

УДК 621.311:681.3

Б.С.Стогній, академік НАН України, **О.В.Кириленко**, академік НАН України (Інститут електродинаміки НАН України), **С.П.Денисюк**, докт.техн.наук (Нац. техн. університет України «КПІ»)

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЇХНЄ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Розглянуто проблеми, що пов'язані з розвитком електроенергетики в сучасних умовах. Проведено аналіз концепції Smart Grid та особливостей її розвитку. Визначено основні технологічні та технічні складові реалізації цієї концепції. Досліджено проблему визначення найбільш прийнятних рішень для реалізації платформи Smart Grid в Україні з урахуванням тих напрацювань, що знайшли впровадження в електричних мережах.

Рассмотрены проблемы, связанные с развитием электроэнергетики в современных условиях. Проведен анализ концепции Smart Grid и особенностей ее развития. Определены основные технологические и технические составляющие данной концепции. Исследована проблема определения наиболее приемлемых решений для реализации платформы Smart Grid в Украине с учетом тех наработок, которые нашли внедрение в электрических сетях.

Електроенергетика – одна із галузей, що динамічно розвивається та постійно технологічно переоснащується. Особливістю організації її функціонування є створення потужних енергооб'єднань з зосередженою генерацією, розвинутою мережею розподілу електроенергії та організацією керування як генерацією, так і споживанням. Це дозволяє забезпечувати надійність електропостачання, підвищувати ефективність роботи завдяки можливості більш повного завантаження електростанцій за рахунок об'єднання споживачів. До недавнього часу домінуючий шлях розвитку електроенергетики був пов'язаний з введенням у дію нових, більш досконалих генеруючих потужностей, розширенням мереж передачі електроенергії, створенням все більш потужних енергооб'єднань та удосконаленням систем керування. На найближчу перспективу він повинен дещо змінитися.

Ціла низка факторів, серед яких, з одного боку, подальше економічне зростання, що нерозривно пов'язане зі збільшенням обсягу енергоспоживання і підвищенням вимог до якості і рівня надійності енергопостачання, а з іншого – значний негативний вплив електроенергетики на навколишнє середовище та проблеми зі створенням потужного енергетичного обладнання, призвели до необхідності визначення нової концепції розвитку електроенергетики. Якщо говорити більш детально, то мова йде про цілий ряд факторів. По-перше, розвиток генерації за рахунок використання традиційних технологій призводить до значного погіршення екологічної ситуації (World Energy Outlook (WEO) 2009 р.) та збільшення споживання органічного палива і, відповідно, скорочення його запасів та зростання ціни. По-друге, з'явилися нові тенденції в генераторобудуванні (перехід до створення енергоблоків потужністю до 600 МВА [22], оскільки блоки потужністю 800–1200 МВт мають недостатню надійність та ефективність функціонування). По-третє, створення енергетичних систем з розподіленою генерацією. Такі системи орієнтовані на сумісне використання потужного генераторного обладнання та відновлюваних джерел енергії, функціонування яких суттєво відрізняється. Крім того, слід відзначити недосконалість систем керування в електроенергетиці, що призводить до підвищення рівня аварійності в електроенергетичних системах [18,19]. І, нарешті, значне зношення основного і допоміжного електроенергетичного обладнання та недостатній рівень розвитку електричних мереж. Наведені міркування свідчать про необхідність невідкладного прийняття кардинальних заходів і, в першу чергу, формування нової стратегії розвитку електроенергетики. При цьому запропоновані рішення не повинні вимагати значних одномоментних капітальних вкладень, порівняно швидко давати реальну віддачу і орієнтуватися на найбільш передові технології. У зв'язку з цим у США, а потім і у Європейському Союзі (ЄС) прийнято нову ідеологію розвитку електроенергетики на основі концепції

Smart Grids. Нова платформа енергозабезпечення в ЄС має назву European Technology Platform Smart Grids [27–32].

Відповідно до [8,13,17,23–32] технологічна платформа Smart Grid – це «електричні мережі, які відповідають вимогам ефективного та надійного функціонування енергосистеми. Це забезпечується за рахунок скоординованого керування та організації двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, електричними станціями, акумулюючими джерелами і споживачами». Вважається, що Smart Grid розробляється, перш за все, для забезпечення надійної та ефективної інтеграції електростанцій з відновлюваними джерелами енергії (вітер, сонце, малі ГЕС та інші з їхніми погано передбачуваними режимами роботи) в традиційні енергосистеми.

