших. Так в роботі [3], де проаналізовано причини зниження рівня показників якості електричної енергії та її впливу на роботу електроспоживачів, відмічається, що підключення нелінійного навантаження до мереж промислових підприємств відбувається хаотично та неузгоджено. А це призводить до неконтрольованого збільшення встановленої потужності обладнання й викривляє форми кривих напруги та струму і, відповідно, призводить до порушення електромагнітної сумісності споживачів електроенергії [3—5, 9, 10].

В статті [6] розглядається вплив відхилення напруги на режими роботи електродвигунів, термічних печей, освітлювальних установок тощо. Встановлено, що при зниженні напруги на 10 % ефективність роботи люмінесцентних та дугорозрядних освітлювальних установок знижується більше ніж на 30 % й призводить до скорочення їх терміну роботи на 20...35 %.

Наявність в електричній мережі промислових підприємств вищих гармонічних складових призводить до цілого ряду негативних наслідків, як для електротехнологічного обладнання, так і для якості кінцевого продукту. Так, струми зворотної послідовності, що протікають через обмотки електричних двигунів викликають їх додатковий нагрів, зменшують корисну потужність та скорочують термін служби електричної машини. При несиметрії напруги в 4...5 % термін служби повністю навантаженого двигуна скорочується в 2 рази, а потужність зменшується на 5...10 % [11].

Вищі гармонічні складові струмів та напруг можуть викликати також резонансні явища при роботі конденсаторних батарей, що призводить до їх перевантаження, а інколи й виходу з ладу. Тож використання таких батарей для компенсації реактивної потужності в мережах з нелінійним навантаженням суттєво ускладнюється [11].

Щодо несиметрії струмів та напруг за фазами, то вона знижує пропускну спроможність електричних мереж й викликає додаткові втрати потужності та призводить до нерівності напруг. Через це в перетворювальній техніці виникають додаткові пульсації останніх, а у ламп, що підключені до різних фаз, порушується баланс їх світлових потоків. Крім того, при несиметричній напрузі за фазами спостерігається нерівномірне завантаження конденсаторних батарей, що призводить до погіршення компенсації ними реактивної потужності [11].

Збільшення втрат потужності та напруги в мережах промислових підприємств відбувається ще й за рахунок коливань реактивного опора при відхиленнях частоти. Зниження частоти призводить до струмового перевантаження батарей конденсаторів через можливе виникнення резонансних явищ в колі реактор-батарея. Коливання частоти електричної мережі негативно впливає і на асинхронні та синхронні двигуни, оскільки вона визначає швидкість обертання валів цих машин. В результаті двигуни значно змінюють свою продуктивність, що може призводити до порушень технологічних процесів, у яких вони задіяні. Проте в роботі [11] зазначається також, що на промислових підприємствах є певні категорії споживачів електроенергії на характеристики та режими роботи яких коливання частоти впливає не суттєво. До них відносяться: лампи розжарювання, дугові печі, електричні печі опору тощо.

Формулювання мети дослідження

Метою даного дослідження є аналіз існуючих обмежень щодо якості електричної енергії в мережах промислових підприємств, а також оцінка обсягів електроенергії, що споживається підприємством, які повинні відповідати вимогам щодо її якості.

Виклад основного матеріалу

Для підвищення рівня показників якості електричної енергії в електромережах промислових підприємств пропонується застосовувати низку технічних та організаційних заходів. До перших з них відносяться використання пасивних та активних фільтрів вищих гармонічних складових, лінійних дроселей, динамічних компенсаторів викривлення напруги, встановлення вольтододаткових трансформаторів тощо [8]. До організаційних заходів можна віднести оптимізацію схеми та режимів роботи мережі, регулювання напруги, вирівнювання навантаження фаз тощо.

Для забезпечення електромагнітної сумісності споживачів, а також для комплексного покращення якості напруги в локальних системах електропостачання використовуються фільтри струмів нульової послідовності (ФСНП), параметричні та регульовані фільтросиметруючі пристрої, а також гібридні фільтрокомпенсуючі перетворювачі на їх основі [12, 13]. Оскільки ФСНП мають дуже малий опір для струмів нульової послідовності, вони дозволяють значно знизити її напругу в місці їх приєднання. Крім того, ФСНП запропоновано використовувати для створення локальних ділянок електропостачання з підключенням до них споживачів, що потребують підвищеної якості ЕЕ, тобто відокремлення їх від основної мережі (рис. 1) [12, 13].

