

УДК 621.311

### НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЯКОСТІ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

**А.Ф.Жаркін**, чл.-кор. НАН України, **В.О.Новський**, докт.техн.наук, **С.О.Палачов**, канд.техн.наук

**Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.**

**E-mail: [zhark@ied.org.ua](mailto:zhark@ied.org.ua)**

*Проаналізовано сучасний стан міжнародної та української нормативних баз, які встановлюють вимоги щодо показників якості напруги в електричних мережах з джерелами розосередженої генерації. На основі аналізу досвіду європейських країн запропоновано відповідні заходи, що сприятимуть широкому впровадженню в Україні джерел відновлюваної енергії різної потужності за умов забезпечення належної якості напруги. Бібл. 3.*

**Ключові слова:** якість напруги, джерела розподіленої генерації, гармонізовані стандарти.

Після того, як в Україні були введені підвищені («зелені») тарифи на електроенергію, яка виробляється за допомогою джерел відновлюваної енергії, почалося активне впровадження джерел розосередженої генерації (ДРГ). Наприклад, з 2011 р. по 2015 р. в Україні було введено в дію більше 60 вітро- та сонячних електростанцій, загальна потужність яких становить 970 МВт. Збільшення кількості і потужності ДРГ загостило проблему погіршення окремих показників якості напруги електропостачання внаслідок того, що до емісії завад від нелінійних і нестационарних навантажень додалася ще емісія завад від генеруючих установок [2]. Очевидно, що ГОСТ 13109-97 та ДСТУ EN 5016 встановлюють граничні норми для показників якості напруги електропостачання в точці передачі її кінцевому споживачу, які мають бути забезпечені, у тому числі і за наявності ДРГ, оскільки при цьому електроенергія розглядається як звичайний товар, що повинен мати певні характеристики під час його передачі від продавця покупцеві. Проте, коли в системі електропостачання є ДРГ, що належать різним власникам, зазначені характеристики не можуть бути досягнуті тільки зусиллями оператора мережі шляхом модернізації власного обладнання. Тому регулятор у галузі електроенергетики має встановити об'єктивні вимоги до відповідних характеристик ДРГ, дотримання яких є обов'язковою умовою для прийняття рішення оператором мережі щодо можливості приєднання генеруючого об'єкта до електричної мережі загального призначення.

Метою даної роботи є розробка пропозицій щодо впровадження в Україні досвіду європейських країн з нормативного забезпечення належної якості напруги в електричних мережах з ДРГ.

В Україні на цей час прийнято достатньо велику кількість нормативних документів у галузі застосування об'єктів вітро- та сонячної електроенергетики, однак вони, в основному, стосуються організаційних і фінансових аспектів їхнього підключення до електричної мережі. Проте технічні аспекти підключення, зокрема виконання вимог щодо якості електроенергії, представлені в них недостатньо детально. Наприклад, в існуючих Правилах підключення ВЕС встановлено єдиний критерій оцінювання якості електроенергії, що генерує станція будь-якої потужності. Згідно з цим критерієм в електричній мережі після підключення ВЕС якість електроенергії має відповідати нормам ГОСТ 13109-97. На практиці реалізація зазначеного критерію оцінювання є достатньо складною, оскільки вимагає обов'язкової участі представників електропостачальної компанії під час підключення ВЕС і довготривалого процесу вимірювань показників якості напруги в мережі до і після приєднання ДРГ. Така методика оцінювання може бути прийнятною тільки для приєднання одиничних ДРГ великої потужності і є занадто складною для масового впровадження ДРГ відносно малої потужності, що встановлюють безпосередньо для забезпечення потреб кінцевого споживача. Очевидно, що зазначений нормативний документ треба вдосконалити, що дозволить спростити процедуру приєднання ДРГ до електричної мережі.

На нашу думку, більш універсальним способом оцінювання допустимості приєднання до мереж низької та середньої напруги об'єктів ДРГ невеликої потужності (які, до речі, складають основну масу працюючих установок в Україні) могло б бути оцінювання показників якості генерованої енергії у термінах емісії струму завад. Це дозволить оцінити відповідність генеруючого обладнання встановленим вимогам міжнародних стандартів і інших документів ще до приєднання його до мережі на підставі відповідних характеристик обладнання, що вказують у сертифікатах виробники. У цьому випадку співробітники електропостачальної компанії звільняються від проведення складних розрахунків очікуваного рівня показників якості напруги.

