

УДК 621.31

## ЕВОЛЮЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА ЇХНІ ПЕРСПЕКТИВИ В УКРАЇНІ

Б.С.Стогній<sup>1</sup>, академік НАН України, О.В.Кириленко<sup>1</sup>, академік НАН України, **А.В.Праховник<sup>2</sup>**,  
докт.техн.наук, С.П.Денисюк<sup>2</sup>, докт.техн.наук

<sup>1</sup> – Інститут електродинаміки НАН України, пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна,

<sup>2</sup> – Національний технічний університет України «КПІ», пр. Перемоги, 37, 03056, Київ, Україна.

*Розглянуто сучасні тенденції розвитку світової енергетики та формування основ «електричного світу». Визначено основні положення сучасної концепції Smart Grid, особливості реалізації концепції «розумна ефективність» та політики щодо реалізації концепції Smart Grid в провідних країнах світу. Висвітлено особливості еволюції інтелектуальних електричних мереж, перспективні форми та напрямки розвитку Smart Grid технологій, їхні реалізації в Україні. Бібл. 22, табл. 3.*

**Ключові слова:** світова енергетика, електричний світ, Smart Grid, інтелектуальні електричні мережі, інформаційно-комунікаційні технології, силова електроніка.

**Вступ.** На початку XXI ст. здійснюється принципове переосмислення енергетичної політики в енергетично розвинених країнах світу у зв'язку з переходом від «індустріальної» фази розвитку економіки і суспільства до «постіндустріальної», «інформаційної», «суспільства знань». Енергетична політика підпорядковується екологічним і соціальним вимогам, вимогам економічної і організаційної стійкості та безпеки. Ключовими вимогами до нової енергетики XXI ст. стали: доступність, надійність, економічність, ефективність, гармонія з навколишнім середовищем, безпека.

У світі відбулися значні зміни щодо стратегії розвитку енергетики, які відповідають вимогам забезпечення сталого розвитку. Так, змінилися домінуючі види енергії: вугілля – до 1930 р., нафта – 1930–1970 рр.; атомна енергія – після 1970 р.; газ – після 1970 р.; нетрадиційні та відновлювані джерела енергії (НВДЕ) – після 2010 р. Головний наголос було зроблено щодо нерозривності та узгодженості дій при забезпеченні трьох складових: *енергозабезпеченні* (безперерйне постачання електричною енергією відповідної якості), *енергодоступності* (енергоощадність та доступна ціна на електроенергію) та *енергоприйнятності* (мінімальний вплив на навколишнє середовище) [10–12]. Ці складові розглядаються як основа для досягнення глобальної мети – забезпечення стабільного розвитку, що гарантує стале зростання економіки, рівня життя населення, захист навколишнього середовища. Як заявив секретар ООН Пан Гі Мун на відкритті V Міжнародного саміту енергії майбутнього, який проходив 16–19 січня 2012 року в м.Аду Дабі (Об'єднані Арабські Емірати), 2012 рік визначено Міжнародним роком сталої енергетики.

### **Нові тенденції розвитку світової енергетики; формування основ «електричного світу».**

Розвиток, з одного боку, комп'ютерних технологій та можливостей Інтернет, поява останніх досягнень в області інформаційних та мережевих технологій (ІМТ), інформаційно-керуючих систем (ІКС) на базі мікропроцесорної та силової електроніки, а з іншого – розвиток ринкових відносин в енергобізнесі обумовили якісно новий стрибок у ефективності енергоспоживання, стали передумовою розвитку нового виду енергетики – інтелектуальної. Набула широкого розвитку концепція «розумної ефективності», яка відображає інтелектуальну взаємодію ціноутворення, виробничих процесів і ефективного використання ресурсів, що втілилася в енергетиці в концепцію Smart Grid.

Останні десятиліття розвитку електроенергетики в усьому світі характеризується виникненням цілого ряду факторів, що визначають необхідність кардинальних перетворень в електроенергетиці [8,10,11,17,19].

**Фактори технологічного прогресу:**

- загальна тенденція до підвищення рівня автоматизації процесів;
- поява і розвиток нових технологій, пристроїв і матеріалів, у тому числі й в інших галузях, потенційно застосовуваних у сфері електроенергетичного виробництва, і, в першу чергу, наростаючі темпи та масштаби розвитку інформаційно-комп'ютерних технологій (ІКТ);
- інтенсивне зростання кількості малих генеруючих (у першу чергу, відновлюваних) джерел енергії у світі;

**Фактори посилення вимог споживачів:**

- підвищення вимог до набору та якості послуг;
- очікування зниження цінових параметрів послуг галузі;
- підвищення вимог до інформаційної прозорості системи взаємовідносин;

**Фактори зниження надійності:**

- наростаючий рівень зносу обладнання;
- необхідність масових інвестицій в реновацію основних фондів;
- зниження загального рівня надійності енергопостачання;
- високий рівень втрат при перетворенні, передачі та розподілі енергії;

**Фактори зміни ринку:**

- зміна внутрішніх умов функціонування електроенергетичних ринків;
- економічна нестабільність;
- реформування організації функціонування електроенергетики у більшості країн світу;
- розвиток ринку квот на екологічно небезпечні викиди;

**Фактори підвищення вимог у сфері енергоефективності та екологічної безпеки:**

- необхідність зниження впливу енергетичного фактору на навколишнє середовище;
- необхідність підвищення енергоефективності та енергозбереження.

При цьому можна виокремити наступні ускладнюючі фактори розвитку електроенергетики:

- істотна невизначеність умов розвитку і, в певній мірі, функціонування паливно-енергетичного комплексу і систем енергетики;
- наявність багатьох суб'єктів відносин, що мають різні, багато в чому неспівпадаючі, а часто й суперечливі інтереси;
- істотне посилення взаємовпливу систем енергетики та їхнього впливу на інші галузі економіки та системи життєзабезпечення.

Проведений аналіз показав, що вихідними умовами модернізації електроенергетики є:

- при генерації: неоптимізовані бізнес-процеси експлуатації, високі пікові навантаження, відсутність спотового ринку електроенергії;
- при передачі: максимальна зношеність систем електропередачі, значна частка втрат при передачі (до 20 %), висока частка реактивної потужності в електромережах;
- при розподілі: недостатня надійність енергопостачання, неоптимізоване споживання електроенергії, неефективна система тарифікації;
- при споживанні: неможливість керування «своєю» електроенергією, високі економічні витрати на електроенергію, зростання вимог до якості електроенергії.

Визначилися наступні тренди розвитку електроенергетики:

- структурні тренди: висока невизначеність в атомній енергетиці, випереджаюче зростання НВДЕ, потенціал зростання газової електроенергетики, можливість згорання вугільної електроенергетики, системи енергетики набувають інфраструктурних функцій;
- технологічні тренди: створення «розумної енергосистеми», розвиток технологій далекого транспорту електроенергії, впровадження пристроїв силової електроніки (СЕ), розвиток технологій накопичення електроенергії.

Тренди розвитку електроенергетичних мереж:

- перехід до інтелектуальної енергетики (використання розосередженої генерації; енергокластерів; всіх інфраструктурних систем);
- перехід від асиметричних мереж до симетричних системи мультигенерації;
- підвищення рівнів енергетичного обслуговування;
- спільне використання зрілих та таких, що формуються, технологій;

Тренди розвитку розосередженої генерації;

- інтеграція електроенергетики в техносферу;
- виробництво енергії споживачами (активний споживач – prosumer);
- розвиток НВДЕ в рамках технологій «інтелектуальна будівля»;
- формування «віртуальних електростанцій».

Новою тенденцією розвитку світової енергетики в кінці першого десятиліття XXI ст. стало формування «електричного світу» [3,11,14,15,19].

«**Електричному світу**» як основі енергетики майбутнього властиві такі характерні риси:

- електроенергія є найбільш технологічним видом енергоспоживання (сучасні технології ефективної генерації, широкий діапазон регулювання, високі щільності потоку енергії);
- електротранспорт – інфраструктура майбутнього;
- виробництво електроенергії на місці споживання;
- ефективні технології зберігання електроенергії;
- технології бездротової передачі електроенергії.

Особливості формування основ «електричного світу»:

- ресурсна глобалізація;
- підвищення структурності (зниження ентропії) потоку енергії;
- перехід від силової до інтелектуальної енергетики;
- перехід від ринку енергетичних товарів до ринку енергетичних послуг і технологій;
- перехід від галузевої до системної організації електроенергетики;
- енергетичний самобаланс;
- інтеграція енергоінформаційних структур;
- формування нейромережевої мультиагентної інфраструктури;
- оптимальне співвідношення між централізацією та децентралізацією систем, технологічна диференціація джерел енергії;
- організація взаємовигідних відносин публічні енергокомпанії – споживач-інвестор (активний споживач – prosumer);
- застосування модульності побудови і комірчастої та фрактальної організацій.