В роботі [12] пропонується створювати локальні системи електропостачання для відповідальних навантажень, які відокремлені від основної мережі контуром для протікання струмів нульової послідовності. Це дозволяє комплексно поліпшити якість напруги на затискачах електроустановок, забезпечити їх електромагнітну сумісність і електробезпеку, а також підвищити надійність електропостачання споживачів цих систем.

Для зниження впливу вищих гармонічних складових на режим роботи електроспоживачів зазвичай застосовуються також пасивні, активні та гібридні фільтри вищих гармонік (рис. 2) [7]. Перші з них є найдоступнішим, з економічної точки зору, технічним заходом для зниження рівня окремих гармонічних складових у вузлі приєднання. Але разом з тим проектування та налаштування їх потребує ретельного аналізу щодо складу навантаження та якості електроенергії у вузлі приєднання. Це обумовлено тим, що схема пасивного фільтра налаштовується на резонансні частоти, які відповідають конкретним вищим гармонічним складовим. Тож, використання пасивних фільтрів суттєво ускладнюється в разі різкозмінного навантаження мережі.

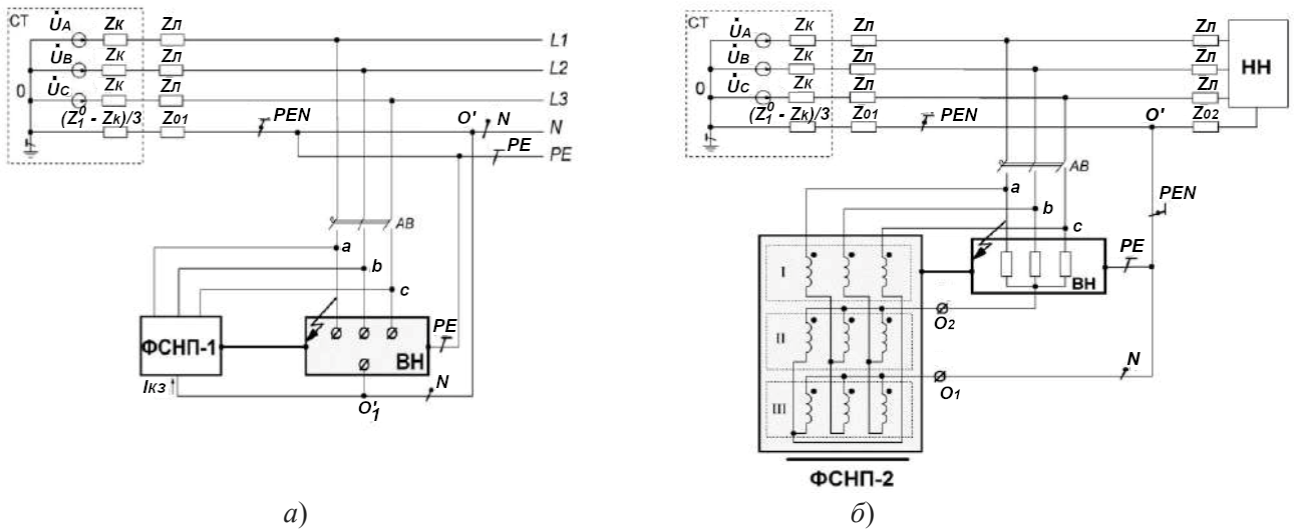


Рис. 1. Принципові схеми локальних ділянок електропостачання на основі застосування фільтрів двох різних типів: ФСНП-1 (а) та ФСНП-2 (б) [12]