У подальшому це визначення певною мірою трансформувалося. У цілому термін Smart Grid трактується сьогодні як концепція іноваційного перетворення електроенергетики. Це обумовило перегляд ряду існуючих базових принципів модернізації галузі [13,23,27–32].

1. Системна модернізація галузі стосується всіх її складових – генерації електроенергії, передачі і розподілу, збуту і диспетчеризації.

2. Енергетична система розвивається як «інтернет-подібна» інфраструктура, що забезпечує підтримку енергетичних, інформаційних, економічних і фінансових взаємин між суб'єктами енергетичного ринку та іншими зацікавленими сторонами.

3. Електрична мережа розглядається як основний об'єкт формування нового технологічного базису, який дає можливість створення нових функціональних властивостей енергосистеми, що забезпечують досягнення ключових цілей. Ці цілі визначаються спільно всіма суб'єктами цього процесу.

4. Формування концепції передбачає весь комплекс робіт – від попередніх досліджень до широкого впровадження іновацій і виконується на науковому, нормативно-правовому, технологічному, технічному, організаційному, інформаційному рівнях та рівні керування.

5. Реалізація концепції має іноваційний характер і передбачає перехід на новий технологічний уклад в електроенергетиці та в економіці в цілому, що визначається як економіка сталого розвитку.

У рамках розвитку концепції Smart Grid різноманітні вимоги усіх зацікавлених сторін зведено до групи так званих ключових цінностей нової електроенергетики, сформульованих як доступність, надійність, економічність, ефективність, органічний зв'язок з навколишнім середовищем [14].

Спираючись на зазначені положення, програми з розвитку концепції Smart Grids вже прийняли багато країн світу. Це стосується, в першу чергу, США, країн ЄС, Китаю. Висвітлені проблеми є і в Україні, і тому формування власної концепції Smart Grids для нас є обов'язковим. Крім того, слід зазначити, якщо розвиток електроенергетики України буде базуватися на старій ідеології, то вона не зможе інтегруватися ні з Європою, ні навіть з Росією, що неприпустимо. З нашої точки зору, для України найбільш близька концепція, яка була прийнята в США і зараз позитивно сприймається і використовується Росією. Її можна сформулювати як концепцію побудови повністю інтегрованої, саморегульованої і самовідновлюваної електроенергетичної системи (ЕЕС), що має мережеву топологію і об'єднує всі генеруючі джерела, магістральні і розподільчі мережі та всі види споживачів електричної енергії, які керуються єдиною мережею автоматизованих пристроїв в реальному часі. В цілому, мова йде про створення інтелектуальних електричних мереж (ІЕМ) ЕЕС. Передбачається проведення комплексу організаційних змін, побудова нових моделей процесів, залучення нових рішень у галузі інформаційних технологій, а також іновацій у сфері створення автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП) і реформування диспетчерського керування. Значною мірою концепція перебудови енергетики України буде близькою до концепції перебудови єдиної енергосистеми (СЕС) Росії, яка відрізняється від інших значною територією паралельної роботи, конфігурацією електричних мереж і централізацією оперативного керування більшою частиною електроенергетики країни. Як перспектива розвитку СЕС Росії розглядається створення електроенергетичних систем з активно-адаптивною мережею [6,8,23].

Особливої актуальності в Україні, враховуючи її велику енергетичну залежність, набуває питання розвитку відновлюваних джерел енергії. За старої концепції розвитку енергетики масове підключення до мережі ОЕС України багатьох розподілених джерел енергії практично неможливе. В той же час створення ІЕМ тільки певною мірою дозволить вирішити існуючі в Україні проблеми енергетичних регіонів з їхнім дефіцитом генерації, з «запертими» потужностями, зі слабкими перетинами. До цього треба додати, що технічні рішення побудови електричної мережі України мають ряд відмінностей від прийнятих у світі та дещо іншу законодавчо-нормативну базу, що теж повинно враховуватися при створенні концепції Smart Grids в Україні.

