

ВПЛИВ СИСТЕМИ SMART GRID НА НАЦІОНАЛЬНУ ЕНЕРГЕТИЧНУ МЕРЕЖУ

Інфраструктура національних мереж багатьох країн дуже стара і включає класичні технології виробництва, передачі та розподілу електроенергії. Крім того, керованість і контрольованість цих систем також не є задовільними. З іншого боку, технології розумних мереж Smart Grid включають складні інструменти для моніторингу та контролю енергетичної системи в обох напрямках від електростанцій до кінцевих користувачів або навпаки. Щоб можна було заздалегідь виявити вразливості та вжити необхідних заходів. Крім того, система інтелектуальних мереж пропонує моніторинг та керування електричною енергією від виробництва до кінцевого користувача, а також забезпечує розумний облік, інтеграцію відновлюваної енергії в мережу. Крім того, ефективне використання джерел енергії з мінімальними втратами та мінімальним незаконним використанням також обробляється в технології розумних мереж. У цій статті висвітлюється вплив технологій інтелектуальних мереж на національні електромережі та пропонується деякі застосовні пропозиції з метою перетворення їх класичної системи електромереж на систему інтелектуальних мереж Smart Grid.

Ключові слова: Smart Grid, енергетичні системи, електричні мережі, інтелектуальне керування, інтелектуальні електричні мережі, системи керування розподілом електроенергії.

Вступ. Класична інфраструктура електромережі, від виробництва електроенергії до кінцевих споживачів, включає кілька енергетичних пристроїв для безпечної та ефективної передачі електроенергії, виробленої на електростанції, кінцевим споживачем. Такими силовими пристроями є електрогенератори, трансформатори, силові вимикачі, лінії передачі та розподілу, лічильники комунальних послуг, реле та запобіжники. Тому кожен із цих компонентів має свої потенційні проблеми через старі технології.

З іншого боку, сучасні технології енергосистеми пропонують інтеграцію відновлюваної енергії в електричних мережах, розумне вимірювання, двонаправлений зв'язок між децентралізованими силовими агрегатами генерції електроенергії і центральною системою керування виробництвом і споживанням енергії., запобігання відключенням електроенергії, стійких та безпечних джерел енергії, а також енергоефективність. Більш того, у сучасній енергетичній системі потрібен контроль, вимірювання та кібербезпека енергетичних процесів в кожній точці електромережі.

Якщо будь-яка класична енергетична система інтегрована з інформаційно-комунікаційною технологією, то електрична мережа перетворюється в розумну мережу і забезпечується двонаправлений зв'язок між генерацією електроенергії і центральною системою керування виробництвом і споживанням енергії. Розумна енергосистема (**Smart Grid**) це свого роду складна технологія, яка забезпечує не тільки двонаправлений зв'язок, але також має кілька різних аспектів, таких як доступність, ефективність, точність, керованість, економічність, гнучкість, функціональна сумісність, ремонтпридатність, вимірюваність, оптимальність, надійність, стійкість, стабільність, безпека та масштабованість [1-4]. Як показано на рис. 1, усі ці функції розумної енергосистеми роблять мережу достатньо стійкою при будь-яких збоїв живлення, падіння напруги, втрат потужності, коливань напруги та частоти, перенапруги та перевантаженні струмів. Крім того, система розумних мереж об'єднує виробників, операторів і споживачів, а також тих, хто розробляє енергетичну політику. У той час як класична електрична мережа складається лише з виробників і операторів на національному рівні, розумна мережа включає в себе споживача як виробника електроенергії. Тому що споживач також може бути виробником і продавати вироблену енергію в мережу. Енергія, вироблена споживачем, може бути отримана безпосередньо з відновлюваних джерел енергії або акумуляторної системи. [3-7].

Таким чином, всі ці види діяльності, такі як виробництво електроенергії, двонаправлений зв'язок, інтеграція відновлювальних джерел енергії та інші, є інтересами державних технічних інфраструктур для встановлення балансу між виробництвом та попитом на електроенергетичні ресурси.