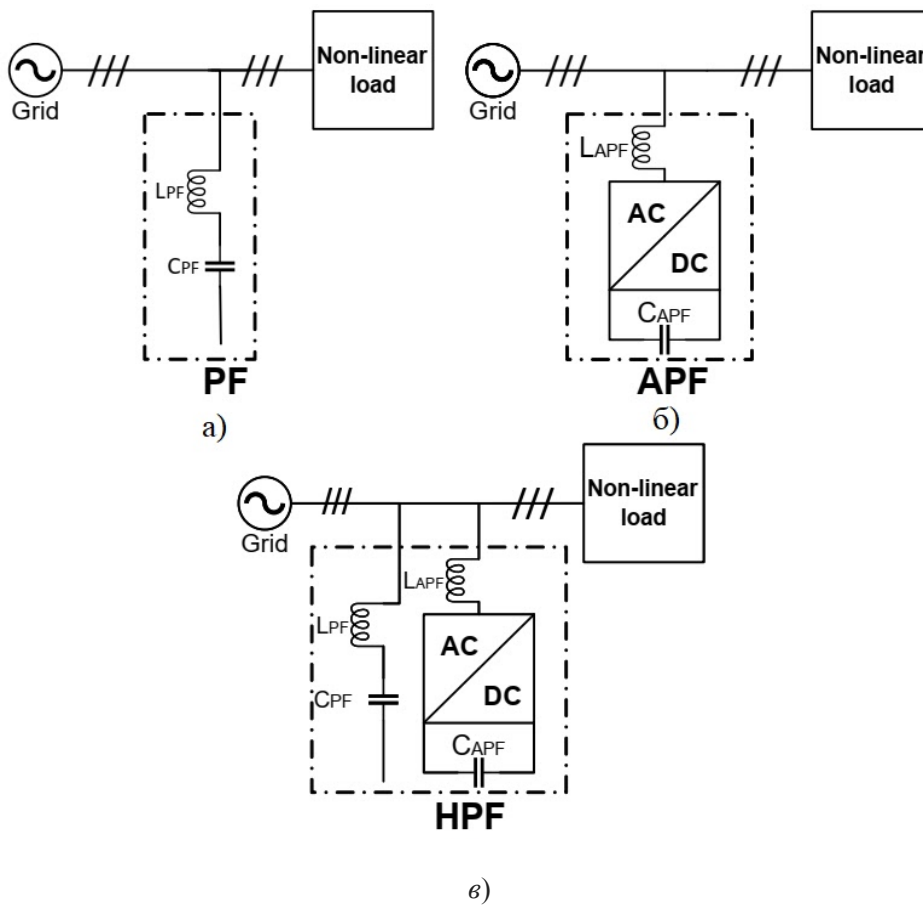


Рис. 2. Принципові схеми пасивного (а), активного (б) та гібридного (в) фільтрів вищих гармонічних складових

На відміну від розглянутих пристроїв, активні та гібридні фільтри ефективно працюють у широкому діапазоні частот та можуть застосовуватися для компенсації вищих гармонічних складових будь-якого порядку. Крім того вони можуть забезпечувати динамічну компенсацію реактивної потужності та симетрування трифазного навантаження. Але у порівнянні з пасивними фільтрами вони значно дорожчі.

Проведемо оцінку доданої вартості спожитої підприємством електроенергії за рахунок забезпечення її якості шойно розглянутими технічними засобами. Так активний фільтр вищих гармонічних складових напругою $U_{НОМ} = 0.4$ кВ та потужністю $S_{НОМ} = 40$ кВА, що має діапазон компенсації від 2-ї до 50-ї гармоніки, орієнтовно коштує $C_{AF} = 480\ 000$ грн. Якщо припустити, що він буде експлуатуватися протягом $T_E = 10$ років та працюватиме з номінальним навантаженням, як на металургійному тризмінному виробництві, впродовж $T_{МАХ} = 5200$ годин/рік, то оцінювана вартість складе

$$C_q = \frac{C_{AF}}{S_{НОМ} \cdot T_{МАХ} \cdot T_E} = \frac{480}{40 \cdot 5200 \cdot 10} = 0.23 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год.}$$

Тобто, додана вартість на спожити електроенергію у такому випадку складатиме майже 8 % від її комерційного значення. Результати аналогічних розрахунків, проведених для інших засобів щодо забезпечення якості електроенергії, наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Розрахунок доданої вартості на забезпечення якості ЕЕ

| № з/п | Технічний захід забезпечення якості ЕЕ | Тип | Потужність, кВт | Вартість одиниці, тис. грн. | Додана вартість на забезпечення якості ЕЕ, грн/кВт*год. |
|-------|---|--------------------------------------|-----------------|-----------------------------|---|
| 1 | Активні фільтри вищих гармонічних складових | Epcos 100A, 400 В | 40 | 480 | 0.23 |
| 2 | Пасивні фільтри вищих гармонічних складових | Danfoss ANF 005/ANF 010 | 53.2 | 200 | 0.07 |
| 3 | Динамічні компенсатори викривлення напруги | Rockwell Automation 1608P-100A208V3S | 185 | 1800 | 0.19 |
| 4 | Фільтри струмів нульової послідовності | | 10 | 50 | 0.10 |

Знаючи перелік усіх технічних засобів, що використовуються задля цього на будь-якому підприємстві і долю їх сумарної потужності щодо тієї, яка споживається останнім, можна розрахувати усереднену додану вартість на електроенергію, що має місце у конкретному випадку.

