

ОЦІНКА СТАНУ ЯКОСТІ НАПРУГИ У ПРОМИСЛОВИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

І.В. Жежеленко¹, Ю.А. Папаїка², І.М. Луценко³, О.Г. Лисенко⁴

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м.Дніпро, epp@pstu.edu ORCID ID 0000-0003-4120-2517

² Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м.Дніпро, papaika.yu.a@nmu.one ORCID ID 0000-0001-6953-1705

³ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м.Дніпро, lutsenko.i.m@nmu.one ORCID ID 0000-0001-6406-2364

⁴ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м.Дніпро, lysenko.o.g@nmu.one ORCID ID 0000-0002-7041-671X

ASSESSMENT OF VOLTAGE QUALITY IN INDUSTRIAL POWER SUPPLY SYSTEMS

I. Zhezhelenko¹, Yu. Papaika², I. Lutsenko³, O. Lysenko⁴

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, epp@pstu.edu ORCID ID 0000-0003-4120-2517

² Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, papaika.yu.a@nmu.one ORCID ID 0000-0001-6953-1705

³ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, lutsenko.i.m@nmu.one ORCID ID 0000-0001-6406-2364

⁴ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, lysenko.o.g@nmu.one ORCID ID 0000-0002-7041-671X

Мета статті – оцінка стану якості напруги в промислових електричних мережах з урахуванням різкого зростання несиметричних та нелінійних навантажень та визначення залежності втрат електроенергії від показників економічного розвитку країни.

Методика. При дослідженні було використано метод експертних оцінок та методи статистичного аналізу для визначення середніх значень втрат електроенергії.

Результати. Наукове обґрунтування високим рівням втрат електроенергії у країнах, що розвиваються доводиться невірністю проблеми якості напруги та дуже низькими значеннями натурального коефіцієнта потужності в промислових, розподільчих та магістральних електричних мережах.

Наукова новизна. У статті подано аналіз проблем якості електроенергії на даний момент та описується важливість вирішення цих проблем. Рішення ґрунтуються, головним чином, на зміні рівня гармонік, що впливають на енергосистеми, і таким чином покращенні якості електроенергії. У статті проводиться аналіз комплексного погіршення якості напруги в електричних мережах при зміні характеру електричного навантаження.

Практична значимість. Знаходження закономірностей втрат електроенергії та ВВП країни. Дослідження проводяться для промислових систем електропостачання. На основі дослідження визначаються першочергові задачі для вирішення проблеми низької якості напруги в Україні.

Ключові слова: якість електроенергії, системи електропостачання, вищі гармоніки, втрати електричної енергії.

Постановка проблеми та її зв'язок з прикладними дослідженнями

У системах електропостачання в даний час існує три найважливіші взаємопов'язані проблеми: якість електроенергії (ЯЕ), надійність електропостачання та завищені втрати електроенергії [1-3].

Проблема якості електроенергії (ЯЕ) відноситься до числа найважливіших проблем сучасної електроенергетики. Зміст цієї проблеми в основному зводиться до наступного: оцінки електромагнітної сумісності (ЕМС), джерел електромагнітних завад та інших навантажень, оцінки економічного збитку, що виникає при цьому, оцінки значень електромагнітних завад, що генеруються різними «проблемними» навантаженнями, прогнозування їх значень у вузлах систем електропостачання, і, нарешті, мінімізації рівнів завад до значень, допустимих відповідними стандартами [1-3, 8].

Проблема ЯЕ включає аспекти: нормативний, розрахунковий, технічний і економічний. Останнім часом значний розвиток отримують економічний і правовий аспекти проблеми. Таким чином, проблема ЯЕ може розглядатися як самостійна галузь знань, що сформувалася в останні десятиліття минулого століття.

Технічний та економічний аспекти. Надзвичайно показово проблему ЯЕ ілюструє її економічний аспект. За останніми даними щорічний економічний збиток в США [4, 5], обумовлений низькою якістю

Електропостачання та електроустаткування

електроенергії, складає 40-50 млрд. дол./рік. за рахунок негативного впливу, головним чином, вищих гармонік, а також несиметрії та коливань напруги.