Отже, можна виділити такі три основні характерні риси «електричного світу»: інтелект (інтелектуальна система, енергозбереження, адресні поставки енергії); системність (технології комплексного регулювання, технології накопичення електроенергії, децентралізація енергетики, ОЕС нового покоління); екологізація (відновлювані джерела енергії, альтернативне паливо для транспорту, вуглецеві ринки).

Концепція інноваційного перетворення електроенергетики передбачає побудову повністю інтегрованої, саморегульованої та самовідновлюваної системи, що має мережеву топологію і включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі та всі види споживачів електричної енергії, які керуються єдиною мережею автоматизованих пристроїв у реальному часі.

Визначено, що сучасна електроенергетика вимагає формування цілісної багаторівневої системи керування із зростанням обсягів автоматизації і підвищення надійності всієї системи при реалізації комплексного підходу, що охоплює всіх суб'єктів ринку електроенергії: виробників (генераторів), мережі, збутові компанії та споживачів.

Інтелектуальна електроенергетика стала вектором енергетичної політики багатьох країн. Світова конкуренція у сфері забезпечення енергоефективності економіки останнім часом багато в чому перейшла у сферу формування інтелектуальних енергомереж. Ключові цілі при впровадженні інтелектуальних мереж – енергетична безпека, економічне зростання та екологічна стійкість. У провідних країнах інтелектуальна мережа є найважливішою частиною державної стратегії досягнення загальних цілей енергетичної безпеки і низьковуглецевого економічного зростання. Інтелектуальні мережі – це законодавчий етап розвитку соціально-економічних відносин, які втілені в технологічну концепцію. Їхнє створення – це модернізація всього комплексу генерації та доставки електроенергії на основі вдосконаленого керування, захисту, оптимізації технологічних елементів електроенергетичної системи у їхньому взаємозв'язку – від централізованої та розосередженої генерації, передачі електроенергії при високій напрузі, її розподілу, систем автоматизації, пристроїв збереження до кінцевих споживачів [3].

Постала нагальна потреба переходу до енергетичних систем нового покоління з новими якостями: керування попитом в режимі реального часу, розвиток транспорту електроенергії на далекі відстані, розвиток технологій накопичення електроенергії, розвиток розосередженої генерації та НВДЕ.

### **Концептуальне визначення Smart Grid.**

Для оцінки рівня «інтелектуалізації» енергетики вже став загально визнаним у світі термін Smart Grid. Зазначимо, що саме поняття **SMART** – Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology – самоконтролююча, аналізуюча та звітуюча технологія [11]. Поряд з терміном Smart Grid свого часу також використовувалися терміни Future Grid, Empowered Grid, Wise Grid, Modern Grid, IntelliGrid, однак термін Smart Grid став загально визнаним. З'явилося гасло: «Розумні мережі – Розумна енергетика – Розумна економіка», а термін Smart Grid окремими дослідниками трактується рівнозначним терміну «Світ після нафти».

Історично термін Smart Grid належав спочатку до систем розподілу електроенергії. Сьогодні цей термін набув ознак «торгової марки» щодо розробок у сфері генерації, передачі, розподілу та споживання електроенергії. Спочатку вважалося, що Smart Grid – це автоматизована система, яка автоматично відслідковує та розподіляє потоки електроенергії для досягнення максимальної ефективності використання енергії.

Основні передумови появи Smart Grid: масове використання розосереджених джерел енергії (DER) як приватними споживачами, так і корпоративним сектором і самими генеруючими компаніями; поява та вдосконалення нових технологій перетворення електроенергії на основі пристроїв силової електроніки та технологій накопичення енергії; популярність концепції «розумний будинок» і бажання всіх типів споживачів мати реальні можливості економії електроенергії; масовий продаж електромобілів.

Основні параметри Smart Grid базуються на результатах роботи американського інституту The Electric Power Research Institute (EPRI) у програмі «IntelliGrid» [13], а також відображені в проєктах «Modern Grid Initiative (MGI) [22] та «Grid Weise Architectural Council» (GWAC) [16]. У цих роботах сформульовано бачення, архітектурні принципи, обмеження, переваги, необхідні технології, технічна політика щодо Smart Grid. Так, концептуальна модель Smart Grid, прийнята в США, включає сім основних доменів: генерацію електроенергії, її передачу, розподіл, споживачів, ринок, керування та сервісне обслуговування, пов'язаних потоками передачі електроенергії та інформації. Визначено і стандартизовані вимоги до всіх доменів моделі Smart Grid та сформовано «дорожню карту» реалізації моделі. Відзначаються п'ять основних переваг Smart Grid: надійність та якість електропостачання, перш за все, за рахунок підвищення керованості; безпека; енергозбереження; високий рівень екології; економічність.

Наведемо два усталені визначення Smart Grid, прийнятих у США та Європі [11,17,19]:

– **USA Department of Energy «Grids 2030»:**

**Smart Grid** – це повністю автоматизована енергетична система, що забезпечує повсюдно двосторонній потік електричної енергії та інформації між електричними станціями і пристроями. Smart Grid за рахунок застосування новітніх технологій, інструментів і методів наповнює електроенергетику «знаннями», що дозволяють різко підвищити ефективність функціонування енергетичної системи ... »;

– **European Technology Platform SmartGrids:**

**Smart Grids** (інтелектуальні мережі) – це електричні мережі, що задовольняють майбутнім вимогам щодо енергоефективності та економічності функціонування енергосистеми за рахунок скоординованого керування і за допомогою сучасних двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, електричними станціями, акумулюючими джерелами та споживачами.

Концептуальне визначення інтелектуальної мережі вказує на важливу роль Smart Grid в подальшому технологічному, економічному та екологічному розвитку суспільства; Smart Grid стає каталізатором економічного підйому, що є нагальним для інноваційного розвитку електроенергетики України. Визначення Smart Grid відображають спектр можливостей інтелектуалізації електроенергетики, виходячи з особливостей розвитку кожної з країн та завдань, які ставляться перед їхнім енергетичним комплексом. На наш погляд, доцільно говорити про становлення будь-якої моделі Smart Grid з врахуванням наявних вимог і обмежень. Концепція побудови інтелектуальної мережі – гнучка концепція, яка може відображати дуже прості задачі чи амбітні цілі. Однак все ж вона має передбачати перехід до систем розосереджених обчислень і комунікацій для забезпечення доставки інформації у режимі реального часу, а також розрахунок миттєвого балансу попиту та пропозиції електроенергії в довільній точці. Реалізація положень Smart Grid потребує значної уваги до використаної технологічної платформи Smart Grid [12,15,17,19]. Технологічна платформа Smart Grid – це електричні мережі, що відповідають вимогам енергоефективного та економічного функціонування енергосистеми, які забезпечуються за рахунок скоординованого керування та організації двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, електричними станціями, акумулюючими джерелами та споживачами.

### **Еволюції концепції «розумної ефективності».**

З точки зору еволюції інтелектуальних мереж спочатку було запропоновано концепцію розосередженої генерації, яка передбачала установку відносно малопотужних генераторів у безпосередній близькості до споживачів, що потім розвинулася у концепцію «інтелектуальний облік». Поєднання елементів концепції розосередженої генерації та інтелектуального обліку зумовило появу концепції «розумний будинок», що став інтегрованим відображенням можливостей Smart Grid в перші роки XXI ст. Виникнення сучасної концепції Smart Grid обумовлено факторами: технологічного прогресу, зростання вимог споживачів; зниження надійності; змінами на ринку; підвищення вимог у сфері енергоефективності та екологічної безпеки. Як наслідок інноваційних перетворень висхідна лінія еволюції концепції «розумної ефективності»: інтелектуальний облік → інтелектуальна мережа → інтелектуальне місто → інтелектуальна країна [10,11,17,19].

**Інтелектуальний облік.** В основі систем автоматизованого опитування приладів обліку (AMR) покладено ідеологію комплексної вимірювальної інфраструктури (AMI), яка забезпечує збір та аналіз даних з інтелектуальних приладів обліку. В інфраструктуру AMI входять три ключові компоненти: вимірювальні прилади, центр керування та центр зв'язку. Аналіз інформації з таких лічильників дозволяє оцінювати потреби споживачів, встановити багатотарифні зони оплати, приймати рішення щодо збільшення генеруючої потужності.

