

ТЕХНОЛОГІЇ TECHNIQUE

УДК 621.0

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, професор
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОРІЄНТИРИ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Проаналізовано особливості реалізації політики підвищення інтелектуального рівня електроенергетичних систем з точки зору світових передових практик. Представлено базові принципи реалізації концепції Smart Grid з виділенням трьох поколінь: Smart Grid 1.0 – реагування на попит; AMI-мережа (на базі AMR, RTU і т.п. пристроїв); спеціалізоване програмне забезпечення (EMS / SCADA); розподілена автоматизація; Smart Grid 2.0 – IP-протокол; електромобілі; зберігання енергії; Smart Grid 3.0 – роумінг енергії; торгівля енергією Peer-to-Peer.

Наведено характеристику сучасних проєктів у сфері Smart Grid, які реалізуються у передових країнах Америки та Європи, оцінена роль міжнародних організацій, які забезпечують координацію реалізації концепції Smart Grid та просування на світових ринках сучасних досягнень для підвищення рівня інтелектуалізації електроенергетичних систем.

Визначено, що основними методами та інструментами реалізації концепції Smart Grid є: інтеграція в електроенергетичні системи різномірних джерел електроенергії, в тому числі на основі відновлюваних енергоносіїв і «активних» споживачів; вибір оптимального складу генеруючих джерел, включаючи розосереджену генерацію; автоматичне виявлення, усунення або зменшення наслідків порушень у роботі електроенергетичних систем як на локальному, так і на системному рівні; керування електроспоживанням стимулюючими методами і вибірково обмеженнями споживачів; стійкість до впливу загроз безпеки (фізична, інформаційна та ресурсна безпека); можливість розвивати системні послуги на базі ринкових механізмів; оптимальне використання і обслуговування виробничих фондів об'єктів електроенергетики протягом всього життєвого циклу. Проаналізовано особливості побудови еталонних архітектур інтелектуальних електроенергетичних систем, використання мультиагентних систем керування. Показано, що стандартизація відіграє все більшу роль при вирішенні пріоритетів технологічної реалізації концепції Smart Grid.

Оцінено основні технологічні орієнтири реалізації концепції Smart Grid в електроенергетичних системах України.

Ключові слова: Smart Grid, інтелектуальні електроенергетичні системи, реалізація політики, пілотні проєкти, сучасні пріоритети, європейські орієнтири, технологічна реалізація.

Світовий попит на електроенергію щороку збільшується в середньому на 2,2 % та зростає, згідно з прогнозами аналітиків, з 20300 ТВт/год. сьогодні до 33000 ТВт/год. у 2030 році. Запаси органічного палива скорочуються, хоча воно як і раніше є основним джерелом енергії, забезпечуючи близько 85 % світової потреби [24, 25]. Істотні зміни в світовій енергетиці останніх років, такі як: ускладнення топології енергосистем, збільшення частки відновлюваних джерел енергії, розвитку конкурентного ринку електроенергії, призводять до того, що зміни основних параметрів режиму і різних характеристик ОЕС – набувають непередбачуваного, різкозмінного характеру.

Вирішити проблеми енергозабезпечення допоможуть інтелектуальні електроенергетичні системи (ІЕС) [6–11, 13–17, 19–21]. У США, Європейському Союзі, Канаді, Китаї концепція Smart Grid є по суті державною політикою технологічного розвитку електроенергетики майбутнього.

Загальноприйнятого визначення інтелектуальних енергетичних систем (Smart Grid) в даний час в світі не існує. Англійська абревіатура SMART розшифровується як Self Monitoring Analysis and Reporting Technology, тобто технологія, яка передбачає самомоніторинг і можливість передачі результатів моніторингу. В іноземній практиці використовуються також поняття Future Grid, Empowered Grid, Wise Grid, Modern Grid, IntelliGrid. Термін «інтелектуальна мережа» (Smart Grid) став відомий з 2003 року, коли він з'явився в статті «Попит надійності буде керувати інвестиціями» Майкл Т. Вурт [12].

У 1951 р. вчений Д. Мак-Кей ввів поняття самокерованих машин (такого поняття, як «штучний інтелект» тоді ще не було). За визначенням Д. Мак-Кея у навчання входить спостереження і керування

власною ціленаправленою поведінкою [1, 5]. Ці функції, безумовно, є характерними для сучасної інтелектуальної системи, у тому числі і в електроенергетиці. З точки зору техніки найбільш цікавим і змістовним є визначення системи, дане академіком П.К. Анохіним: «Системою можна назвати тільки такий комплекс вибірково залучених компонентів, у яких взаємодія та взаємовідношення приймають характер взаємодії компонентів на отримання фокусованого корисного результату» [1]. При цьому «фокусований корисний результат» можна розглядати як досягнення мети функціонування системи. Таке визначення системи пов'язує її з цілеспрямованою активністю. Інтелект з точки зору технічних систем слід розглядати як поєднання здатності передбачення середовища з можливістю вибору відповідної реакції з множини альтернатив з урахуванням результату передбачення і поставленої мети. Вважається доцільним визначати інтелект в термінах поведінки системи (живої або штучної), що прагне до мети, та вимірювати ступінь її інтелекту щодо адекватності рішень, які нею приймаються. При відсутності мети прийняття рішень безпредметно і термін «інтелект» не має сенсу.

Згідно документу «Strategic research agenda of EPoSS – the European Technology platform on Smart Systems integration» [18] Smart Systems є самодостатніми інтелектуальними технічними системами або підсистемами з розширеною функціональністю, що включає у загальному випадку базові мікро-, нано- та біосистеми та інші компоненти. Вони здатні відчувати, діагностувати, описати, оцінити та керувати у даній ситуації, їх робота посилюється завдяки їх здатності до взаємодії одна з однією щодо вирішення, виявлення та відпрацювання збурення. Вони відрізняються високою надійністю, часто мініатюрні, мережоподібні, інтелектуальні та енергетично автономні. Smart Systems є автономними або співпрацюючими системами та об'єднують моніторинг (сенсорні датчики), актуалізацію та інформатику / зв'язок, щоб допомогти користувачам або іншим системи виконувати свою роль.

Три покоління Smart Systems, наведені нижче, не обов'язково слідують один за одним у часі (номенклатура «покоління» в даному випадку означає підвищення рівня з «інтелектуальності» та автономності, а не слідування одного покоління з іншого):

1-е покоління Smart Systems – включають зондування та / або актуалізацію в якості обробки сигналів або можливих дій;

2-е покоління Smart Systems – дозволяють прогнозувати і самонавчатися;

3-є покоління Smart Systems – моделювати людське сприйняття / пізнання.

Нижче представлена еволюція мережових архітектур і відповідних технологій [25]:

– забезпечення зв'язку: цифровий доступ до інформації (Пошта, Web-браузер, Пошук);

– мережева економіка: автоматизація бізнес процесів (Електронна комерція, Електронна взаємодія (API), Автоматизація (ERP / CRM / SCM / OSS / BSS));

– ефект присутності: цифрова взаємодія (Бізнес & Соціальне середовище – Соціальні мережі, Мобільні додатки, Хмарні технології, Відео);

– Internet of Things: цифровий світ (Підключені до мережі: Люди, Процеси, Дані, Речі).

Наведемо окремі визначення інтелектуальної мережі Internet of Things в трактуванні окремих світових компаній [24, 25]:

– McKinsey & Company: сенсори і електромеханічні пристрої вбудовані в фізичні об'єкти (від дорожньої інфраструктури до кардіостимуляторів), з'єднані між собою за допомогою дротової і бездротової інфраструктури зв'язку;

– Accenture: «речі», з'єднані з мережею Інтернет у будь-який час, в будь-якому місці; інтеграція сенсорів і пристроїв в об'єкти повсякденного життя, які підключені до Інтернету за допомогою фіксованого зв'язку;

– Gartner: мережа з фізичних об'єктів, до якої можна отримати доступ за допомогою Інтернет та яка містить вбудовані технології, що є визначальними і взаємодіють з їх внутрішнім станом або навколишнім середовищем;

– SAP: фізичні об'єкти, об'єднані в рамках інформаційної мережі та активно беруть участь у бізнес-процесах і технологічних процесах;

– AT&T: бездротовий зв'язок з об'єктами реального світу;

– ITU: з'єднання повсякденних речей і пристроїв з електронними мережами.

Незважаючи на існування низки визначень концепції ІЕС, їх можна узагальнити, визначивши інтелектуальну енергосистему як об'єднання енергетичної інфраструктури і впроваджених / розподілених інформаційно-комунікаційних технологій (програмного забезпечення, автоматизації, обробки інформації). З'єднання двох інфраструктур забезпечує наявність необхідного «інтелекту». Даний інтелект може бути представлений на різних рівнях мережі (генерація, мережеве програмне забезпечення, споживання, моніторинг та керування). Три базові принципи Smart Grid: безпечність, стандартизація, інтеграція.

