

О. Г. ГРИБ, Г. А. СЕНДЕРОВИЧ, О. В. ДЯЧЕНКО, І. Т. КАРПАЛЮК, С. В. ШВЕЦЬ

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Основні проблеми традиційної енергетики, зумовлені ростом цін на енергоносії, які в свою чергу пов'язані з вичерпністю легкодоступних родовищ органічного і ядерного палива, а також частими аваріями на атомних станціях, які в свою чергу, викликали необхідність аналізу стану споживання енергії на сучасному етапі розвитку суспільства та визначення шляхів енергозабезпечення людства у майбутньому. На фоні проблем з викопними джерелами енергії одними з ключових глобальних трендів розвитку енергетичної галузі стають розвиток альтернативних джерел енергії і цифрова енергетика. Дані процеси уже в значній мірі вплинули на економіку паливно-енергетичного комплексу в деяких країнах світу і продовжують розвиватися. Розповсюдження відновлювальних джерел енергії вже починає глобально впливати на виробництво, споживання енергії та на функціонування електромереж, особливо в країнах, де частка відновлювальних джерел енергії в традиційній енергетиці перевищує 10 % до таких країн за прогнозами найближчим часом ввійде і Україна. Перехід від нинішніх моделей прогнозованої генерації із здебільшого постійною потужністю до мереж, до яких під'єднані змінювані відновлювальні джерела енергії, вочевидь потребуватиме великих змін. Виконання заходів щодо впровадження змінюваної та розподіленої відновлювальних джерел енергії потребуватиме більших зусиль щодо керування потоками енергії у мережі, її перерозподілу та накопиченню. Цифровізація може вирішити виклики, що лише посилюватимуться у майбутньому, в три етапи: розумне створення енергії, розумне оперування нею та взаєморозрахунками з клієнтами і розумне її споживання. Головною проблемою тут є потреба в величезній кількості даних, які потребуватимуть обробки, аби розуміти, як працює мережа в будь-який момент часу, аби за умов постійної зміни її параметрів можна було керувати змінними чинниками, прогнозувати їх, оцінювати поточні потреби клієнтів та спроможності постачальників енергетичних послуг. Авторами статті був проведений аналіз цифровізації енергетики та виділено декілька основних напрямів її розвитку. Проаналізовано динаміку росту кількості власників сонячних електростанцій що встановлені в приватних домогосподарствах України, тому що вони можуть стати одними із перших учасників цифровізації в країні.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, цифрова енергетика, декарбонізація, децентралізація, діджиталізація, цифрова трансформація, блокчейн, смарт-контакт.

О. Г. ГРИБ, Г. А. СЕНДЕРОВИЧ, А. В. ДЯЧЕНКО, И. Т. КАРПАЛЮК, С. В. ШВЕЦ

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УКРАИНЕ

Основные проблемы традиционной энергетики, обусловленные ростом цен на энергоносители, которые в свою очередь связаны с исчерпаемостью легкодоступных месторождений органического и ядерного топлива, а также частыми авариями на атомных станциях, которые в свою очередь, вызвали необходимость анализа состояния потребления энергии на современном этапе развития общества и определение путей энергообеспечения человечества в будущем. На фоне проблем с ископаемыми источниками энергии одними из ключевых глобальных трендов развития энергетической отрасли становятся развитие альтернативных источников энергии и цифровая энергетика. Данные процессы уже в значительной степени повлияли на экономику топливно-энергетического комплекса в некоторых странах мира и продолжают развиваться. Распространение возобновляемых источников энергии уже начинает глобально влиять на производство, потребление энергии и на функционирование электросетей, особенно в странах, где доля возобновляемых источников энергии в традиционной энергетике превышает 10 % в такие страны по прогнозам в ближайшее время войдет и Украина. Переход от нынешних моделей прогнозируемой генерации с по большей частью постоянной мощности до сетей, к которым подключены изменяемые возобновляемые источники энергии, очевидно, требует больших перемен. Выполнение мероприятий по внедрению изменяемой и распределенной возобновляемых источников энергии требует больших усилий по управлению потоками энергии в сети, ее перераспределению и накоплению. Цифровизация может решить вызовы, которые будут только усиливаться в будущем, в три этапа: умное создание энергии, умное оперирования ею и взаиморасчетах с клиентами и умное ее потребления. Главной проблемой здесь является потребность в огромном количестве данных, требующих обработки, чтобы понимать, как работает сеть в любой момент времени, чтобы в условиях постоянного изменения ее параметров можно было управлять переменными факторами, прогнозировать их, оценивать текущие потребности клиентов и возможности поставщиков энергетических услуг. Авторами статьи был проведен анализ цифровизации энергетики и выделено несколько основных направлений ее развития. Проанализирована динамика роста количества владельцев солнечных электростанций, установленных в частных домохозяйствах Украины, так как они могут стать одними из первых участников цифровизации в стране.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, цифровая энергетика, декарбонизация, децентрализация, диджитализация, цифровая трансформация, блокчейн, смарт-контакт.