Системи автоматизації ліній живлення контролюють «останню милю» подачі електроенергії до кінцевих споживачів та вимагають побудови розосереджених IP-мереж, які зв'язують термінали захисту та керування фідерів (FTU). При цьому формується віддалений термінал керування фідерів (FRTU) – головний центр керування, який контролює розосереджені термінали FTU.

**Інтелектуальна мережа.** Вважається, що сучасна інтелектуальна мережа містить такі складові: автоматизовані системи роботи зі споживачами; часткову автоматизацію мереж з функціями самовідновлення; віддалене керування та контроль мережі; активне використання аналітики для оптимізації потоків електроенергії; автоматизовану віддалену диспетчеризацію робіт; керування активами за станом.

До ключових технологічних інструментів для формування Smart Grid належать: інтелектуальне силове обладнання; комунікації на основі сучасних автоматизованих систем; база даних; автоматизована система запобігання несанкціонованого доступу до керування; програмно-апаратні комплекси. Фактично мова йде про технології, які спроможні зробити електричну мережу та її навантаження транспарентними та керованими.

Поряд з науковим забезпеченням таких напрямків як моніторинг, облік, керування енергетичними потоками в темпі реального процесу, розосереджена генерація – НВДЕ, Microgrid, оптимальні закони керування, також вирішуються наукові питання електромагнітної сумісності, якості параметрів електроенергії, забезпечення протікання двонаправлених потоків енергії, стійкості та надійності систем з розосередженою генерацією. Центральною ланкою архітектури інтелектуальної мережі є інфраструктура керування даними та їхній аналіз в реальному часі, що вимагає забезпечення інтенсивного інформаційного обміну. Можливості інтелектуальних мереж, зокрема, моніторингу та прогнозування режимів і керування ними, дозволяє помітно підвищити ефективність та адаптивність керування електроенергетичними системами, ефективність формування корпоративних, регіональних та національних електронних баз знань у сфері електроенергетики.

Оскільки Smart Grid зв'язує енергетичну структуру з комунікаційними інфраструктурами (Інтернет, мобільний зв'язок), то поряд з позитивними можуть також бути і негативні наслідки при їхньому функціонуванні з точки зору вимог надійності.

**Інтелектуальне місто.** Концепція «інтелектуального міста» передбачає застосування різних типів інтелектуальних побутових приладів; розосередженої генерації; електромобілів; відновлюваних джерел енергії та накопичувачів енергії; автоматично керовану та самовідновлювану мережу; багатоканальну доступність інформації в режимі реального часу; повномасштабний функціонал моніторингу та дистанційного керування. Загальноміська інтелектуальна мережа з точки зору її інфраструктури має включати електроенергетику, тепlopостачання, будівництво, транспорт і телекомунікації, водопостачання, утилізацію відходів. Потребують свого вирішення і проблеми живлення мегаполісів з великою щільністю як забудови, так і струмів живлення.

Для забезпечення заданих (необхідних) графіків електроспоживання та високих рівнів щільностей енергетичних потоків (струму), що особливо важливо у мегаполісах з великою щільністю забудови, мають широко застосовуватися різні типи накопичувачів енергії, у тому числі пристроїв на основі явищ надпровідності, суперконденсаторів, механічних накопичувачів.

### **Сучасні Smart Grid системи.**

Від сучасних Smart Grid очікують [7,8,10,11,17,19,21]: підвищення ефективності енергоспоживання (такі складові як demand / response, floating prices, smart metering, peak shaving), зокрема, за рахунок зниження пікових навантажень; використання відновлюваних джерел енергії з розв'язанням задач динамічного балансу споживання та генерації на макро- і мікрорівнях; поширення електроомобілів з формуванням стандартів обміну інформацією та фізичного підключення до електромережі; надійність, стабільність та безпеку.

Сучасна концепція Smart Grid ґрунтується на наступних базових підходах:

1. Орієнтація на вимоги зацікавлених сторін і клієнтоорієнтованість.
2. Зростання ролі керування як основного фактора розвитку та способу забезпечення формованих вимог (цінностей) з відповідним підвищенням керованості як окремих елементів, так і енергосистеми в цілому.
3. Інформація виступає як головний засіб здійснення ефективного керування.

В рамках концепції Smart Grid передбачається розвиток наступних функціональних характеристик: самовідновлення при аварійних збуреннях; мотивація активної поведінки кінцевого споживача; опір негативним впливам; забезпечення надійності та якості електроенергії шляхом переходу від системно-орієнтованого підходу (System-based approach) забезпечення цих властивостей до клієнтоорієнтованого підходу (Customer-based approach); різноманіття типів електростанцій і систем акумулювання електроенергії (розосереджена генерація); розширення ринків потужності та енергії до кінцевого споживача.

Концепція Smart Grid передбачає перехід до активного споживача – по суті споживач стає, з одного боку, активним суб'єктом вироблення і прийняття рішень з розвитку та функціонування енергосистеми, а з іншого – об'єктом керування, що забезпечує поряд з іншими реалізацію ключових вимог. Реалізація висунутих ключових вимог (цінностей) і здійснення функціональних властивостей (принципових характеристик) розглядається в рамках концепції Smart Grid з позицій ідентифікації, що вимагає відповідного інноваційного розвитку їхніх ключових (базових) технологічних областей і технологій (технологічного базису).

З точки зору формування технологічного базису реалізація Smart Grid вимагає відмови від традиційних ієрархічних архітектур систем автоматизації та переходу до архітектур, в яких інтелектуальні пристрої керування взаємодіють як на горизонтальному, так і на вертикальному рівнях, характеризуються певною автономністю при прийнятті рішень, наявністю елементів штучного інтелекту. Під технологічним базисом ми будемо розуміти сукупність технологій, які дозволяють забезпечити узгоджену структуру проміжних та кінцевих продуктів та послуг на конкретному етапі розвитку галузі. До передових технологій належать:

- силова електроніка (технології двонаправленого регулювання потоків енергії, зокрема, технології Flexible Alternative Current Transmission Systems (FACTS) та FACDS; напівпровідникові трансформатори (SST); електроприводи (VSD); напівпровідникові ізолюючі пристрої (SS FID); пристрої забезпечення заданих рівнів EMC; пристрої вимірювання векторів струмів і напруг (PMU));
- програмне забезпечення (сервісно-орієнтовані архітектури; семантичні веб-сервіси; мета-моделі представлення знань; онтології тощо);
- комп'ютерне обладнання автоматизації (вбудовані контролери; нове покоління віддалених термінальних пристроїв (RTU); інтелектуальні пристрої керування (IED); безпроводні мережі датчиків);
- теорії та технології керування (нелінійне керування, штучний інтелект, нейронні мережі, інтелектуальне керування (model-predictive control); мультиагентні системи, системи розподіленого прийняття рішень, що базуються на консенсусі та механізмах голосування; нові технології розосередженої автоматизації (IEC 61499);
- мережеві технології (протоколи високого рівня (IEC 61850, GOOSE, DNP3); широкополосні провідні та безпроводні мережі; комунікації через силові лінії (PLC)).

### **Політика щодо реалізації концепції Smart Grid в провідних країнах світу.**

Лідери у розробці та втіленні стратегій Smart Grid: США – The Energy Independence and Security Act of 2007; країни ЄС – Smart Grid Technology Roadmap Report Development; Південна Корея – Smart Country Strategy Development [8,10–22].

У США Smart Grid є частиною стратегії уряду США, якою заплановано оновити та модернізувати експлуатацію енергетичної інфраструктури держави.

Федеральний уряд США прийняв концепцію Smart Grid як офіційну політику країни щодо модернізації електричної мережі з забезпеченням поінформованості споживача в режимі реального часу, можливості контролю споживачем рівнів споживання та впровадження новітніх Smart технологій. Концепція Smart Grid передбачає приєднання електричних та інформаційних технологій в будь-якій точці мережі від генерації до кінцевого споживача. Планується у 2013 р. створення інноваційного енергетичного центру (хаба) інтелектуальних мереж або кілька регіональних хабів. В рамках проекту зі створення хаба будуть розглядатися важливі питання інтеграції та координації діяльності з розвитку інтелектуальних мереж. Основна увага енергетичного центру буде спрямована на вивчення зв'язку процесів передачі та розподілу електроенергії, а також пов'язаних з цим інтелектуальних вимірів, питань роботи ринків і дії регулюючих норм.

У рамках проекту зі створення хаба будуть розглядатися важливі питання інтеграції та координації діяльності з розвитку інтелектуальних мереж. Основна увага енергетичного центру буде спрямована на вивчення зв'язку процесів передачі і розподілу електроенергії, а також пов'язаних з ними інтелектуальними вимірами, питаннями роботи ринків та дії регулюючих норм.