За поняттям «інтелектуальна енергетика» стоїть щось більше, ніж глибока інформатизація та автоматизація обладнання і процесів. Інтелектуальна енергетика це технологічний пакет, що забезпечує перехід до нового техно-промислового та соціо-культурного укладу.

Актуальність побудови ІЕС підтверджується наступним. У жовтні 2009 р. Президент США Барак Обама оголосив «Програму з розвитку інтелектуальних енергосистем», яка включає: підвищення ефективності транспорту і розподілу електроенергії; стимулювання споживачів до економії електроенергії і скорочення витрат на електроенергію; інтеграцію різних інтелектуальних компонентів у інтелектуальну енергосистему; підтримку розвитку технологій для інтелектуальних енергосистем.

В ЄС у 2007 р. опублікована Стратегічна програма досліджень (Strategic Research Agenda, SRA), яка стала платформою для інших європейських і національних програм по створенню Smart Grid, а в квітні 2010 року видано новий документ – Strategic Deployment Document (SDD), що фактично містить посібник з впровадження Smart Grid. Згідно прийнятого Set-Plan Smart Grid визначено європейські пріоритети впровадження інтелектуальних мереж: оптимізація мережевих операцій та споживання; оптимізація мережевої інфраструктури; об'єднання крупномасштабної змінної генерації; інформаційно-комунікаційні технології; активні розподільні мережі; нові ринки, споживачі, енергетичні поставки [19].

У теперішній час розроблено чіткі стратегії еволюції існуючих інфраструктур. Так, функціональна модель Smart Grid, розроблена у 2009 р. Національним інститутом стандартів і технологій США (NIST), виділяє основні області діяльності в електроенергетиці об'єднаними технологічними та комунікаційними зв'язками: оптова генерація (Bulk Generation); передача електроенергії (Transmission); розподіл електроенергії (Distribution); оперативне керування (Operations); споживач (Customer); ринки (Markets); сервісна організація (Service provider). У концептуальній моделі NIST оперуються двома ключовими поняттями: діючі суб'єкти (actors); прикладні задачі (applications).

Формування ІЕС стає частиною державної стратегії в умовах, коли потрібне оновлення та модернізація електроенергетичної інфраструктури. Зазначимо, що навіть в економічно розвинених країнах національні електромережі були побудовані після Другої світової війни і зараз, з урахуванням зростання попиту і навантаження, гостро потребують оновлення. Мережа майбутнього – це інтелектуальна мережа, яка поєднує в собі комплексні інструменти контролю та моніторингу, інформаційні технології та засоби комунікації, що забезпечують значно вищу продуктивність енергомережі і дозволяють генеруючим, збутовим та комунальним компаніям надавати населенню енергію високої якості.

Сьогодні у світі склалось розуміння, що швидкий перехід до ідеальної (еталонної) моделі Smart Grid неможливий. У зв'язку з цим виділено три покоління Smart Grid, що дозволяють послідовно рухатися до цільової моделі (див. табл. 1): Smart Grid 1.0 – стан електроенергетичної інфраструктури, при якому окремі пристрої та об'єкти системи можуть підключатися до мережі без використання єдиних цифрових стандартів; Smart Grid 2.0 – стан електроенергетичної інфраструктури, при якому підключення будь-яких вузлів системи можливо тільки при умові переходу на єдиний IP-протокол та включених в єдину інтегровану IP-мережу; Smart Grid 3.0 – гнучка енергетична система, яка базується на принципах децентралізованого керування та рівноправності споживача і постачальника.

Таблиця 1

Покоління	Ключові характеристики
Поточна ситуація	Аналогові лічильники, Цифрові лічильники, Системи керування для локальних рішень (DCS, BMS та інш.).
Smart Grid 1.0	Реагування на попит; АМІ-мережа (на базі AMR, RTU і т.п. пристроїв); спеціалізоване ПЗ (EMS / SCADA); розподілена автоматизація.
Smart Grid 2.0	IP-протокол; електромобілі; зберігання енергії.
Smart Grid 3.0	Роумінг енергії; торгівля енергією Peer-to-Peer.

Охарактеризуємо сучасний розвиток сучасних положень концепції Smart Grid [3, 9, 11, 14, 15, 19, 20, 24, 25]. Держави Євросоюзу і США по-різному розуміють функціональне призначення Smart Grid та застосовуючи нові технології, керуються різними мотивами. Згідно дослідження (опубліковано у листопаді 2012 р.), яке провела консалтингова компанія DNV KEMA Energy & Sustainability (Нідерланди), виявлено істотні відмінності в тому, яку роль відіграє Smart Grid в країнах Євросоюзу та США. У США розвиток розумних мереж обумовлено в основному комерційним результатом. У фокус розміщується взаємодія споживачів і енергокомпаній: перші отримують зручну систему тарифів на електроенергію, другі – можливість контролювати та знижувати пікові навантаження на мережу. Інакше визначають пріоритети члени Євросоюзу, які роблять ставку на енергоефективність і вирішення проблеми зниження викидів CO₂. За розрахунками американських фахівців, за 20 років використання інтелектуальних електромереж чиста економія може скласти близько 48 млрд. євро. Європейські країни розраховують на заощадження близько 7,5 млрд. євро на рік. Країни Євросоюзу – енергокомпанії і споживачі – пріоритети розставляють інакше. Згідно з висновками доповіді, Європа робить головний упор на фактор енергоефективності. Не менш серйозне значення надається і проблемі зниження викидів CO₂.

Згідно зі звітом Європейської комісії Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments [17], опублікованому у червні 2011 року, інвестиції в проекти інтелектуальних мереж: в Європі – 56,5 млрд. євро до 2020 р.; в США – близько € 238-334,5 млрд. євро до 2030 р.; в Китаї – 71 млрд. євро до 2020 р.

Починаючи з 2010 року відзначається зростання інтересу до систем інтелектуального електроживлення і технологіям ІЕС (Smart Grid). З початку другого десятиліття XXI ст. Smart Grid розглядаються як ключовий фактор у справі задоволення зростаючого попиту на якісні енергоресурси і забезпечення енергоефективності. Першим кроком у цьому напрямку вважається інтеграція інтелектуального вимірювального обладнання (Smart Meters). Розгортання подібних систем в Європі вже успішно здійснюється. Згідно з нормами ЄС до 2020 р. інтелектуальні лічильники повинні обслуговувати 80 % енергоспоживання в Європі. Зокрема, Швеція та Італія вже повністю перейшли на цю технологію в 2010 р., а Фінляндія, Норвегія та Данія, як очікується, досягнуть поставлених цілей до 2016 р.

Так, Євросоюз щорічно витрачає сумарно 1,2 млрд. євро на дослідження в галузі інтелектуальних мереж. У Франції запущена програма по заміні 35 млн. електромеханічних приладів обліку на «розумні», а в Іспанії відповідно до постанови уряду від 2008 р. всі споживачі електроенергії в країні повинні бути оснащені «розумними» приладами до 2018 р. Італія вже сьогодні оснащена такими приладами на 95 %. Шведські енергокомпанії оснастили до теперішнього часу інтелектуальними приладами обліку більшість споживачів електроенергії в країні, а у Норвегії регулятор зобов'язує енергокомпанії впровадити такі прилади до 2015 р.

Наведемо топ-тренди, очікування та тенденції у розвитку Smart Grid в 2011–2012 рр. [9]. Топ-тренди Smart Grid в 2011 р.: корпоративне злиття та поглинання в індустрії Smart Grid; інтенсифікація впровадження інтелектуальних лічильників (73 млн. шт.); розвиток моделей керування попитом та стандартизації; розвиток «хмарних» технологій для керування постійно змінюваними потребами енергетичних компаній; технології керування мережею та розвиток спеціального програмного забезпечення.

Очікування в сфері Smart Grid з 2012 року: зростання обсягів продажу інтелектуальних лічильників (технології Smart Grid 2.0); створення аналітичних центрів для структурування потоків даних; зростання виробництва та продажу електромобілів; стандартизація у сфері Smart Grid; розширення участі споживачів на ринку електроенергії.

Тенденції у розвитку Smart Grid: керування великими потоками інформації; розвиток інтелектуальних трансформаторів; впровадження акумуляторів (систем зберігання електроенергії) в комерційні електромережі; розвиток програмного забезпечення та Інтернет-мережі; розвиток «інтернет-речей» та систем передплати за електроенергію; розвиток інтелектуальних датчиків, у першу чергу, термостатів.