Діапазони змін показників якості електроенергії на підприємствах різних галузей зазвичай широкі та в багатьох випадках виходять за межі допустимих за нормами відповідних стандартів, наприклад, ГОСТ 13109-97. Зростання потужності нелінійних, несиметричних і різкозмінних навантажень навіть в розвинених країнах випереджає впровадження заходів по мінімізації електромагнітних завад. Як наслідок, наприклад, в низьковольтних розподільчих мережах Швейцарії рівень гармонік протягом 12 років зріс на 30% [1, 4-6].

Сумарна встановлена потужність керованих вентильних перетворювачів на листових і сортових прокатних станах досягає 1000 МВт, на алюмінієвих комбінатах - понад 1000 МВт. Споруджувані електродугові сталеплавильні печі мають пічні трансформатори потужністю 200 МВА. Навіть ці приклади свідчать про масштаби джерел електромагнітних завад [7, 8].

Як відомо, економічний збиток, пов'язаний з низькою ЯЕ, має електромагнітну і технологічну складові. Електромагнітна - визначається збільшенням втрат активної потужності і скороченням терміну служби ізоляції електрообладнання. Технологічна складова збитку обумовлена впливом ЯЕ на продуктивність технологічних установок і собівартість продукції, що випускається, а також частковою або повною зупинкою виробництва. Збільшення втрат електроенергії за рахунок її низької якості може досягати 15-20%. Значення відносних втрат електроенергії в електричних мережах промислово розвинених країн за усередненими даними за 2015-2020 рр. знаходяться в межах 4-7%. Так, у Німеччині - 4%, у Франції-7%, в Австрії, Бельгії, Чехії - 5%, США -6%, Італії, Швейцарії та Японії - 7%. Ці держави мають високе значення внутрішнього валового продукту (ВВП) за паритетом купівельної спроможності (ПКС) на душу населення, що перевищує 20 тис.дол. США: США - 62,5 тис.дол, Австрія і Німеччина-52,5, Італія - 39,6, Франція - 45,8 тис.дол. Оцінка факторів, що впливають на енергоефективність систем електропостачання при валовому внутрішньому продукті більше 20 тис.дол, наведена нижче у таблиці 1.

Таблиця 1

Значення втрат електроенергії в деяких країнах світу

Країна	ВВП на душу населення, тис. дол	Втрати електроенергії при передачі та розподілу, %	Споживання електроенергії на душу населення, тис. кВт·год
Австрія	52,1	5	8,5
Бельгія	43,1	5	8,0
Німеччина	52,5	4	7,0
Нідерланди	56,3	4	6,8
США	62,5	6	13,0
Чехія	37,3	5	6,3
Японія	44,2	5	7,8
Італія	39,6	7	5,2
Франція	45,8	7	7,4
Російська федерація	26,7	10	6,5
Вірменія	8,2	12	1,90
Молдова	5,0	25	1,35
Монголія	11,9	15	1,90
Білорусь	18,3	11	3,60
Україна	9,3	12	3,60
Румунія	19,8	12	2,50

У той же час в країнах з ВВП за ПКС менше 20 тис.дол. (Молдові, Білорусі, Румунії, Монголії) відносні втрати в мережах перевищують 10%. Фактично втрати в електричних мережах Білорусі та України в 1.5-2.5 рази більше, ніж в електричних мережах промислово розвинених країн

З наведених цифр випливає, що має місце зв'язок значень втрат електроенергії в електричних мережах різних країн з рівнем економіки цих держав. У країнах з більш розвиненою економікою, як правило, вище технічна культура виробництва, передачі і розподілу електроенергії, використовуються сучасні системи управління режимами роботи електричних мереж, контролю і обліку електроенергії, живуть і працюють платоспроможні і дисципліновані споживачі, діють чітка нормативно-правова база і система тарифного регулювання [1, 9].

Високий рівень втрат в електричних мережах пов'язаний з низьким рівнем компенсації реактивної потужності, фізичним і моральним зносом мережі, недостатнім використанням засобів оптимізації режимів роботи і регулювання напруги та невирішеністю проблем якості електричної енергії [8].