Для визначення шляхів вдосконалення нормативно-технічної бази України в області забезпечення належної якості напруги в мережах з ДРГ видається доцільним провести аналіз відповідних міжнародних стандартів і національних документів провідних країн Європи. Відомо, що перелік показників, а також граничні норми якості напруги електропостачання в точці передачі її споживачу для країн Європи встановлено стандартом EN50160: 2010, який визначає відповідні нормативи для електричних мереж загального використання напругою до 150 кВ незалежно від того, приєднані до них об'єкти розосередженої генерації чи ні. У 2015 р. були опубліковані чергові зміни і доповнення до основного тексту стандарту EN50160: 2010 у вигляді окремого документа EN 50160: 2010/A1. У зазначеному документі зменшено граничні допуски на зміни напруги електропостачання

в низьковольтних мережах, встановлено максимальну кількість швидких змін напруги протягом доби, зменшена норма на показник довготривалого флікера для мереж напругою більше 35 кВ і встановлено показники короточасного флікера, змінено умови оцінки результатів вимірювань сумарного коефіцієнта гармонічних спотворень та коефіцієнта несиметрії напруги тощо. Крім стандарту EN50160 можна назвати ще чотири загальних стандарти в області якості напруги, які можна застосовувати для регламентування умов приєднання ДРГ. Так, єдність методик вимірювання показників якості напруги забезпечується трьома відомими міжнародними стандартами: IEC 61000-4-30: 2015, IEC 61000-4-7: 2002; IEC 61000-4-15: 2010, а вимоги до сучасних дистанційних систем збору та передачі даних визначаються у стандарті IEC 62008: 2005.

В той же час у європейських країнах діють нормативні документи, які враховують особливості застосування ДРГ. При цьому показники якості електроенергії, що генерують ДРГ, розглядаються в міжнародних і національних документах, які мають як обов'язковий, так і рекомендаційний характер. Крім того зазначені документи визначають вимоги до характеристик ДРГ в залежності від рівня напруги мережі, до якої вони приєднуються.

Для обладнання ДРГ відносно малої потужності, призначеного для приєднання до мереж низької напруги, можна спрогнозувати величину і частотну залежність імпедансу мережі в точці підключення, тому ці норми встановлені міжнародними стандартами і можуть бути забезпечені на етапі виготовлення пристрою [1]. Для ДРГ будь-якого типу з вихідним струмом до 16 А на фазу розроблено європейський стандарт EN 50438: 2013, а для ДРГ з вихідним струмом понад 16 А – Технічні специфікації CLC/TS 50549-1:2015. У цих документах зазначено, що до розроблення спеціальних стандартів для генераторів ДРГ останні повинні виконуватися відповідно до загальних вимог Директиви 2004/108/ЄС і гармонізованих стандартів зі списку до неї, які належать до низьковольтної апаратури з номінальним струмом до 75 А на фазу. В той же час схема проведення тестування генеруючого обладнання ДРГ є набагато складнішою, ніж наведено в зазначених гармонізованих стандартах, які розроблено для обладнання, що споживає електроенергію, і повинна додатково включати імітатор електричної мережі, вимірювач інжекції постійної складової вихідного струму, а також лінійне та нелінійне навантаження. Схему вимірювання характеристик ДРГ та пояснення щодо методики, яку рекомендує МЕК, наведено у технічному звіті IEC/TR 61000-3-15:2011.