За оцінками фахівців, використання системи Smart Grid до 2020 р. дозволить США зекономити близько 1,8 трлн. дол. за рахунок зниження споживання електроенергії та підвищення надійності її постачання.

На думку Європейської Комісії Smart Grid можна описати такими аспектами функціонування: гнучкість, доступність, надійність, економічність. Європейська Комісія сприяє виконанню плану Стратегічних енергетичних технологій (SET-plan), зокрема, реалізації спільних програм Альянсу європейських енергетичних досліджень (EERA), Європейських промислових ініціатив (вітрові, сонячні, біоенергетичні електричні системи, Smart-системи, ядерна енергетика, вловлювання та зберігання вуглецю). Започатковано чотири нові масштабні європейські проекти:

- створення Smart-системи, яка з'єднає всі системи електромереж, починаючи з офшорних вітрових електростанцій у Північному морі, сонячних електростанцій на півдні та існуючих ГЕС і закінчуючи окремими домашніми господарствами;

- розробка амбітних проектів у сфері гідроенергії, зберігання стисненого повітря, акумуляторів, а також інших інноваційних технологій зберігання, зокрема, зберігання водню;

- започаткування ринку біопалива другого покоління (Європейська промислова біоенергетична ініціатива планує залучити 9 млрд. євро);

- формування партнерства «інтелектуальні міста» (започатковано у 2011 р.), спрямованого на впровадження кращих практик у сфері НВДЕ, енергоефективності, Smart-електромереж, чистого міського транспорту – формування Європейської моделі «European Smart Cities».

Сформована так звана «піраміда» Smart Grid Європи із такими складовими (від нижнього рівня до вищого):

- інтелектуальний облік (керування споживачами) – керування енерговикористанням;

- розосереджена генерація (керування активними споживачами) – зміни на стороні споживача;

- енергетична мобільність (керування попитом і пропозицією у сфері електроавтомобілів) – зміни попиту і пропозицій у сфері автомобілізації;

- Smart Grid країни – створення загальнонаціональних Smart Grid;

- Загальноєвропейський Smart Grid – створення «Енерго-Інтернет» у Європі.

Країни ЄС планують до 2020 р. за рахунок реалізації концепції Smart Grid вийти на щорічну економію 7,5 млрд. євро.

У Південній Кореї поставлена амбітна мета – побудувати до 2030 р. найкращу в світі Smart Grid. Формується шлях розвитку суспільства з низьковуглецевою екобезпечною («зеленою») економікою, який включає наступні етапи: 2012 р. – побудова тестових об'єктів; 2020 р. – побудова Smart Grid територіальних одиниць (міських районів); 2030 р. – побудова Smart Grid у загальнонаціональному масштабі.

П'ять сфер реалізації Дорожньої карти побудови Smart Grid у Південній Кореї:

- інтелектуальна електромережа (побудова системи моніторингу та контролю електромереж; побудова системи прогнозування відмов та відновлення електромереж);

- інтелектуальний будинок (розподілена інтелектуальна система обліку; побудова системи автоматичного енергоменеджменту);

- інтелектуальний транспорт (побудова загальнонаціональної зарядної інфраструктури; побудова системи керування електроавтомобілями на основі ІКТ);

- інтелектуальна відновлювана енергетика (створення високорозмірних комплексів генерації електроенергії на основі НВДЕ; розвиток установок накопичення енергії великої потужності);
- інтелектуальний електричний сервіс (розвиток гнучких систем ціноутворення; розвиток систем торгівлі споживанням електроенергії).

У багатьох країнах світу вже будуються понад 100 «інтелектуальних» міст, які забезпечать своїм мешканцям високу якість життя та чистоту навколишнього середовища. Один з найбільших проектів вартістю в 35 млрд. дол. США реалізується в Південній Кореї, де створюється міжнародна економічна зона Сонгдо (за допомогою рішень компанії Cisco – Smart + Connected Communities, S+CC).

У Південній Кореї інтелектуальні мережі покрили острів Чечжудо, який стає світовим лідером в сфері розвитку інтелектуальних електричних мереж. Корейська асоціація інтелектуальних мереж повідомила, що вона буде розробляти до 2012 р. кращу модель інтелектуальних мереж для міста, які випереджають сучасний рівень більше ніж на 50 років.

Необхідно відзначити успішне створення пілотного кластера інтелектуальних мереж в Японії, який був започаткований у жовтні 2011 р. Розробник – Mitsubishi Electric Corporation (MELCO). Основні завдання кластера:

- досягнення балансу між попитом та пропозицією (використання технологій та алгоритмів керування великою кількістю джерел відновлюваної енергії, підключених до енергомережі);
- керування розосередженими мережами (використання технологій та обладнання для керування напругою, які запобігають нестабільності через масову установку фотоелектричних систем на будівлях і житлових будинках);
- загальна робота мережі в майбутньому (оцінка ситуації до 2020 р. при підключенні до мережі великої кількості джерел відновлюваної енергії та децентралізації електроспоживання);
- робота в специфічних умовах (використання технологій незалежних електромереж мікрорівня (наприклад, на островах, частково підключених чи ізольованих регіонах)).

У Росії інтелектуальна мережа отримала назву активно-адаптивна мережа. Визначено, що інтелектуальна енергосистема з активно-адаптивною мережею включає [2–4]:

- усі види генерації, які взаємодіють з енергосистемою через приєднання до мережі, які беруть участь у забезпеченні регулювання якості енергії (частоти та напруги), що поставляється, і надійності функціонування енергосистеми;
- будь-які типи споживачів (від домашніх господарств до великої промисловості), приєднані до мережі, які беруть участь у регулюванні якості та надійності функціонування енергосистеми;
- електричні мережі різної напруги і функціонального призначення, що мають можливість зміни параметрів і топології мережі за поточними режимними умовами.

Російськими спеціалістами стверджується, що «закордонні розумні мережі – це реалізація двосторонніх комунікаційних обмінів у цифровому форматі всіх учасників виробництва, розподілу, накопичення та споживання електроенергії. Російські розумні мережі – це комплексна модернізація та інноваційний розвиток всіх суб'єктів електроенергетики на основі передових технологій і збалансованих проектних рішень глобально на всій території країни» [2].

У рамках міжнародної кооперації та співробітництва International Smart Grid Action Network (ISGAN) створює механізм для багатостороннього співробітництва з метою прискорення розробки та впровадження більш досконалих технологій, методів і систем в електричних мережах. Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) проводило програму «Перспективи енергетичних технологій 2010», в якій зазначено, що глобальне впровадження інтелектуальних мереж може допомогти скоротити викиди CO<sub>2</sub> в межах від 0,9 до 2,2 млрд.т щорічно до 2050 р., що еквівалентно щорічним викидам від 300 до 730 середніх електростанцій. В ISGAN беруть участь різні уряди і сторони, зацікавлені у досягненні цього потенціалу. ISGAN, створений у липні 2010 року, виконує ключові рекомендації головного економічного форуму глобального партнерства по впровадженню технологій інтелектуальних мереж, який відбувся у грудні 2009 року.

Велика увага приділяється створенню демонстраційних проектів у сфері реалізації концепції Smart Grid [5,14]. Так, семирічна програма демонстраційних проектів EPRI, розпочата в 2008 р., містить 11 комплексних проектів, які виконують 19 енергокомпаній. Характеристика окремих проектів та їхні виконавці наведені в табл. 1 [14].



**Таблиця 1**

Компанія Kansas City Power & Light	Інтеграція розосереджених джерел енергії; використання фотоелектричних панелей та акумулювання енергії; надання економічних переваг населенню так званої «зони зелених технологій».
Корпорація First Energy	Використання двонаправлених мереж зв'язку для безпосереднього керування енергоспоживанням обладнання загальною потужністю 23 МВт, встановленого в 20000 домогосподарствах.
Компанія PNM Resources	Розробка способів інтеграції численних розосереджених фотоелектричних систем, встановлених як у споживачів, так і на підстанціях енергетичної компанії, з системою акумулювання електроенергії.
Компанія Duke Energy	Оцінка використання фотоелектричної системи побутових споживачів для допомоги енергетичним компаніям підготуватися до поширення електромобілів з можливістю зарядження від мережі і появи великої кількості стаціонарних акумуляторів електроенергії.
Компанії ESB Networks	Оцінка рівнів потужності та часу, необхідних для зарядки електромобілів; визначення оптимальних тарифів та засобів керування з метою максимально розширити можливості вторинних мереж витримати збільшені навантаження.

Демонстраційні проекти, започатковані Європейською Комісією згідно з документом «Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments», виданим у червні 2011 р., представлено у табл. 2 [5].

