

SMART GRID ЯК ІННОВАЦІЙНА ПЛАТФОРМА РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Нова ідеологія побудови і функціонування електричних мереж та систем електроспоживання потребує значних інвестицій і повинна реалізуватися послідовно за декількома паралельними і скоординованими напрямками, які включають в себе:

- розвиток нових альтернативних і традиційних технологій генерації і акумулявання енергії;
- розробку нової перспективної концепції структури розподільних мереж, методів оптимізації їх параметрів;
- удосконалення методів управління діючими електричними мережами з урахуванням широкої інтеграції до них джерел розосередженої генерації;
- створення і впровадження нових комунікаційних технологій для обміну інформацією між виробниками електроенергії, розподільчими компаніями і споживачами;
- розробку принципово нових технічних і програмних засобів захисту і автоматизації електричних мереж;
- удосконалення регуляторної і тарифної політики в напрямку реалізації операцій купівлі-продажу енергії і інших видів сервісу в реальному часі;
- реформування енергоринку з метою його подальшої лібералізації.

Реалізація зазначених етапів трансформації енергетичного сектору вимагає постановки і рішення великої групи технічних, економічних, організаційних проблем і задач, більшість з яких раніше у світовій практиці майже не розглядалися [9].

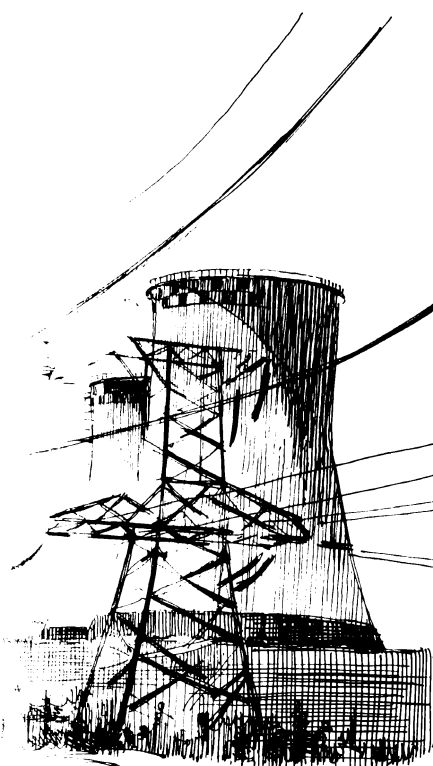
У найближчому майбутньому тисячі або мільйони користувачів стануть власниками своїх особи-

стих генераторів, при цьому одночасно стаючи виробниками та споживачами електроенергії. При цьому недостатня пропускна спроможність місцевих систем електропередач спричиняє потребу великих витрат на модернізацію ліній передачі та трансформаторів і вказує на потенційну цінність малих, розосереджених генераторів. Виробляючи деяку кількість енергії в межах місцевої мережі, малі генератори можуть знизити навантаження на обладнання систем електропередачі. Всі ці генератори будуть поєднані між собою завдяки повністю інтерактивній розумній електричній мережі. Ця революція буде потребувати ретельного контролю та комунікаційних технологій для забезпечення досконалої експлуатації електричних мереж, заснування нових моделей для енергетичного розподілу, а також розвитку удосконалених технологій енергетичного акумулявання, пристроїв силової електроніки і т. і.

Тому кінцевим результатом повинно бути створення інтерактивної електричної мережі, призначеної для надання комплексу різноманітних енергетичних послуг. Джерела розподіленої генерації, інтегровані в мережу централізованого електропостачання, зможуть працювати ізольовано або паралельно з енергосистемою. Режим їх роботи повинен визначатися оперативними вимогами енергоринку. Така гнучка архітектура мереж енергосистеми дасть можливість споживачам з власними джерелами генерації і акумулявання енергії та оптимізованими режимами управління електроспоживання бути активними учасниками процесу енергозабезпечення.

В.В. Каплун, В.В. Козирський,
доктор техн. наук,

Національний університет
біоресурсів і природокористування
України



Інтелектуалізація мереж надасть можливість реалізувати функції автоматичного виявлення ушкоджень, їх прогнозування та локалізації. Це дозволить у майбутньому зробити мережі самокерованими і самовідновлюваними. Економічність їхнього керування буде досягатися за рахунок можливості комплексного впливу на параметри режиму. Наприклад, регулювання напруги крім використання традиційних засобів може бути реалізоване шляхом зміни генерації активної або реактивної потужності, впливом на засоби акумуляування енергії, управління графіком електроспоживання.