За даними досліджень EPRI, представлених у 2011 р., технології Smart Grid можуть потребувати від 1,3 до 2 трлн. дол. протягом 2011–2030 років. Лише вартість установки цифрового керування та відповідних додатків будуть коливатися в межах 17–24 млрд. дол. на рік або в межах 338–476 млрд. дол. протягом 20 років.

Північноамериканські проекти в галузі Smart Grid [15, 20, 21, 24, 25]:

– Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project. Демонстраційний проект США з дослідження автоматизації розподільної мережі, розосередженої генерації, акумуляування електроенергії, розвитку вимірювальної інфраструктури та керування попитом за участю більше 60 тис. споживачів, 12 енергокомпаній в 5 штатах. Вартість: 180 млн. дол.;

– Houston's Smart Grid. Мульти-технологічний проект в районі Мексиканської затоки, що включає використання 2,2 млн. «розумних» пристроїв вимірювання та автоматизації мережі. Вартість: 640 млн. дол. (у т.ч. 200 тис. дол. від Уряду США);

– Smart Texas. Мульти-технологічний проект Техасу з використанням 3,4 млн. «розумних» пристроїв вимірювання та автоматизації мережі, спрямований на стимулювання енергозбереження та зменшення електроспоживання на 15 %. Закінчення – 2012 р.

– Ontario Smart Metering Initiative. Проект по розвиненій інфраструктурі вимірювань в провінції Онтаріо (Канада) з установкою 4,5 млн. «розумних» лічильників у поєднанні з обов'язковим запровадженням диференційованих тарифів. Пілотні програми показали зниження пікового навантаження на 5–8%. Вартість: 1 млрд. дол. (щорічно 50 млн. дол.).

Сьогодні ми є свідками подальшого розвитку технології Smart Grid. Підприємства намагаються урізноманітнити свої послуги передовими напрацюваннями. Представимо п'ять нових перспективних проектів в галузі інтелектуальних мереж [22]:

Austin Energy і система VYCON. Замість традиційних акумуляторних батарей на основі джерел безперебійного живлення (ДБЖ) компанія Austin Energy вибрала для нового центру керування гібридну систему накопичення енергії на базі маховиків VYCON. За словами представників компанії з Лос-Анджелеса, технологія VYCON дозволяє досягти підвищення надійності резервного живлення. ДБЖ-

системи з маховиковим накопичувачем енергії швидко стають «стандартом де-факто» при створенні систем стабільного електроживлення, коли надійність є ключовою проблемою. Центр керування енергопостачанням площею 17651 м² за допомогою продукції VYCON успішно стабілізує рівень навантаження на мережу.

Чотири селища на Алясці, де застосовується технологія SGS. Перша практична реалізація технології Smart Grid as a Service (SGS) – Smart Grid як сервіс, розробленої фахівцями компанії Science Applications International Corporation (SAIC), відбулася 12 грудня 2012 р. Intelligent Energy Systems залучила SAIC для реалізації платформи керування енергоспоживанням в чотирьох селищах на Алясці. SGS дає ряд переваг в порівнянні з аналогами: можливість миттєвого доступу до показань інтелектуальних лічильників, підвищення операційної ефективності, зниження витрат на електроенергію та спрощення контролю за енергопостачанням віддалених регіонів.

Проект Hawaiian Electric і Honeywell. Гавайська електрична компанія Hawaiian Electric Co. з Гонолулу об'єднала зусилля з компанією Honeywell в рамках дворічного пілотного проекту, щоб продемонструвати як технології реагування на попит можуть допомогти інтегрувати джерела непостійної відновлюваної енергії в електромережі. Працюючи з комерційними та промисловими споживачами, Hawaiian Electric проводить перевірку системи «швидкого реагування на попит» (Fast DR), яка надає комунальникам інструменти для скорочення обсягу попиту на електроенергію протягом 10 хв. після надходження повідомлення про дисбаланс між попитом і пропозицією. Споживачі отримують стимул до участі в програмі Fast DR у вигляді кредиту на додаткове енергопостачання. Компанія Honeywell вже додала додаток Smart Grid до свого програмованого термостата Prestige®.

Con Edison, Siemens та TIBCO працюють над покращенням надійності мережі. Проект для демонстрації технології Smart Grid в Нью-Йорку об'єднав технологію обміну повідомленнями між підприємствами TIBCO з досвідом інтеграції інтелектуальних мереж Siemens. Перед розробниками проекту стоїть ціла низка завдань, у тому числі покращення надійності інтелектуальної мережі та забезпечення клієнтам енергетичної компанії Con Edison більшої наочності і гнучкості при роботі з елементами Smart Grid. Проект передбачає розширення можливостей керування існуючими елементами інтелектуальних мереж і керування енергопостачанням в моменти пікового навантаження через системи реагування на попит.

Клієнти Wake Electric отримали інтелектуальні лічильники. Більше 35000 клієнтів Wake Electric з Північної Кароліни отримали в своє користування інтелектуальні лічильники електроенергії. Для їх моніторингу буде застосовуватися система Sensus FlexNet AMI. Представники Sensus повідомляють, що їх продукт працює за допомогою безпечної бездротової мережі. Система Sensus FlexNet AMI замінить попередню систему, яка була на службі комунальників протягом останніх десяти років.

Європейські проекти в галузі Smart Grid [16, 17, 19, 20, 25]:

– ADDRESS (Active Distribution network with full integration of Demand and distributed energy RESources) – керована розподільна мережа для інтеграції «активного споживача». Демонстраційний мультитехнологічний проект за участю 400 споживачів. Вартість 16 млн. євро, закінчення – 2012 р.;

– GRID4EU – дослідницький проект. Демонстраційний мультитехнологічний проект на 6 експериментальних точках. Вартість 54 млн. євро, закінчення – 2018 р.;

– GREEN eMOTION – демонстраційний проект. Дев'ять мультитехнологічних проектів з дослідження інтеграції станцій для підзарядки електромобілів, оптимальних схем зарядки, білінгових систем і т.д. Вартість 24,2 млн. євро, закінчення – 2015 р.;

– ECOGRID – ініціативний проект. Мультитехнологічний проект з керування споживанням за участю 28 тис. жителів, 300 великих споживачів і 56 МВт генерації на базі ВДЕ. Вартість 21 млн. євро, закінчення – 2014 р.;

– EU-DEEP (The birth of European Distributed EnErgy Partnership) – інноваційні бізнес-рішення з інтеграції розосередженої генерації;

– «FENIX» (Flexible Electricity Networks to Integrate the eXpected energy evolution) передбачає побудову гнучкої електричної мережі, основними цілями якого є: відпрацювання механізмів функціонування загальноєвропейської енергосистеми, зокрема, розробка концепції віртуальних електростанцій (VPP); відпрацювання алгоритмів включення в загальну систему розподілених джерел генерації (DER) і відновлюваних джерел енергоресурсів (RES); розробка нових програмно-апаратних платформ для втілення в життя концепції VPP; техніко-економічне обґрунтування застосування VPP; демонстрація розробок на полігонах в Іспанії та Великобританії. Даний проект об'єднав провідних гравців європейського енергетичного ринку, таких як Iberdrola, Electricité de France, EDF Energy Networks, Red Eléctrica de España, National Grid Transco, Siemens PSE, Areva T & D та інш.

Відомі проекти побудови Microgrid – окремих енергомережових структур, розташованих на невеликій території, що мають власні генеруючі джерела та здатні взаємодіяти з центральною мережею для вирішення завдань покриття максимуму пікових навантажень. Проекти успішно реалізуються в

Європі (консорціум 14 компаній з семи країн на чолі з Національним технологічним університетом Афін (NTUA)), США (проекти реалізуються консорціумом CERTS, компанією GE), а також в Канаді та Японії. Необхідно також відзначити проект побудови інтелектуальної енергетичної інфраструктури (розподілена генерація, відновлювані джерела енергії, кошти акумулювання енергії, центри диспетчерського керування) у трьох префектурах Японії, реалізований компанією Mitsubishi Electric.

Дослідження «Smart Grids in Europe – Identification of Key Growth Opportunities» [23] компанії Frost & Sullivan, оприлюднене в травні 2012 р., є частиною сервісної партнерської програми розвитку з тематики енергетика і енергосистем та включає наступні дослідження: європейський ринок інтелектуального вимірювального обладнання; автоматизація підстанцій в Європі та її вплив на ринок інтелектуальних енергомереж; ринок передової вимірювальної інфраструктури в країнах Азіатсько-Тихоокеанського регіону та Близького Сходу; світовий ринок інтелектуальних енергомереж. Згідно з даними дослідження компанії Frost & Sullivan «Smart Grids в Європі – ключові можливості для зростання» п'ятьма найбільш швидко зростаючими секторами європейського ринку технологій Smart Grid є передові вимірювальні інфраструктури (AMI), інтеграція розосередженого виробництва електроенергії, датчики, покращені технології передачі енергії на далеку відстань та електромобілі. Успіх технологій інтелектуальних вимірювальних систем в Європі багато в чому обумовлений ініціативами регулюючих органів.