О. НРЫВ, G. SENDEROVICH, O. DIACHENKO, I. KARPALIUK, S. SHVETS

ANALYSIS OF DIGITAL ENERGY DEVELOPMENT PROSPECTS IN UKRAINE

The main problems of traditional energy, caused by rising energy prices, which in turn are related to the exhaustion of readily available fields of organic and nuclear fuels, as well as frequent accidents at nuclear power plants, which in turn caused the need to analyze the state of energy consumption at the current stage of development. society and defining ways of energy supply for humanity in the future. Against the background of problems with fossil energy sources, one of the key global trends in the development of the energy industry is the development of alternative energy sources and digital energy. These processes have already significantly influenced the economy of the fuel and energy complex in some countries of the world and continue to develop. The proliferation of renewable energy is already beginning to have a global impact on electricity generation, consumption and operation, especially in countries where the share of renewable energy in traditional energy exceeds 10 % in such countries and Ukraine is projected to soon. The transition from current forecast generation models with largely constant power to networks to which variable renewable energy sources are connected is likely to require major changes. Measures to implement renewable and distributed renewable energy will require greater effort to manage, redistribute and accumulate energy flows in the grid. Digitization can solve challenges that will only intensify in the future, in three stages: "smart" energy generation, smart management and settlement with customers and smart consumption. The main problem here is the need for a huge amount of data that will need to be processed to understand how the network works at any given time, so that, with constant changes to its parameters, variables can be managed, forecasted, customers' current needs and capabilities assessed energy services. The authors of the

article analyzed the digitization of energy and identified several main areas of its development. The dynamics of growth of the number of owners of solar power plants installed in private households of Ukraine is analyzed, as they can become one of the first participants in the digitalization in the country.

Keywords: renewable energy, digital energy, decarbonization, decentralization, digitalization, digital transformation, blockchain, smart contact.

Вступ. Процес трансформації світової енергетичної системи супроводжується зміною домінуючих видів палива в енергетичному балансі, технологічними та організаційними інноваціями, розширенням та оптимізацією ланцюга постачання енергетичних ресурсів. Сучасному етапу перетворення світової енергетичної сфери притаманне зростання попиту на енергоресурси, активізація використання поновлюваних джерел енергії, підвищення енергоефективності [1].

Експертні оцінки розвитку енергетики до середини століття свідчать про те, що частка вартості енергії у глобальному ВВП буде зменшуватися рис. 1, а сама енергія стане доступнішою та відносно дешевшатиме[1–2].

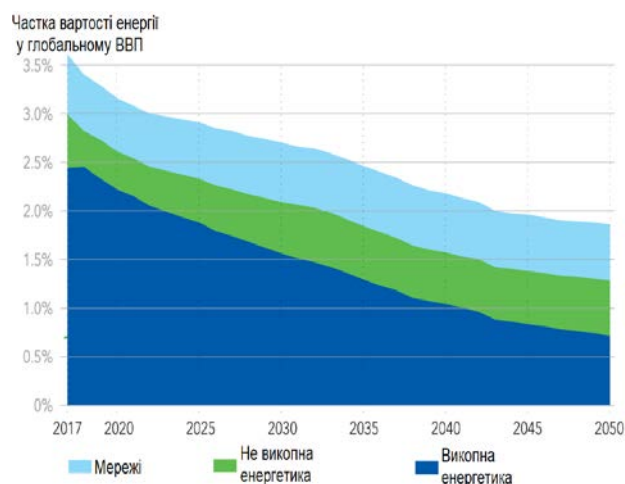


Рис. 1. Прогноз світових енерговитрат як частки світового ВВП, 2017-2050, %

Це відбувається за рахунок трьох пов'язаних між собою головних чинників:

- вдосконалення, розвиток, розповсюдження та здешевлення генерації первинної енергії з відновлювальних джерел енергії (ВДЕ);

- глобальна електрифікація у всіх без винятку галузях економіки, що супроводжуватиметься зростанням фактичної енергоефективності;

- вдосконалення технологій розподілу та доставки енергії мережами різних рівнів та способів керування всіма складовими в енергетиці [2].