Аналіз стану та проблем світової енергетики

Сьогодні способи передачі електроенергії ґрунтуються на принципах «одностороннього» зв'язку, розроблених багато десятиліть тому. Реальним є те, що сучасні енергосистеми перестануть бути централізованими і повинні будуть забезпечувати можливість інтеграції значної кількості малих генераторів, що працюватимуть, в першу чергу, на основі поновлюваних джерел енергії. Необхідністю підвищення ефективного використання енергії підштовхують такі світові тенденції, як дефіцит енергетичних ресурсів, зростання конкуренції за ресурси та глобальне потепління. За прогнозами Міжнародного енергетичного агентства, до 2030 року потреби людства в електроенергії зростуть до 30116 млрд кВт·год, що більше ніж удвічі перевищує сучасні потреби [1].

Через зростання споживання електроенергії, електромережі опинилися на межі перевищення розрахункового навантаження, тож енергетичні компанії всього світу стикаються з однаковою дилемою:

- постійне зростання вимог до якості енергозабезпечення;
- консервативна тарифна політика регулюючих органів не дає змоги модернізувати та оновлювати інфраструктуру.

Більшість мереж енергосистем

світу побудовано ще в 50–70-х роках минулого століття, тож наразі багато обладнання, що є важливим для роботи мереж, наближається до кінця свого терміну експлуатації. Проте, сучасний стан не дозволяє здійснювати повномасштабну модернізацію, тому мережеві компанії змушені працювати з устаткуванням, яке вже вичерпало ресурс. Ця тенденція становить загрозу для надійності і безпеки енергетичних систем.

Зростання об'ємів пікового навантаження вимагає повної ресурсної мобілізації мережевих можливостей. Сьогодні на енергоринках майже всіх країн світу зростають об'єми споживання електроенергії, як наслідок, зростають пікові навантаження, що змушує збільшувати електричну потужність. Таким чином, світові енергетичні компанії очікують на постійне зростання споживання енергії та, відповідно, збільшення потужностей транспортних і розподільних мереж. З огляду на це, включаються економічні стимули, коли електроенергетична галузь стає доступною для інтеграції малої генерації до енергосистем.

При виробництві електроенергії великою кількістю генераторів малої потужності, з економічної точки зору, доцільніше розмістити генератор ближче до споживача, щоб зменшити втрати в електричній мережі [2]. Внаслідок цього багато невеликих джерел генерації електроенергії вбудовуються в мережі, які спочатку створювалися під крупні централізовані електростанції. Така тенденція може істотно змінити традиційну модель розподілу електроенергії. Розподільні мережі спроектовано так, щоб автоматично регулювати напругу у межах допустимих відхилень, а наявність великої кількості малих генераторів значною мірою змінює ідеологію диспетчерського управління, зокрема в частині регулювання напруги, роботи релейного захисту та протиаварійної автоматики. Класичні мережі не створені для роботи зі складними режимами

управління потоками енергії, які з'являться з переходом на розподілену генерацію, наприклад, з неочікуваними зворотними перетоками при відключенні генераторів у замкнених чи «умовно» замкнених розподільних мережах.

Розвиток децентралізованих електроенергетичних систем

Одним із головних можливих напрямів розвитку децентралізованої генерації слід вважати прогнозовану організацію структурних об'єднань із багатьох локальних джерел. Цей напрям дозволяє реалізувати відомі переваги електроенергетичних систем із паралельно працюючими джерелами малої генерації перед відповідною системою автономних джерел: підвищення надійності електрозабезпечення та зниження необхідної встановленої потужності.

Крім того, такий підхід дозволяє утворити достатньо потужні джерела генерації з унікальними властивостями, які здатні виступати як організована одиниця генерації, що робить можливим диспетчерське керування з боку великої енергетичної системи. Такий напрям розвитку сприяє майже повній ліквідації розбіжностей між великими та малими джерелами генерації електричної енергії, створюючи рівні умови конкуренції між ними. Реалізація відповідних методів і технічних засобів об'єднання локальних джерел енергії між собою та із зовнішніми мережами покладається на так звані інтелектуальні мережі. Вони мають здійснювати необхідні для цього функції оптимального управління та контролю за роботою всіх елементів усередині споживчої мережі, включаючи ведення взаєморозрахунків між власниками окремих джерел, а також функції управління всіма генераторами об'єднання з боку регіональної енергетичної системи.