Відключення або перебої у подачі електроенергії у національній енергосистемі зачіпають мільйони людей у країні та спричиняють численні економічні втрати з точки зору бізнесу та виробництва, а також низький рівень життя. Крім того, втрати при передачі та розподілі у світі варіюються від 5% до 20% залежно від інфраструктури енергосистеми.



Рисунок 1 – Вимоги розумної енергосистеми

Аварії в електромережі – на жаль, звичне явище для українських споживачів. Середня тривалість *планових* відключень для клієнта за 2019 рік в нашій країні становила 478 хвилин. Це втричі більше, ніж в Євросоюзі. А середня тривалість *позапланових* відключень у нас становила 683 хвилини, що в 7 разів більше, ніж в ЄС. Водночас технологічні втрати електроенергії на її передачу та розподіл в українських мережах становили майже 12% від загального відпуску, або в понад 1,5 раза перевищують середньоєвропейський рівень і понад удвічі – рівень втрат у розвинутих країнах. Подолати ці та інші негативні явища в електроенергетиці допоможе впровадження розумних мереж (Smart Grid) [8].

Мета та завдання. Впровадження інтелектуальних розумних в майбутньому є першочерговим завданням, оскільки вона має здатність захищати від кібербезпеки, сприяючи розширенню мережної системи для плавної інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як вітер, електромобілі та акумуляторні системи з використанням силової електроніки, сонячна, що забезпечує розумний облік, дозволяє спостерігати та контролювати енергію, пом'якшуючи коливання напруги, частоти та струму, створюючи гарну гармонізацію між виробниками, споживачами, операторами мереж та державою.

Як наслідок, побудова Smart Grid постає як складне завдання, що починається з детальної кількісної оцінки вимог до системи, визначення фактичних цілей і необхідних для їх досягнення рівнів функціонування. Це дослідження стане ефективним та дієвим інструментом для дослідників, інженерів, операторів передавачів та розподільників, щоб перетворити класичну національну енергосистему на інтелектуальну енергосистему.

Основна структура системи Smart Grid

Розумна система Smart Grid складається з двонаправленого потоку енергії в поєднанні з інформаційно-комунікаційними технологіями. Усі енергетичні пристрої, що використовуються в мережі для спостереження та керування – розумні та взаємодіють один з одним. В таблиці 1 приведена одна із основних структур розумної енергосистеми.

Таблиця 1 – Структура розумної енергосистеми

Розумна енергосистема Smart Grid			
Виробництво електроенергії <i>відновлювані і невідновлювані джерела енергії, включаючи мікромережі</i>	Передача електроенергії <i>силові трансформатори, силові вимикачі, реле, конденсатори, лінії електропередачі, електроопори</i>	Розподіл електроенергії <i>трансформатори, силові вимикачі, розумні лічильники, запобіжники, а також реле</i>	Споживання електроенергії <i>будинки, заводи, вуличні ліхтарі, електромобілі та акумулятори</i>

Ми визначили розумну мережу з чотирма основними функціями: виробництво електроенергії, передача електроенергії, розподіл електроенергії та споживання електроенергії. Усі функції мають двонаправлений зв'язок для підвищення рівня автоматизації, інформатизації, інтелектуальності на всіх рівнях системи керування функціонуванням енергосистеми.

Крім того, ринок і функціонування в основному пов'язані з державним регулюванням, де враховується ціни на електроенергію, інвестиції, баланс між виробництвом електроенергії та попитом, деякі ринкові стандарти, інтеграція систем відновлюваної енергії в національну мережу, пільговий тариф та підтримка споживачів.