Очевидно, що забезпечувати всіх споживачів підприємства якісною ЕЕ не завжди доцільно, оскільки це збільшує, як показано, витрати на електропостачання через необхідність застосування технічних заходів з підвищення якості. Крім того, в багатьох роботах [6—10, 12—15] розглядаються питання щодо різного ступеня впливу окремих показників якості електричної енергії на ефективність роботи споживачів. Тож на даний час стає актуальним питання щодо доцільних обсягів якісної ЕЕ в електромережах конкретних підприємств. Щоб оцінити ці обсяги пропонується розділити їх споживачів на декілька, наприклад, три категорії; кожна з яких визначається доцільністю забезпечення для них існуючих вимог щодо якості електроенергії (табл. 3).

Таблиця 3. Категорії споживачів, відповідно до рівня вимог щодо якості споживаної ними електроенергії

| № з/п | Споживач ЕЕ | Категорія | Примітка |
|-------|---|-----------|--|
| 1 | Електричні двигуни | 1 | - чутливі до відхилень та коливань напруги; - відхилення частоти викликає зміну індуктивних опорів двигуна та частоти обертання вала; - вищі гармонічні складові викликають додаткові втрати в обмотках та призводять до зростання діелектричних втрат в ізоляції; |
| 2 | Електролізні установки | 1 | - чутливі до коливань напруги, які призводять до скорочення терміну служби установки через руйнування електродів; |
| 3 | Технологічне обладнання (обладнання поточних ліній, верстати з числовим програмним керуванням тощо) | 1 | - відхилення напруги впливають на продуктивність обладнання, появу браку та недо вироблення продукції; |
| 4 | Освітлювальні установки із світлодіодними та газорозрядними лампами | 1 | - чутливі до відхилень та коливань напруги; - несиметрія струмів та напруг порушує баланс світлових потоків; |
| 5 | Зварювальні установки | 2 | - чутливі до коливань напруги – погіршується якість зварного шва, можливі відхилення у роботі схеми керування; |
| 6 | Обчислювальні машини, радіостанції, телестанції, рентгенівські установки | 2 | - чутливі до відхилень та коливань напруги; |
| 7 | Конденсатори та вентильні випрямлячі | 2 | - чутливі до відхилень та коливань напруги; |
| 8 | Кранові установки | 3 | - робота у повторно-короткочасному режимі дозволяє забезпечити необхідне охолодження обмоток двигунів, що нагріваються внаслідок коливань напруги та наявності в ній вищих гармонік. |
| 9 | Печі опору та установки електричного нагріву | 3 | - немає потреби забезпечувати високі показники якості електричної енергії; |
| 10 | Дугові сталеплавильні печі | 3 | - немає потреби забезпечувати високі показники якості електричної енергії; |
| 11 | Спеціальне обладнання, яке забезпечується технічними засобами для зменшення впливу електромагнітних перешкод заводом-виробником | 3 | - немає потреби забезпечувати високі показники якості електричної енергії; |

Перша категорія — це споживачі, режим роботи яких суттєво залежить від якості електричної енергії і для яких потрібно забезпечувати вимоги щодо неї у повному обсязі. До них можна віднести: електричні двигуни, електролізні установки, технологічне обладнання (обладнання поточних ліній, верстати з числовим програмним керуванням тощо), освітлювальні установки із світлодіодними та газорозрядними лампами.

Другу категорію складають споживачі ЕЕ режим роботи яких допускає незначне відхилення щодо показників якості електроенергії без порушень технологічних процесів та ті, що мають власні засоби її забезпечення: зварювальні установки, обчислювальні машини, радіостанції, телестанції, рентгенівські установки, конденсатори та вентильні випрямлячі.

До третьої категорії відносяться споживачі ЕЕ, режим роботи яких не суттєво, або зовсім не залежить від показників якості електричної енергії: кранові установки, печі опору, дугові сталеплавильні печі, установки електричного нагріву.