**Таблиця 2**

Проект Telegestore (Італія)	Створення автоматичної вимірювальної інфраструктури та національної мережі інтелектуальних лічильників; реалізація близько 150 проектів загальною вартістю до 1,5 млрд. євро, в рамках яких було встановлено близько 5 млн. інтелектуальних лічильників.
Проект Pilot Linky (Франція)	Створення національної мережі інтелектуальних лічильників. Активна фаза проекту передбачає установку 35 млн. інтелектуальних лічильників; очікувані інвестиції складуть близько 4 млрд. євро.
Проект Inovgrid (Португалія)	Створення передових функцій керування і автоматизації, розподілених по декількох рівнях ієрархічної інфраструктури керування, яка відповідає фізичній структурі мережі розподілу електроенергії. Система призначена для активного керування мережею розподілу електроенергії.
Проект Energy forecast (Данія)	Створення оптимальних і простих угод щодо електропостачання на національному рівні з інформуванням споживачів та знанням їхніх звичок; зменшення пікового рівня електроспоживання на 50 МВт.
Проект Fenix (міждержавний)	Великомасштабне використання гнучких в експлуатації груп розосереджених джерел енергії у формі віртуальної електростанції. Згідно з розробленими в рамках проекту Fenix сценаріями, які охоплюють всю економіку, до 2020 р. викиди CO <sub>2</sub> в електроенергетиці можна зменшити на 7,5 кг CO <sub>2</sub> /кВт розосереджених генераторів /рік для Північної Європи і на 13 кг CO <sub>2</sub> /кВт розосереджених генераторів/рік – для Південної Європи.

Інтелектуальні електромережі мають величезний потенціал, і експерти прогнозують відмінні результати їхнього впровадження у найближчі десятиліття. Згідно із звітом Європейської комісії «Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments» обсяги інвестицій в інтелектуальні мережі складуть: у Європі – 56,5 млрд. євро до 2020 р.; у США – від 238 до 334,5 млрд. євро до 2030 року; в Китаї – 71 млрд. євро до 2020 року. Кількість проектів по інтелектуальних мережах та «розумних» електромобілях в Європі, США та Азії зростає з кожним роком.

#### **Перспективні форми та напрямки розвитку Smart Grid технологій.**

Очікується, що інтелектуальні мережі нададуть ще більше вигод споживачам і виробникам електроенергії, дозволяючи знизити пікові навантаження, підвищувати експлуатаційну ефективність енергетичних компаній, полегшити інтеграцію в мережу великої кількості розосереджених джерел енергії і зарядку електромобілів від електромережі.

Основні технології інтелектуальної електроенергетики (тренди розвитку передачі електроенергії) [12,14,15,17,19,21]: – системи моніторингу та діагностики (WAMS); – уніфікована система управління енергопотоками (UPFC); – гнучкі технології передачі на змінному струмі (FACTS, FACDS); – гнучкі технології передачі на постійному струмі (FACDS); – ЛЕП постійного струму

(HVDC), надпровідні матеріали.

Буде розвиватися клієнтоорієнтований підхід, який дозволить забезпечити зниження ризиків неадекватного вибору цілей і стратегій при здійсненні інноваційних перетворень, підвищити ступінь довіри зацікавлених сторін. Під клієнтоорієнтованістю розуміється інструмент забезпечення стійкості підприємств галузі у довгостроковій перспективі, заснований на виявленні вимог і створенні цінності для кінцевого споживача.

Необхідним є створення інформаційної платформи на основі обробки складних подій із можливістю масштабування та гнучкого керування з використанням багатопотокових обчислень. Важливо забезпечити створення енергокластерів – енергорайонів, які мають характерні для виділеної ділянки електричної мережі проблеми. В енергокластерах, у відповідності з режимною ситуацією в електроенергетичній системі, передбачається гнучко регулювати параметри електричної мережі, віддалено керувати комутаційними апаратами та апаратами, які змінюють топологію мережі, в режимі реального часу проводити оцінку технічного стану мережі в нормальних, передаварійних та після-аварійних режимах роботи системи, розробляти відповідні оригінальні інформаційно-технологічні та керуючі системи.

Нові прикладні програмні та апаратні засоби, які мають підтримувати інтелектуальну мережу, мають забезпечувати: білінгову медіацію, обслуговування клієнтів, керування споживанням, керування генерацією з використанням відновлюваних джерел енергії, оптимізацію розподілу, інтегрування процесів керування ресурсами.

Відбуватиметься пошук рішень основних проблем, які виникають при інтеграції розосереджених джерел енергії в мережах розподілу електроенергії. Так, перспективні роботи EPRI спрямовані на розробку засобів координації функціонування великої кількості розосереджених джерел енергії та двонаправлених мереж зв'язку:

- стандартів функціональної сумісності обладнання інтелектуальних мереж та розосереджених джерел енергії для їх більш глибокої інтеграції;
- засобів та стандартів, які полегшують реалізацію інтелектуальної мережі, зокрема, використання методології IntelliGridSM, призначеної для вибору додатків, інфраструктури системи керування, а також комунікаційної та інформаційної інфраструктур, необхідних для інтеграції розосереджених джерел енергії;
- концепції інтеграції розосереджених джерел енергії, концепції Smart Substation, формування універсальних технологій «зв'язку» (UIT);
- платформи керування потужністю інтегрованих розосереджених джерел енергії;
- нової структури споживання електроенергії електромобілями, які заряджаються від мережі (керування великою кількістю вітрогенераторів і фотоелектричних систем з використанням як баластного навантаження заряджання електромобілів);
- механізмів і алгоритмів використання сучасних приладів обліку на основі принципу динамічного ціноутворення; оцінки впливу інтелектуальних лічильників і динамічного ціноутворення на поведінку споживачів;
- методології розрахунку економічної ефективності від комплексної реалізації концепції Smart Grid;
- способів координації великої кількості розосереджених джерел енергії, множини яких розглядаються як віртуальні електростанції (VPP).

Розширюється сфера застосування пристроїв CE [1,6,10,14], в першу чергу, генерації заданих рівнів активної і реактивної потужностей та покращення якості електроенергії. Сфера застосування першої групи пристроїв – системи постачання на основі технологій FACTS. Сфера застосування другої групи пристроїв, відомих як Custom Power System (CUPS), що зосереджуються на системі розподілу електроенергії, забезпечуючи електроенергією кінцевого користувача, є технологія, створена у відповідь на повідомлення про низьку якість постачання електроенергії, що впливає на роботу підприємств, організацій та сферу домашнього господарства. Наприклад, широко використовуються дві взаємодоповнюючі технології для керування передачею електроенергії з використанням пристроїв CE:

- з перетворенням змінного струму в постійний – HVDC пристрої (передача електроенергії між системами, які працюють на різних частотах);
- безпосередньо – FACTS пристрої (статичний компенсатор реактивної потужності, компенсатор з тиристорним керуванням, статичний фазоперемикач, уніфікований контролер потужності).

Системи розподілу електроенергії з використанням пристроїв CE:

– пристрої для забезпечення відповідності параметрів і для зв'язку розосереджених джерел з лініями електропередачі або локальними кінцевими споживачами, а також для регулювання рівнів генерації електроенергії цими джерелами;

– пристрої для забезпечення відповідності параметрів і зв'язку накопичувачів електроенергії з лініями електропередачі, а також для керування обміном енергії між системами зберігання та лініями електропередачі;

– пристрої для покращення якості електропостачання та електромагнітної сумісності, зокрема, компенсації падінь напруги та імпульсних завад, несиметрії та спотворення напруги живлення, а також як компенсації спотворення, несиметрії та фазового зсуву в струмі навантаження.

Буде зростати роль технологій накопичення електроенергії, зокрема, за напрямками: створення резервів потужності у споживача; використання накопичувачів для вирівнювання графіків АЕС; на рівні енергосистеми – застосування ГАЕС, махових накопичувачів, хімічних технологій; стабілізація режиму та ефективне балансування навантаження; використання акумуляторів високої ефективності (ємності).

Широко застосовуватиметься побудова локальних систем *Microgrid*. Проблема оптимізації підключення малих виробників енергії до загальної мережі – це проблема відсутності ефективних технологій. Дослідження в цій області розпочав Роберт Х. Лассетер (Robert H. Lasseter) – заслужений професор електротехніки Вісконтського університету в Медісоні (США), якого вважають автором терміну «Microgrid». Переваги мікромережових технологій – зниження втрат енергії, зростання ефективності та доступності надійного високоякісного енергопостачання.