Таким чином, якщо викладені положення взяти за основу формування шляху розвитку енергетики нашої країни, то слід зазначити, що концепція Smart Grid стосується всієї ОЕС України – від магістральних мереж і до рівня споживача. Реалізація ключових вимог побудови ІЕМ ЕЕС буде здійснюватися шляхом вдосконалення традиційних і створення принципово нових характеристик енергосистеми. При цьому отримають розвиток ряд нових властивостей електроенергетики:

1. Самовідновлення при аварійних збуреннях. Енергосистема та її елементи постійно підтримують свій технічний стан на необхідному рівні за допомогою ідентифікації ризиків, їхнього аналізу та переходу від керування за фактом збурення до попередження аварійного пошкодження елементів мережі.

2. Мотивація активної поведінки кінцевого споживача. Користувачі енергії набувають можливість самостійно змінювати обсяг і споживчі характеристики (рівень надійності, якості і т.п.) на основі визначення балансу своїх запитів і можливостей енергосистеми з використанням інформації щодо параметрів цін, обсягів генерації, надійності енергопостачання та ін.

3. Опір негативним впливам. Застосування спеціальних методів, що знижують фізичну та інформаційну вразливість всіх складових ЕЕС і сприяють як запобіганню, так і швидкому відновленню її після аварій відповідно до вимог енергетичної безпеки.

4. Забезпечення надійності енергопостачання та якості електроенергії в різних цінових сегментах. Трансформація системоорієнтованого підходу у клієнтоорієнтований.

5. Використання різноманітних типів електростанцій і пристроїв акумулювання електроенергії (розподілена генерація). Оптимальна інтеграція генеруючих і акумулюючих потужностей в енергосистемі, підключення за допомогою стандартизованих процедур технічного приєднання, впровадження «мікроенергосистем» (Microgrid) на рівні користувачів.

6. Реформування ринків потужності та енергії аж до включення у їхню діяльність кінцевого споживача. Відкритий доступ на ринки електроенергії так званого «активного споживача» і розподіленої генерації з метою підвищення результативності та ефективності роздрібного сегменту.

7. Оптимізація керування активами. Перехід до віддаленого моніторингу функціонування виробничих фондів у режимі реального часу; інтеграція такого моніторингу в корпоративні системи керування для підвищення ефективності роботи, вдосконалення процесів експлуатації, ремонту, заміни устаткування і, як наслідок, зниження загальних витрат.

Передбачається, що технології Smart Grid повинні забезпечувати оптимальний розподіл потоків потужності електричної мережі, зменшення втрат у ній, швидко скоординовану реакцію при аваріях, можливість об'єднання в єдину енергосистему як великих електростанцій, так і сучасних відновлюваних джерел енергії. Ефективність технології визначається автоматизацією прийняття рішень з керування, підвищенням оперативності керування нормальними і аварійними режимами. Все це пов'язано з показниками ефективності енергокомпаній – якістю і надійністю електропостачання при оптимізації власних витрат та потребує від первинного обладнання якісно нового рівня інформатизації. Істотно розширяться вимоги до кількості вимірюваних сигналів і телекомунікаційних інтерфейсів. Одним із суттєвих наслідків поширення технологій Smart Grid стане та обставина, що з часом всі промислові і побутові енергоприймачі набудуть здатності до взаємодії в інформаційній мережі, стануть керованими і будуть виконувати функції вимірювання власного споживання електроенергії та потужності.

Що стосується подальшого розвитку ОЕС України, то він пов'язаний, в першу чергу, з реалізацією нових підходів, коли основна роль приділяється впровадженню нових технологій, зокрема FACTS, та створенню адаптивного електротехнічного мережевого обладнання, розвитку електричних мереж з розподіленою генерацією як структури, що забезпечить надійність і ефективність функціонування та зв'язок генерації і споживачів, створенню нового покоління систем автоматизації електроенергетичних об'єктів – АСК ТП та ін. Реалізація такої концепції істотно підвищить надійність та економічність функціонування і розвитку енергосистеми, поліпшить якість обслуговування споживачів при здешевленні електроенергії.

У табл. 1, 2 наведено порівняльний аналіз традиційної та інтелектуальної ЕЕС. Причому табл. 1 висвітлює різницю за окремими показниками, в той час як табл. 2 представляє характеристики реалізації ряду технологічних процесів.

Вибір технічних засобів відіграє вирішальну роль у реалізації концепції Smart Grid [3,7,10,11,22–26]. У цілому ж можна говорити про п'ять груп основних технологічних областей, в рамках яких передбачається реалізація концепції побудови ІЕМ [10,11,13,27,31].