Тож проведемо оцінку доцільних обсягів якісної електроенергії на прикладі ремонтно-механічного цеху металургійного підприємства, склад основних споживачів електричної енергії якого наведено в табл. 4. Згідно з наведеними в ній даними встановлені потужності споживачів електричної енергії, які відповідають запропонованим критеріям I, II і III складають відповідно 276 кВт, 178.5 кВт і 94 кВт. У відсотковому відношенні це складає 50.32 %, 32.54 % та 17.14 % від загальної потужності цеху.

Порівняльний аналіз капітальних вкладень на технічні заходи забезпечення необхідної якості електричної енергії для всіх споживачів ремонтно-механічного цеху та тих, що відносяться до категорії I наведено в табл. 5.

Таблиця 4. Склад основних споживачів електричної енергії ремонтно-механічного цеху

| № з/п | Споживач ЕЕ | Кількість, шт | Потужність, кВт | Сумарна потужність, кВт | Примітки |
|-------|----------------------------|---------------|-----------------|-------------------------|---------------|
| 1 | Токарні автомати | 3 | 12 | 36 | I категорія |
| 2 | Вентилятори | 2 | 60 | 120 | II категорія |
| 3 | Заточувальні верстати | 3 | 1.5 | 4.5 | I категорія |
| 4 | Зварювальні агрегати | 3 | 14 | 42 | II категорія |
| 5 | Зубофрезерні верстати | 3 | 20 | 60 | I категорія |
| 6 | Токарні верстати | 6 | 14 | 84 | I категорія |
| 7 | Круглошліфувальні верстати | 3 | 8 | 24 | I категорія |
| 8 | Свердлильні верстати | 2 | 3.5 | 7 | I категорія |
| 9 | Фрезерні верстати | 4 | 8 | 32 | I категорія |
| 10 | Печі опору | 2 | 17 | 34 | III категорія |
| 11 | Розточувальні верстати | 3 | 5 | 15 | I категорія |
| 12 | Строгальні верстати | 3 | 4.5 | 13.5 | I категорія |
| 13 | Крани мостові | 2 | 30 | 60 | III категорія |
| 14 | Освітлення | - | - | 16.5 | II категорія |
| | Загалом | | | 548.5 | |

Таблиця 5. Порівняльний аналіз витрат на технічні заходи якості електричної енергії для підприємства, що розглядається

| № з/п | Технічний захід забезпечення якості ЕЕ | Тип | Кількість, шт. | Вартість одиниці, тис. грн. | Капітальні вкладення, тис. грн. | Встановлена потужність споживачів, кВт |
|-------|---|--------------------------------------|----------------|-----------------------------|---------------------------------|--|
| 1 | Активні фільтри вищих гармонічних складових | Ercos 100A, 400 В | 14 / 7 | 480 | 6720 / 3360 | 548.5 / 276 |
| 2 | Пасивні фільтри вищих гармонічних складових | Danfoss AHF 005 / AHF 010 | 10 / 5 | 200 | 2000 / 1000 | |
| 3 | Динамічні компенсатори викривлення напруги | Rockwell Automation 1608P-100A208V3S | 2 / 1 | 1800 | 3600 / 1800 | |
| 4 | Фільтри струмів нульової послідовності | - | 10 / 5 | 50 | 500 / 250 | |

Капітальні вкладення на забезпечення всіх споживачів ремонтно-механічного цеху електричною енергією відповідної якості складають 500...6720 тис. грн. Очевидно, що збільшення встановленої потужності споживачів, які висувають підвищені вимоги до якості електричної енергії призведе до зростання капітальних вкладень на технічні заходи, що її забезпечують, зростання даної вартості електричної енергії, та, зрештою, до збільшення собівартості кінцевого продукту.

Якщо застосувати запропонований підхід щодо якості ЕЕ лише для споживачів категорії I, потужність яких складає 276 кВт, то це призведе до зменшення капітальних вкладень на технічні засоби для її забезпечення у даному цеху на 50 %. Очевидно, що для головного для металургійного підприємства цеху, де є переважною доля споживачів категорії III, таке зменшення зазначених вкладень буде значно вагомішим (до 80 %).