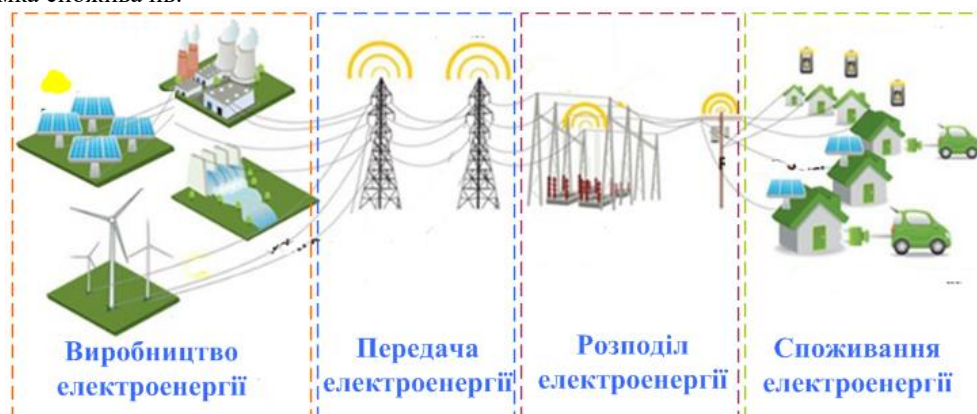


Рисунок 2 – Структура класичної електромережі

Функція виробництва електроенергії на рис. 3 має декілька відновлюваних та невідновлюваних джерел енергії. Відновлювальними джерелами енергії можуть бути вітер, сонце, гідро, біомаса, біопаливо, геотермальна, припливи та паливні елементи, невідновлюваними джерелами енергії є вугілля, нафта, ядерна та природний газ. Однак концепція розумної мережі полягає в тому, щоб якомога більше використовувати відновлювані джерела енергії.

У сучасних економічних умовах в Україні існує значна кількість енергоємних виробництв, тому проекти з енергоефективності та енергонезалежності стають одними з пріоритетних напрямів розвитку паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) країни. Нестабільна ситуація з постачання та нерівномірність розподілу енергоресурсів, коливання світових цін на них обумовлює створення таких умов функціонування ПЕК, які б дозволяли забезпечити стабільний рівень його економічного зростання. Тому стратегія на забезпечення енергетичної незалежності та зниження енергоспоживання створює передумови для розвитку та впровадження у ПЕК сучасних технологій. Тому в літературі було проведено багато досліджень, щоб включити більше відновлюваних джерел до системи розумних мереж [9, 10].

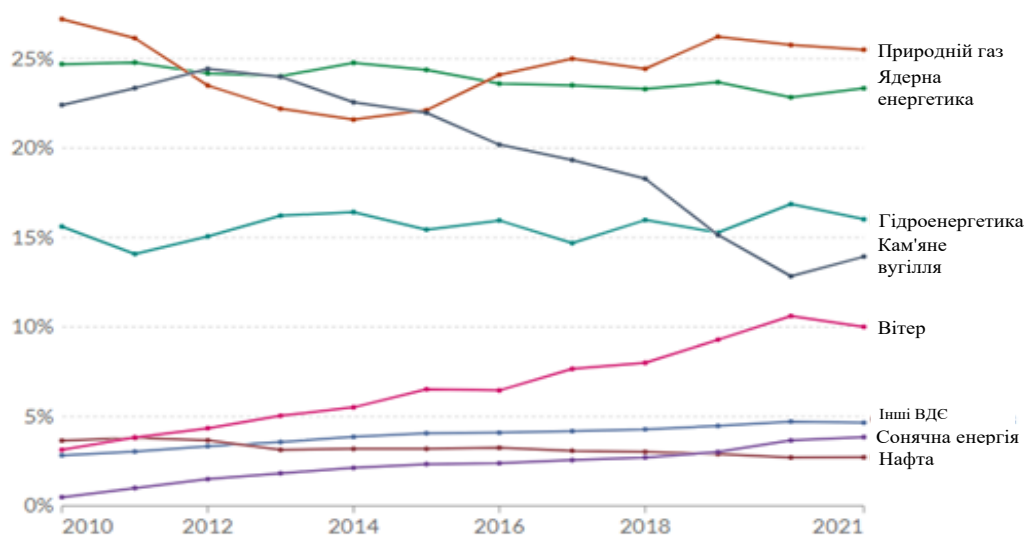


Рисунок 3 – Частка виробництва електроенергії в Європі за типами енергетичних ресурсів (2010 – 2021 р.) [11]

На рис. 3 показано частка виробництва електроенергії в Європі за типами енергетичних ресурсів. Три основні категорії енергії для виробництва електроенергії - це викопне паливо (вугілля, природний газ і нафта), ядерна енергія та відновлювані джерела енергії. Більшість електроенергії виробляється паровими турбінами, що використовують викопне паливо та ядерну енергію. Інші технології виробництва

електроенергії включають газові турбіни, гідротурбіни, вітряні турбіни та сонячні фотоелектричні елементи.