Низький рівень якості електричної енергії призводить до зниження енергетичної ефективності електричних мереж за рахунок збільшення втрат активної та реактивної потужностей, технологічних витрат електроенергії на її транспортування, до зниження терміну служби електроустаткування, збільшення

капітальних вкладень в електричні мережі, порушення умов нормального функціонування енергетичної системи.

Розвиток електроенергетики характеризується інтенсивним зростанням частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). У ряді країн обсяги введення ВДЕ вже сьогодні значно перевищують обсяги введення джерел традиційної генерації [6, 7].

Якщо в 2015 р загальна частка ВДЕ в генерації електроенергії в світі становила лише 5%, то в 2030 році вона становитиме 18,6%, а до 2050 р збільшиться до 48%. Таким чином, зміна загальної частки ВДЕ в генерації електроенергії в 2050 році збільшиться в 8,6 разів. При цьому генерація сонячних електростанцій зросте в 30 разів, при середньорічному темпі зростання 10,2%, а генерація вітряних електростанцій збільшиться в 11 раз при середньорічному темпі зростання 7,1%.

Сонячна генерація не створює коливань потужності в енергосистемі, тим не менш, надлишок її протягом періодів річної сонячної погоди викликає додаткові складності навіть для нормального режиму роботи енергосистеми. Ця нерегульована генерація для забезпечення балансів потужності в енергосистемі повинна покриватися класичними джерелами енергії або іншими спеціальними пристроями.

Більш складна ситуація створює вітрова генерація. Однією з головних проблем використання енергії вітру є нестабільна генерація потужності: нестабільний по величині характер вітру призводить до непрогнозованих і нерегульованих змін потужності вітроагрегату і до нестаціонарного характеру вироблення електроенергії вітроелектростанціями, що впливає на надійність і ефективність функціонування енергосистеми і створює значні складності для нормального режиму роботи енергосистеми. Швидкість вітру має стохастичний характер; а потужність вітрогенератора залежить від швидкості вітру в третьому ступені. За рахунок цього змінюється і потужність, що видається вітроелектростанцією. Стохастичний характер задачі активної потужності вітроелектростанціями викликає коливання частоти в енергосистемі, зміни їх амплітуди і швидкості. Виникає також проблема впливу вітроелектростанції на ЯЕ в енергосистемі і підключених до неї споживачів, що може призвести не тільки до коливань частоти в енергосистемі, появи флікера і коливань напруги, але і до провалів напруги. Крім того коливання вітроелектростанцій при зміні швидкості вітру призводить до низькочастотних коливань і створює нові проблеми для стабільності енергосистеми і динамічних процесів в ній.

Низькочастотні коливання природні для кожної енергосистеми і виникають внаслідок малих змін навантаження і збурень (наприклад, відключень генераторів або ліній), і в ході електромеханічних перехідних процесів в енергосистемах в результаті виникнення істотного небалансу потужності в енергорайоні; вони виникають як при коливанні параметрів нормального режиму енергосистеми, так і за рахунок вимушених коливань, що викликаються конкретним джерелом.

Зміна складу генерації, пов'язана з ВДЕ, призводить до зменшення постійних інерції елементів систем електропостачання, збільшує чутливість параметрів режиму до малих збурень. В результаті енергосистема набуває нових властивостей, в тому числі і деяких негативні, які проявляються, зокрема, у виникненні низькочастотних коливань її режимних параметрів.

В електроенергетичних системах діапазон власних частот низькочастотних коливань знаходиться в межах 0,1-3,0 Гц. Зазвичай, наближення режиму енергосистеми до межі по стійкості, некоректна настройка АРЗ генераторів і автоматичних регуляторів швидкості обертання сприяють виникненню цих коливань. Вони представляють серйозну небезпеку, так як розвиток слабодемпфованих низькочастотних коливань може призвести до порушення коливальної стійкості енергосистеми і викликати системну аварію. Саме тому низькочастотні коливання потужності є однією з основних проблем, що впливають на надійність і функціонування електричних систем [6].