Враховуючи зазначену економічну недоцільність забезпечення якісною електроенергією усіх її споживачів на промислових підприємствах та складність розділити їх в електромережах відносно рівня вимог щодо зазначеної якості виникає необхідність пошуку задля цього нових технічних інноваційних рішень.

Висновки

1. Існуючі обмеження щодо якості електричної енергії в мережах промислових підприємств з економічної точки зору не є доцільними, так як для значної кількості їх споживачів вони занадто жорсткі.

2. Встановлена потужність споживачів електричної енергії, режим роботи яких суттєво залежить від її якості, для різних підприємств коливається у межах від 20 % для електromеталургійних підприємств до 50 % для підприємств з великою кількістю, наприклад електричних двигунів чи електролізних установок.

3. Додана вартість на електроенергію, що потрібна для забезпечення її якості при використанні різних технічних засобів щодо цього коливається у межах 0.2...0.35 грн / кВт*год, що складає 5...8 % від її комерційної вартості.

4. Споживачів електричної енергії бажано розділити на категорії, щодо доцільності для них вимог до якості електричної енергії, необхідної для забезпечення нормального режиму роботи обладнання та технологічного процесу.

5. Використання запропонованого підходу до класифікації споживачів та встановлення технічних засобів забезпечення якості електроенергії тільки для споживачів категорії I дозволяє знизити капітальні витрати на них до 50 %.

Список використаної літератури

1. ГОСТ 13109–97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (Електрична енергія. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Норми якості електричної енергії у системах електропостачання загального призначення).
2. ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності: [Чинний з 1.10.2014]. К.: Держстандарт України, 2014. 27 с.
3. Килин С.В., Проблема качества электроэнергии в распределительных электрических сетях 0, 4-20 кВ. *Роль аграрной науки в развитии АПК*, 2017. С. 106–110.
4. Электромагнитная совместимость потребителей: монография / И.В. Жежеленко, А.К. Шидловский, Г.Г. Пивняк, Ю.Л. Саенко, Н.А. Нойбергер. М.:Машиностроение, 2012. 349 с.
5. Жежеленко И. В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2000. 253 с.
6. Бирюлин В.И., Куделина Д.В., Гнездилова Ю.П. Влияние предельных значений изменений напряжения на работу электрооборудования. *Современные проблемы и направления развития агроинженерии в России*, 2021. С. 12–15.
7. Lumberras D., Gálvez E., Collado A., Zaragoza J. Trends in power quality, harmonic mitigation and standards for light and heavy industries: A review. *Energies*, 2020. Vol. 13(21). P. 5792–5816.
8. Прищепов М., Зеленкевич А., Збродыга В. Результаты исследования уровня высших гармоник напряжений и токов при работе на нелинейную нагрузку трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом». *Scientific research in XXI century. Scientific collection "INTERCONF". Energetics*. 2021. №85. С. 396–405.
9. Попова І. О. Функціонування електричних комплексів в режимі несинусоїдності напруги. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: матеріали IV Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції пам'яті ВВ Овчарова (Мелітополь, 04-18 листопада 2021 р).*ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 13–25.
10. Мадаров А. Б. Влияние несинусоидальности напряжения на качество электрической энергии *Энергетическая безопасность : Сборник научных статей III Международного конгресса. В 2-х томах, Курск, 16–17 октября 2020 года.* Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 229–231.
11. Волков Н.Г. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2010. 152 с.
12. Шидловський А. К., Жаркін А. К., Новський В. О., Капличний Н. М., Козлов О. В., Малахатка Д. О. Забезпечення електромагнітної сумісності в локальних електричних мережах. *Вісник Національного технічного університету "ХП". Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*, 2018. № 26(1). С. 174–183.
13. Жаркін А., Палачов С., Пазеев А., Малахатка, Д. Визначення оптимальних параметрів засобів зниження несиметрії напруг в низьковольтних електричних мережах. *Технічна електродинаміка*, 2020. № 6. С. 43–46. DOI:<https://doi.org/10.15407/techned2020.06.043>.
14. Волков А. В., Метельский В. П., Волков В. А. Исследование функционирования и энергоэффективности применения силового активного фильтра для четырехпроводной трехфазной сети переменного напряжения. *Технічна електродинаміка*, 2010. № 5. С. 61–68.
15. Жаркин А.Ф., Капличный Н.Н., Новский В.А., Козлов А.В. Особенности работы локальных низковольтных электрических сетей с искусственной нейтральной точкой в ненормальных режимах. *Электрические сети и системы*, 2012. № 5. С. 47–52.