Слід зазначити, що в гармонізованих стандартах для різного класу апаратури встановлено різні групи граничних норм з емісії гармонік, і зараз не існує єдиної думки, які з них слід застосовувати саме для ДРГ. Наприклад, EN 50438 і CLC/TS 50549-1 мають посилання на IEC/TR 61000-3-15. Зазначений технічний звіт рекомендує для обладнання ДРГ потужністю до 600 Вт застосовувати норми емісії гармонік струму для апаратури класу С стандарту IEC 61000-3-2, а для апаратури потужністю понад 600 Вт – відповідні норми стандарту IEC 61000-3-12. Однак для оцінки результатів вимірювань емісії гармонік струму під час типових випробувань, що є частиною процесу сертифікації ДРГ і передбачені IEC 61400-22, стандарт EN 50438 пропонує застосовувати норми IEC 61000-3-2 для апаратури класу А. Стандарт IEC 61727:2004 взагалі встановлює для об'єктів сонячної енергетики потужністю до 10 кВт власні норми з емісії гармонік струму. Внаслідок такої невизначеності провідні країни самостійно розробляють національні правила приєднання об'єктів ДРГ до мереж, в яких визначають конкретні норми з емісії завод і методику проведення відповідного тестування. Наприклад, у Німеччині в правилах VDE-AR-N 4105 для визначення вимог до гармонік струму об'єкта ДРГ застосовують норми IEC 61000-3-2 для апаратури класу А, а відповідне тестування проводиться у 10-х режимах: від 10% до 100% вихідної потужності. У Великобританії згідно з вимогами Інженерних рекомендацій G83/2 типове тестування обладнання ДРГ проводять для 2-х рівнів вихідної потужності і застосовують більш жорсткі норми. Зазначений документ передбачає спрощену процедуру приєднання ДРГ малої потужності до низьковольтної мережі, якщо обладнання має сертифікат відповідності його вимогам.

Для ДРГ, призначених для приєднання до розподільних мереж середньої напруги, у 2015 р. розроблено європейські Технічні специфікації CLC/TS 50549-2. При цьому щодо забезпечення EMC і якості напруги цей документ посилається на зміст EMC Директиви 2004/108/ЄС, однак стандартів до цієї Директиви, що містять норми емісії збурень у термінах струму, для такої апаратури не існує. Тому зазначені норми мають бути розроблені кожною країною самостійно. Як приклад, можна представити керівний документ Німеччини «Technische Richtlinie Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz», який визначає зазначені норми для цієї країни. Крім того для ДРГ великої потужності національними і міжнародними мережевими кодексами додатково встановлюються вимоги щодо генерування потужності під час суттєвих знижень напруги в мережі (характеристика  $LVRT$ ). Ці вимоги суттєво обмежують перелік типів пристроїв, що можуть їх виконувати, і на сьогодні забезпечуються шляхом використання вихідних напівпровідникових інверторів. З одного боку це призводить до поліпшення характеристик стійкості електричних мереж під час аварій і перевантажень, а з іншого – спричиняє зростання гармонік напруги, що треба враховувати додатково [3].

Для ДРГ, призначених для приєднання до розподільних мереж високої напруги, міжнародним документом, який встановлює вимоги щодо якості електроенергії, є тільки EMC Директива 2004/108/ЄС. У національних документах країн Європи є відповідні власні вимоги щодо забезпечення рівнів електромагнітної сумісності в мережі після приєднання до неї об'єкта ДРГ, причому для визначення можливості приєднання ДРГ до електричної мережі на етапі проектування станції проводиться комп'ютерне моделювання роботи всієї системи.

Слід зазначити, що в країнах ЄС широкого розповсюдження набула добровільна сертифікація обладнання ДРГ, яка проводиться авторитетними міжнародними центрами, що мають бездоганну репутацію. Завдяки наявності у обладнання ДРГ сертифікату про результати проведення типових випробувань потенційний власник ДРГ, а також оператор мережі мають інформацію щодо забезпечення задекларованих характеристик, що дозволяє спростити процедуру приєднання. В Німеччині з 2012 р. наявність сертифікату відповідності у об'єктів ДРГ є обов'язковою.

Для порівняння, в Україні на сьогодні діє тільки Технічний регламент з ЕМС, який вимагає для обладнання ДРГ дотримання норм гармонізованих стандартів з емісії завод. При цьому слід враховувати, що норми цих стандартів були розроблені МЕК тільки для низьковольтного обладнання з номінальним струмом до 75 А на фазу, виходячи з характеристик типових закордонних мереж. Тому дотримання обладнанням ДРГ міжнародних норм гармонізованих стандартів при їхньому підключенні до електричних мереж України автоматично не забезпечує належну якість напруги електропостачання [1]. Зазначене зауваження та проведений аналіз міжнародних нормативних документів спонукають нас до формування наступних пропозицій.