За рахунок цих чинників світові інвестиції будуть перерозподілені, вкладення в традиційну «викопну» енергетику суттєво зменшаться рис. 1, але виростуть загальні витрати на ВДЕ з різних джерел та на розвиток мереж – при тому, що самі ВДЕ-технології за рахунок технічного прогресу продовжать здешевлюватися. Розвиток мереж відбуватиметься у напрямку «інтелектуалізації» технологій розподілу та сталої доставки змінюваної енергії [2, 3]. Такі зміни багато в чому відбудуться завдяки:

- оцифруванню енергетики – перевід сигналів з аналогової у цифрову форму та оперування ними,

- обробка математичних моделей процесів чи архівація даних у цифровому вигляді;

- цифровій трансформації – зміна звичних бізнес-моделей завдяки цифровим технологіям та забезпечення нових можливостей щодо отримання додаткової вартості у нових чи існуючих сегментах ринку послуг чи виробництва.

Розвиток відновлювальної енергетики в Україні приводить до істотного збільшення її частки у виробленні електроенергії, тому на думку авторів питання інтеграції нестабільних джерел енергії в мережу без послаблення надійності системи стоїть сьогодні на порядку денному в країні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Діджиталізація енергетики представляє науковий інтерес для провідних українських і зарубіжних вчених. Серед яких слід відзначити особливий внесок таких вчених як Ляшенко В. І, Вишневський О. С., Грушников В. А. та ін. [4–9].

Розвиток альтернативних джерел і малих систем генерації призвів до виникнення великої кількості незалежних виробників електроенергії. При цьому великих змін зазнали і споживачі електроенергії. Для того, щоб управляти енергосистемою в нових реаліях, потрібні нові принципи регулювання генерації і споживання, засновані на використанні цифрових технологій. Саме так і з'явився термін «цифрова енергетика» [10–14].

Крім збільшення частки відновлювальних джерел електроенергії в національному енергобалансі, нестабільність попиту і пропозиції енергії посилюється розвитком розподіленої генерації, електрифікацією легкового транспорту, а також секторів тепло і холодопостачання. Україна не може ігнорувати факт світових змін технологічної моделі в електроенергетиці і пов'язані з цим виклики і зрушення в розвитку галузі. В іншому випадку країна зіткнеться з низкою ризиків. Перший з них – ризик отримати дорожчу і менш гнучку електроенергетику в порівнянні з іншими індустриально розвиненими країнами, позбутися ряду нових ринків, наприклад, ринку зберігання енергії та істотно обмежити розвиток нової цифрової індустрії[15–17].

Метою статті є розгляд основних напрямів діджиталізації в енергетиці та аналіз перспектив розвитку цифрової енергетики в Україні, що розглянуті на прикладі ВДЕ, а саме сонячних електростанцій (СЕС).

Виклад основного матеріалу. Комплексний підхід до трансформації енергетики розроблено в трендовій концепції «3D» (Decarbonization, Decentralization, Digitalization) [18].

Decarbonization («декарбонізація») – перехід до екологічно чистої «безвуглецевої» економіки та енергетики, яка поєднана у збільшенні частки ВДЕ в енергетичному балансі, збільшенні частки електричного транспорту і високі податки на

використання викопних палив.

Decentralization («децентралізація») – перехід до територіально розподіленої електроенергетики з великим числом різнорівневих виробників і споживачів, що виражається в:

- зростанні частки приєднаних до розподільних мереж, малопотужних і різноманітних за своїм характером джерел енергії;

- появі просьюмерів – нового типу суб'єктів електроенергетики, які є одночасно і виробниками і споживачами електроенергії [19];

- появі активних споживачів, які використовують електроенергію гнучко, в тому числі по віддаленим командам, здатних змінювати профіль свого споживання з мережі.

