

УДК 621.316

М.С. Гнилокурєнко ORCID: 0000-0002-5912-4863

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Кафедра «Системне проектування»**ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ ГРІД-ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БАГАТОКВАРТИРНОГО БУДИНКУ**

Прогрес суспільства залежить від розвитку та впровадження новітніх технологій. Однією із важливих сфер є енергетична сфера, оптимізація якої безпосередньо пов'язана з використанням технології Smart Grid. Ця сучасна електроенергетична мережа заснована на цифрових технологіях і використовується для електропостачання споживачів за допомогою двостороннього цифрового зв'язку. За даними наукових досліджень інтеграція такої мережі інформаційних потоків для контролю над процесами і системами в багатоквартирних будівлях є складною проблемою, яка потребує комплексного підходу. Метою даної аналітичної роботи було дослідження можливості використання Grid-інфраструктури для оптимізації енергоспоживання у багатоквартирному будинку. У результаті роботи встановлено, що побудова інтелектуальних електромереж передбачає істотну зміну електрозабезпечення багатоквартирних будинків відповідно до перспективної концепції інтелектуального будинку. Визначені основні переваги Smart Grid мереж, які повинні забезпечувати безперебійну роботу електрообладнання, повне функціонування розумного будинку у разі відключення електроенергії. Розподілений інтелектуальний облік споживаної енергії засобами смарт-лічильників і автоматичний енергоменеджмент забезпечує оптимальну роботу та зниження енерговитрат. Було розглянуто японську модель системи автоматичного енергоменеджменту BEMS (Building Energy Management System) для багатоквартирного будинку. Встановлено, що вона враховує всі необхідні параметри приладів-споживачів електроенергії, дозволяє реагувати на потреби у режимі реального часу та розподіляти електроенергію всередині будинку. Зроблене припущення, що ця модель є перспективною для впровадження в Україні за умови реалізації наступних кроків: контролю якості поставленої електроенергії і повідомлення про наявність невідповідностей і аварійних ситуацій, реалізації інтелектуального обліку спожитої енергії та автоматичного енергоменеджменту і управління обладнанням розумного будинку.

Таким чином, встановлено можливість і перспективність використання Grid-інфраструктури для оптимізації енергоспоживання у багатоквартирному будинку.

Ключові слова: *Грид-інфраструктура, грид-технології, багатоквартирний будинок, енергоспоживання*

The progress of society depends on the development and implementation of the advanced technologies. One of the important areas is the energy sector, the optimization of which is directly related to the use of Smart Grid technology. This modern power network is digital-based and is used to supply power for consumers through two-way digital communication. According to the latest research, the integration of such a network of information flows to control processes and systems in apartment buildings is a complex problem that requires a comprehensive approach. The purpose of this analytical work was to investigate the possibility of using Grid infrastructure to optimize energy consumption in an apartment building. As a result of the work, it was found that the construction of Smart grid involves a significant change in the power supply of apartment buildings in accordance with the perspective concept of the smart house. The main advantages of Smart Grid networks are identified, which should ensure the uninterrupted operation of electrical equipment, the full functioning of a smart house in the event of a power outage.

Distributed smart metering of energy consumed with smart meters and automatic energy management ensures optimum performance and reduced power consumption. A Japanese model of the Building Energy Management System (BEMS) for an apartment building was considered in the paper. It is established that it takes into account all the necessary parameters of appliances-consumers of electricity, allows to respond to the needs in real time and to distribute electricity inside the house. The assumption is made that this model is promising for implementation in Ukraine, in case of the implementation of the following steps: quality control of the delivered electricity and notification of inconsistencies and emergencies, implementation of intelligent accounting of consumed energy and automatic energy management and management of smart house equipment.

Thus, the possibility and the prospect of using the Grid infrastructure for optimizing energy consumption in an apartment building was established.

Key words: *Grid infrastructure, grid technology, apartment building, energy consumption*

Вступ.