По-перше, – це група, до якої входять інтелектуальні давачі інформації, контрольно-вимірю-

вальні засоби, прилади обліку та відповідні пристрої. Мова йде про прилади вимірювання параметрів мережі в нормальних, передаварійних, аварійних і післяаварійних режимах роботи, засоби контролю стану об'єктів, що забезпечують роботу систем моніторингу, контролю, діагностування і керування, та інтелектуальні лічильники.

Таблиця 1

№		Традиційна	Інтелектуальна
1.	Електрозабезпечення	Централізована генерація та розподіл	Розподілена генерація та власні джерела живлення
2.	Топологія мережі	Радіальна	Мережева
3.	Організація обслуговування	Діагностування та планові ремонти	Віддалений моніторинг та ремонти за станом
4.	Організація диспетчерського керування	Системоорієнтоване, автоматизоване та ручне	Клієнтоорієнтоване, в реальному часі, АСК ТП
5.	Надійність	Локальні системи захисту та автоматики, відновлення – практично вручну	Адаптивні розподілені системи захисту, самовідновлення та секціонування
6.	Інформаційно-вимірювальні системи та комунікації	Локальні давачі та лічильники, потоки інформації від споживача	Розподілені, інтелектуальні, потоки інформації – двонаправлені
7.	Оцінка ситуації	За фактом	Прогнозування та попередження виникнення
8.	Ринок електроенергії	Ринок потужності та енергії	Ринок енергії, відмова від ринку потужності

Друга група об'єднує системи збору та передачі даних, що містять розподілені інтелектуальні пристрої та аналітичні інструменти для підтримки комунікацій на рівні об'єктів енергосистеми, які працюють у режимі реального часу. Це операційні засоби, що реалізують функції збору, контролю і моніторингу, діагностування та видачі рекомендацій, організації взаємодії з корпоративними системами та оперативним персоналом. Як приклад, можна виділити інформаційно-вимірювальні системи (SCADA), системи вимірювання параметрів процесів, що протікають (AMOS), розподілену систему контролю процесів генерування (DGMS), розподілену систему моніторингу і контролю попиту (DMCS) та ін.

До *третьої групи* належать інтелектуальні автоматизовані системи керування об'єктами (АСК ТП), інтегровані системи організації вимірювання і обліку споживання електроенергії, телекомунікаційні системи на базі різноманітних ліній зв'язку та системи візуалізації, системи моніторингу перехідних режимів (WAMS), розподілені системи захисту і протиаварійної автоматики (WAPS) та ін.

Четверту групу складають активні силові елементи та технології, такі як гнучкі системи передачі змінного струму (FACTS), технології регулювання реактивної потужності, розподіленої генерації, накопичення енергії, нове кабельне обладнання, елементи силової електроніки, комутаційне обладнання та ін.

Об'єднуючою складовою є *п'ята група*, до якої входять системи та інформаційні технології, що забезпечують обмін даними та інформацією для забезпечення функціонування всіх засобів, що ввійшли до чотирьох груп та ринку електричної енергії.

Таблиця 2

№	Технологія	Характеристика
1.	Генерування	Інтеграція відновлюваних джерел в ЕЕС, розподілена генерація з використанням накопичувачів електроенергії, інтелектуальні системи контролю, діагностування та керування.
2.	Передача	Нові технології та засоби контролю, моніторингу та керування режимами (FACTS, PMU, WAMS, WACS та ін.). Інтелектуальні адаптивні системи захисту та автоматики (з функцією автоматичного відновлення живлення).
3.	Об'єкти	АСК ТП у повному обсязі.
4.	Розподіл та споживання	Мережева структура, розподілені системи керування, захисту та автоматики (з функцією відновлення живлення та секціонування). Інтелектуальні системи контролю та обліку електроенергії, регулювання електроспоживання та керування навантаженням (у т.ч. в аварійних ситуаціях), функції “активного споживача” – керування електроспоживанням.

Головне в матеріальній реалізації концепції інтелектуальних мереж – її технічна та технологічна платформа. Це технології та пристрої генерування малої та середньої потужності, до складу яких входять відновлювані джерела енергії. Використання таких джерел в енергосистемі призводить до переходу від централізованої генерації до розподіленої, що значною мірою впливає практично на всі характеристики ЕЕС з інтелектуальними мережами. Для України – це питання майбутнього, хоч перші напрацювання вже знаходять своє застосування. Проте без відповідної нормативно-правової підтримки альтернативні джерела на даний час не можуть конкурувати з вуглеводневими та атомними джерелами енергії.