Природний газ залишається основним паливом (25%), для виробництва електроенергії в Європі, використовується у парових турбінах та газових турбінах.

За останнє десятиліття вугілля було одним з найбільших джерел вироблення електроенергії, його частка у загальному виробленні знизилася з 22% у 2010 р. до 14% у 2021 р.

На вугільну генерацію, впливає сильна цінова конкуренція з боку природного газу, ширше використання відновлюваних джерел енергії та, найголовніше, нові екологічні норми. Нині нові вугільні електростанції не будуються і не плануються.

Ядерна енергія залишається одним з основних виробництв електроенергії у Європі – 23 %. Атомні електростанції використовують парові турбіни для електроенергії з допомогою ядерного поділу.

Найбільша частка електроенергії, що виробляється відновлюваними джерелами енергії (34%), припадала на гідроенергетику (16%), використання енергії вітру збільшилось з 3% у 2010 р. до 10% у 2021 р., сонячна енергія (4%) та інші (4%).

Кількість електроенергії, що виробляється вітром, значно збільшилася протягом останнього десятиліття. Це збільшення значною мірою пов'язане з наявністю фінансових стимулів та цілей у галузі відновлюваних джерел енергії, встановлених урядами багатьох країн.

В Україні найбільша частка електроенергії (рис. 4), що виробляється припадає на атомну (55 %) та вугільну (23 %) енергетику. Відновлювальні джерела енергії складають всього 14%. Найбільша частка припадає на гідроенергетику (7%).

За останні роки сонячна енергія забезпечила близько 4% вироблення електроенергії в Україні. У міру того, як все більше електроенергії одержують із відновлюваних джерел, енергосистема повинна мати можливість накопичувати енергію сонця та вітру. Система повинна мати інтелект, щоб накопичувати надмірну енергію сонця і вітру для використання в нічний час або в похмурі дні.

Розподіл електроенергії для кожної країни за джерелами енергії узагальнено на рис. 5. Цілком зрозуміло, що 42% усіх енергоносіїв у Європі в 2021 році виробляється на електростанціях на горючому паливі. Польща та Естонія більшість своєї електроенергії виробляє з горючих видів палива 83% та 62%, відповідно.

Другим за величиною джерелом енергії, що використовується для виробництва електроенергії, є атомні електростанції, з часткою 23%. Її найбільшим рушієм є Франція (69%) та Україна (55%).

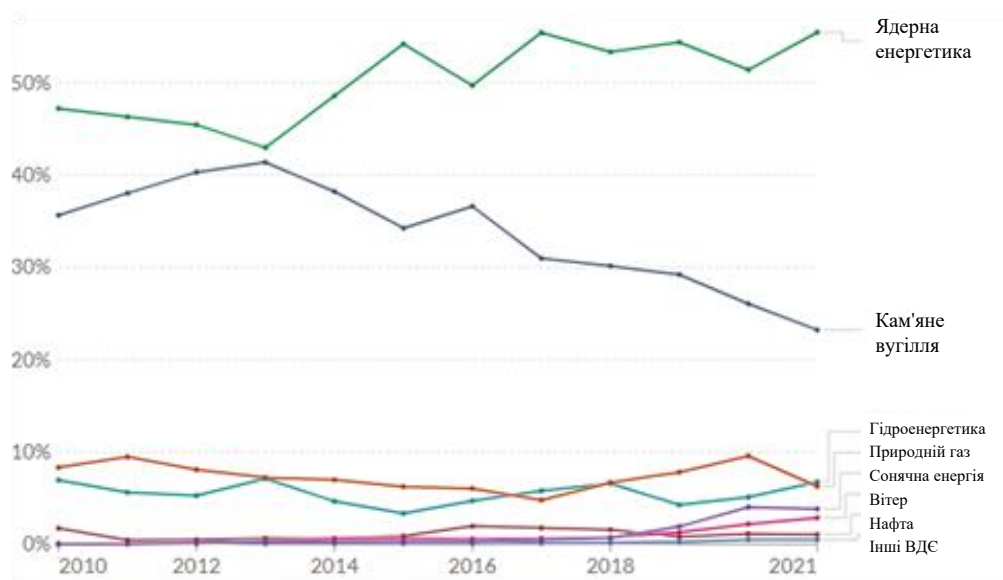


Рисунок 4 – Частка виробництва електроенергії в Україні за типами енергетичних ресурсів (2010 – 2021 р.) [11]