З розвитком нових технологій змінюється наш спосіб життя, але електричні мережі які підтримують подачу енергії в будинки, школи, лікарні і на робочі місця потребують значної модернізації. Тепер це стає можливим завдяки новим інвестиціям в енергетичну інфраструктуру нашої країни, яка називається розумною мережею (Smart Grid). Вона поєднує інформаційні технології з передачею електроенергії до будинку. Відомо, що початок розвитку концепції Smart Grid в світі з метою трансформації застарілої системи електропостачання розпочався після аварій енергосистем США та аварії на атомній електростанції Фукусіма [1].

Оптимізація системи енергоспоживання є актуальною задачею сьогодення. Наразі очікується, що протягом наступного десятиліття 50 країн інвестують 268 мільярдів доларів США в інфраструктуру інтелектуальних мереж, включаючи інтелектуальні вимірювання, автоматизацію розподілу енергії і інші сегменти ринку. До таких країн відносяться: Венесуела, Бахрейн, Домініканська Республіка, Йорданія, Казахстан, Колумбія, Латвія, Литва, Киргизстан, Словаччина, Словенія, Парагвай, Перу, Узбекистан, Хорватія, Чилі, Еквадор, Естонія, Індія, Пакистан, Шрі-Ланка, Індонезія, Малайзія, Сінгапур, Таїланд, В'єтнам, Гана, Нігерія і Південна Африка та ін. [2] Провідним завданням енергетичної політики країн ЄС, що визначено в «Директиві з електроенергії», є обладнання не менше 80% користувачів інтелектуальними вимірювальними системами в 2020 році [3].

Smart Grid або Розумна Мережа (Смарт-мережа) - це електроенергетична мережа, заснована на цифрових технологіях, яка використовується для електропостачання споживачів за допомогою двостороннього цифрового зв'язку. Існує декілька визначень поняття Smart Grid але спільним елементом для більшості визначень є застосування цифрової обробки даних і зв'язку до електричної мережі, що робить потік даних і управління інформацією ключовими технологіями розумних мереж [4,5].

Як відомо з літературних джерел термін Grid (сітка, грати) почав використовуватися з середини 90-х років і був обраний за аналогією з мережами передачі і розподілу електроенергії (Power Grids) [6]. В свою чергу, термін «розумна мережа» (Smart grid) став відомий з 2003 року, коли він з'явився в статті "Reliability demands drive automation investments" М.Т. Burr [4].

Ключовими технологіями при розробці розумних мереж є різні можливості щодо широкої інтеграції цифрових технологій, а також інтеграція нової мережі інформаційних потоків для контролю над процесами і системами. На даний момент впровадження розумних мереж в електроенергетиці розвивається в трьох напрямках: поліпшення інфраструктури; додавання цифрового шару, який є сутністю розумної мережі та перетворення бізнес-процесів, що роблять розумні мережі рентабельними. На думку іноземних вчених, найбільша частина робіт стосується модернізації електричних мереж, особливо розподілу і автоматизації підстанцій, які тепер будуть включені в загальну концепцію розумних мереж [4].

За дослідженнями J'son & Partners Consulting використання Smart Grid в багатоквартирних будівлях є складною проблемою, яка потребує комплексного підходу [3].

Мета та завдання.

Метою даної роботи було дослідити можливості використання Grid-інфраструктури для оптимізації енергоспоживання у багатоквартирному будинку.

Завданнями даної роботи було вибрати та охарактеризувати модель інтелектуальних мереж Smart Grid, визначити складові її структури і оцінити переваги з точки зору використання мережі для багатоквартирних будинків.

Матеріал і результати досліджень.