Отже, інфраструктура енергетичних мереж повинна ставати все більш «розумною» для забезпечен-

ня розподілу енергії, одержаної з різних джерел. Мережі повинні вміти керувати передачею енергії та її споживанням, причому, робити це в режимі реального часу, з максимальною ефективністю та на основі використання нових вимірювальних технологій.

Створення «інтелектуальних мереж», більш відомих під оригінальною назвою Smart Grid, повинно вирішити всі ці проблеми.

Що таке Smart Grid?

Smart Grid це термін, що характеризує системи передачі, розподілу та споживання електроенергії з інтегрованими сучасними цифровими та інформаційними технологіями для підвищення якості електрозабезпечення та оптимізації електроспоживання у режимі реального часу. Визначення суті інтелектуальних мереж можна зрозуміти з мети створення інтелектуальних мереж та технологій, які вони реалізують. Мета створення Smart Grid загалом переслідує такі ключові завдання:

- підвищення надійності електропостачання та безвідмовності роботи системи (слід сказати, що початок розвитку концепції Smart Grid в США поклав ряд великих системних аварій на території країни);
- підвищення енергетичної ефективності;
- збереження навколишнього середовища.

Виходячи із зазначеної мети, а також маючи на увазі огляди і аналізи розвитку концепції Smart Grid у світі, можна виділити такі ключові сегменти, на яких значною мірою позначиться розвиток технологій Smart Grid:

- облік енергоресурсів;
- автоматизація розподільних мереж;
- управління та моніторинг стану електротехнічного обладнання;
- автоматизація магістральних електричних мереж та вузлових підстанцій і регулювання перетоків;
- електричні мережі й установки споживачів;

• розвиток розподіленої генерації на основі нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії.

Для зазначених сегментів можна виділити такі технології, які розуміються сьогодні під терміном Smart Grid для різних сегментів:

- системи автоматизованого обліку та інформаційні системи споживачів;
- інфраструктура систем зв'язку для енергооб'єктів;
- системи моніторингу стану і управління електротехнічним устаткуванням;
- системи автоматизації для підвищення надійності і безвідмовності електропостачання;
- системи, що забезпечують інтеграцію джерел електроенергії малої потужності і накопичувачів;
- системи управління даними;
- системи управління оперативним обслуговуванням мереж.

Об'єднані в єдину платформу, ці технології дозволяють по-новому підходити до побудови електричних мереж, переходячи від жорсткої структури «генерація – мережі – споживач» до більш гнучкої, в якій кожен вузол мережі може бути активним елементом. При цьому інтелектуальна мережа в автоматичному режимі проводить переконфігурацію вузла при зміні умов.

Інтелектуальна інфраструктура Smart Grid передбачає надання послуг, формування ринку інтегрованих розподілених енергетичних ресурсів і програм управління.

Основними компонентами Smart Grid є:

- інтелектуальна вимірювальна система;
- автоматизований розподіл електричної енергії, контроль і управління електроспоживанням;
- автоматизація підстанцій і розподільчих мереж;
- управління активами підприємства.

Архітектура Smart Grid

Одним із основних чинників впровадження Smart Grid є споживання енергії з зовнішньої мережі в поєднанні з акумулюванням енергії

та використанням власних джерел (як традиційних, так і поновлюваних) споживачами, які можуть регулювати графік споживання енергії в залежності від власних потреб та ціни на неї. Проблема оптимізації вимагає розробки та уточнення алгоритмів функціонування локальної системи електроживлення як підсистеми зовнішньої мережі. Зрозуміло, що така система повинна працювати у автоматизованому режимі з контролем електроспоживання у режимі реального часу.

Об'єднавши в архітектурі Smart Grid функції дозованого споживання електроенергії у визначених часових інтервалах з програмним забезпеченням для контролю і управління оптимальним балансом енергій з різнорідних джерел локальної енергосистеми, споживачі зможуть мінімізувати власні витрати на електроспоживання. Так як ціна на електроенергію збільшується в періоди високого попиту і зменшується в міжпікові та нічні години, окремі споживачі, які будуть використовувати такі підходи зможуть в рази знизити витрати на електрозабезпечення. Принципи реалізації архітектури Smart Grid ґрунтуються на технологіях проектування режимів генерації, електроспоживання та оптимального управління функціонування локальної енергетичної системи як підсистеми зовнішньої мережі.