Гідроенергетика розвинута у багатьох країнах Європи (16%), наприклад частка виробництва електроенергії джерелом якої є гідроелектростанції у Норвегії займає 92%, Швейцарії 62%, Австрії 60%, що займає більшу половину від всього розподілу електроенергії за джерелами в цих країнах.

Незважаючи на високі показники гідроенергетики в багатьох країнах Європи, за останні роки частка відновлювальних джерел енергії збільшилась до 19%. Естонія (37,6%) та Іспанія (35%) використовують відновлювальні джерела енергії для виробництва електроенергії, а це третя частина від загальної потреби

енергії для цих країн. Також, збільшилась кількість використання вітрової та сонячної енергії у Австрії (19%) та Польщі (15,7%).

Збільшення частки відновлюваних джерел енергії в загальному обсязі енергетичних потреб Європи – це шлях до розумного використання природних ресурсів. Це піклування про здоров'я майбутніх поколінь і збереження червонокнижних рослин і тварин. Також це нові висококваліфіковані робочі місця, які потягнуть за собою науку і освіту, дадуть можливість створювати комфортні умови у складному кліматі без шкоди для екології.

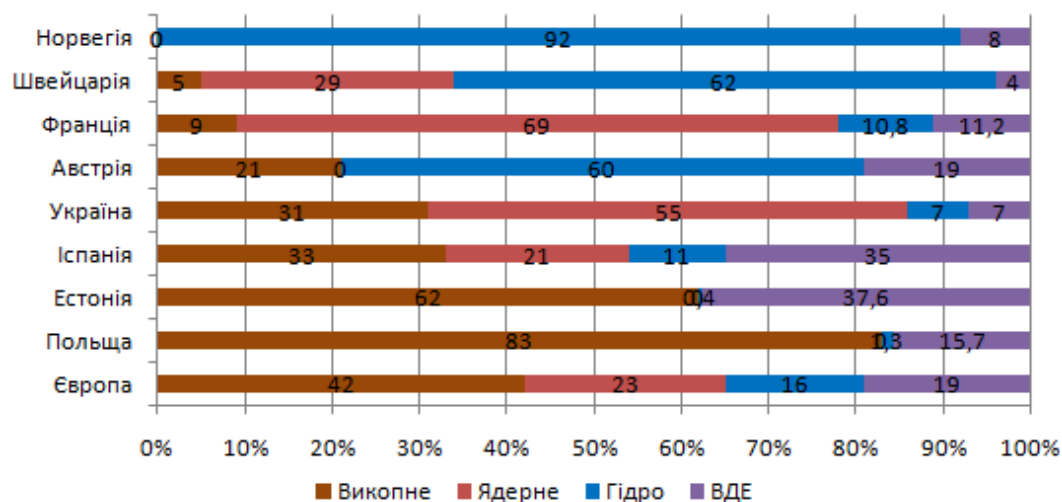


Рисунок 5 – Розподіл електроенергії за джерелами енергії, 2021 [11]

В Україні обсяги виробництва і використання енергії з відновлюваних джерел значно менші. На кінець 2021 в країні тільки 7% електроенергії отримано з сонячних чи вітрових електростанцій. Хоча в законі прописана мета – до 2030 року отримувати від альтернативної енергетики чверть всього потрібного обсягу, але прогнози експертів дещо скромніші. Вирахувано, що на великих станціях і в приватних домогосподарствах завдяки «зеленому тарифу» до кінця терміну його дії буде вироблятися від 13 до 20% електрики [12].

Наведена вище інформація та цифри підкреслюють важливість застосування Smart Grid у всьому світі, оскільки для виробництва електроенергії використовується багато різних джерел енергії.