Дану роботу проводили шляхом аналізу іноземних та вітчизняних літературних джерел. За даними Eswar et al. [7] Smart Grid мережа дозволяє здійснювати моніторинг, аналіз, контроль і зв'язок у рамках виробничо-збутового ланцюжка з метою підвищення ефективності, скорочення енергоспоживання, витрат і забезпечення максимальної доступності та надійності ланцюга енергопостачання. Перевагами Смарт-мережі є повний набір поточних і пропонованих заходів щодо вирішення проблем енергопостачання. Характеристиками Смарт-мереж є: надійність, гнучкість в топології, ефективність, коригування або балансування навантаження, пікове скорочення або вирівнювання і час встановлення цін на використання, стійкість, підтримка реагування на попит, платформа для передових послуг [7, 8]. Отже, надійність характеризується використанням технологій, які покращують виявлення несправностей, дозволяють самовідновлюватися мережі без участі працівників і, таким чином, зменшують уразливість перед стихійними лихами або нападами. На даний момент класичні мережі розроблені для одностороннього потоку електроенергії. Але якщо локальна підмережа генерує більше енергії, ніж споживає, зворотний потік може викликати проблеми безпеки і надійності, тому розумна мережа покликана врегульовувати такі ситуації. Інфраструктура передачі і розподілу наступного покоління буде краще справлятися з можливими двосторонніми потоками енергії, дозволяючи розподіляти енергію між елементами мережі, що буде обумовлювати гнучкість в топології мережі.

Очікується, що впровадження інтелектуальної мережевої технології буде багато в чому сприяти загальному підвищенню ефективності енергетичної інфраструктури, зокрема з урахуванням управління попитом користувача. Загальний ефект полягає в зменшенні надмірності в лініях передачі і розподілу і більш широке використання генераторів, що веде до зниження цін на електроенергію. Завдяки постійному моніторингу навантаження в «інтелектуальній» мережі, використовуючи алгоритми математичного прогнозування, можна передбачити, скільки резервних генераторів потрібно використовувати, щоб досягти певної швидкості відмови. Це забезпечує коригування та балансування навантаження в мережі. Використання розумних пристроїв в домашніх умовах та на підприємствах за допомогою технології зв'язку та обліку дає можливість скоротити споживання енергії компаніям комунального обслуговування в періоди високого попиту за рахунок динамічного ціноутворення [7, 9]. Стійкість мережі досягається децентралізацією інтелектуальної енергосистеми та підключенням поновлювальних джерел енергії. Крім цього, за допомогою аналізу попиту та навантаження є можливість реагувати на зміни у режимі реального часу та автоматично усувати сплески електроенергії за рахунок пріоритезації включення пристроїв [9,10,11]. Використання надійного двостороннього зв'язку, сучасних датчиків і розподіленої комп'ютерної технології відкриває можливості для створення нових послуг та служб [7].

Структура Смарт-мереж починається з розробки, в якій беруть участь: Архітектор мережі, Імплементатор, Провайдер електроенергії, Споживач, Державні/приватні фінансові установи. При цьому кожен із зазначених учасників має свою сферу відповідальності, що

зазначено на Рис. 1.



Рис 1. Головні учасники розробки Smart Grid технології [12].

Перейшовши до інтелектуального електропостачання Smart Grid, енергетичні компанії зможуть керувати всією мережею як єдиною системою, споживачі – економно розподіляти витрати електроенергії, а влада країн – створювати інтелектуальну енергетичну інфраструктуру. За подібним сценарієм проходить реформування енергетичних мереж урядами різних країн як спосіб вирішення проблем енергетичної безпеки, екологічних проблем, надійності електропостачання [1,13,14].

Складові розумних мереж охоплюють широкий спектр технологій і додатків. Серед них технологія географічної інформаційної системи, спеціально розроблена для підприємств комунального обслуговування з метою моделювання, проектування та управління їх найважливішою інфраструктурою. Завдяки інтеграції комунальних даних і географічних карт дозволяє отримати графічне представлення про інфраструктуру, що забезпечує скорочення витрат за рахунок спрощеного планування [15]. В таблиці 1 наводиться опис систем та технологій, які в даний час застосовуються на практиці, із зазначенням можливих «вразливих місць» системи [16, 17].

Таблиця 1. Опис сервісних систем та структурних елементів Smart Grid.

Сервісні системи	Приклади функцій	Можливі «вразливі місця» системи
Комунікації	Передача даних по широкосмуговій лінії електропередач, стільникова, бездротова або супутникова мережа	Пасивне прослуховування, перехоплення та зміна даних, зчитування, підробка інтернет протоколу (IP).
Складні компоненти	«Розумні» комутатори, пристрої зберігання інформації, домашні «розумні прилади», трансформатори	Атака маршрутизації, відмова в обслуговуванні, підрив вузла, повідомлення про пошкодження.