TO THE ISSUE OF REASONABLE AMOUNT OF QUALITY ENERGY IN THE ENTERPRISES' POWER GRIDS

Kachan Yu., Shram O.

Abstract

As known, the quality of electricity directly affects the operation of power consumers of all industrial enterprises as a whole. The purpose of this study is to analyze the existing limitations on the quality of electricity in the networks of industrial enterprises, as well as to assess the amount of electricity consumed by the enterprise, which must meet the requirements for its quality. To improve the level of electricity quality in the power networks of industrial enterprises, a number of technical and organizational measures are proposed. The first of these include the use of passive and active filters of higher-order harmonics, linear inductors, dynamic voltage distortion compensators, installation of voltadic transformers, etc. Organizational measures include optimization of the circuit and operating modes of the network, voltage regulation, phase load balancing, etc. Knowing the list of all the technical means used to improve the quality of electricity at any enterprise and the share of their total load capacity in relation to the consumed, it is possible to calculate the average added value for electricity that takes place in a particular case. Estimation of reasonable amount of high-quality electricity on the example of repair and mechanical workshop of metallurgical enterprise is carried out. According to the data, the installed power of electric power consumers, which meet the proposed criteria I, II and III are respectively 276 kW, 178.5 kW and 94 kW. As a percentage, it is 50.32 %, 32.54 % and 17.14 % of the total capacity of the workshop. Existing restrictions on the quality of electricity in the networks of industrial enterprises from an economic point of view are not advisable, since for a significant number of their consumers they are too rigid. The installed power of electricity consumers whose operation mode depends significantly on its quality, for different enterprises ranges from 20 % to 50 %. The added cost for electricity required to ensure its quality when using various technical measures in this regard ranges from 0.2... 0.35 UAH/k Wh, which is 5... 8 % of its commercial value. Electricity consumers should be divided into categories regarding the reasonability for them of the requirements for the quality of electricity necessary to ensure the normal operation of the equipment and the technological process.

References

- [1] GOST 13109–97 *Jelektricheskaja jenergija. Sovmestimost' tehniceskikh sredstv jelektromagnitnaja. Normy kachestva jelektricheskoy jenerгии v sistemah jelektrosnabzhenija obshhego naznachenija (Elektrichna energija. Sumisnist' tehnicnih zasobiv jelektromagnitna. Normi jakosti elektrichnoј energii u sistemah jelektropostachannja zagal'nogo priznachennja) [Electric power. Electromagnetic compatibility of technical means. Electric power quality standards in general-purpose power supply systems]. [in Russian].*
- [2] *Harakterystyky napruhy jelektropostachannja v elektrychnyh merezhah zagal'noi' pryznachenosti [Characteristics of power supply voltage in general purpose electrical networks]: DSTU EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). [Chynnyj z 1.10.2014]. (2014). K.: Derzhstandart Ukrainy. P. 27. [in Ukrainian].*
- [3] Kilin, S. V. (2017). Problema kachestva jelektrojenerгии v raspreditel'nyh jelektricheskikh setjah 0, 4-20 kV [The problem of power quality in distribution electrical networks 0.4-20 kV]. *The role of agricultural science in the development of the agro-industrial complex*, P. 106–110. [in Russian].
- [4] Zhezhelenko, I.V., Shidlovskij, A.K., Pivnjak, G.G., Saenko, Ju.L., Nojberger N.A. (2012). *Jelektromagnitnaja sovmestimost' potrebitelej: monografija [Electromagnetic compatibility of consumers: monograph]. M.: Mashinostroenie. 349 p. [in Russian].*
- [5] Zhezhelenko, I.V. (2000). *Pokazateli kachestva jelektrojenerгии i ih kontrol' na promyshlennyh predpriyatijah. 3-e izd., pererab. i dop. [Power quality indicators and their control at industrial enterprises. 3rd ed., revised. and add.]. M.: Jenergoatomizdat. 253 p. [in Russian].*
- [6] Birjulin, V.I., Kudelina, D.V., Gnezdilova, Ju.P. (2021). Vlijanie predel'nyh znachenij izmenenij naprjazhenija na rabotu jelektrooborudovanija [The impact of significant changes in voltage on