Системи передачі електроенергії на рис. 2 включають силові трансформатори, лінії електропередач, підстанції, а також силові вимикачі. Значення напруги має найвище значення, а струм – найнижче значення в лініях передачі, щоб зменшити витрати та втрати за допомогою тонких електричних кабелів для передачі енергії на великі відстані.

Як показано на рис. 2, вся електроенергія передається по лініях електропередач, які можуть бути встановлені як над землею, так і під землею. Система Smart Grid дозволяє вимірювати сигнали напруги, струму та частоти в кожній точці лінії електропередачі за допомогою трансформаторів вимірювання напруги та струму, а також частотоміра для цілей спостереження та контролю.

Блок розподілу електроенергії на рис. 2 починається з понижуючого трансформатора і видає кілька рівнів напруги споживачам. Усі розумні лічильники, амперметри, вольтметри, частотоміри, запобіжники, вимикачі та реле входять до розподілу електроенергії. Для спостереження та контролю всіх електричних сигналів, таких як напруга, струм, частота, фазовий кут, послідовність фаз, в розподільному блоці встановлено кілька вимірювальних датчиків і невеликих трансформаторів. Усі компоненти розподільного блоку взаємодіють один з одним.

Одиниця споживання електроенергії на рис. 2 призначена для всіх типів навантажень, таких як заводи, будинки, вуличні ліхтарі та електротранспорт. Деякі споживачі можуть виробляти власну енергію з відновлюваних джерел або інших видів енергії та продавати цю енергію в мережу, якщо вироблена енергія не споживається. Але в цьому випадку необхідний розумний лічильник, щоб виміряти потік потужності в обидві сторони.

Після надання короткої інформації про класичну мережу її можна об'єднати з комунікаційними інфраструктурами і перетворити на систему інтелектуальних мереж Smart Grid, як показано на рис. 6. Вона складається з класичної мережі, а також комунікаційної інфраструктури, яка включає технології дротового та бездротового зв'язку в щоб налаштувати систему зв'язку між усіма електричними блоками та компонентами в розумній мережі. Таким чином, зараз вся система спостерігається і контролюється з

одного центру. Крім того, налаштований двонаправлений зв'язок, що дозволяє споживачеві бути споживачем.

Реалізація концепції Smart Grid неможлива без масштабного фізичного оновлення генеруючого і мережевого устаткування, забезпечивши керування технологічними процесами та економічними взаємодіями від локального до національного рівня. Саме у сфері систем керування функціонуванням і розвитком електроенергетики, відбуваються найбільш масштабні зміни, які в результаті мають привести до якісної трансформації умов енергопостачання споживачів за рахунок підвищення рівнів автоматизації, інформатизації та інтелектуальності на всіх рівнях систем керування функціонуванням енергосистеми і ринковими операціями [4].



Рисунок 6 Систему інтелектуальних мереж Smart Grid

Переваги використання Smart Grid.

Як пояснювалося раніше, використання інтелектуальних мереж забезпечує низку завдань з управління, моніторингу, контролю, забезпечення безпеки, а також спрощує, прискорює та оптимізує. Ось рекомендації та важливі питання для інтелектуальних мереж, стисло викладені нижче:

- Забезпечення кращої якості електроенергії та якості послуг;
- Підтримка систем розподіленої генерації;
- Забезпечення гнучкого дизайну системи;
- Досягнення простої експлуатації та контролю;
- Управління самовідновленням від перебоїв в електроенергії;
- Активна участь споживачів у відповідь на попит;
- Стійка робота проти фізичних втручань та кібератак;
- Створення нових продуктів, послуг і ринків;
- Ефективна оптимізація активів та операцій;
- Дозвіл споживачам брати участь в оптимізації роботи системи;
- Надання додаткової інформації кінцевим користувачам про те, як використовувати джерела;
- Підтримка побудови повного енергетичного ринку;
- Дозвіл дистанційного вимірювання автоматизації та електричних лічильників;
- Забезпечення кращої безпеки та конфіденційності;
- Зменшення витрат на управління та обслуговування;
- Забезпечення двонаправленого потоку енергії та зв'язку через виробництво, передачу, розподіл та кінцевих користувачів;
- Збільшення ефективності передавання електроенергії та зменшення втрат в мережах;
- Дати можливість використовувати нові методики та методи, такі як штучний інтелект, машинне навчання, глибоке навчання, Інтернет речей, блокчейн, тощо;
- Складання легкого плану майбутніх розробок;
- Оптимальний попит на енергію;
- Збільшення вигод та доходів;
- Досягнення моніторингу в режимі реального часу;
- Дає унікальну можливість підключення різних типів джерел та накопичувачів енергії.