Важливо зазначити, що у найближчому майбутньому структура споживачів електроенергії зміниться за рахунок збільшення парку електромобілів. Це дасть можливість накопичувати значні обсяги електроенергії у акумуляторах автомобілів.

Напрямки реалізації концепції Smart Grid

Генерація електроенергії. Проблеми зміни клімату на Землі і прогнозований дефіцит органічних видів палива стимулює розвиток альтернативних джерел електроенергії. Очікується, що в майбутньому кількість таких джерел буде неухильно зростати, тобто гене-

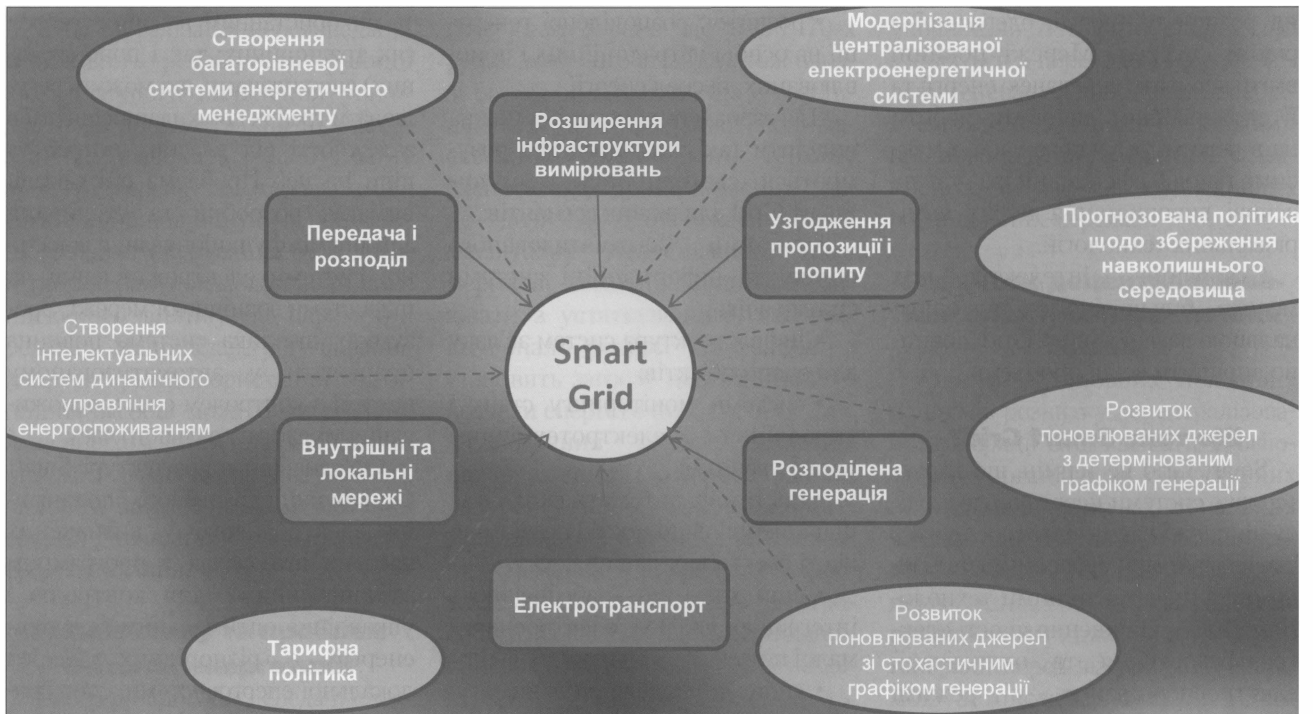


Рис. 1. Smart Grid у структурі взаємозв'язків

руючі потужності будуть більш розподіленими, ніж концентрованими, як зараз. Характерною особливістю таких джерел є їх відносно невелика потужність і нестабільність параметрів потужності генерування. Очевидно, що для стабілізації параметрів таких джерел і їх автоматичної синхронізації з мережею необхідний досить «інтелектуальний» керуючий пристрій. Розробка принципово нових і підвищення техніко-економічної ефективності вже існуючих систем генерації електроенергії, пристроїв автоматичного керування ними, систем зв'язку, що забезпечують інформаційний обмін таких джерел з іншими елементами енергосистеми є одним з напрямків концепції Smart Grid.