У виділених проектах структура системи Smart Grid представлена наступними елементами:

– Smart Sensons and Devices – інтелектуальні датчики та пристрої для магістральних і розподільних мереж;

– IT Hardware and Software – IT-рішення, використовувані в основному в магістральних і розподільних мережах;

– Smart Grid Integrated Communications – інтегровані системи контролю і керування – комплексні рішення в області автоматизації; деякий аналог відомих систем планування ресурсів підприємства – Enterprise Resource Planning (ERP) в межах підприємства;

– Smart Metering Hardware and Software – інтелектуальні лічильники у формі програмно-апаратних засобів.

Аналіз результатів реалізації концепції Smart Grid у провідних країнах дозволив визначити загальні «проблемні зони» реалізації проектів Smart Grid у світі:

– перспективні проекти Smart Grid – тільки узгоджені міждержавні проекти (необхідна спеціальна інфраструктура для міжкорпоративної комунікації);

– проектів Smart Grid – це довгострокові та дорогі проекти, а також високоризикові, в умовах дефіциту державних інвестицій.

– необхідним є переоблаштування нормативної бази всієї енергетики, перегляд моделі сектора (займає кілька років);

– необхідні нові технічні рішення, використання яких є регламентованим (розробка «стандартів» – поєднання способу передачі даних про учасників «інтелектуальної мережі» та обсягів переданих даних; головна відмінність – у принципах передачі та роботи з інформацією).

Міжнародний дослідницький центр в галузі енергетики VaasaETT у 2013 р. завершив роботу над «Звітом про глобальне значення інтелектуальних мереж Smart Grid» [25]. Це перше в історії таке масштабне дослідження за проектами інтелектуальних мереж. Спочатку було вибрано 200 проектів, з яких для детального дослідження відібрали 30. Дуже важливо те, що в центрі дослідження знаходиться споживач і вплив на нього результатів впровадження Smart Grid. Крім того, був проведений аналіз рентабельності інвестицій в інтелектуальні мережі. Необхідно відзначити, що звіт був незалежним, тому довіра до нього дуже висока. Наведемо ключові показники рейтингів зі Звіту про глобальне значення інтелектуальних мереж Smart Grid 2013 року. Найвищу оцінку отримав проект OG & E's Positive Energy Smart Grid, США. Oklahoma Gas & Electric (OG & E) (газо-електрична компанія). Інноваційний і комплексний підхід OG & E до інтелектуального моніторингу мереж поставив компанію на перше місце серед проаналізованих проектів у «Звіті про глобальне значення інтелектуальних мереж Smart Grid 2013 року».

Серед проектів на наступних п'яти позиціях після OG & E (США) – сонячне місто Таунсвілл (Австралія, штат Квінсленд); провідний проект з інтелектуальних мереж (Океанія); CPS Сан Антоніо (США); провідний проект з інтелектуальних мереж (Азія); провідний проект з інтелектуальних мереж (Латинська Америка). Перші шість проектів охоплюють 4 континенти, що робить успіх інтелектуальних мереж дійсно глобальним явищем. У Європі зосереджено 11 з 30 оцінюваних проектів, але за кількістю споживачів це склало всього лише 1 % від загального числа. Це означає, що проекти в Європі дуже маленькі, в той час як проекти в Азії та Північній Америці величезні.

Міжнародним дослідним центром в області енергетики VaasaETT сформовано «Вісім особливостей інтелектуальних мереж (вісім I)» [25].

Інвестиції (Invested). Тридцять найкращих у світі проектів інтелектуальних мереж в даний час

складають майже 10 млрд. дол. США інвестицій. Однак найбільш успішні проекти зовсім не обов'язково витрачають найбільше. Найважливіше здійснити розробки інтегрованих систем для впровадження повної наскрізний бізнес-моделі.

Інтелектуальність (Intelligent). Щоб отримати спостережуваність мережі в режимі реального часу, енергокомпанії ставлять на перше місце такі компоненти проекту як вимірювання, моніторинг та прогнозний аналіз.

Взаємопов'язаність (Interconnected). Інтеграція є другим за значимістю фактором для інновацій в проектах інтелектуальних мереж (на першому місці – вимірювання та моніторинг). Основним об'єктом уваги є оперативний зв'язок між операційними (ОТ) та інформаційними (ІТ) технологіями, що обумовлено зростаючими обсягами даних.

Інноваційність (Innovative). Деякі проекти уникають інновацій через величину передбачуваного ризику. Ці проекти, як правило, мають низький статус. Але інновації не повинні розглядатися як ризик. Кращий результат показали проекти, в яких інноваційний підхід був розосереджений на більше число сфер з широким поєднання різних компонентів.

Змістовність (Inclusive). Як правило, найкращі програми мають на 36 % більше компонентів в проектах.

Навмисність (Intentional). Поки концепції інтелектуальних мереж досягають зрілості, тільки проекти з чіткими економічними та споживчими цілями на початковому етапі можуть домогтися гарних результатів.

Багаторазовість (Iterative). У той час як інтелектуальні лічильники є ключовим компонентом загальної інтелектуальної мережі, деякі успішні проекти отримують багаторазові (багатократні) результати і без значної безпосередньої участі споживачів (розумні будинки та електричні транспортні засоби).

Інтернаціональність (International). Шість кращих проектів у 2013 р. охоплюють чотири континенти, роблячи інтелектуальні мережі воістину глобальним явищем.

За результатами досліджень Міжнародного агентства Pike Research (серпень 2012 р.) сформовано 10 трендів ринку Smart Grid, які будуть присутні на ринках Smart Grid у короткостроковій перспективі [24, 25]:

1. **Інтелектуальні лічильники: від пілотних проектів до масштабного впровадження.** Сфера Smart Grid впритул наблизилася до етапу масштабного впровадження інтелектуальних лічильників. Електромережеві компанії вже усвідомили переваги таких лічильників, зокрема, можливість віддаленого відключення і більш ефективного знімання даних. Подальша динаміка розвитку залежить, в основному, від зусиль різних учасників ринку: електромережеві компанії повинні більш активно просувати ідею серед кінцевих споживачів і регулюючих органів, а також шукати додаткові шляхи отримання прибутку від використання інтелектуальних лічильників; продавці лічильників і комплектуючих змушені змиритися з поступовим насиченням передових країн ринку, мають пропонувати послуги «під ключ» і починати працювати з меншими спільнотами; існує великий потенціал для розвитку інформаційних технологій для обробки показань лічильників з метою отримання більшого прибутку від їх роботи.

2. **Посилення дебатів навколо динамічної тарифікації.** Динамічна тарифікація передбачає залежність тарифів на електроенергію від завантаження мережі: низькі тарифи в години слабкого навантаження на мережу і високі тарифи – під час великої кількості підключень. Динамічна тарифікація для одних може стати джерелом економії, для інших, навпаки, джерелом зайвих витрат. У сформованих умовах на регулюючі органи покладається відповідальність про останні та необхідність вироблення інструментів для їх захисту.

3. **Ускладнення та інтеграція функцій Smart Grid.** Важливим завданням сучасного етапу розвитку Smart Grid є інтеграція різних функцій інтелектуальних мереж з метою оптимізації їх спільної роботи. Окремі компоненти Smart Grid – це обладнання розподільних мереж, інтелектуальні лічильники, об'єкти індивідуальної генерації (в тому числі на ВДЕ), електромобілі та інш. Має бути вибудована закінчена «архітектура» відносин. Однак прийняття деяких стандартів при розширенні Smart Grid прискорили рух до інтеграції.

4. **Розрізнений розвиток системи безпеки мереж Smart Grid.** Учасники ринку Smart Grid страждають від відсутності нормативів на захист інформації, з якою працює мережа. У даних умовах ні виробники не можуть почати розробки, ні власники компонентів Smart Grid не можуть встановлювати ПЗ та апаратні засоби, оскільки впроваджені засоби можуть виявитися несумісними з розробленими системами. Для порівняння, в Європі проблема безпеки даних, в основному, зводиться до проблеми безпеки особистих даних, що також не можна вважати комплексним і достатнім підходом.

5. **Сумніви користувачів щодо безпеки «інтелектуальних лічильників» для здоров'я.** Незважаючи на переконливі докази нешкідливості лічильників, агентство Pike Research вважає, що виступи супротивників розгортання Smart Grid триватимуть: Окремі громадяни вважають, що радіочастоти бездротових протоколів становлять загрозу для здоров'я людини, хоча за своєю потужністю

вони поступаються випромінюванню побутових приладів і значною мірою – випромінюванню мобільних телефонів.