Висновки. Інфраструктури електромереж багатьох країн світу дуже старі і створюють багато проблем, включаючи коротке замикання, коливання напруги та струму, втрати, низький ККД, відключення

електроенергії, і не можуть забезпечити безпечну, надійну, чисту та економну електроенергію, необхідну споживачам.

З іншого боку, розумна енергосистема є еволюційним процесом і не може бути створена за один крок. Вона надає багато переваг для всіх зацікавлених сторін, таких як фінансові фірми, виробники, науково-дослідні організації, споживачі, комунальні підприємства, органи захисту навколишнього середовища, регулюючі органи, незалежні оператори систем.

Таким чином, перетворення класичної мережі в інтелектуальну Smart Grid заповнює її власні бізнес-сфери та забезпечує підвищення ефективності, зниження втрат, гнучку ціну для споживачів, безпечну та стабільну електроенергію, а також надійну й цифрову інфраструктуру.

Список використаної літератури

1. Colak I. Introduction to Smart Grid. 3rd International Smart Grid Workshop and Certificate Program (ISGWCP), Istanbul, Turkey, 2016. pp. 30-34
2. Colak Денисюк С.П. Енергетичний перехід – вимоги до якісних змін у розвитку енергетики. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2019, № 1. С. 7–28.
3. Денисюк С.П., Стшелецькі Р. Формування складових інтелектуальної платформи керування енергетичними системами та мережами. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2019, № 3. С. 8–22.
4. Lobodzinskiy V. Transient Analysis in Three-Phase Cable Lines with the Transposition Phase Cables Conductive Screens During Short Circuit Fault. IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2021. p. 413-416.
5. Lobodzinskiy Vadim, Chybelis Valeriy, Petruchenko Oleg, et al. Features of Transient Research in Three-Phase High-Voltage Power Transmission Cable Lines. Graif of Science, 2021, №6. pp. 132-145.
6. Лободзинський В.Ю., Чибеліс В.І. Аналіз перехідних процесів у трифазних електричних колах з розподіленими параметрами і міжфазними зв'язками на прикладі високовольтної кабельної лінії. Енергетика: економіка, технології, екологія, 2021 №3. С. 64-69.
7. Олійник С. Електричні мережі стануть “розумними”, 2021. [Електронний ресурс] – URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/elektrychni-merezhi-stanut-rozumnyumu>.
8. Концепція «Зеленого» енергетичного переходу України до 2050. Міністерство енергетики та захисту довкілля, 2020. [Електронний ресурс] – URL: <https://mepr.gov.ua/news/34424.html>
9. Чернишова М. І., Тульчинська С.Ю. Впровадження проекту «Розумні мережі» в контексті розвитку паливно-енергетичного комплексу України. Ефективна економіка, 2016, № 11.
10. Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy. [Електронний ресурс] – URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
11. Джерела відновлювальної енергії в сучасній енергетиці. [Електронний ресурс] – URL: [https://ekotechnik.in.I., Bayindir R., Sagiroglu S. The Effects of the Smart Grid System on the National Grids 8th IEEE International Conference on Smart Grid \(icSmartGrid\), Paris, France, 2020. pp. 122–126.ua/istochniki-vozobnovlyaemoj-enerгии/](https://ekotechnik.in.I., Bayindir R., Sagiroglu S. The Effects of the Smart Grid System on the National Grids 8th IEEE International Conference on Smart Grid (icSmartGrid), Paris, France, 2020. pp. 122–126.ua/istochniki-vozobnovlyaemoj-enerгии/)

V. Lobodzinskiy, PhD in Technical Sciences, assistant professor, ORCID 0000-0003-1167-824X

M. Buryk, PhD in Technical Sciences, assistant professor, ORCID 0000-0002-7114-1084

O. Petruchenko, senior teacher, ORCID 0000-0002-4982-4217

O. Illina, assistant teacher, ORCID 0000-0003-4157-0846

National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

IMPACT OF THE SMART GRID SYSTEM ON THE NATIONAL ENERGY NETWORK

Modern power system technologies offer the integration of renewable energy in electricity grids, intelligent metering, bidirectional communication between power generation units and the central control system for energy production and consumption, prevention of power outages, sustainable and safe energy sources, and energy security. Moreover, the modern energy system requires control, measurement and cybersecurity of energy processes at every point of the grid.