Digitalization («діджиталізація») – перехід до широкомасштабного застосування в електроенергетиці цифрових керованих пристроїв, підключених до інформаційної мережі інтернет, на всіх рівнях енергосистеми від виробництва і електричних мереж до пристроїв кінцевих споживачів. А також споживачів електричної енергії, які забезпечують можливість реалізації інтелектуального управління енергосистемами, заснованого на основах машинної взаємодії [18].

До основних напрямів цифровізації в енергетиці відносяться:

- *Технологія «блокчейн» (Blockchain)* – розподілена база даних, яка зберігає інформацію про всі транзакції учасників системи у вигляді «цільових блоків». Доступ до реєстру є у всіх користувачів блокчейну, що виступають у якості колективного нотаріуса, який підтверджує достовірність інформації у базі даних [2]. Блокчейн може застосовуватися для фінансових операцій, ідентифікації користувачів, для створення технології кібербезпеки та ін. В цифровізації енергетики технологія блокчейн це децентралізовані енергетичні транзакції, облік походження відновлюваної енергії, її кількості, поточної ціни і білінг та ін.

- *Смарт-контракт (Smart contract)* – комп'ютерний алгоритм, призначений для укладання і підтримки комерційних контрактів в технології блокчейн. Децентралізована система на базі блокчейну – це середовище, в якому виконання смарт-контракту не залежить від третьої особи, а його код не можливо випадково змінити в такому середовищі смарт-контракт буде просто програмним кодом [18].

- *Штучний інтелект/самонавчання машин* – вдосконалені моделі прогнозування генерації з ВДЕ, нові можливості по обробці великих масивів даних про оперативні активи («Big Data»).

- *Платформа бізнесу* – обмін даними між власниками активів, операторами, дистриб'юторами, регуляторами та інвесторами.

- *Дрони та віддалена реєстрація* – підвищена безпека ВДЕ за допомогою дронів для огляду об'єктів ВДЕ (наприклад, мереж, вітрогенераторів чи масивів сонячних панелей), картографування за супутниковими даними, автоматизована оцінка локальних умов (для прогнозування інсоляції чи

оцінки вітрових ресурсів) тощо. Сюди відноситься і IoT – «Інтернет речей» – програмно-апаратна здатність пристроїв передавати дані про своє функціонування у віддалений центр обробки інформації з можливістю віддаленого втручання в систему у разі збоїв, аварій чи помилок.

- *Підключеність до мобільних мереж та планшетні пристрої* – мобільні та планшетні пристрої для стандартизації робочого процесу на місцях та автоматизації збору даних.

- *Великі масиви даних («Big Data») та управління даними* – прикладні програми для великої кількості різноманітних активів для порівняльного аналізу ефективності, застосування самонавчання та самоадаптації машин тощо.

- *API та SaaS* – (API – інтерфейс прикладного програмування, завдяки яким одна комп'ютерна програма може взаємодіяти з іншою; SaaS (англ.: software as a service, різновид хмарних обчислень у вигляді надаваної провайдером зовнішньої послуги з користування готовим програмним забезпеченням) – інженерні та аналітичні моделі, що спільно використовуються зацікавленими сторонами, що посилює співпрацю та ефективність оперативного управління [18].

- *«Цифрові близнюки»* – детальна «паралельна» математична модель існуючого фізичного об'єкту (наприклад, інвертора PV-установки чи вітрогенератора або розподільчої мережі тощо) для розрахунків ефективної експлуатації у певних умовах, для прогнозування відмов та оцінки надійності тощо.

В цілому використання цифрових технологій в енергетиці дозволить:

- підвищити спостережуваність і надійність всієї енергосистеми;

- підвищити продуктивність праці за рахунок використання високотехнологічного обладнання та зниження обслуговуючого персоналу (до однієї людини на одній цифровій підстанції);

- підвищити ефективність управління енергетичними компаніями за рахунок зниження експлуатаційних витрат, інвестиційних витрат, зниження рівня втрат електроенергії в мережах, зростання прибутковості капіталу;

- забезпечити фінансову стійкість компаніям галузі (не допустити збитки за рахунок оперативного усунення аварійних ситуацій і підвищення спостережливості мережі);

- підвищити рівень задоволеності замовника за рахунок керування тарифами, зниження термінів технологічного приєднання.

На базі виділених і проаналізованих основних напрямів цифровізації в енергетиці розглянемо перспективи розвитку цифрової енергетики в Україні на прикладі СЕС.