Слід також виділити активні елементи [5,9,15–17], такі, як пристрої та технології, що дозволяють гнучко змінювати характеристики мережі чи реалізувати перетворення електроенергії з метою оптимізації режимів роботи. Мається на увазі збільшення пропускної спроможності, зменшення технологічних втрат, забезпечення відповідних показників якості електричної енергії та ін. В першу чергу, – це засоби та технології, що застосовуються для створення гнучких ліній передачі змінним струмом. За різними оцінками застосування обладнання FACTS дозволяє збільшити пропускну здатність відповідних перетинів до 20% та зменшити технологічні втрати до 40%. Крім того, до цієї групи належать силові технічні засоби, що налічують більше двох десятків різноманітних пристроїв для регулювання реактивної потужності і напруги, параметрів мережі, обмеження струмів КЗ, накопичення електричної енергії, перетворення струму (змінного в постійний і навпаки), комутаційне обладнання нового покоління та ін.

Нове покоління засобів інформаційно-вимірювальних систем, автоматизації та автоматики, які працюють в реальному часі і дозволяють вирішувати задачі керування електроенергетичними об'єктами (АСК ТП), контролю та керування електроживленням, релейного захисту та протиаварійної автоматики, моніторингу та діагностування стану технологічного обладнання, належать до наступної групи. Головне призначення обладнання цієї групи – це реалізація режимів роботи електричних систем та мереж у відповідності до умов роботи ринку електричної енергії, попередження та мінімізація наслідків аварійних ситуацій.

І зрештою, – інформаційно-технологічне обладнання, системи та IP забезпечення центрів керування ЕЕС, які здійснюють координацію режимів роботи електричних мереж з урахуванням їхніх нових можливостей. Йдеться про використання розподіленої генерації, активного мережевого обладнання та підстанційної і станційної автоматики. Фактично буде реалізовано принципово нову технологію керування ЕЕС у реальному часі з урахуванням особливостей функціонування ринків електричної енергії.

Одна з ключових позицій у процесі реалізації ідеології Smart Grid та створення ІЕМ [12, 14–16, 23, 25, 26] належить силовій електроніці. Це стосується задач забезпечення функціонування адаптивних силових елементів, вирішення проблем енергозбереження та енергоефективності. Силова електроніка робить енергосистему не тільки більш гнучкою в керуванні та стійкою до різного роду збурень, але і дозволяє значно знизити втрати електроенергії при роботі з частковим навантаженням (оптимізація шляхів передачі енергії), знизити капітальні витрати за рахунок можливості введення менших потужностей. При цьому відкриваються нові можливості у забезпеченні оптимальних параметрів робочих режимів ЕЕС та їхніх електричних мереж за рахунок застосування нових силових пристроїв та технологій.

Висновки.

Розвиток електроенергетики екстенсивним шляхом, тобто шляхом нарощування її потужностей за рахунок використання нового, навіть більш досконалого обладнання, не має перспективи через низку причин як технологічного характеру (нинішні мережі сьогодні не можуть успішно інтегрувати різні відокремлені джерела енергії і сучасні традиційні джерела генерації, крім того, навіть досить досконалі енергетичні системи провідних країн світу нерідко зазнають серйозних системних аварій з втратами в сотні мільйонів і мільярди доларів), так і економічного характеру (нинішній стан розвитку енергетики не може створити умови для повноцінного використання переваг ринку електричної енергії).

Всі ці проблеми стосуються й України, і тому прийняття концепції розвитку Smart Grids для нас є вкрай необхідним. Крім того, для України надзвичайно гострою є проблема енергозбереження та енергоефективності, яку неможливо вирішити без впровадження інтелектуальних мереж, зокрема, без інтелектуальних лічильників, систем керування електроживленням, досконалих систем регулювання електроприводу та ін. Враховуючи нашу досить суттєву енергетичну залежність від інших країн, вкрай важливо в Україні розвивати відновлювані та альтернативні джерела енергії.