Впровадження вітроелектростанцій призводить до додаткового (в порівнянні з традиційними джерелами електроенергії) зменшення інерційності енергосистеми і, як наслідок, до зростання значень показників якості електроенергії в першу чергу, провалів і флікер напруги. Комплекс цих явищ виникає також за рахунок збільшення потужності короткого замикання у вузлі.

Ця особливість в найбільшій мірі характерна для промислових підприємств. Як свідчить досвід, раціональний діапазон значень потужності короткого замикання становить: в мережах 6-35 кВ - 150 - 1500 МВА, в мережах 110-220 кВ - 5000 - 10000 МВА. З тією ж метою рекомендується застосування статичних компенсаторів реактивної потужності СТАТКОМ, електромагнітних синхронних (СК) і асинхронних (АСК) компенсаторів з великою кратністю струму збудження.

Провали напруги (ПН) часто призводять до перерв електропостачання і, відповідно, до виникнення технологічного збитку. ПН часто виникають в результаті відключень повітряних ліній і подальшого автоматичного повторного включення (однофазного чи іншого), а також в результаті включення потужних споживачів та інших причин, вони негативно впливають на роботу електроприймачів і, перш за все, чутливих до завад елементів, що входять до складу систем управління і контролю. У більшості випадків вони виконуються на базі мікропроцесорної техніки або використання ЕОМ. Вплив ПН в ряді випадків призводить не тільки до локальних аварійних ситуацій, а й до повної зупинки виробництва. Особливу небезпеку ПН представляють для виробництв з використанням роботизованих комплексів. Кожен провал напруги призводить в середньому до відмови 20 одиниць технологічного устаткування. Аналогічна ситуація мала

місце на автомобільному заводі: в грозивий сезон автоматизовані лінії фірми «Рено» з автоматикою фірми «Сіменс» простоювали по декілька годин на добу.

Характерно, що збільшення потужності електроприймачів та кількості повітряних ліній, що живлять підприємство, знижує надійність електропостачання. Це пояснюється тим, що дещо знижується глибина провалів, але збільшується їх кількість за рахунок розширення зони впливу. Так, наприклад, при підключенні до районної підстанції, яка живить завод хімволокна, додатковою повітряною лінією 330 кВ середньорічне число провалів напруги на підстанції заводу збільшилося за рік на 18% [7, 8].

Головними чинниками, що визначають вплив ПН на стійкість заводочутливих пристроїв (тобто відсутність помилкового спрацювання), є глибина провалу (в меншій мірі тривалість), склад навантаження мережі підприємства, а також рівень гармонік. Отже, нормувати необхідно допустиме значення деякої функції цих параметрів.

В останнє десятиріччя в електротехнічній практиці стає актуальним питання інтергармонік (ІГ) - гармонійних коливань, з частотами не кратними частоті живильної мережі. У амплітудно-частотному спектрі вони знаходяться між канонічними гармоніками або канонічними і неканонічними.

Виникнення ІГ у багатьох випадках зумовлено низькочастотними коливаннями, характерними для мереж з різкозмінними нелінійними навантаженнями, такими як електродугові сталеплавильні печі, зварювальні установки, частотно-регульовані джерела реактивної потужності, електроприводи з частотним регулюванням швидкості обертання. ІГ також є причиною появи додаткових втрат активної енергії, прискореного старіння ізоляції і в цілому зниження надійності електропостачання. У цехах з великою питомою вагою зварювальних агрегатів втрати електроенергії за рахунок ІГ досягають 3% величини втрат від канонічних гармонік.

Компенсація реактивної потужності (КРП) в електричних мережах дозволяє за рахунок оптимізації завантаження окремих ліній і підстанцій нормалізувати рівні напруги в дефіцитних з реактивної потужності районах, зняти обмеження на відключення окремих ліній у зв'язку з ліквідацією аварій та вивід їх в ремонт або на реконструкцію.