За даними Держенергоефективності з 2015 року по III квартал 2019 року потужність об'єктів відновлюваної електроенергетики (без урахування тимчасово окупованої території АР Крим), яким встановлено «зелений» тариф, збільшилась на 3968 МВт (з 967 МВт до 4935 МВт). У будівництво

3968 МВт потужностей об'єктів відновлюваної електроенергетики інвестовано близько 3,4 млрд євро [20].

Встановлена потужність об'єктів відновлюваної електроенергетики, що працюють за «зеленим» тарифом, МВт станом на 01.10.2019 року показана на рис. 2.

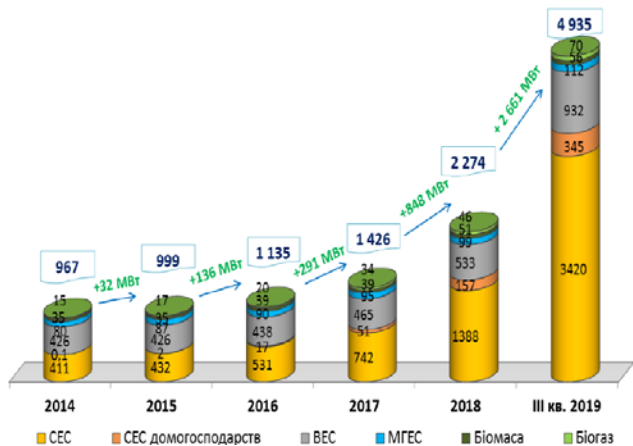


Рис. 2. Потужність об'єктів відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф станом на 01.10.2019

В Україні нараховується 6,5 мільйонів приватних домогосподарств. За 9 місяців 2019 року загальна кількість сонячних станцій приватних домогосподарств, яким встановлено «зелений» тариф, збільшилась (+ 7340 домогосподарств) та на кінець III кварталу складала 14790, 0,22 %. Таким чином, менше одного відсотка приватних домогосподарств обладнано даховими сонячними електростанціями, але це в 2 рази більше ніж минулого року 7450 домогосподарств, 0,11 % рис. 3 [20].



Рис. 3. Динаміка збільшення кількості сонячних електроустановок приватних домогосподарств

Станом на 01.10.2019 року загальна потужність сонячних електростанцій приватних домогосподарств складала 345 МВт, з яких за 9 місяців 2019 року було введено 188 МВт рис. 4 [20].



Рис. 4. Динаміка збільшення встановленої потужності сонячних електроустановок приватних домогосподарств

Починаючи з 2015 року на встановлення сонячних електростанцій приватними домогосподарствами інвестовано близько 300 млн євро. Умовна вартість одного кіловату встановленої потужності для усередненого домогосподарства складала 870 євро, зрозуміло що протягом останніх років вона змінювалась.

Лідерами серед регіонів України з загальною кількістю приватних домогосподарств та їх потужності, що встановили сонячні електростанції, є рис. 5 і рис. 6 [20]:

- Дніпропетровська область – 1982 домогосподарств; 49,79 МВт;
- Тернопільська область – 1369 домогосподарств; 37,09 МВт;
- Київська область – 1345 домогосподарств; 25,38 МВт;
- Івано-Франківська – 1094 домогосподарств; 26,79 МВт.



Рис. 5. Кількість СЕС приватних домогосподарств станом на 01.10.2019 року

Саме такі власники приватних домогосподарств можуть стати першими користувачами смарт-контрактів на основі технології блокчейн.

Великі підприємства також можуть бути зацікавлені у власній участі у розподіленій генерації, регулюванні та системній оптимізації фінансових

розрахунків. Насамперед тому, що вартість електроенергії для великих споживачів в Україні вже зараз подекуди перевищує ціни для промисловців у Сполучених Штатах та Європі. А її якість часто залишає бажати кращого. Це негативно відображається на експортному потенціалі українських підприємств, тому що висока вартість електроенергії знижує конкурентоздатність, особливо беручи до уваги високу енергоємність вітчизняного виробництва [18].