Передача і розподіл електроенергії. Іншим напрямком концепції Smart Grid є вдосконалення існуючих та створення нових систем передачі та розподілу електроенергії. На сьогодні надзвичайно доцільним з точки зору економіки, стійкості енергосистем, їх надійності є розгляд концепцій структури мереж і систем управління ними на

перспективу, оптимальних шляхів адаптації нинішніх систем до сформованих у концепції нового розвитку.

Основною проблемою енергосистем, з точки зору екології та режимів роботи енергетики, є втрати електроенергії. Неefективне використання енергетичних ресурсів внаслідок втрат погіршує стан навколишнього середовища. До того ж, величина втрат прямо пов'язана з тарифами на електроенергію. Заходи по зменшенню втрат передбачають впровадження нових технічних рішень в систему передачі та розподілу електроенергії, зокрема введення мережі у замкнений режим. Найбільш ефективні з них входять до концепції Smart Grid.

Споживання електроенергії. Технологія Smart Grid працює через систему спеціальних «розумних» лічильників, встановлених на підприємствах і в житлових приміщеннях. Вони інформують про рівень споживання енергії, що дозволяє коригувати використання електрообладнання в часі і оптимально управляти електроспоживанням. Принцип оптимального

споживання електроенергії пов'язаний в першу чергу з диференційними тарифами та можливістю її генерації з поновлюваних джерел чи використання накопичувача. Втім, переконання користувачів перейти до оптимального споживання енергії може увійти в конфлікт з їх комфортом. Це означає, що принципи оптимального споживання електроенергії повинні бути реалізовані автоматично. Алгоритми керування побутовою технікою переберуть на себе «розумні» лічильники – «Smart Meter». «Smart Meter» повинні стати елементом, що поєднує інтелектуальні мережі. Саме його завданням стане управління електроспоживанням. Особливо це важливо з огляду на зростання частки поновлюваної електроенергії у загальному обсягу її споживання і стохастичний характер її надходження. Це є завданням Smart Grid для побутового електроспоживання.

Системи зв'язку та передачі даних між електроенергетичними об'єктами. Сьогодні для зв'язку та передачі інформації між різними

об'єктами використовуються різні канали зв'язку. Останнім часом все ширше починають застосовуватися і мережеві технології Ethernet/Internet. Це пов'язано, в першу чергу, з дешевизною, з широкою поширеністю і повсюдною доступністю таких мереж з добре відпрацьованими технологіями, що створює передумови в майбутньому обмінюватися величезними масивами інформації з численних компонентів енергосистеми, розсереджених на великій території. Перспективним щодо застосування в Smart Grid є технології сучасного бездротового зв'язку, таких як мережі стільникового зв'язку, WiMAX, Wi-Fi та інших, оптоволоконних каналів та технології ширококутового зв'язку по дротах високовольтних ліній електропередач [5].

Системи обліку електроенергії. Мікропроцесорні лічильники електроенергії з'явилися на ринку вже давно і є одним з базових елементів в концепції Smart Grid. Багатотарифні мікропроцесорні лічильники, здатні виконувати розрахунки, зв'язуватися з іншими аналогічними лічильниками, накопичувати інформацію і передавати її у мережу збору даних практично застосовуються у електроенергетиці вже давно. Сучасні лічильники електричної енергії, засоби передачі даних і управління, що дозволяють передавати результати вимірювань та інтелектуалізувати управління в режимі реального часу, стають стандартними елементами архітектури Smart Grid.

Впровадження Smart Grids технологій вимагає більш високого рівня функціональних можливостей вимірювальної системи і трансформацію її і інтелектуальну вимірювальну систему для:

- заохочення споживачів до вдосконалення технології Smart Grid на основі моніторингу генерації, розподілу і споживання електричної енергії, включаючи результати управління режимами за допомогою вимірювальних систем;
- можливості формування гнучкої тарифної політики, формуван-

ня рівномірності добового навантаження в об'єднаній енергосистемі;

- можливості швидкої і точної діагностики шляхом оперативного надання інформації під час ліквідації аварійних відключень обладнання і систем управління, локалізації помилок;

- підвищення надійності, швидкодії і функціональної можливості операційного обладнання і програмних додатків шляхом впровадження різних комунікаційної інфраструктури розподілу і постачання електричної енергії;

- забезпечення уточнених і своєчасних даних для управління активами і експлуатаційними витратами енергопідприємств.

Подальший розвиток інтелектуальних засобів обліку електроенергії створить передумови для запровадження динамічних тарифів, тому ці досягнення повністю відповідають концепції Smart Grid.