Автоматичні системи контролю	Системи моніторингу та контролю такі як регулятори напруги та підстанцій і децентралізоване обладнання	Ботнети, вразливість нульового дня, модифікації на контролерах, фішинг.
Сенсори та прилади для вимірювання	Смарт-лічильники та прилади для фазових вимірювань	Перехоплення Wi-Fi з'єднання, захоплення вузла, атака маршрутизації, підрив вузла
Система прийняття рішень	Операційні програми для керування електричною системою	Шкідлива SQL ін'єкція, переповнення буферу, крос-сайтовий скрипт, крос-сайтова підробка
Системи взаємодії з користувачем	Веб-додаток, який забезпечує доступ до облікових записів клієнта	Шкідлива SQL ін'єкція, крос-сайтовий скрипт, відмова в обслуговуванні, атака вторгнення.

Варто зазначити, що в Україні з метою стандартизації технології Smart Grid вже прийнято більшу частину технічних стандартів для автоматизації мереж. Їхнє впровадження – не регуляторна вимога, а поки що, власне бажання компаній-операторів електромереж, які мають самі вирішувати, наскільки вони відповідатимуть цим стандартам і, відповідно, наскільки якісними будуть їхні послуги та власна ефективність [13].

Головним засобом комунікацій електроенергетичних компаній та кінцевих споживачів є Smart-лічильники електричної енергії [18]. Смарт-лічильник - цифровий електричний вимірювач, який вимірює споживання енергії в реальному часі і зберігає історію використання електроенергії споживачі; потім комунальні компанії можуть зчитувати інформацію, що зберігається в смарт-лічильниках дистанційно і автоматично [11]. Системи автоматичного зчитування показань лічильника представляють собою перший крок до зниження витрат на збір даних [15]. В свою чергу управління даними лічильника забезпечує єдину точку інтеграції для всього діапазону даних лічильника. Це дозволяє використовувати ці дані для обміну з операційними програмами з метою підвищення ефективності та підтримки процесу прийняття рішень в масштабах підприємства [15].

За попередніми планами Європейського союзу вже у 2020 році 72% європейських споживачів матимуть смарт-лічильники для електрики, що дозволить зекономити 309 євро на електроенергію на кожен вимірювальний пункт (розподілений серед споживачів, постачальників, операторів розподільчих систем і т.д.), а також середню економію енергії в розмірі 3% [19]. Крім того, європейськими колегами опубліковані прогностичні дані впровадження Смарт-лічильників в країнах ЄС на 2020 рік (Рис. 2) [3].

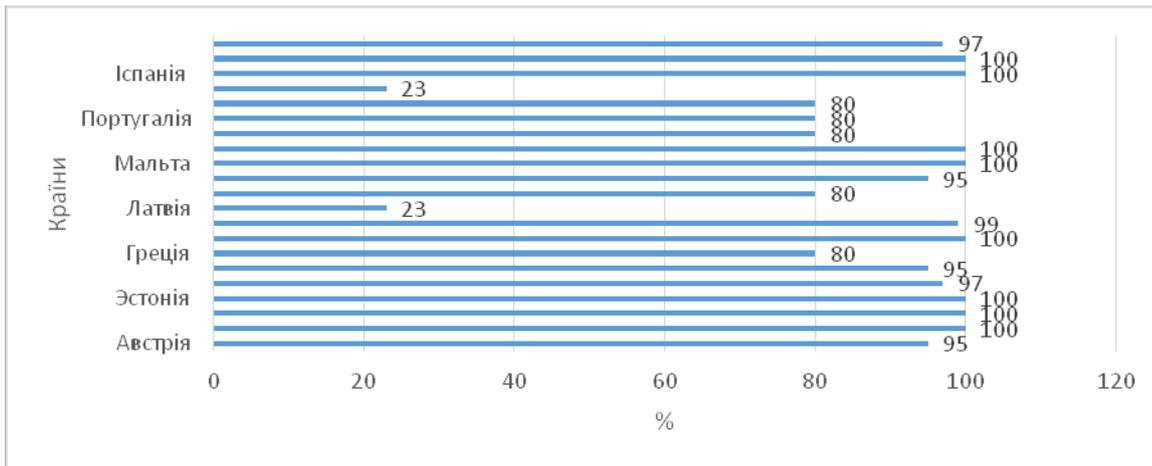


Рис. 2. Ступінь оснащення (%) смарт-лічильниками країн ЄС.