З огляду на порівняно високу економічну і енергетичну ефективність компенсації реактивної потужності, в промислово розвинених країнах їй приділяють велику увагу. Зокрема, у Франції, Швеції, Німеччині потужність конденсаторних установок становить 35% від активної пікової потужності, в США і Японії - близько 70%. В окремих енергокомпаніях США потужність встановлених пристроїв, що компенсують становить 100% від потужності генераторів. При цьому в багатьох країнах спостерігається тенденція зменшення видачі генераторами електростанцій реактивної потужності за рахунок збільшення частки реактивної потужності, що виробляється конденсаторами.

Коефіцієнт реактивної потужності $tg\varphi$ в режимі максимальних навантажень в США, Японії і більшості європейських країн в залежності від номінальної напруги мережі підтримується на рівні 0,2 - 0,4, що відповідає $\cos\varphi = 0,92 - 0,98$. В останні роки в багатьох енергосистемах США розподільні електричні мережі в режимі максимальних навантажень працюють з $tg\varphi = 0$. Компенсація реактивної потужності як і раніше залишається одним з пріоритетних заходів в розроблених в даний час програмах підвищення ефективності процесу передачі і розподілу електричної енергії.

Розрахунково-аналітичний аспект проблеми якості електроенергії в системах електропостачання промислових підприємств має ряд специфічних особливостей, хоча загальноприйняте положення - розрахунок на підставі лінійних схем заміщення, в яких джерело електромагнітної перешкоди представляється у вигляді джерела струму або джерела ЕРС - залишається незмінним. Розрахунки виконуються як в детермінованій, так і в ймовірнісній постановці.

Важливим є питання про точність (або похибки) розрахунків, бо це багато в чому визначає методику розрахунків і їх обсяг. Можливості сучасної комп'ютерної техніки дозволяють проводити розрахунок в досить складних енергосистемах з урахуванням максимального числа факторів, проте в цьому випадку висока точність розрахунків далеко не завжди досягається в зв'язку з неповнотою і некоректністю вихідної інформації. Не завжди висока точність розрахунку, скажімо, з похибкою до 5%, є необхідністю. Визнання цих фактів зумовлює доцільність застосування досить простих методів розрахунку, в тому числі при машинному проектуванні. Так, в національній електротехнічній компанії Франції *EdF* для розрахунку несинусоїдальних режимів з метою вибору технічних засобів для зниження рівнів гармонік використовуються спрощені методики: активний опір визначається за значенням споживаної активної потужності і приймається незалежно від частоти, фази струмів гармонік джерел вважають співпадаючими і т.д.

Висока точність може бути досягнута за допомогою відомих спрощених методик, що виключають необхідність вдаватися до врахування максимального числа факторів; наприклад, при розрахунку несинусоїдальних режимів можна вважати амплітудно-частотну характеристику вузла мережі підприємства лінійною в діапазоні частот до 650 Гц, а опір елементів мережі визначати за усередненими значеннями.

При розрахунках несинусоїдальних режимів прийнято частотну характеристику активних опорів елементів мережі приймати з умов різкого прояву поверхневого ефекту. При цьому, як свідчить практика, напруги і струми гармонік можуть бути визначені з достатньою точністю для мереж 6-10 кВ. Однак оцінки цих параметрів в резонансних режимах і величин втрат, а також інших аспектів впливу гармонік на електрообладнання вимагають знання досить точних значень активних опорів. Вони повинні визначатися з

урахуванням не тільки поверхневого ефекту, а й ефекту близькості, впливу вихрових струмів, розподіленості параметрів і інших чинників.

Питання обліку амплітудно-частотних характеристик живильної енергосистеми в вузлі підключення промислових навантажень заслуговує на особливу увагу. Ця характеристика може вважатися лінійною, якщо до шин 6-10 кВ підприємства підключена ТЕЦ (блок-станція) або до вузла мережі 110 кВ і вище підключена потужна електростанція. Або якщо в мережі 6-10 кВ є потужний парк синхронних і асинхронних електродвигунів з встановленою потужністю не менше 100 МВА. В інших випадках врахування амплітудно-частотної характеристики є обов'язковим.

У разі складної розгалуженої мережі енергосистеми, в першому наближенні можна обмежитися урахуванням прилеглих ліній і їх навантажень. Взагалі питання про те, яку частину мережі можна не враховувати (відсікти) підлягає подальшій розробці. Розподіленість параметрів високовольтних повітряних ліній з похибкою не більше 1% можна не враховувати при довжині її 270 км і менше.