На нашу думку, для забезпечення належної якості напруги в електричних мережах України з ДРГ необхідно розробити низку нормативних документів різного ступеню складності. Зазначені документи є правилами приєднання ДРГ до розподільних мереж низької, середньої та високої напруги з урахуванням чинника якості електроенергії. У національних правилах приєднання ДРГ малої потужності до низьковольтної електричної мережі має бути запроваджена методика проведення типового випробування обладнання з визначенням параметрів якості генерованої електроенергії (яка враховує вимоги ІЕС/TR 61000-3-15), а також мають бути посилення на конкретні норми міжнародних гармонізованих стандартів з емісії завод. Для ДРГ, обладнання якого має сертифікат відповідності типовим випробуванням, у зазначених правилах треба передбачити спрощену процедуру приєднання. Для ДРГ, що приєднуються до мереж середньої напруги, мають бути визначені власні національні норми з емісії завод, що відповідають параметрам розподільних мереж України. Для зазначених ДРГ дотримання норм, визначених правилами приєднання, має бути підставою отримання дозволу на приєднання до електричної мережі. Для ДРГ великої потужності, що мають бути приєднані до мереж високої напруги, для отримання дозволу на приєднання треба за допомогою комп'ютерного моделювання проводити розрахунок рівня показників якості напруги, що очікуються в мережі після підключення ДРГ. Зазначені заходи дозволять забезпечити розвиток відновлюваної енергетики в Україні за умов забезпечення належної якості напруги електропостачання.

1. Жаркин А.Ф., Новский В.А., Палачев С.А. Нормативно-правовое регулирование качества электрической энергии. Анализ украинских и европейских законодательных актов и нормативно-технических документов. – К.: Институт электродинамики НАН Украины, 2010. – 167 с.

2. Зайченко В.Б., Олефір Д.О., Тихенко В.І. Забезпечення надійної роботи ОЕС України за умов істотного збільшення частки генерації ВЕС та СЕС // Електропанорама. – 2012. – №12. – С. 40-44.

3. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. Технічні аспекти впровадження джерел розподіленої генерації в електричних мережах // Технічна електродинаміка. – 2011. – №1. – С. 46-53.

УДК 621.311

#### НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С ИСТОЧНИКАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

А.Ф.Жаркин, чл.-кор. НАН Украины, В.А.Новский, докт.техн.наук, С.А.Палачев, канд.техн.наук

Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

Е-mail: [zhark@ied.org.ua](mailto:zhark@ied.org.ua)

*Рассмотрено современное состояние международной и украинской нормативных баз, устанавливающих требования по показателям качества напряжения в электрических сетях с источниками рассредоточенной генерации. На основе анализа опыта европейских стран предложены соответствующие меры, способствующие широкому внедрению в Украине источников возобновляемой энергии различной мощности при условии обеспечения надлежащего качества напряжения. Библи. 3. Ключевые слова:* качество напряжения, источники распределенной генерации, гармонизированные стандарты.

#### TECHNICAL REGULATION OF VOLTAGE QUALITY IN ELECTRICAL GRIDS WITH SOURCES OF DISTRIBUTED GENERATION

A.F.Zharkin, V.O.Novsky, S.O. Palachov

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

Е-mail: [zhark@ied.org.ua](mailto:zhark@ied.org.ua)

*The object of analysis is current state of Ukrainian and international regulations concerning voltage quality in power grids with distributed generation. The analysis of European experience suggests measures that will contribute to broad implementation in Ukraine of renewable energy electric generators without compromising the voltage quality in power grids. References 3.*

**Key words:** voltage quality, sources of distributed generation, harmonized standards.

1. Zharkin A.F., Novsky V.O., Palachov S.O. Laws and regulations related to quality of electric energy. Analysis of the Ukrainian and European legislation and regulatory documents. – Kyiv: Institut Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy, 2010. – 167 p. (Rus)

2. Zaychenko V.B., Olefir D.O., Tikhenko V.I. Providing reliable operation of UES of Ukraine in conditions of substantial increasing the share of wind and solar electric power stations // Elektropanorama. – 2012. – No 12. – Pp. 40-44. (Ukr)

3. Kyrylenko O.V., Pavlovskiy V.V., Lukianenko L.M. Technical aspects of adoption of distributed generation sources in electric mains // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2011. – No 1. – Pp.46-53. (Ukr)

Надійшла 17.03.2016

Остаточний варіант 23.03.2016