6. *Перетин сегментів автоматизації розподілу та інфраструктури інтелектуальних лічильників*. З часом стає все більш очевидною зацікавленість компаній, що працюють на ринках автоматизації розподільних мереж та інтелектуальних лічильників, в сегментах один одного. Об'єднання цих двох ринків у вертикаль здатне принести синергетичний ефект, тому можна чекати в перспективі посилення активності злиття і поглинання між представниками цих груп.

7. *Розвиток мікромереж (Microgrid)*. В даний час формат мікромереж (інтелектуальні мережі з малим числом точок моніторингу та керування) розвивається переважно в Північній Америці. Їх переваги перед централізованим масовим електропостачанням полягає у дивовижній гнучкості пропонованих послуг, що підтверджується низкою прикладом впроваджень, насамперед, в американських містах на Алясці.

8. *Посилення інтеграції Smart Grid і систем домашньої автоматизації (інтелектуального будинку)*. Досі ступінь інтеграції та сумісності систем Smart Grid і інтелектуального будинку залишає бажати кращого навіть у США. Одне з найбільш привабливих додатків на ринку – використання інтелектуальних лічильників для керування системою домашнього електроспоживання та реалізація принципу Demand Response (DR), тобто керування споживанням залежно від навантаження на мережу. Система DR вже давно використовується в США стосовно великих електроспоживачів, і приватне споживання залишається єдиною точкою зростання для цього напрямку. Для користувачів у цьому процесі привабливою є знижка та можливість детального моніторингу електроспоживання.

9. *Активний розвиток технології Smart Grid в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні*. Smart Grid може стати одним з компонентів вирішення енергетичного питання для країн Південно-Східної Азії та Японії. До 2020 року Південно-Східна Азія споживатиме більше половини електроенергії всього Азіатсько-Тихоокеанського регіону. Це величезний ринок, розвиток якого обумовлено необхідністю в базовій електрифікації.

10. *Випереджаючі інвестиції – не завжди правильні інвестиції*. За Законом про відновлення і реінвестицій (ARRA), затвердженим у 2009 р., в американській Smart Grid адміністрація Білого Дому інвестувала 4,5 млрд. дол. На думку Pike Research, ця сума з-за великого обсягу не була розподілена правильним чином. По-перше, на момент прийняття не була повністю розроблена нормативна база, що спричинило реалізацію проектів з використанням неоптимальних технологій та обладнання. По-друге, частина підтриманих інвестиційних проектів могла б бути виконаною і без участі держави, а проблемні проекти, нереалізовані й сьогодні, не отримали необхідного фінансування.

На сьогодні можна виділити ряд пріоритетних напрямків, де є найбільший прогрес. Перший напрямок – модернізація магістральних і розподільних мереж, впровадження технологічних компонентів Smart Grid. Другий напрямок – інтеграція розосередженої генерації та ВДЕ в енергетичну систему. Практично у всіх країнах, що стали на шлях реалізації концепції Smart Grid, зараз здійснюються пілотні проекти, оцінюються різні методи системної інтеграції та підвищення надійності функціонування енергосистеми з урахуванням нестабільного характеру роботи електростанцій на ВДЕ. Третій напрямок – впровадження «інтелектуального» обліку та комунікаційної інфраструктури у споживачів.

Еволюція енергосистеми висуває наступні вимоги до ІЕС:

- інтеграція в електроенергетичні системи різнорідних джерел електроенергії, в тому числі на основі відновлюваних енергоносіїв, і «активних» споживачів;
- вибір оптимального складу генеруючих джерел, включаючи розосереджену генерацію;
- автоматичне виявлення, усунення або зменшення наслідків порушень у роботі ЕЕС як на локальному, так і на системному рівні;
- керування електроспоживанням стимулюючими методами і вибірковим обмеженням споживачів;
- стійкість до впливу загроз безпеки (фізична, інформаційна та ресурсна безпека);
- можливість розвивати системні послуги на базі ринкових механізмів;
- оптимальне використання і обслуговування виробничих фондів об'єктів електроенергетики протягом всього життєвого циклу.

У процесі розвитку ІЕС велика увага приділяється розробці їх базових архітектур з використанням модульного підходу. Архітектура – це основа організації системи, втіленої в її компонентах, їх взаєминах один з одним і з навколишнім середовищем і в принципах її розробки та еволюції. При модульному підході – кожна підсистема реалізує деяку функцію та має відкриту специфікацію інтерфейсів, яка передбачає легку заміну модуля на альтернативне рішення. Архітектурний підхід – це комплексний принцип опису системи, що має базуватися на еталонній архітектурі ІЕС. Комплекс системних ресурсів і сервісів, які забезпечують підтримку мультиагентної організації системи керування та реалізуються у вигляді програмно-апаратної платформи.

У 2007–2009 рр. IBM та ще сім мережевих компаній з чотирьох континентів, які приєдналися до неї, розробили так звану «Модель зрілості» (Maturity Model), яка була доведена до практичного

використання програмістами SEI (Software Engineering Institute) університету Карнегі-Меллона [24, 25]. Створений програмний пакет дозволяє перевіряти готовність електричної мережі до перетворення в інтелектуальну. На базі розробки міжнародних стандартів SEI розвиває аналогічну модель (Capability Maturity Model Integration – CMMI). Департамент енергетики США спільно з SEI працює над тим, щоб сформувати модельну систему керування загальносвітової SGMM (Smart Grid Maturity Model).

Еталонна архітектура ІЕС повинна визначити, насамперед, організацію кібер-шару [8, 10, 24, 25]. Призначення еталонної архітектури:

- покращити взаєморозуміння зацікавлених сторін;
- забезпечити націленість розвитку інфраструктури на поточні та перспективні вимоги користувачів;
- забезпечити практичну реалізацію найбільш прогресивних способів створення ІЕС;
- забезпечити сумісність створюваних та існуючих систем за допомогою стандартів;
- забезпечити цілеспрямований розвиток технологій, критичних для повноцінної реалізації ІЕС.

Еталонна архітектура = Фреймворк + Типові архітектури. Фреймворк (англ. *framework* – каркас, структура) – структура програмної системи; програмне забезпечення, що полегшує розробку і об'єднання різних компонентів великого програмного проекту. Фреймворк – це можливість розвитку інфраструктури на основі системного бачення та комплексу сумісних технічних рішень.

Аналіз фреймворків для еталонних архітектур ІЕС, здійснений такими організаціями та компаніями, як NIST, EPRI, M/490, CRISP, Microsoft, ABB, Cisco, за критеріями технологічна нейтральність архітектури, сучасний рівень методології, відповідність всім вимогам до ІЕС, показав, що доцільно вибрати фреймворк SGRA (мандат M/490). Фреймворк SGRA (Smart Grid Reference Architecture) розроблено консорціумом організації з стандартизації CEN-CENELEC-ETSI в рамках мандата M/490 Європейської комісії. На сьогодні загальновизнано, що SGRA (мандат M/490) – фреймворк для еталонної архітектури ІЕС. Складові структури SGRA та їх характеристики:

- концептуальна модель енергосистеми – дозволяє сформувати розуміння кожної складової енергосистеми і дослідити взаємозв'язок між її основними елементами;
- архітектурна модель – дозволяє формувати цілісне відображення певного варіанту використання з урахуванням взаємозв'язку елементів між шарами;
- структура шару – об'єкти розміщуються (локалізуються) на відповідному місці архітектури, що дозволяє всебічно і системно описати об'єкт і його взаємодії з іншими об'єктами для різних варіантів використання;
- порядок розробки – вибір варіанта використання, розробка рівня компонентів, розробка бізнес-рівня, розробка функціонального рівня, розробка інформаційного рівня, розробка рівня комунікацій;
- рекомендації щодо використання стандартів і технологій.

Архітектурні рішення використовують мультиагентний підхід до керування та «хмарні» обчислення. Якщо централізоване керування – це головний координатор, локальні координатори, виконавці, то мультиагентне керування – множина зв'язаних центрів прийняття рішень. Децентралізоване керування – незалежні центри прийняття рішень. Мультиагентні системи характеризуються тим, що кожен учасник такої системи керування має агента з набором цілей і пріоритетів, заданих власником, який самостійно реагує на зміну середовища і взаємодіє з іншими агентами для координації дій і спільного прийняття рішень. Мультиагентних систем керування забезпечує: надійне керування при слабких комунікаціях; найкраще врахування специфічних правил і обмежень використання обладнання; полегшене самоналаштування та розвиток систем керування; семантичний підхід до роботи з даними.