Централізована корекція несинусоїдальних режимів, рекомендована однією з останніх сесій CIGRE, в ряді випадків може виявитися більш доцільною в економічному відношенні. Ідея такої фільтрації гармонік полягає в розміщенні одного або декількох фільтрокомпенсуючих пристроїв на одній з підстанцій розподільної мережі, що забезпечує зниження несинусоїдальності до допустимих значень у всіх вузлах мережі. Використання централізованої корекції несинусоїдальних режимів в порівнянні з локальною забезпечує в конкретних випадках зниження втрат на 15-25%.

Розрахунок несиметричних режимів досить традиційний. До останнього часу не було ясності з визначенням значення опору зворотної послідовності вентильних перетворювачів. Суворий підхід, заснований на аналізі електромагнітних процесів в перетворювачі при несиметричних режимах, дав подвоєне значення опору прямої послідовності.

Слід зазначити, що безпосередній перерахунок значень коефіцієнта несиметрії для вузлів мережі, якщо відомо його значення в вузлі з джерелом несиметрії, неможливий. Необхідно визначити задаючий струм зворотної послідовності і вести розрахунок відомими методами. Розрахунок аналогічний випадку розрахунку гармонік, більш того, на практиці використовується єдина програма розрахунків.

Розрахунок амплітуди коливань напруги і оцінка допустимості їх у вузлах мережі підприємства відповідно до прийнятих в даний час підходів, заснований на імітуванні впливу коливань світлового потоку на прийнятну модель органу зору людини. Аналіз коливань напруги різної форми кривих дозволяє оцінити ступінь цього впливу - інтенсивність або дозу флікера - тільки у випадку, якщо крива коливання напруги і її параметри відомі з достатньою точністю, тому прогноз очікуваного рівня коливань дуже ускладнений.

Для нормалізації показників ЯЕ застосовують технічні та організаційні заходи. Так, фільтрокомпенсуючі пристрої на базі простих режекторних або складних комбінованих фільтрів забезпечують фільтрацію вищих гармонік і компенсацію реактивної потужності. Ще більш широкими можливостями володіють активні і гібридні фільтри, за допомогою яких знижується також рівень інтергармонік. Швидкодіючі статичні компенсатори знижують рівень коливань напруги, але одночасно покращують гармонійний склад напруги мережі і знижують несиметрію.

Для поділу швидкозмінних і спокійних навантажень можуть використовуватися різні схеми і пристрої. Найбільш простою є схема, заснована на використанні здвоєного реактора: спокійні та швидкозмінні навантаження підключаються до різних секцій (обмоток) реактора. Застосування цього способу для підключення дугових печей і потужних електродвигунів дозволяє в ряді випадків забезпечити на шинах «спокійного» навантаження коливання, допустимі стандартом. Для різкозмінних і спокійних навантажень застосовуються також трансформатори з розщепленими обмотками.

Застосування тих чи інших технічних засобів в конкретних випадках обґрунтовується технічними показниками і економічними розрахунками.

Висновки

В даний час можна говорити про наближення до корінного вирішення проблеми якості електроенергії. Це стане можливим лише при розробці економічно обґрунтованих норм, методів і засобів мінімізації рівнів показників якості електроенергії, рішення правових питань проблеми, а в країнах з перехідною економікою - при підйомі економіки.

Перелік посилань

1. Papaika Yu., Pivnyak G., Zhezhelenko I. (2018). Energetychna efektyvnist system electropostachannya. Dnipro. Dnipro University of Technology. 149 p.
2. Papaika Yu., Pivnyak G., Zhezhelenko I. (2016). Estimating economic equivalent of reactive power in the systems of enterprise power supply. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. № 5. 62-66.
3. Papaika Y., Lysenko O., Kosobudzki G. (2017). Power Quality and Resonances in Power Supply Systems with non-sinusoidal Loads. *Advanced engineering forum*, Trans Tech Publication, Switzerland. 143-150.
4. Pivnyak G. Normalization of voltage quality as the way to ensure energy saving in power supply systems / G. Pivnyak, I. Zhezhelenko, Yu. Papaika // "Energy Efficiency improvement of geotechnical systems", Taylor&Francis Group (A Balkema Book). – 2013. – P. 11-18.