В Україні вже створено певні умови для реалізації концепції Smart Grid. Що стосується наукового забезпечення, то потенціал України достатній для того, щоб вирішувати практично всі питання [9–11,20,21,24]. Перспективними вважаються дослідження з застосування в ЕЕС надпровідних індуктивних накопичувачів енергії (НППН) [1]. Виконано розрахунки, які показали, що застосування НППН як засобу забезпечення динамічної стійкості призводить до підвищення рівня живучості ЕЕС шляхом реалізації процесу аварійного виділення електростанції на локальний район навантаження. На реальних прикладах визначено діапазони енергоємності накопичувачів, які необхідні для вирішення цих задач.

Підвищення економічності передачі електроенергії передбачає посилення керованості ліній змінного струму з регулюванням потоків активної і реактивної потужності. Такими засобами можуть бути системи гнучкого керування на основі систем силової електроніки (FACTS) [21], статичні керовані компенсатори, асинхронізовані синхронні генератори [2], які використовуються як джерела реактивної потужності.

В той час як в Україні науково-технічні рішення вже повністю розроблені, організація виробництва технічних засобів є тільки частковою. Найскладніша ситуація з силовим обладнанням. З двох десятків найменувань на сьогодні маємо виробництво лише декількох пристроїв (керовані шунтувальні реактори, синхронні та асинхронізовані компенсатори, фазорегулюючі трансформатори та деякі інші). Останнім часом на електростанціях і підстанціях розширюється впровадження незаймистих силових і контрольних кабелів, причому використовується новий тип кабелів і проводів із синтетичною ізоляцією [24].

Що стосується інформаційної техніки та технологій, то Україна практично повністю готова до вирішення всіх завдань. Створено і широко впроваджено первинні і вторинні датчики та прилади для потреб енергетики від зразкових до робочих, інформаційні системи на базі комплексу «Регіна», які забезпечують практично всі сучасні завдання інформатизації електроенергетики: моніторинг усіх режимів, контроль, діагностику. На базі комплексу «Регіна» створено також локальні мережі об'єктів, автоматизована система керування підстанціями та розподільними пристроями станцій, у тому числі напругою 750 кВ, автоматика південної частини енергосистеми України, комплекси для оперативно-диспетчерського керування енергосистемами та ОЕС України [8], одержано інші важливі наукові, технічні та технологічні рішення світового рівня, необхідні для створення інтелектуальних мереж. Особливо слід наголосити на створенні та впровадженні комплексу «Регіна-Ч» для точного вимірювання векторів напруги та частоти в енергосистемі з високоточною синхронізацією цих вимірів у часі за допомогою супутникової системи GPS [20]. На їхній основі розпочато створення сучасної технології і системи моніторингу (WAMS) [20] та технології керування електропередачами в режимі *on-line* (WACS) [4].

Першим кроком на шляху переходу електроенергетики України до реалізації ідеології Smart Grid та створення ІЕМ ЕЕС має бути уточнення Стратегії розвитку енергетики України до 2030р. з урахуванням викладених положень.

1. Авраменко В.М., Арістов Ю.В., Васецький Ю.М., Мазуренко І.Л., Черненко П.О. Деякі області ефективного використання надпровідних індуктивних накопичувачів (НППН) в енергетичних системах України // Техн. електродинаміка. Тем. випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – 2008. – Ч.3. – С. 43–48.
2. Аллаев К.Р., Федоренко Г.М., Остапчук Л.Б. Асинхронные турбогенераторы в электроэнергетических системах // Техн. електродинаміка. – 2009. – № 2. – С. 58–62.
3. Алексеев Б.А. Планы повышения эффективности использования электроэнергии в Европе: роль силовой электроники // Энергоэксперт. – 2009. – № 6. – С. 82–84.
4. Бондарева Н.В., Грбовой А.А. Опыт синхронных векторных измерений в ОЭС Востока // Электрические сети и системы. – 2007. – № 3. – С. 9–15.
5. Вариводов В.Н., Козлов М.В., Новиков Н.Л., Шакарян Ю.Г. Новые технологии для российских компаний // Электро. – 2008. – № 4. – С. 2–8.
6. Ворожжихин В.В. Роль распределенной энергетики в России // Электрика. – 2009. – № 2. – С. 25–26.
7. Гринштейн Б.И. Мощные высоковольтные полупроводниковые преобразователи общепромышленного и электроэнергетического назначения // Изв. РАН. Энергетика. – 2005. – № 3. – С. 85–104.
8. Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России // Энергоэксперт. – 2009. – № 4. – С. 28–34.
9. Жуков В.В., Минеин В.Ф. Проблемы мировой электроэнергетики в предпочтительной тематике док-

ладов сессии СИГРЭ 2010 г. // Пром. энергетика. – 2009. – № 9. – С. 55–59.