Впровадження Grid-технологій в багатоквартирні будинки може відбуватись при відповідності певним умовам, таким як: включення в систему смарт-лічильників, потенціал швидкого реагування на попит, розподілена архітектура, експлуатаційна сумісність [16].

Японськими вченими було запропоновано модель реалізації Smart Grid для багатоквартирних будинків [20]. Автори зосередили увагу на системі BEMS (Building Energy Management System), яка включає взаємозв'язок між приладами в квартирах, фотоелектричними установками на даху та транспортними акумуляторними батареями (Рис. 3).

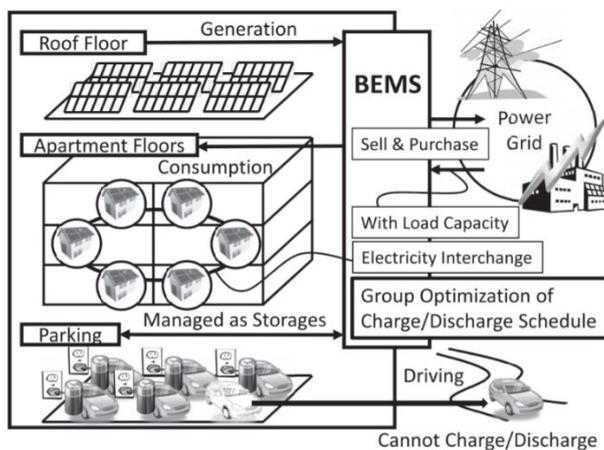


Рис. 3. Система BEMS (Building Energy Management System).

Важливим аспектом BEMS є її здатність справлятися з різними надходження енергії, включаючи поновлювані джерела енергії від сонячних, вітрових та геотермальних систем; з метою з урахуванням періодичності використання поновлюваних джерел енергії впровадження технологій зберігання електроенергії, які дозволять збільшити обсяг енергії; використання відновлюваних джерел енергії, зменшення залежності від викопних видів палива і підвищення гнучкості системи сітки. Але «зелена» енергетика, на відміну від традиційної є нестабільною, адже обсяги її генерації залежать від погодних умов [11,20,21].

Система BEMS складається з трьох важливих принципів: об'єднання в групи зарядних пристроїв, обмін електроенергією та відстеження загального навантаження. Об'єднання в групи дозволяє оптимізувати графік часу зарядження та розрядження для всіх акумуляторних батарей транспортних засобів. Для оптимізації споживання електроенергії, BEMS необхідно надавати всі прогнозовані характеристики споживання електроенергії, вироблення електроенергії всіх домашніх приладів та використання автотранспортних засобів. Обмін електроенергією серед усіх приладів у будинку забезпечується за допомогою енергетичного

комутатора і система BEMS має чітко визначений контроль перерозподілу електроенергії з урахуванням внутрішнього попиту будинку. Оскільки, потужність BEMS контрактом з провайдером, тому завдяки груповій оптимізації в межах будівлі BEMS може легко домогтися скорочення пікового споживання електроенергії, яке часто відбувається в той час, коли ціни на електроенергію низькі, що дозволяє накопичувати «дешеву» енергію в транспортних акумуляторних батареях [20, 22, 26].