Локальна система Microgrid включає, як правило, кілька джерел генерації та розподільних підстанцій, комплекси збереження енергії, регулятори потоків електроенергії, що дозволяє Microgrid функціонувати як в автономному режимі, так і бути зв'язаною із зовнішньої енергосистемою. Microgrid добре справляються з задачею підвищення надійності енергопостачання за рахунок оперативного переключення споживачів між загальною енергосистемою і місцевими джерелами енергії у випадку перевантажень та стрибків напруги. В майбутньому перевагами мікромережових технологій стане їхня легка та швидка адаптація до споживачів на протигагу централізованим системам енергопостачання. Сьогодні існують два шляхи розвитку мікромережових технологій. Основний метод, визнаний більшістю, передбачає постійний дистанційний комп'ютерний контроль усіх ділянок Microgrid. Його вади – надмірна фетишизація обчислювальних систем та каналів зв'язку, що може знизити надійність системи в цілому. Альтернативний підхід передбачає автоматичну зміну значимих параметрів Microgrid, базуючися на зміні частоти в мережі. Така технологія отримала назву мережі CERTS (Consortium for Electric Reliability Technology Solutions).

Для Microgrid розвивається перспективна архітектура FREEDM, що базується на концепції побудови універсального пристрою ENERGYRouter, який має здійснювати динамічний розподіл енергії між локальними споживачами та генераторами.

При проектуванні глобальної мережі керування Microgrid необхідно передбачити заходи забезпечення доступності, безпеки і належної продуктивності всіх користувачів, пристроїв та програмно-апаратних додатків до інтелектуальних систем електропостачання. Мають бути усунені загрози щодо доступності, цілісності та конфіденційності даних та бізнес-процесів.

Набудуть широкого застосування активні споживачі, що виробляють електроенергію, мульти-агентні системи, використання акумуляторів електроенергії; стандартні технологічні платформи та інтерфейси; всесистемний моніторинг; інтелектуальні підстанції (з використанням трансформаторів SST); динамічне ціноутворення; стандарти функціональної сумісності; хмарні технології; формування «енергетичних» хабів; сучасні комплекси програмного моделювання.

Сьогодні цифрова система керування сучасною підстанцією (вузловою, промисловою чи комерційною) містить сотні електронних пристроїв (IED), об'єднаних цифровою системою передачі інформації, зокрема, Ethernet. Сучасні програми інтеграції відновлюваних та розосереджених джерел енергії (RDSI) дозволятимуть захистити електричні мережі від перевантажень, знизити викиди парникових газів та розвивати такі напрямки як Microgrid, розосереджене виробництво енергії, двонаправлений зв'язок з споживачами (технології Feed-in-Tariff (повернення енергії споживачами в мережу), оптимізація роботи джерел RDSI).

З урахуванням змін виникає гостра потреба в більш ефективних методах планування, конструювання та керування мережами розподілу електроенергії.

Сучасна система керування розподілом електроенергії (DMS) – важливий інструмент Smart Grid – має представляти програмне забезпечення, яке оснащено засобами аналізу стандартних елек-

тричних мереж, включаючи засоби аналізу потоків потужності та оцінки станів. Без таких систем реалізація керування віртуальною електростанцією VPP є неможливою. DMS базується на моделях мережі різного ієрархічного рівня, динамічних даних, алгоритмах керування незбалансованими потоками потужності. Вона повинна мати такі функціональні можливості: оперативне планування і аналіз, мінімізація втрат; підтримка засобів керування для усунення перебоїв в електропостачанні; регулювання напруги та реактивної потужності. Функції керування попитом: обмежене регулювання напруги – CVR (відоме як керування попитом в мережі розподілу електроенергії – DSDR); безпосереднє керування попитом; відключення навантаження / ізолювання.

Зрозуміло, що електромережі не можуть розглядатися (та й проектуватися) відокремлено від систем генерації та передачі, але й у відриві від споживача в широкому сенсі цього слова, включаючи ринок електроенергії на макрорівні та «розумні будинки» на мікрорівні. Слід враховувати, що зараз почали розвиватися нові інформаційно-комунікаційні архітектури, зокрема, EnergyWeb та eNetworks. Так, архітектура EnergyWeb включає п'ять рівнів, від технічних (розподілу енергії) до соціально-економічних, які містять моделювання стимулів індивідів (рівні – Distribution, Control, Prosumer, Community, Incentive).

На сьогодні нові інтелектуальні лічильники не тільки відображають поточне споживання енергії, але й здійснюють запис з метою подальшого аналізу показників споживання та пред'явлення рахунків. Інтелектуальні лічильники мають об'єднуватися у обчислювальні мережі і повідомляти про несправності та перебої в подачі електроенергії. Реальністю стане використання технології Smart Grid 2.0, яка буде використовуватися у тих місцях, де встановлені інтелектуальні лічильники, надаючи нові можливості ціноутворення та корисні додатки, такі як, наприклад, Green Button.

З'являться трансформатори з комп'ютерним чіпом, спроможні об'єднати будь-які джерела енергії з різними характеристиками та забезпечити безперебійне живлення об'єкта без необхідності придбання складних систем для кожного типу обладнання. За даними EPRI, використання таких трансформаторів дозволить зекономити в США 3 % енергії, що в кілька разів більше, ніж виробляється всіма американськими сонячними панелями.

Формуються нові вимоги до інфраструктури керування даними та їхнього аналізу: підтримка процедур аналізу великих масивів даних у реальному часі, фрактальність, функціональна масштабованість, горизонтальна масштабованість, гнучкість, стандартизація та інтероперабельність (розробка та впровадження стандартів IEEE P2030, 802, SCC21, 1547, 1159, 762, SCC 31), розширення засобів аналізу.

У США та Європейському Союзі вирішення зазначених проблем передбачається шляхом створення нормативного поля (простору), що формується у вигляді широкої системи стандартів вимог до функцій, елементів, пристроїв, систем взаємодій і т.д. Наприклад, у США планується розробка понад 100 видів стандартів, в рамках яких розробникам і виробникам надано право та можливість створення пропозицій, а користувачам (енергетичним компаніям і споживачам) – формування «своїх» Smart Grid. Так, IEEE Standards Association розробило IEEE P2030 Interoperability Architectural Perspectives (IAPs) – сукупність стандартів для Smart Grid сумісності: P2030 Електроенергетичні системи (PS-IAP); P2030 Комунікаційні технології (CT-IAP); P2030 Інформаційні технології (IT-IAP), де, зокрема, P2030.1 Електричні машини; P2030.2 Системи акумуляування енергії. Вдосконалені стандарти технічного приєднання дозволять підключати до системи електрогенеруючі джерела на довольному рівні напруги, що стане додатковим стимулом для розвитку розосереджених джерел енергії.

Ключовими принципами побудови і подальшого розширення інтелектуальних мереж стають «plug-and-play» та «peer-to-peer», інтеграція «інтелектуальних» приладів обліку і пристроїв (регулювання, накопичення та споживання електроенергії) споживача, використання хмарних обчислень.

**Plug and Play** (скорочено – PnP), дослівно перекладається як «увімкнуту і працюю» – технологія, призначена для швидкого визначення і конфігурування пристроїв у комп'ютері та інших технічних пристроях. Розроблена фірмою Microsoft за сприяння інших компаній, технологія PnP заснована на використанні об'єктно-орієнтованої архітектури, її об'єктами є зовнішні пристрої і програми. Операційна система автоматично розпізнає об'єкти і вносить зміни в конфігурацію абонентської системи. Набуває розвитку **UPnP (Universal Plug and Play)** – універсальне автоматичне налаштування мережевих пристроїв. Це архітектура однорангових з'єднань між персональними комп'ютерами та інтелектуальними пристроями, яка забезпечує автоматичне під'єднання подібних пристроїв один до одного та їхню спільну роботу в мережевому середовищі, внаслідок чого мережа стає доступною більшому числу користувачів.

**Peer-to-peer** (з англ. – *рівний до рівного*) – варіант архітектури системи, в основі якої стоїть мережа рівноправних вузлів. Комп'ютерні мережі типу peer-to-peer (або P2P) засновані на принципі рівноправності учасників і характеризуються тим, що їхні елементи можуть зв'язуватися між собою, на відміну від традиційної архітектури, коли лише окрема категорія учасників, яка називається серверами, може надавати певні сервіси іншим. В чистій «peer-to-peer» мережі не існує поняття клієнтів або серверів, лише рівні вузли, які одночасно функціонують як клієнти та сервери по відношенню до інших вузлів мережі.