10. Кириленко О.В., Жуйков В.Я., Денисюк С.П., Рибіна О.Б. Системи силової електроніки та методи їх аналізу. – К.: Текст, 2006. – 488 с.

11. Кириленко А.В., Прихно В.Л., Черненко П.А. Разработка иерархического оперативно-управляющего комплекса и внедрение его в энергообъединения Украины // Наука та інновації. – 2008. – №6. – С. 12–25.

12. Кириленко О.В., Якименко Ю.І., Жуйков В.Я., Денисюк С.П., Стржелецьки Р. Силовая электроника: стан використання, наукове і технологічне забезпечення, перспективи розвитку в XXI столітті // Техн. електродинаміка. Тем. вип. «Проблеми сучасної електротехніки». – 2004. – Ч.1. – С. 58–71.

13. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Smart Grid. Концептуальные положения // Энергорынок. – 2010. – № 3. – С. 66–72.

14. Ковалев В.Д., Ивакин В.Н., Фотин В.П. Новые технологии и перспективы развития электроэнергетики // Электричество. – 2006. – № 9. – С. 8–14.

15. Кочкин В.И. Традиционные и новые технологии управления режимами работы электрических сетей на основе устройств силовой электроники // Электротехника. – 2009. – № 6. – С. 3–14.

16. Кочкин В.И., Шакарян Ю.Г. Режимы работы управляемых линий электропередачи // Электричество. – 1997. – № 9.

17. Кудрин Б.И. «Промышленная энергетика» и электрическое хозяйство // Пром. энергетика. – 2009. – № 8. – С. 2–9.

18. Обсуждение проблем надежности и безопасности в электроэнергетике // Энергетик. – 2005. – № 8. – С. 9–10.

19. Проблемы надежности и безопасности энергоснабжения в условиях либерализации и дерегулирования в электроэнергетике // Энергетик. – 2005. – №8. – С. 2–8.

20. Стогний Б.С., Буткевич А.Ф., Зорин Е.В., Левколюк А.В., Чижевский В.В. Проблемно-ориентированный мониторинг режимов энергообъединения // Техн. електродинаміка. – 2008. – № 6. – С. 52–59.

21. Стогний Б.С., Кириленко О.В., Павловський В.В. Підвищення пропускної здатності «слабких» перетинів енергосистем з використанням технології Гнучкої передачі змінним струмом (ГПЗС, FACTS) // Техн. електродинаміка. – 2009. – № 2. – С. 63–68.

22. Федоренко Г.М., Кенцицький О.Г. Науково-методичні засади оптимізації структури генеруючих потужностей в електроенергетиці України // Гідроенергетика України. – 2009. – № 1. – С. 7–10.

23. Шакарян Ю.Г., Новиков Н.Л. Технологическая платформа Smart Grid (основные средства) // Энергоэксперт. – 2009. – № 4. – С. 42–49.

24. Щерба А.А., Перетятко Ю.В., Золотарев В.В. Самонесущие изолированные и высоковольтные защищенные провода. – Киев: РИО ИЭД НАНУ, 2008. – 288 с.

25. Akagy H. Large static converters for industry and utility applications // Proc. IEEE. – June 2001. – Vol. 89. – Pp. 967–983.

26. Bose B.K. Power Electronics – Why the Field is so Exciting // IEEE Power Electronics Society Newsletter. – 2007. – Vol. 4. – Pp. 11–18.

27. European Smart Grids Technology Platform: vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. – European Commission, 2006. – 44 p.

28. Grid 2030: A National Version for Electricity's Second 100 Years. – Office of Electric Transmission and Distribution United State Department of Energy, July 2003.

29. Lachsetal W.R. Power system control in the next century // IEEE Transmission on Power Systems. – 1996. – № 1. – Vol. II.

30. The National Energy Technology Laboratory: A vision for the Modern Grid, March 2007.

31. Smart Power Grids – Talking about a Revolution // IEEE Emerging Technology portal, 2009.

32. World Energy Outlook 2009. – International Energy Agency (IEA), Paris, 2009.

Надійшла 19.10.2010