Релейний захист. У новій концепції Smart Grid релейний захист повинен бути поєднаний з функціями інформаційно-вимірювальної системи. Мікропроцесорні пристрої релейного захисту вимірюють струми, напруги у векторній формі, записують і накопичують інформацію про аварійні режими і спрацювання. Ця інформація може бути безпосередньо використана в майбутніх контрольно-інформаційно-вимірювальних системах Smart Grid [7]. Що стосується алгоритмів релейного захисту, то вони знають значних змін у зв'язку зі зміною принципів побудови електричних мереж, появою у цій мережі значної кількості керованих компонентів, що впливають на режими роботи мережі, таких як швидкодіючі компенсатори реактивної потужності, швидкодіючі струмообмежувальні пристрої і т.д. Це лише перші кроки в області реорганізації релейного захисту. Вже сьогодні цілком серйозно обговорюються питання адаптивного релейного захисту, захисту з попереджувальними функціями, багатовимірного релейного захисту, захисту з нечіткою логікою, захисту зі

штучним інтелектом, захисту на основі нейронних мереж і т.д.

Об'єднані в єдину платформу, технології Smart Grid дозволять повному підходити до побудови електричних мереж, переходячи від жорсткої структури «генерація – мережі – споживач» до більш гнучкої, в якій кожен вузол мережі може бути активним елементом. При цьому інтелектуальна мережа в автоматичному режимі буде здатна змінювати конфігурацію при зміні умов.

Тенденції розвитку Smart Grid в країнах світу

Уряди країн, що входять до Європейського Союзу, планують до 2017 року знизити споживання електроенергії на 9% за рахунок підвищення енергоефективності шляхом впровадження технології Smart Grid. Таким чином, використання «інтелектуальної» мережі дозволить скоротити витрати енергоресурсів. Сьогодні з'явилась унікальна можливість трансформувати всю застарілу систему електропостачання в світі. Впровадивши високоточні і високошвидкісні інформаційні ресурси Smart Grid, енергетичні компанії зможуть керувати всією мережею енергопостачання як єдиною системою. При цьому споживачі зможуть точно планувати та регулювати власні витрати енергії, а регулюючі структури – створювати інтелектуальну енергетичну інфраструктуру. Такого роду вдосконалення енергетичних мереж просуваються урядами різних країн як спосіб вирішення проблем енергетичної безпеки, глобального потепління, надійності енергосистеми.

В 2010 році за даними Zpryme Research & Consulting, серед країн, які вклали кошти в розвиток технології Smart Grid, лідирує Китай та США. На рис. 2 показано повний Топ-10 країн за розмірами інвестицій у технології Smart Grid.