The infrastructure of the national networks of many countries is very old and includes classic technologies of production, transmission and distribution of electricity. In addition, the controllability and manageability of these systems are also unsatisfactory. On the other hand, Smart Grid technologies include sophisticated tools to monitor and control the power system in both directions from power plants to end users or vice versa so that vulnerabilities can be identified in advance and the necessary measures taken. In addition, the smart grid system offers monitoring and management of electricity from production to the end user, as well as provides smart accounting, integration of renewable energy into the grid. Moreover, the efficient use of energy sources with minimal losses and minimal illegal use is also addressed in smart grid technology. This article

highlights the impact of smart grid technologies on national power grids and offers some useful suggestions for transforming their classic power grid system into a Smart Grid grid system.

Transforming the classic network into an intelligent one fills its own business areas and provides increased efficiency, loss reduction, flexible price for consumers, safe and stable electricity, as well as reliable and digital infrastructure.

As a result, building a Smart Grid is a complex task, starting with a detailed quantification of system requirements, determining the actual goals and the levels of operation needed to achieve them. This research will be an effective and efficient tool for researchers, engineers, transmitter operators and distributors to transform the classical national energy system into an intelligent energy system.

Keywords: *Smart Grid, power systems, power grids, intelligent control, information and communication technologies, power distribution control systems.*

References

1. Colak I. Introduction to Smart Grid. 3rd International Smart Grid Workshop and Certificate Program (ISGWCP), Istanbul, Turkey, 2016. pp. 30-34
2. Colak I., Bayindir R., Sagioglu S. The Effects of the Smart Grid System on the National Grids 8th IEEE International Conference on Smart Grid (icSmartGrid), Paris, France, 2020. pp. 122–126.
3. Denisyuk S.P., Energy transition - requirements for qualitative changes in energy development. *Energy: economics, technology, ecology*. 2019, № 1. p. 7–28.
4. Denisyuk S.P., Strzelecki R., Formation of components of the intelligent management platform. . *Energy: economics, technology, ecology*., № 3. p. 8–22.
5. Lobodzinskiy V. Transient Analysis in Three-Phase Cable Lines with the Transposition Phase Cables Conductive Screens During Short Circuit Fault. IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2021. p. 413-416.
6. Lobodzinskiy Vadim, Chybelis Valeriy, Petruchenko Oleg, etal. Features of Transient Research in Three-Phase High-Voltage Power Transmission Cable Lines. *Grail of Science*, 2021, №6. pp. 132-145.
7. Lobodzinsky V.Y., Chibelis V.I., Analysis of transients in three-phase electrical circuits with distributed parameters and interphase connections on the example of a high-voltage cable line. *Energy: economics, technology, ecology*, 2021, №3. p. 64-69.
8. Oliynyk S., Electric networks will become "smart", 2021. [Electronic resource] – URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/elektrychni-merezhi-stanut-rozumnymy>.
9. The concept of "Green" energy transition of Ukraine until 2050. Ministry of Energy and Environmental Protection, 2020. [Electronic resource] – URL: <https://mepr.gov.ua/news/34424.html>
10. Chernyshova M.I., Tulchinskaya C.JO., Implementation of the Smart Grids project in the context of the development of the fuel and energy complex of Ukraine. *Effective Economy*, 2016, № 11.
11. Our World in Data based on BP Statistical Review of World Energy. [Електронний ресурс] – URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
12. Sources of renewable energy in modern energy. [Electronic resource] – URL: <https://ekotechnik.in.ua/istochniki-vozobnovlyajemoj-energii/>

Надійшла 13.02.2022

Received 13.02.2022