«Хмарні» обчислення стали головним ІТ-трендом нового десятиліття. Однією з головних переваг нової технології є масштабованість і еластичність ресурсів: можливість поділитися своїми обчислювальними ресурсами, коли вони не потрібні на 100 %, і використовувати чужі в той момент, коли не вистачає своїх.

Поява нових технологій на стику NTE (нові енергетичні технології) і NICT (нові інформаційні та комунікаційні технології) вимагає введення в дію стандартів, які також повинні бути встановлені у співпраці з органами стандартизації та діляться на дві області: електричні мережі та інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ). Це особливо важливо для полегшення взаємодії обладнання в оточенні, яке характеризується множинністю суб'єктів. У зв'язку з цим, стандартизація відіграє більш важливу роль, ніж раніше.

Міжнародне співробітництво в галузі стандартизації Smart Grid здійснюється багатьма організаціями [19–21, 24, 25]:

- Японія – METI, JISC Roadmap;
- Корея – KATS Demonstration Projects;
- Китай – SGCC The State Grid Corporation of China;

Німеччини – DKE, VDE “German standardization roadmap E-Energy / Smart Grids”, BDI “Internet of Energy”, BSI-Smart Meter Protection Profile;

США – IEEE (IEEE SCC21 Standards, IEEE P2030 Standard); NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards; SGIP, Intellgrid, Gridwise Alliance;

ЄС – European Technology Platform, Smart Metering Mandate M/441, Electrical Vehicle Mandate M/490, Smart Grid Coordination Group;

Міжнародні організації – ISGAN; Global Smart Grid Federation; IEC/SMB Strategy Group 3 (SG3) “Smart Grid” – Roadmap, IEC PC 118, TC 57 WG21, IEC TC’s:8, 13, 57; CAB, JTC 1 Special WG Smart Grids.

Створення єдиної системи стандартів, спрямованих на врегулювання всіх аспектів побудови Smart Grid в Європі, регламентується спеціальним документом, прийнятому на рівні Євросоюзу. Генеральний директорат ЄС з енергетики у 2011 р. затвердив нормативний документ «Standardization Mandate to European Standardisation Organisations (ESOs) to support European Smart Grid deployment (Smart Grid Mandate)».

Формулювання, виконання та координація всіх робіт в рамках даного документа доручаються пан-європейським організаціям: CEN (Європейський комітет стандартів), CENELEC (Європейський комітет з стандартизації в електротехніці) та ETSI (Європейський інститут стандартів електрозв'язку).

Результатом роботи стане формування нормативної бази, яка охоплюватиме всі наявні на сьогоднішній день в Європі стандарти, та розробка нових стандартів за трьома напрямками:

- технічна еталонна архітектура, яка буде відображати функціональні інформаційні потоки між головними областями та інтегруватиме архітектури низки систем і підсистем;
- пакет уніфікованих стандартів, які будуть сприяти інформаційному обміну (Протокол передачі даних і моделі даних) та інтеграції всіх користувачів у діяльність електричної системи;
- стійкі процеси стандартизації та програмне забезпечення сумісної роботи, направлені на взаємодію зацікавлених сторін, на вдосконалення обох вказаних вище інструментів та пристосування їх до нових вимог на основі аналізу особливостей наявних ще не вирішених завдань при забезпеченні відповідності обмеженням високорівневих систем, зокрема, функціональній взаємодії (інтероперабельності), безпеці, конфіденційності тощо.

Як приклад коротко наведемо окремі стандарти IEEE за сферами застосування:

- **Smart Grid:** IEEE 1675, IEEE 1775, IEEE 2030, IEEE P2030.1, IEEE 1901, IEEE P1901.2;
- **Домашні мережі (Home Networking):** IEEE 802, IEEE 1901, IEEE P1901.2, IEEE 1815;
- **«Інтелектуальні вимірювання» (Smart Metering):** IEEE P1377, IEEE 1701, IEEE 1702, IEEE P1703, IEEE P1704, IEEE P1705;
- **Мережі Smart Grid в домашніх господарствах:** серія IEEE 1547, IEEE 2030.

Згідно моделі IEEE P2030 Standart виділення шарів комунікації та електричної моделі показано на рис. 1.

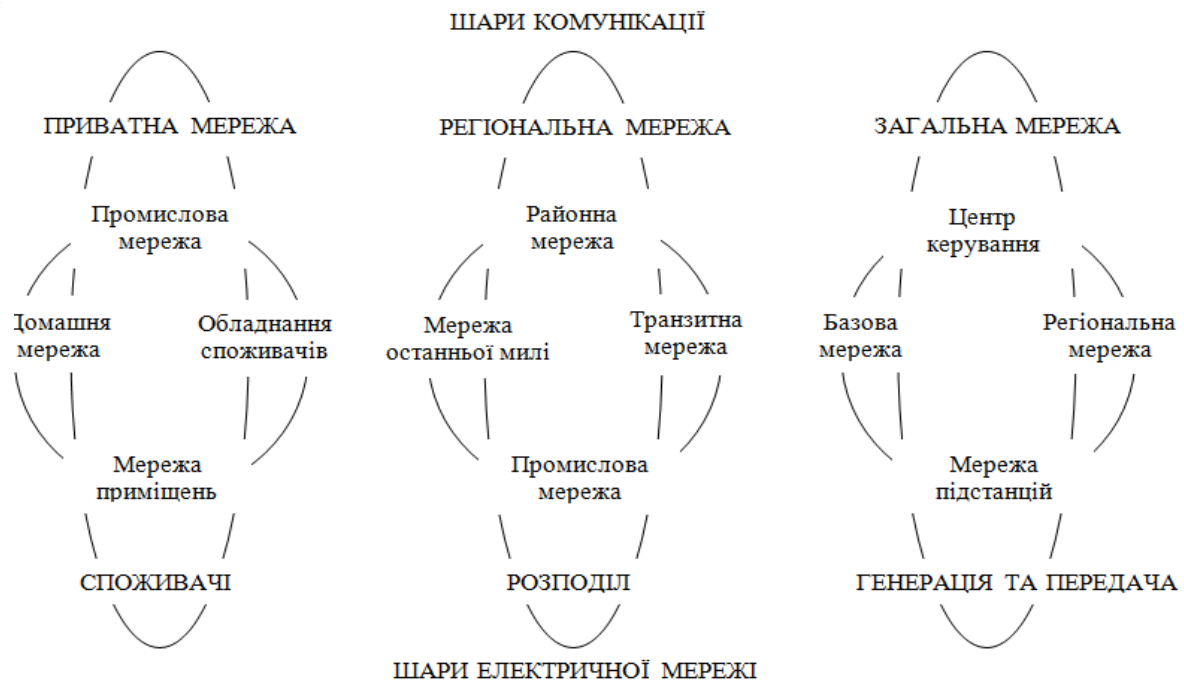


Рис. 1 Модель IEEE P2030 Standart

Реалізації концепції Smart Grid успішно координується міжнародними організаціями.

Перш за все необхідно відзначити Міжнародне співтовариство підтримки інтелектуальних мереж (International Smart Grid Action Network, ISGAN) – транснаціональну організацію для міжурядових контактів у рамках діалогу про розвиток інтелектуальних мереж [24, 25]. Виконавчий комітет формується з представників країн-учасників ISGAN і збирається на засідання два рази на рік. Діяльність ISGAN, у першу чергу, зосереджена на тих аспектах діяльності у сфері інтелектуальних мереж, де держава виступає органом контролю або нагляду, має достатню компетенцію, здатність до мобілізації ресурсів або іншими інструментами впливу. Учасники ISGAN ведуть роботу за такими основними напрямками: заходи, стандарти, регулювання; фінансування і моделі ведення бізнесу; технологічний і системний розвиток; залучення користувачів і споживачів; кваліфікація і компетентність персоналу.

Всесвітня федерація Smart Grid (Global Smart Grid Federation, GSGF), заснована в 2010 році, підтримує створення інтелектуальних, екологічно чистих енергосистем у всьому світі. Вона намагається сприяти популяризації найбільш вдалих проєктів, визначенню завдань і пошуку рішень для їх розвитку, а також аналізу інноваційних ідей, технічних і політичних питань. Ця федерація опублікувала перший з моменту свого заснування доповідь. Документ включає огляд світової практики в реалізації різних інтелектуальних проєктів, а також аналіз проблем і можливих рішень [15]. Доповідь, іменована «The Global Smart Grid Federation Report 2012», розглядає досвід реалізації передових проєктів в різних країнах світу і досліджує основні труднощі, які стоять на шляху поширення «розумних» рішень і технологій. Його суть зводиться до наступних висновків. У країнах, де реалізується Smart Grid, цей напрям став істотним елементом державної політики у забезпеченні енергетичної безпеки та економічного зростання.