5. Інтелектуальні електричні мережі і елементи та режими. За ред. акад. НАН України О.В. Кириленко. – Інститут електродинаміки НАН України, 2016, 400 стр.
6. Pivnyak G.G. Transients in Electric Power Supply Systems: textbook for students of higher educational institutions / G.G. Pivnyak, I.V. Zhezhelenko, Y.A. Papaika; under the editorship of Academician of National Academy of Sciences of Ukraine Professor G.G. Pivnyak. – Switzerland: TTP. – 2016 – 382 p.p.
7. Жежеленко И.В. Оценочные методы определения экономического эквивалента реактивной мощности / И.В. Жежеленко, Ю.А. Папаика, А.Г. Лысенко // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – 2017. – Вип. 98. – С. 3-6.
8. Электромагнитная совместимость потребителей: моногр / И.В. Жежеленко, А.К. Шидловский, Г.Г. Пивняк, Ю.С. Саенко, Н.А. Нойбергер. – М.: Машиностроение, 2012. – 351 с.
9. Огляд енергетичної галузі за 2017 рік. – Всеукраїнська енергетична асамблея (ВЕА), 2018 рік

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены вопросы проблемы качества электроэнергии в современных системах электро-снабжения предприятий. Проведен анализ качества в нескольких странах мира.

Цель статьи - оценка состояния качества напряжения в промышленных электрических сетях с учетом резкого роста несимметричных и нелинейных нагрузок и определение зависимости потерь электроэнергии от показателей экономического развития страны.

Методика. При исследовании был использован метод экспертных оценок и методы статистического анализа для определения средних значений потерь электроэнергии.

Результаты. Научное объяснение высоким уровням потерь электроэнергии в развивающихся странах объясняется нерешенностью проблемы качества напряжения и очень низкими значениями натурального коэффициента мощности в промышленных, распределительных и магистральных электрических сетях.

Научная новизна. В статье представлен анализ проблем качества электроэнергии на данный момент и описывается важность решения этих проблем. Решения основываются, главным образом, на изменении уровня гармоник, влияющие на энергосистемы, и таким образом улучшается качество электроэнергии. В статье проводится анализ комплексного ухудшения качества напряжения в электрических сетях при изменении характера электрической нагрузки.

Практическая значимость. Нахождение закономерностей потерь электроэнергии от ВВП страны. Исследования проводятся для промышленных систем электроснабжения. На основе исследования определяются первоочередные задачи для решения проблемы низкого качества напряжения в Украине.

Ключевые слова: качество электроэнергии, системы электроснабжения, высшие гармоники, потери электрической энергии.

ABSTRACT

The article considers the problem of electricity quality in modern power supply systems of enterprises. The analysis of quality in several countries of the world is carried out.

The purpose of the article is to assess the state of voltage quality in industrial electrical networks, taking into account the sharp increase in asymmetric and nonlinear loads and to determine the dependence of electricity losses on the indicators of economic development of the country.

Method. The method of expert estimations and methods of statistical analysis were used to determine the average values of electricity losses.

Results. The scientific explanation for the high levels of electricity losses in developing countries is due to the unresolved problem of voltage quality and very low values of the natural power factor in industrial, distribution and main electricity networks.

Scientific novelty. The article presents an analysis of electricity quality problems at the moment and describes the importance of solving these problems. The solutions are based mainly on changing the level of harmonics that affect the power systems, and thus improve the quality of electricity. The article analyzes the complex deterioration of voltage quality in electrical networks when changing the nature of the electrical load.

Practical significance. Finding patterns of electricity losses and GDP of the country. Research is conducted for industrial power supply systems. Based on the research, the priority tasks for solving the problem of low voltage quality in Ukraine are determined.

Key words: electricity quality, power supply systems, higher harmonics, electricity losses.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, професором Випанасенко С.І.