У нашій країні постачання електричної енергії побутовим споживачам здійснюється постачальником універсальної послуги відповідно до статті 63 закону «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017 № 2019 – VI. Відповідно до положень пункту 11.4.6 глави 11.4 розділу XI "Кодексу систем розподілу", затвердженому постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 310, параметри якості в точці розподілу на вході споживача повинні відповідати визначеним у ДСТУ EN 50160 : 2014. В нашій країні, на відміну від європейських, відсутня система штрафів за виникнення перебоїв в електропостачанні, порушення якості електроенергії або аварій в мережах. Законодавчо встановлені норми по якості в мережах часто не виконуються [13,23]. Відповідність параметрів якості електричної енергії є обов'язковою умовою постачальника, що зобов'язує споживача сплачувати за електроенергію в повному обсязі. Вартість електроенергії, залежить від витрат на її вироблення, пори року, днів тижня, часу доби та ін., тому визначити істину вартість електроенергії, оптимізувати її виробництво, поставку та використання можливо тільки при удосконаленні існуючої системи обліку з метою збору інформації про використання в реальному часі. Системи електрозабезпечення більшості багатоквартирних будинків України не відповідають вказаним умовам тому, що в них відсутні прилади, що вимірюють, контролюють та управляють, та прилади для збору та передачі інформації. Крім того, багатоквартирні будинки підключені до систем централізованого обігріву та гарячого водопостачання, що також не дозволяє реалізувати в повному обсязі складову Smart Grid реагування на попит (Demand Response) [24,26].

З огляду на зазначене вище необхідно реалізувати комплексний підхід для модернізації інфраструктури енергоспоживання у багатоквартирному будинку з використанням новітніх технологій Smart Grid, модель однієї з яких було розглянуто у статті.

Висновки.

У результаті проведеного аналітичного дослідження встановлено, що побудова інтелектуальних електромереж передбачає істотну зміну електрозабезпечення багатоквартирних будинків відповідно до перспективної концепції інтелектуального будинку. Визначені основні переваги Smart Grid мереж, які повинні забезпечувати безперебійну роботу електрообладнання, повне функціонування розумного будинку у разі відключення електроенергії. При виникненні проблем з енергозабезпеченням повинна спрацювати система автоматичного оповіщення сервісних служб. Розподілення освітлення всередині приміщень повинно визначатися запрограмованими режимами, часом доби, наявністю людей. Повинен забезпечуватися розподілений інтелектуальний облік споживаної енергії засобами смарт-лічильників і автоматичний енергоменеджмент (управління споживанням) з метою оптимальної організації його роботи та зниження енерговикористання. У статті було розглянуто японську модель системи автоматичного енергоменеджменту BEMS (Building Energy Management System) для багатоквартирного будинку. Встановлено, що вона враховує всі необхідні параметри приладів-споживачів електроенергії, дозволяє реагувати на потреби у режимі реального часу та розподіляти електроенергію всередині будинку. Зроблене припущення, що ця модель є перспективною для впровадження в Україні за умови реалізації наступних кроків: контролю якості поставленої електроенергією і повідомлення про наявність невідповідностей і аварійних ситуацій, реалізації інтелектуального обліку спожитої енергії та автоматичного енергоменеджменту і управління обладнанням розумного будинку.

Таким чином, встановлено можливість і перспективність використання Grid-інфраструктури для оптимізації енергоспоживання у багатоквартирному будинку.