Останні роки все більшої популярності набувають так звані «хмарні технології» або «хмарні обчислення (Cloud computing)». **Хмарна технологія** – це технологія, яка надає користувачам Інтернету доступ до комп'ютерних ресурсів сервера і використання програмного забезпечення як on-line сервіса. **Хмарні обчислення** (англ. *Cloud Computing*) – це модель забезпечення повсюдного та зручного доступу на вимогу через мережу до спільного пулу обчислювальних ресурсів, що підлягають налаштуванню (наприклад, до комунікаційних мереж, серверів, засобів збереження даних, прикладних програм та сервісів), і які можуть бути оперативно надані та звільнені з мінімальними управлінськими затратами та зверненнями до провайдера. Так, розробляється проект Trustworthy Clouds («Надійні Хмари») – спрямований на розробку прототипу для тестування вдосконаленої хмарної інфраструктури, здатної покращити безпеку і конфіденційність ІТ-систем, що діють усередині інтелектуальної мережі. Підприємства енергетичної галузі мають здійснити трансформацію існуючих систем в інтелектуальні електромережі, сформувавши наскрізні захищені мережі, які дозволяють підприємствам та організаціям безпечно експлуатувати інтелектуальні мережі відповідно до нових стандартів і нормативних вимог та бізнес-процесів [9]. Об'єднання інформаційних технологій (ІТ) і систем керування та контролю (ОТ) дає можливість створити такі нові форми на основі реалізації положень Smart Grid:

– центр здоров'я обладнання (АНС) – наступне покоління систем керування основними фондами підприємства (ЕАМ);

– самовідновлення підстанції (SSH) – система наступного покоління, що об'єднує системи керування основними фондами підприємства (ЕАМ), мобільними ремонтними бригадами (MWFМ), розподілом електроенергії (DMS) і автоматизації підстанції (SA);

– центр керування інтелектуальною мережею (SGCC) – на основі інфраструктури системи D-SCADA (або системи SCADA для мережі розподілу електроенергії) і включає сучасні додатки систем керування: розподілом електроенергії – DMS, попитом віртуальних електростанцій – OMS, інформацією про географічне положення – GIS, мобільними ремонтними бригадами – MWFМ, основними фондами підприємства – ЕАМ, роботою віртуальних електростанцій – VPP, перервами електропостачання – DRMS, відомостями про споживачів – CIS, вимірювальною інфраструктурою – АМІ та керування енергетичним портфелем – ЕРМ.

Топ-тренди, очікування та тенденції у розвитку Smart Grid зведено у табл. 3.

**Таблиця 3**

Топ тренди Smart Grid - 2011	Очікування в області Smart Grid - 2012	Тенденції у розвитку Smart Grid
Корпоративне злиття та поглинання в індустрії Smart Grid	Зростання обсягів продажу інтелектуальних лічильників (технології Smart Grid 2.0)	Керування великими потоками інформації
Інтенсифікація впровадження інтелектуальних лічильників (73 млн. шт.)	Створення аналітичних центрів для структурування потоків даних	Розвиток інтелектуальних трансформаторів
Розвиток моделей керування попитом; розвиток стандартизації	Зростання виробництва та продажу електромобілів	Впровадження акумуляторів (систем зберігання електроенергії) в комерційні електромережі
Розвиток «хмарних» технологій для керування постійно змінюваними потребами енергетичних компаній	Стандартизація у сфері Smart Grid	Розвиток програмного забезпечення та Інтернет-мережі
Технології керування мережею; розвиток спеціального програмного забезпечення	Розширення участі споживачів на ринку електроенергії	Розвиток «інтернет-речей» та систем передплати за електроенергію
		Розвиток інтелектуальних датчиків, у першу чергу, термостатів

### **Побудова інтелектуальних мереж в Україні.**

Основні питання розробки концепції Smart Grid в Україні [10–12]:

1. Формування стратегічного бачення майбутньої електроенергетики в Україні на базі концепції Smart Grid.
2. Перерозподіл основних вимог та функціональних властивостей вітчизняної електроенергетики на базі концепції Smart Grid і принципи його здійснення.
3. Визначення основних напрямків розвитку всіх елементів енергетичної системи: генерації, передачі і розподілу, збуту, споживання та диспетчеризації.
4. Перерозподіл основних компонентів, технологій, інформаційних і управлінських рішень у всіх вищезгаданих сферах.
5. Забезпечення координації модернізації (подолання технологічного розриву) та інноваційного розвитку в українській електроенергетиці.

В Україні потрібна серйозна технологічна модернізація мережі, зокрема, із використанням пристроїв регулювання напруги та потоків потужності, створення резервних ємностей для вирівнювання профілів генерації. Власне з цим пов'язані основні очікування суспільства щодо стійкого та ефективного енерговиробництва та енергоспоживання.

Поряд із створенням концепції Smart Grid в Україні важливо розробити відповідне нормативно-правове та технічне забезпечення інтеграції розосереджених джерел енергії з використанням наявних на ринку нашої країни пристроїв СЕ та накопичувачів, створити платформу керування потужністю інтегрованих розосереджених джерел енергії на основі сучасних технологій Smart Grid, забезпечити реалізацію міжнародних стандартів функціональної сумісності обладнання інтелектуальних мереж відповідних регламентів і технічних умов. Основна увага має бути спрямована на вивчення зв'язку процесів передачі та розподілу електроенергії, а також пов'язаних з цим «інтелектуальними» вимірами, питаннями роботи ринків та дії регулюючих норм.

Складові концепції створення інтелектуальних мереж в Україні:

- нові рішення і технології (проривні та покращуючі);
- інформаційна взаємодія та системи керування;
- нормативно-правові аспекти;
- створення та реалізація пілотних проектів (енергетичних кластерів);
- тиражування результатів, об'єднання енергетичних кластерів, створення інтелектуальної електричної мережі України.

На сьогодні важливо розробити концепцію Інтелектуальних електричних мереж Smart Grid для енергетики України, створити центр трансферу технологій у сфері енергетики («енергетичний» хаб), здійснити формування технологічної платформи «Інтелектуальні електроенергетичні мережі України». Першим позитивним кроком є впровадження системи контролю підстанцій Кримської ЕС із створенням WAMS в Криму (2012 – 2014 рр.) за рахунок кредитів Світового Банку.

На новому етапі модернізації електроенергетичного сектора нашої країни доцільно враховувати особливості зміни вітчизняної інфраструктури (техносфери) в рамках реалізації засад сталого розвитку енергетики та України в цілому, наявних соціально-економічних та екологічних обмежень; зміну ролі основних стейкхолдерів з узгодженням національного та приватного інтересу, рівнів адміністративно керованих та ринкових відносин; нову роль ринку електроенергії, формування балансуєчого ринку; нові співвідносини «власник генеруючих та розподільних мереж» – «покупець електроенергії»; формування «енергетичних хабів» у кінцевого споживача, у тому числі й у промисловості, із визначенням ефективних точок суміщення та взаємоперетворення видів енергії, використання «інтелектуальних будівель» з «нульовим» споживанням енергії.

1. *Алексеев Б.А.* Планы повышения эффективного использования электроэнергии в Европе: роль силовой электроники // Энергоэксперт. – 2009. – № 6. – С. 82–84.

2. *Бударгин О.М.* Умная сеть – платформа развития инновационной экономики / Доклад на заседании Круглого стола Петербургского международного экономического форума (2010): «Умные сети – Умная энергетика – Умная экономика». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.futuregrid.ru/>

3. *Вариводов В.Н., Коваленко Ю.А.* Интеллектуальные электроэнергетические системы // Электричество. – 2011. – № 9. – С. 4–9.

4. *Дорофеев В.В., Макаров А.А.* Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России // Энергоэксперт. – 2009. – № 4. – С. 28–34.