Одним із знакових висновків доповіді стала теза: «створення інтелектуальної мережі можливо». При тому, що практично всі проаналізовані проєкти знаходяться в стадії розробки або пілотних випробувань, вони свідчать, що інтелектуальні мережі вже існують. Однак будь-який проєкт Smart Grid включає багато інтелектуальних елементів. Ступінь складності проєкту може безпосередньо позначатися на його практичній реалізації. Варіант вирішення цієї проблеми – поетапне втілення проєктів.

Здійснюючи комунікації між основними державно-приватними суб'єктами діяльності та ініціативами країн-учасниць, Федерація GSGF поширює успішні практики, визначає бар'єри і рішення, сприяє інноваціям, розглядаючи ключові технічні та політичні питання. Ці та інші заходи допомагають членам організації ініціювати зміни в електричних системах своїх країн з метою підвищення безпеки, підвищити гнучкість, скоротити викиди та підтримувати доступність, надійність та досяжність електропостачання.

The Global Smart Grid Federation співпрацює з International Smart Grid Action Network, а також з національними і міжнародними урядовими організаціями для вирішення широкого кола питань щодо розгортання інтелектуальних мереж. Цей зв'язок забезпечує форум для спілкування та співпраці, який має просувати інтелектуальні мережі по всьому світові та сприяти досягненню консенсусу в рамках міжнародного співтовариства у сфері систем електропостачання та турботи щодо зміни клімату.

У свою чергу, Альянс Smart Energy Alliance (SEA) поєднає багатий досвід таких індустріальних гігантів як GE Energy, Capgemini, Cisco Systems, Hewlett-Packard, Intel та Oracle, щоб допомогти енергомережам перетворювати системи передачі та процеси дистрибуції енергії. Використовуючи гнучку модульну структуру, SEA створює рішення, які базуються на індустріальному досвіді та технологічному лідерстві. Унікальне співробітництво пропонує цілісний підхід до задоволення вимог завтрашнього дня і буде сприяти трансформації енергомереж у всьому світі.

Діяльність цих міжнародних організацій – пришвидшити реалізацію концепції Smart Grid у світовому масштабі.

На сьогодні актуальним є документ «10 Steps to Smart Grids; EURELECTRIC DSOs' Ten-Year Roadmap for Smart Grid Deployment in the EU». У відповідності до цього документу для реалізації інтелектуальних мереж на європейському ринку потрібно зробити 10 кроків (див. табл. 2), багато з яких тісно пов'язані між собою мають розвиватися одночасно [11]. Виділено три стадії розвитку Smart Grid: сприяння національним та загальноєвропейським рівням; розгортання в державах-членах ЄС; масштабна реалізація та комерціалізація на наддержавному рівні.

EURELECTRIC пропонує наступну класифікацію:

- менеджмент інтелектуальних мереж: розвиток звичайних мереж; швидка ідентифікація пошкоджень та самовідновлення можливості через автоматизацію мережі; розширення мережевої експлуатації та керування; інтелектуальні вимірювання;
- інтелектуальна інтегрована генерація: балансування енергосистеми з великою часткою змінних відновлюваних джерел енергії, у тому числі з розосередженою генерацією; інтеграція електричних транспортних засобів та опалення і систем охолодження; інтелектуальні рішення акумулювання енергії;
- смарт ринки та клієнти: розвиток програм реагування на попит та регулювання навантаження; об'єднання розосереджених генераторів енергії, включаючи е-мобіль.

Таблиця 2

	Крок	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 і далі
Масштабна реалізація та комерціалізація на наддержавному рівні	10					Рух до реальної участі споживачів в енергоринку						
	9					Інтеграція у великих масштабах е-мобілів, опалення, охолодження та зберігання						
Розгортання в державах-членах	8					Агрегація розосереджених джерел енергії						
	7					Рух до інтеграції місцевого і центрального балансування для всіх типів генерації						
	6		Моніторинг та керування мережами і розосередженою генерацією									
	5		Розгортання інтелектуальних вимірювань – поінформовані клієнти									
Сприяння національним та загально-європейським рівням	4	Тестування за допомогою демонстраційних проектів та обмін знаннями										
	3	Встановлення стандартів та забезпечення захисту даних і конфіденційності										
	2	Розробка моделей ринку										
	1	Забезпечення нормативних стимулів для інноваційних інвестицій в мережі										

Для того, щоб прокласти шлях до гнучких європейських мереж до 2020 року, ми повинні усвідомлювати реальність від бажаних функціональних можливостей і послуг інтелектуальних мереж та їх можливих наслідків для енергосистеми.

На сьогодні можна визначити такі ключові напрямки розвитку Smart Grid у світі та для України:

- реалізація державної політики при побудові концепції Smart Grid;
- аналіз зарубіжного досвіду та застосування його в Україні;
- основні положення «дорожньої карти» запровадження та реалізації Smart Grid;
- розвиток «екосистеми» Smart Grid;
- нарощування потужностей і ефективність експлуатації мереж;
- створення стимулюючих економічних і законодавчих механізмів, що дозволяють на державному рівні прискорити впровадження передових концепцій, ініціатив та рішень;
- інтеграція телекомунікаційної та енергетичної інфраструктури;
- взаємодія розподільних і транспортних систем;
- доставка і реалізація ресурсів кінцевому споживачеві;
- автоматизовані системи вимірювань, збору даних та обліку;
- технології обробки значних масивів даних у мережах Smart Grid;
- забезпечення конфіденційності та безпеки даних Smart Grid;
- розподілені і віддалені системи збору даних і керування пристроями;
- роль телекомунікаційних операторів і операторів машинно-машинної взаємодії M2M при побудові та керуванні мережами Smart Grid;
- розробка стандартів для ІЕС України;
- Data центри для електроенергетики;
- розвиток альтернативної енергетики в Україні і досвід інших країн;
- альтернативна енергетика, Smart Grid і Microgrid.

Таким чином, прогнозований експертами сукупний ефект від перетворення енергетичних систем в інтелектуальні дозволяє вважати Smart Grid потужним прискорювачем зростання світової економіки, драйвером технологічних перетворень. При формуванні ІЕС необхідно, насамперед, орієнтуватися на вимоги, пов'язані з неоіндустріальним розвитком, появою нових ринків і бізнес-моделей, формування нового способу життя і соціальних практик. Власне формування єдиної технічної політики в галузі Smart Grids може відбуватися тільки в умовах постійної взаємодії фахівців багатьох напрямків.

Список літератури

1. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем; 1973 год (<http://www.raai.org/library/books/anohin/anohin.htm>).

2. Бердников Р.Н., Данилин И.В., Холкин Д.В., Моржин Ю.И. Навигатор для интеллектуальной энергетики // Энергия Единой Сети. – 2012. – № 4. – С. 12–17.
3. Бердников Р.Н., Дементьев Ю.А., Моржин Ю.И., Шакарян Ю.Г. Основные положения концепции интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью // Энергия Единой Сети. – 2012. – № 4. – С. 4–11.
4. Вариводов В.Н., Коваленко Ю.А. Интеллектуальные электроэнергетические системы // Электричество. – 2011. – № 9. – С. 4–9.
5. Егоров А.А. Интеллектуальная энергетика: мифы и реальность // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2011. – № 12. – С. 15–22.
6. Кобец Б. Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
7. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44–50.
8. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Розвиток інтелектуальних електричних мереж України на основі положень концепції Smart Grid // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. Спец. вип. – К.: ІЕД НАН України, 2012. – С. 5–13.
9. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52–67.
10. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі: світовий досвід і перспективи України // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. Спец. вип. Ч. 1. – К.: ІЕД НАН України, 2011. – С. 5–20.
11. 10 steps to Smart Grids // Union of the Electricity Industry. – EURELECTRIC, 2011.
12. Burr M. T. Reliability demands drive automation investments. – Public Utilities Fortnightly, Technology Corridor department, Nov. 1, 2003. <http://www.fortnightly.com/fortnightly/2003/11/technology-corridor>
13. European SmartGrids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity. – 2006, 44 p. [Electronic resource] – Mode of access: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/smartgrids_en.pdf
14. EPRI's IntelliGridSM initiative. [Electronic resource] – Mode of access: <http://intelligrid.epri.com>
15. Global Smart Grid Federation Report. – GSGF, 2012. – 44 p.
16. Grid 2030: A national vision for electricity's second 100 years. – Office of Electric Transmission and Distribution, United States Department of Energy. – July 2003. – 89 p.
17. Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments. – European Union, 2011. – 118 p.
18. Strategic research agenda of EPoSS – the European technology platform on smart systems integration. – EPoSS Office Berlin Germany, September 2013 184 p.
19. Strategic Research Agenda Update of the Smart Grids. SRA 2007 for the needs by the year 2035. – 2012. 72 p. [Electronic resource] – Mode of access: <http://www.smartgrids.eu/documents/sra2035.pdf>
20. Technology Roadmap Smart Grids. – Paris: OECD/IEA, 2011. – 52 p.
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/smartgrid/>
22. www.energysafe.ru
23. www.frost.com
24. www.oe.energy.gov/smartgrid.htm
25. www.smartgrids.eu

S. Denysiuk

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

GUIDELINES OF TECHNOLOGICAL CONCEPTS OF SMART GRID IN POWER SYSTEM

The features of the policy raise the intellectual level of electric power systems in terms of international best practices. Presents the basic principles of the Smart Grid concept with the release of three generations: Smart Grid 1.0 – responding to demand; AMI-chain (based AMR, RTU devices, etc.); specialized software (EMS/SCADA); distributed automation; Smart Grid 2.0 – IP-protocol; electric vehicles; energy storage; Smart Grid 3.0 – roaming energy; energy trade Peer-to-Peer.