Щодо розвитку SMART GRID в Україні

Виробництво електроенергії в

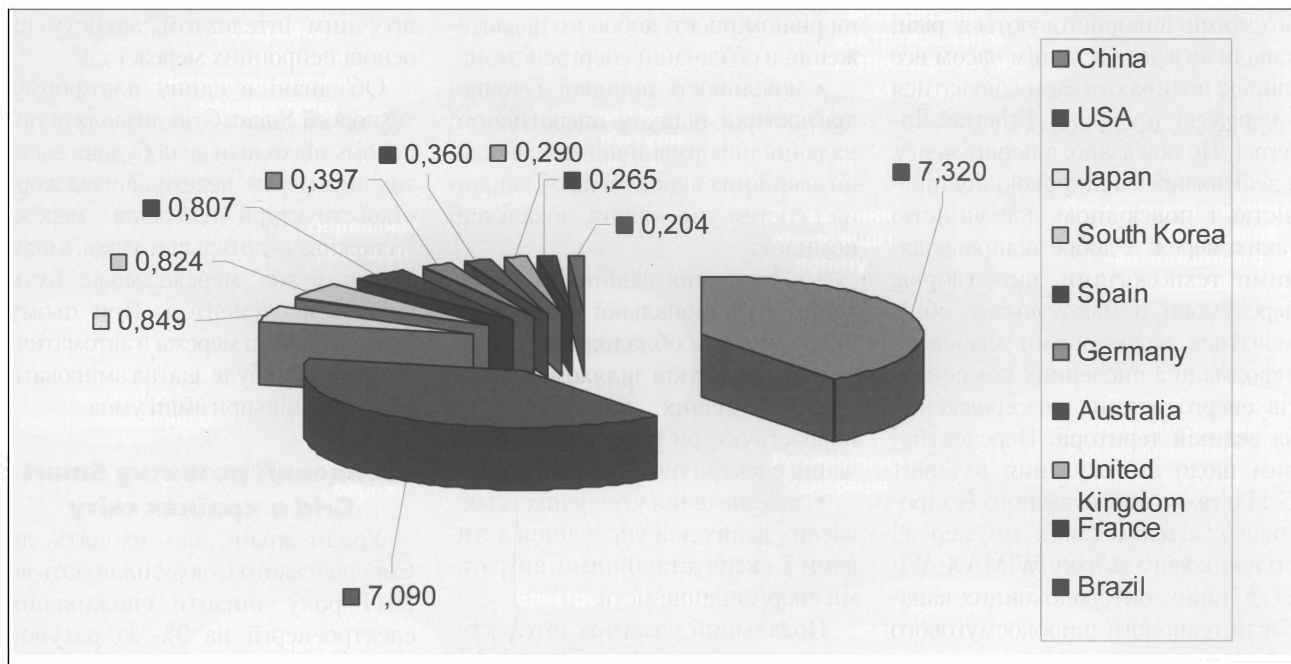


Рис. 2. Обсяги інвестицій у технології Smart Grid в світі, млрд \$

Україні 2010 року зросло на 8,7%. Обсяг виробництва електричної енергії електростанціями, які входять до ОЕС України, за оперативними даними, у 2010 році досяг 187 млрд 910,1 млн кВт-год. За офіційними даними, втрати в енергомережах України за підсумками 2010 року становили 12,92% при нормативних 12,65. Нетрадиційні джерела енергії в 2010 році виробили близько 5,4 млн кВт-год електроенергії.

Енергетика України потребує реформування. За оцінками західних експертів, Україна є ключовою державою в Східній Європі з інноваційних проектів у енергетичній галузі. Довгий час виробництво альтернативної енергії було в зародковому стані. Лише в 2010 році стали помітними зрушення в плані виробництва вітрової енергії та виробництва сонячних панелей на території України. Проте через високу їх собівартість для пересічного українця вони залишаються малодоступними. Значних темпів набули впровадження систем автоматизованого обліку та інформаційних систем для управління енергетичними об'єктами. Мають поширення технології інтелекту-

ального управління сучасних будівель. Експерти стверджують, що дистанція між українцями та європейцями буде швидко зменшуватись в силу інтегрованості України до Європи.

Хоча для реалізації Smart Grid в Україні в першу чергу необхідні інноваційні підходи та новітні технології, загалом це не тільки технології. Здійснення Smart Grid зажадає повного переосмислення державної політики та сучасних бізнес-моделей, реальної трансформації бізнес-процесів і поведінки споживачів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *The Smart Grid Reliability Bulletin*. – ABB White Paper, North American Corporate Headquarters, 2009, 14 p.
2. *Shono T., Fukushima K., Kase T., Sugiura H., Katayama S., Tanaka T., Beaumont P., Baber G. P., Serizawa Y., Fujikawa F.* Next generation protection system over Ethernet. Developments in Power System Protection, the 10th IET International Conference (DPSP 2010), 29 March – 1 April 2010, Manchester, UK.

3. *Renzi B.* Broadband over power lines (BPL) could accelerate the transmission Smart Grid. – DOE/NETL-2010/1418, National Energy Technology Laboratory, US Department of Energy, 2010.

4. *Why the Smart Grid must be based on IP standards*. – blog.ds2.es/ds2blog/2009/05/why-smart-grid-must-use-ip-standards.html.

5. *Baldinger F., Jansen T., Riet M., Volberda F.* Nobody knows the future of Smart Grid, therefore separate the essential in the secondary system. – Developments in Power System Protection, the 10th IET International Conference (DPSP 2010), 29 March – 1 April 2010, Manchester, UK.

6. *Kawano F., Baber G. P., Beaumont P. G., Fukushima K., Miyoshi T., Shono T., Ookubo M., Tanaka T., Abe K., Umeda S.* Intelligent protection relay system for smart grid. - Developments in Power System Protection, the 10th IET International Conference (DPSP 2010), 29 March – 1 April 2010, Manchester, UK.

7. *Su B., Li Y.* Trends of smarter protection for Smart Grid. – AESIEAP-2009, CEO Conference, 15-16 October, 2009, Taiwan.