5. Дуглас Дж. Демонстрационные проекты по интеллектуальным сетям: фокус на интеграции распределенных источников энергии // Энергоэксперт. – 2011. – № 2. – С. 92–95.
6. Кириленко О.В., Якименко Ю.Л., Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Перетворювачі параметрів електроенергії в Smart системах енергетики // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. Спец. випуск. (Матеріали I Міжнародної наук.-технічної конференції «Інтеллектуальні енергетичні системи – ІЕС'10»). – 2010. – С. 17–23.
7. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. — М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
8. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Smart Grid как концепция инновационного развития электроэнергетики за рубежом // Энергоэксперт. – 2010. – № 2. – С. 52–58.
9. Ромеро К.А. Объединение информационных и операционных технологий для создания эффективной интеллектуальной сети // Энергоэксперт. – 2011. – № 3. – С. 72–75.
10. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Интеллектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44–50.
11. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Интеллектуальні електричні мережі: світовий досвід і перспективи України // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. Спец. випуск. Ч. 1. – К.: ІЕД НАНУ, 2011. – С. 5–20.
12. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Баталов А.Г., Денисюк С.П. Технологічний базис Інтелектуальної об'єднаної енергетичної системи України // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. Спец. випуск. Ч. 1 – К.: ІЕД НАНУ, 2011.– С. 20–31.
13. EPRI's IntelliGridSM initiative. [Electronic resource] - Mode of access: <http://intelligrid.epri.com>
14. EPRI Smart Grid Demonstration Initiative. Two year update. – Electric Power Research Institute (EPRI). – USA, California, 2010.
15. European Technology Platform – Smartgrids, April 2010: “Strategic Deployment document for Europe’s Electricity Networks of the Future.
16. Grid Weise Architectural Council. [Electronic resource] - Mode of access: <http://www.gridwiseac.org>
17. Grid 2030: A National Vision for Electricity’s Second 100 Years // Office of Electric Transmission and Distribution United State Department of Energy, July 2003.
18. Hawitt C. ORGs for Scalable, Robust, Privacy-Friendly Client Cloud Computing / C.Hawitt // IEEE Internet Computing, September/October 2008. – Vol. 12. – N 5. – Pp. 96–99.
19. Smart Grid – European Technology Platform for Electricity Networks of the Future. – European Commission, 2005. [Electronic resource] - Mode of access: <http://www.smartgrids.eu/>
20. Smart Power Grids – Talking about a Revolution // IEEE Emerging Technology portal, 2009. 2011. [Electronic resource] - Mode of access: <http://www.ieee.org/portal/site/emergingtech/techindex.jsp?techId=1220>
21. The Modern Grid Initiative Version 2.0, Conducted by the National Energy Technology Reliability, January 2007. [Electronic resource] - Mode of access: <http://www.netl.doe.gov/moderngrid/resources.html>
22. The National Energy Technology Laboratory: A vision for the Modern Grid, March 2007. [Electronic resource] - Mode of access: [http://www.bpa.gov/energy/n/smart\\_grid/docs/Vision\\_for\\_theModernGrid\\_Final.pdf](http://www.bpa.gov/energy/n/smart_grid/docs/Vision_for_theModernGrid_Final.pdf)

УДК 621.31

## ЭВОЛЮЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ИХ ПЕРСПЕКТИВЫ В УКРАИНЕ

**Б.С.Стогній<sup>1</sup>**, академик НАН України, **А.В.Кириленко<sup>1</sup>**, академик НАН України, **А.В.Праховник<sup>2</sup>**, докт.техн.наук, **С.П.Денисюк<sup>2</sup>**, докт.техн.наук

<sup>1</sup> – Інститут електродинаміки НАН України, пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна,

<sup>2</sup> – Національний технічний університет України «КПІ», пр. Перемоги, 37, 03056, Київ, Україна.

*Рассмотрены современные тенденции развития мировой энергетики и формирование основ «электрического света». Определены основные положения современной концепции Smart Grid, особенности реализации концепции «умная эффективность» и политики по реализации концепции Smart Grid в ведущих странах мира. Освещены особенности эволюции интеллектуальных электрических сетей, перспективные формы и направления развития Smart Grid технологий, их реализации в Украине. Библ. 22, табл. 3.*

**Ключевые слова:** мировая энергетика, электрический свет, Smart Grid, интеллектуальные электрические сети, информационно-коммуникационные технологии, силовая электроника.

## THE EVOLUTION OF INTELLIGENT ELECTRICAL NETWORKS AND THEIR PROSPECTS IN UKRAINE

**B.S. Stognii<sup>1</sup>, O.V. Kyrylenko<sup>1</sup>, O.V. Prahovnyk<sup>2</sup>, S.P. Denysiuk<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – Institute of Electrodynamics Academy of Sciences of Ukraine, Peremohy av., 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine,

<sup>2</sup> – National Technical University of Ukraine "KPI", Peremohy av., 37, 03056, Kyiv, Ukraine.

*Modern trends in global energy and form the basis of "electric world". The main provisions of the modern concept of Smart Grid, the features of the concept of "reasonable efficiency" and policies to implement Smart Grid concept in leading countries. Features of the evolution of smart grids, advanced forms and directions of development of Smart Grid technologies and their implementation in Ukraine. References 22, tables 3.*

**Keywords:** World Energy, electric world, Smart Grid, smart grids, information and communication technologies, power electronics.

1. *Alekseev A.* Plans for improving the efficient use of electricity in Europe: the role of power electronics // *Energoekspert.* – 2009. – № 6. – Pp. 82–84. (Rus)
2. *Budargin O.* Intelligent Network – Platform Innovation Economy / Zasedanie Kruglogo stola Peterburgskogo mezhdunarodnogo ekonomicheskogo foruma (2010): "Umnye seti – Umnaia energetika – Umnaia ekonomika". (Rus) [Electronic resource] – Mode of access: <http://www.futuregrid.ru/>
3. *Varivodov V., Kovalenko Yu.* Intelligent power systems // *Elektrichestvo.* – 2011. – № 9. – Pp. 4–9. (Rus)
4. *Dorofeev V., Makarov A.* Active-adaptive network – a new quality of UES of Russia // *Energoekspert.* – 2009. – № 4. – Pp. 28–34. (Rus)
5. *Douglas G.* Demonstration Projects on Intelligent Networks: focus on the integration of distributed energy sources // *Energoekspert.* – 2011. – № 2. – Pp. 92–95. (Rus)
6. *Kyrylenko O., Yakimenko Yu., Zhuikov V., Denysiuk S.* Converter parameters in power systems, Energy Smart // *Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy. Spetsialnyi vypusk.* – 2010. – Pp. 17–23. (Ukr)
7. *Kobets B., Volkova I.* Innovative development of electric power based on the concept of Smart Grid. – Moskva: IAC Energiia, 2010. – 208 p. (Rus)
8. *Kobets B., Volkova I.* Smart Grid as the concept of innovation development of power abroad // *Energoekspert.* – 2010. – № 2. – Pp. 52–58. (Rus)
9. *Romero K.* Integration of information and operational technologies to create an effective smart grid // *Energoekspert.* – 2011. – № 3. – Pp. 72–75. (Rus)
10. *Stognii B., Kyrylenko O., Denysiuk S.* Smart grids, electric power systems and their technological support // *Tekhnichna elektrodynamika.* – 2010. – № 6. – Pp. 44–50. (Ukr)
11. *Stognii B., Kyrylenko O., Prahovnyk A., Denysiuk S.* Intelligent electrical network: the international experience and perspectives of Ukraine // *Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy. Spetsialnyi vypusk.* – 2011. – Pp. 5–20. (Ukr)
12. *Stognii B., Kyrylenko O., Batalov A., Denysiuk S.* The technological basis Intellectual united energy system of Ukraine // *Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy. Spetsialnyi vypusk.* – 2011. – Pp. 20–31. (Ukr)
13. *EPRI's IntelliGridSM initiative.* [Electronic resource] - Mode of access: <http://intelligrid.epri.com>
14. *EPRI Smart Grid Demonstration Initiative.* Two year update. – Electric Power Research Institute (EPRI). – USA, California, 2010.
15. *European Technology Platform – Smartgrids,* April 2010: “Strategic Deployment document for Europe’s Electricity Networks of the Future.
16. *Grid Wise Architectural Council.* [Electronic resource] - Mode of access: <http://www.gridwiseac.org>
17. *Grid 2030: A National Vision for Electricity’s Second 100 Years* // Office of Electric Transmission and Distribution United State Department of Energy, July 2003.
18. *Hawitt C.* ORGs for Scalable, Robust, Privacy-Friendly Client Cloud Computing / *C.Hawitt* // *IEEE Internet Computing,* September/October 2008. – Vol. 12. – N 5. – Pp. 96–99.
19. *Smart Grid – European Technology Platform for Electricity Networks of the Future.* – European Commission, 2005. [Electronic resource] - Mode of access: <http://www.smartgrids.eu/>
20. *Smart Power Grids – Talking about a Revolution* // *IEEE Emerging Technology portal,* 2009. 2011. [Electronic resource] - Mode of access: <http://www.ieee.org/portal/site/emergingtech/techindex.jsp?techId=1220>
21. *The Modern Grid Initiative Version 2.0,* Conducted by the National Energy Technology Reliability, January 2007. [Electronic resource] - Mode of access: <http://www.netl.doe.gov/moderngrid/resources.html>
22. *The National Energy Technology Laboratory: A vision for the Modern Grid,* March 2007. [Electronic resource] - Mode of access: [http://www.bpa.gov/energy/n/smart\\_grid/docs/Vision\\_for\\_theModernGrid\\_Final.pdf](http://www.bpa.gov/energy/n/smart_grid/docs/Vision_for_theModernGrid_Final.pdf)

Надійшла 11.06.2012

Received 11.06.2012