The characteristic of modern projects in the Smart Grid, implemented in the advanced countries of America and Europe, assessed the role of international organizations that provide coordinate the Smart Grid concept and in the international market of modern advances to improve the intellectualization of electric power systems.

Determined that the basic methods and tools of the concept of Smart Grid are: integration of electricity

heterogeneous sources of electricity, including from renewable energy and "active" users; selection of the optimal composition of generating sources, including dispersed generation; automatically detect, eliminate or reduce the consequences of malfunction of electric power systems both at local and at the system level; control power consumption stimulating methods and selective restriction of consumers; resistance to security threats (physical, information and resource security); opportunity to develop system-based services market mechanisms; optimal use and maintenance of energy facilities assets throughout the life cycle. The features of building reference architectures of intelligent power systems, the use of multi-agent control systems. It is shown that standardization plays an increasingly important role in deciding priorities for implementing the concept of technological Smart Grid.

Reviewed by a major technological guidance implementing the concept of Smart Grid power systems in Ukraine.

Keywords: Smart Grid, smart electricity system, the implementation of policies, pilot projects, current priorities, European benchmarks, technological implementation.

УДК 621.0

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, профессор

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОРИЕНТИРЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID В
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Проанализированы особенности реализации политики повышения интеллектуального уровня электроэнергетических систем с точки зрения мировых передовых практик. Представлены базовые принципы реализации концепции Smart Grid с выделением трех поколений: Smart Grid 1.0 – реагирование на спрос; AMI-сеть (на базе AMR, RTU и т.п. устройств); специализированное программное обеспечение (EMS/SCADA); распределена автоматизация; Smart Grid 2.0 – IP-протокол; электромобили; хранение энергии; Smart Grid 3.0 – роуминг энергии; торговля энергией Peer-to-Peer.

Приведена характеристика современных проектов в сфере Smart Grid, которые реализуются в передовых странах Америки и Европы, оценена роль международных организаций, обеспечивающих координацию реализации концепции Smart Grid и продвижение на мировых рынках современных достижений для повышения уровня интеллектуализации электроэнергетических систем.

Определено, что основными методами и инструментами реализации концепции Smart Grid является интеграция в электроэнергетические системы разнородных источников электроэнергии, в том числе на основе возобновляемых энергоносителей и «активных» потребителей; выбор оптимального состава генерирующих источников, включая рассредоточенную генерацию; автоматическое обнаружение, устранение или уменьшение последствий нарушений в работе электроэнергетических систем как на локальном, так и на системном уровне; управления электропотреблением стимулирующими методами и выборочным ограничением потребителей; устойчивость к воздействию угроз безопасности (физическая, информационная и ресурсная безопасность); возможность развить системные услуги на базе рыночных механизмов; оптимальное использование и обслуживание производственных фондов объектов электроэнергетики в течение всего жизненного цикла. Проанализированы особенности построения эталонных архитектур интеллектуальных электроэнергетических систем, использования мультиагентных систем управления. Показано, что стандартизация играет все большую роль при решении приоритетов технологической реализации концепции Smart Grid.

Оценены основные технологические ориентиры реализации концепции Smart Grid в электроэнергетических системах Украины.

Ключевые слова: Smart Grid, интеллектуальные электроэнергетические системы, реализация политики, пилотные проекты, современные приоритеты, европейские ориентиры, технологическая реализация.

Надійшла 06.04.2014

Received 06.04.2014

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ УТИЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ ПРИ ІНТЕГРАЦІЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК І ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

За результатами математичного моделювання досліджено енергоефективність вітротурбіни в залежності від режиму роботи. За даними швидкісного розподілу вітру визначено оптимальні режими із стабілізацією швидкості турбіни. Виконано порівняльний аналіз енерго та ресурсоефективності систем вітроелектростанцій і ГАЕС з вітроенергетичними установками і ГЕС. Показано можливість підвищення енергоефективності вітроенергетики до 1.6 разів при зменшенні капітальних витрат.

Ключові слова: вітроенергетика, енергоефективність, акумулювання, регулювання, насос

В умовах гострого дефіциту енергетичних ресурсів стрімко зростає значення поновлювальних джерел енергії, зокрема енергії вітру [1,2]. Відповідно до оцінок фахівців в Україні внесок вітроенергетики до енергетичного балансу країни може досягти 12 ... 14% у 2030 році. Такі обсяги використання енергії вітру потребують обов'язкового узгодження режимів генерування електроенергії і її споживання. Технічне забезпечення такого узгодження може здійснюватись системами акумулювання енергії, на даний момент в переважній більшості – гідроакумуючими електростанціями (ГАЕС). Тобто, розвиток вітроенергетики повинен супроводжуватись введенням до експлуатації додаткових потужностей ГАЕС, що пов'язано із значними капітальними вкладеннями.

Оцінка енергоефективності систем вітроенергетики при порівняльних дослідженнях і проектуванні повинна здійснюватись при співставленні енергетичного потенціалу потоку вітру з електричною енергією яку спожито споживачами, тобто з урахуванням етапу акумулювання. Порівняння систем вітроенергетики із ланкою акумулювання енергії доцільно здійснювати порівнянням енергій вітру і накопиченої потенціальної енергії води. Така оцінка при застосуванні поширених вітроелектростанцій (ВЕС) повинна враховувати, що: при оптимальних режимах більше половини енергії вітру втрачається при перетворенні її до механічної енергії повітряною турбіною; значне зменшення енергії має місце при відхиленні режиму вітротурбіни від оптимального внаслідок стабілізації частоти обертання зміною кута повороту лопаток, що обумовлено умовами роботи електрогенератора паралельно із електричною мережею, а також відхиленням режиму роботи електрогенератора при цьому від номінального; втратами енергії супроводжуються процеси транспортування електроенергії, електромеханічного перетворення і напірного переміщення води у водосховище.

Метою даної роботи є оцінка можливостей підвищення енергоефективності систем утилізації енергії вітру за рахунок інтеграції до єдиного комплексу електромеханічного обладнання вітроенергетичних установок (ВЕУ) і гідроелектростанцій (ГЕС) із раціональним вибором при цьому типів обладнання і режимів його роботи.

Оцінка ефективності перетворення енергії вітру до механічної енергії на валу вітротурбіни вітроенергетичної установки здійснена при математичному моделюванні за допомогою блоку вітротурбіни Wind Turbine системи Matlab. Даний блок визначає рушільний момент на валу турбіни у функції швидкості вітру, кута установки лопаток, швидкості турбіни у відносних одиницях. Відповідно до математичної моделі у блоці враховано зміну ККД передачі енергії від вітру до ротора турбіни із його максимумом 0.48 при куті установки лопаток турбіни нуль градусів і при заданому установками блоку базовому співвідношенні між швидкостями вітру та турбіни. Це співвідношення обумовлено базовою швидкістю вітру (в даній роботі при моделюванні задано – 12 м/с) і базовою швидкістю обертання турбіни у відносних одиницях базової швидкості генератора (задано 1.2). Фактично співвідношення базових швидкостей задає передавальне відношення редуктора вітроустановки. У якості базової швидкості вітру може прийматися середньостатистична швидкість потоку вітру ВЕУ.

Енергоефективність вітротурбіни залежить від режиму її роботи. Потужність повітряного потоку пропорційна швидкості вітру у третьому ступені. Для максимального ККД вітротурбіни слід із зміною швидкості вітру міняти швидкість турбіни із підтриманням базового співвідношення даних швидкостей. Для такого режиму у функції швидкості вітру розраховано залежність зміни потужності повітряної турбіни $P_{вт}$, яка передається від вітру до валу. Результати розрахунку даної потужності у