- the work of electrical equipment]. *Modern problems and directions of development of agroengineering in Russia*. P. 12–25. [in Russian].
- [7] Lumbreras, D., Gálvez, E., Collado, A., Zaragoza, J. (2020). Trends in power quality, harmonic mitigation and standards for light and heavy industries: A review. *Energies*, Vol. 13(21). P. 5792–5816.
- [8] Prishhepov, M., Zelen'kevich, A., Zbrodyga, V. (2021). Rezul'taty issledovanija urovnja vysshih garmonik naprjazhenij i tokov pri rabote na nelinejnuju nagruzku transformatora so shemoj soedinenija obmotok «zvezda-dvojnij zigzag s nulevym provodom» [The results of the study of the level of higher harmonics of voltages and currents when operating on a non-linear load of a transformer with a “star-double zigzag with a neutral wire” winding connection scheme]. *Scientific research in XXI century. Scientific collection "INTERCONF". Energetics*. vyp. 85. P. 396–405. [in Russian].
- [9] Popova, I. O. (2021). Funkcionuvannja elektrychnyh kompleksiv v rezhymi nesynusoidnosti naprugi [Operation of electrical complexes in the mode of non-sinusoidal voltage]. *Suchasnyj stan ta perspektyvy rozvytku elektrotehnychnyh system: materialy IV Vseukr. nauk.-prakt. internet-konferencii' pam'jati VV Ovcharova (Melitopol', 04-18 November 2021)*. TDATU. Melitopol': TDATU. P. 13–25. [in Ukrainian].
- [10] Madarov, A. B. (2020). Vlijanie nesinusoidal'nosti naprjazhenija na kachestvo jelektricheskoi jenerгии [Influence of non-sinusoidal voltage on the quality of electrical energy]. *Jenergeticheskaja bezopasnost' : Sbornik nauchnyh statej III Mezhdunarodnogo kongressa. V 2-h tomah, Kursk, 16–17 October 2020*. Kursk: Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet. P. 229–231. [in Russian].
- [11] Volkov, N.G. (2010). *Kachestvo jelektrojenerгии v sistemah jelektrosnabzhenija. Uchebnoe posobie. [The quality of electricity in power supply systems. Tutorial]*. Tomsk: Tomskij politehnicheskij universitet. 152 p. [in Russian].
- [12] Shydlovs'kyj, A. K., Zharkin, A. K., Novs'kyj, V. O., Kaplychnyj, N. M., Kozlov, O. V., Malahatka, D. O. (2018). Zabezpechennja elektromagnitnoi' sumisnosti v lokal'nyh elektrychnyh merezhah [Ensuring electromagnetic compatibility in local electrical networks]. *Visnyk Nacional'no-go tehničnogo universytetu "HPI". Serija: Novi rishennja v suchasnyh tehnologijah*, vyp. № 26(1). P. 174–183. [in Ukrainian].
- [13] Zharkin, A., Palachov, S., Pazjejev, A., Malahatka, D. (2020). Vyznachennja optymal'nyh parametriv zasobiv znyzhennja nesymetrii' naprug v nyz'kovol'nyh elektrychnyh merezhah [Determination of optimal parameters of means of reducing voltage asymmetry in low-voltage electrical networks]. *Tehnichna elektrodynamika*, vyp. 6. P. 43–46. DOI:<https://doi.org/10.15407/techned2020.06.043>. [in Ukrainian].
- [14] Volkov, A. V., Metel'skij, V. P., Volkov, V. A. (2010). Issledovanie funkcionirovanija i jenergo-jeffektivnosti primenenija silovogo aktivnogo fil'tra dlja chetyrehprovodnoj trehfaznoj seti perezmen'nogo naprjazhenija [Investigation of the functioning and energy efficiency of the use of a power active filter for a four-wire three-phase AC voltage network]. *Tehnichna elektrodynamika*, vyp. 5. P. 61–68. [in Russian].
- [15] Zharkin, A.F., Kaplychnyj, N.N., Novskij, V.A., Kozlov, A.V. (2012). Osobennosti raboty lokal'nyh niz'kovol'nyh jelektricheskijh setej s iskusstvennoj nejtral'noj tochkoj v nenominal'nyh rezhimah [Features of the operation of local low-voltage electrical networks with an artificial neutral point in non-nominal modes]. *Jelektricheskije seti i sistemy*, vyp. 5. P. 47–52. [in Russian].