Список літератури

1. Ю.В. Степаненко, Ю.А. Папаїка, О.Г. Лисенко. Особливості впровадження інформаційних технологій smart grid для систем електропостачання України. Зб. наук. пр. XII міжнар. конф. «Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості». Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП». 2017. № 2. С. 152.
2. 50 COUNTRIES INVESTING IN SMART GRID. URL: <https://www.conexpoconagg.com/news/50-countries-investing-in-smart-grid/>
3. Smart Grid Умные Сети. Интеллектуальные сети электроснабжения. 2018. URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Smart_Grid_\(%D0%A3%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%A1%D0%B5%D1%82%D0%B8\)](http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Smart_Grid_(%D0%A3%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%A1%D0%B5%D1%82%D0%B8))
4. Michael T. Burr. Reliability demands drive automation investments. Public Utility Fortnightly. Nov. 1. 2003.
5. Kenneth C. Budka, Jayant G. Deshpande, Marina Thottan. Communication Networks for Smart Grids: Making Smart Grid Real. Springer. 2014. P. 312.
6. Мазур В.І., Іванкевич О.В. GRID-технології як ресурс сучасного етапу інформатизації суспільства. Проблеми інформатизації та управління. 2010. 2 (30). С. 123-130.
7. К.М. Ravi Eswar. Smart Grid-Future for Electrical Systems. International Journal of Electrical and Electronics Research. 2015. Vol. 3. Issue 2, P. 603-612.
8. European Smart Grids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future / Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006. URL: https://ec.europa.eu/research/energy/pdf/smartgrids_en.pdf
9. Smart Buildings Can Be 'The Nodes' Of The Smart Grid. 2016, June. URL: <https://memoori.com/smart-buildings-can-nodes-smart-grid/>
10. New 2016 Comprehensive Evaluation of the World Market for Building Performance Software in Non-Domestic Buildings, Making an Objective Assessment to 2020. URL: <http://memoori.com/portfolio/market-building-performance-software-2016-2020/>
11. Theresa Monypeny. Implementation of Smart Grid Technology in the United States. Papers & Publications: Interdisciplinary Journal of Undergraduate Research: 2013. Vol. 2 ,
12. Jacob R. Young. Smart grid technology in the developing world. 2017. URL: https://digitalcommons.spu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1063&context=honorsp_projects
13. Особливості впровадження технологій smart grid в електроенергетичну галузь України. Scientific Journal «ScienceRise». 2015. №4/2(9). С. 27-31.
14. Vincenzo Giordano, Alexis Meletiou, Catalin Felix Covrig. Smart Grid projects in Europe: Lessons learned and current developments. JSR Scientific and Policy Report. 2013. URL: https://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/documents/ld-na-25815-en_n_final_online_version_april_15_smart_grid_projects_in_europe_-_lessons_learned_and_current_developments_-2012_update.pdf
15. Prasad, Indrajeet. Smart Grid Technology: Application and Control. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. 2014. Vol. 3. Issue 5. P. 9533-9542.
16. Dionysia Kolokotsa. The role of smart grids in the building sector. Energy and Buildings. 2016. Vol. 116. P. 703-708.

17. Carol L. Stimmel. Big Data Analytics Strategies for the Smart Grid. CRC Press, London. 2016. P. 256.
18. О.В. Коцар. SMART GRID системи та технології. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2018. №2. С. 20-25.
19. An official website of the European Union. URL: https://ec.europa.eu/energy/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters/overview_en
20. Akihiko KAWASHIMA, Takuma YAMAGUCHI, Ryosuke SASAKI, Shinkichi INAGAKI, Tatsuya SUZUKI, and Akira ITO. Apartment Building Energy Management System in Group Optimization with Electricity Interchange Using In-Vehicle Batteries. SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 2015. Vol. 8. No. 1. p. 052–060.
21. Карпенко О. Чи існує інструмент для трансформації української енергетики. 2018. URL: <https://mind.ua/openmind/20185275-chi-issue-instrument-dlya-transformaciyi-ukrayinskoyi-energetiki>
22. Rebecca Herold, Christine Hertzog. Data Privacy for the Smart Grid. CRC Press, 2015 p. 250.
23. В.М.Ефременко, А.С. Шеварухин. Анализ потребления электроэнергии в жилых помещениях многоквартирных домов. Вестник Кузбасского Государственного технического университета. 2012. 5 (93). С. 76-77.
24. IoT-платформы для управления энергосетями (Smart Grid). 2019. URL: <http://www.robogeek.ru/analitika/json-partners-iot-platformy-dlya-upravleniya-energosityami-smart-grid>
25. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В. Денисюк С.П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні. Технічна електродинаміка. 2012. №5. С. 52-67.
26. Thomas M. Lawrencea, Marie-Claude Boudreaub, Lieve Helsen et. all. Ten Questions Concerning Integrating Smart Buildings into the Smart Grid. Building and Environment. 2016. Vol. 108, P. 273-283.