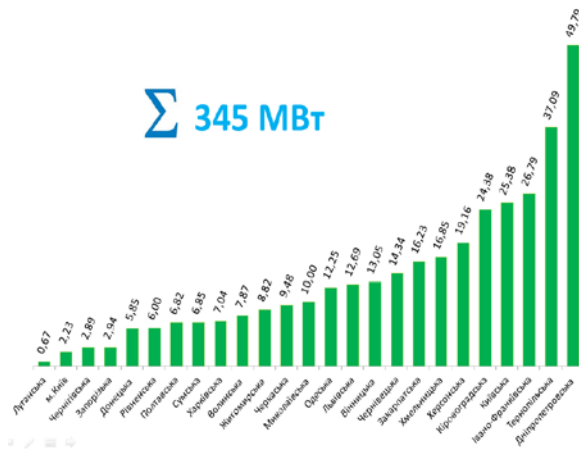


Рис.6. Потужність СЕС приватних домогосподарств станом на 01.10.2019 року

Висновки. При розгляді цифровізації енергетики було виділено декілька основних напрямів розвитку цифрової енергетики в Україні і на основі аналізу використання приватними домогосподарствами СЕС, яких станом на кінець 2019 року встановлено більш як 14790, ми дійшли висновку, що такі господарства уже зараз, або в найближчому майбутньому, мають можливість стати одними з перших користувачів в Україні смарт-контрактів на основі технології блокчейн, що дасть їм можливість виходу на безпечний цифровий ринок електричної енергії. Їм стануть доступні енергетичні транзакції, облік походження відновлюваної енергії, її кількість, поточної ціни, білінг та ін.

З появою таких учасників в електроенергетиці з'явиться реальна конкуренція, вибір постачальника електроенергії не буде прив'язаний до певного місця, а умови поставок буде вибирати клієнт під свої потреби, що в значній мірі буде стимулювати підвищення якості електричної енергії.

Список літератури

1. *Огляд аналітичних робіт міжнародних енергетичних організацій щодо стану та сценаріїв розвитку світової енергетичної сфери з прогнозом інвестування в енергоефективність.* Київ: НППР ОЕС України, відділ інформаційно-аналітичної роботи департаменту міжнародного співробітництва та євроінтеграції, 2018. 95 с.
2. *Диджиталізація в енергетичному секторі.* URL: <https://avenston.com/articles/digitalization-in-the-energy-sector/> (дата звернення 11.01.2020).
3. *Цифровая энергетика и виртуальные электростанции.* URL: <https://www.elec.ru/articles/cifrovaya-energetika-i-virtualnye-elektrostantsii/> (дата звернення 11.01.2020).
4. Быковская Е. Н., Харчилава Г. П., Кафиятуллина Ю. Н.

- Современные тенденции цифровизации инновационного процесса. *Управление.* 2018. № 1 (19). С. 38–43.
5. Гриб О. Г., Карпалюк І. Т., Швець С. В., Рудевич Н. В. Елементи цифрової енергетики в контролі стану мережі, що побудовані на вимірах допоміжних параметрів. *Вісник Нац. техн. ун-та «ХПІ». Сер.: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії.* Харків: НТУ «ХПІ». 2019. № 20 (1345). С. 58–64. doi:10.20998/2409-9295.2019.20.08
 6. Грушников В. А. Інновації в області використання енергії. *Компетентність.* 2016. № 8 (139). С. 44–51.
 7. Понкин И. В., Редькина А. И. Цифровая формализация права. *International Journal of Open Information Technologies.* 2019. Т. 7, № 1. С. 39–48.
 8. Дяченко О. В. *Розвиток методів знаходження часткової участі у відповідальності за порушення якості електроенергії: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02.* Харків, 2017. 163 с.
 9. Ляшенко В. І., Вишневецький О. С. *Цифрова модернізація економіки України як можливість проривного розвитку.* Київ: НАН України, Ін-т економіки пром-ті, 2018. 252 с.
 10. Балашов О. В. Информационная безопасность в интеллектуальных электроэнергетических сетях. *Энергоэксперт.* 2016. № 1. С. 77–79.
 11. Лір В. Е. Аналіз та прогнозування енергетичного балансу України. *Економіка і прогнозування.* 2004. № 2. С. 101–115.
 12. Майсснер Ф., Укердт Ф. *Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні: потенціал, перешкоди і рекомендації щодо економічної політики.* Берлін: BE Berlin Economics GmbH, 2010. 42 с.
 13. Бусарев Д. В. Відновлювальна енергетика – важливий напрям структурної диверсифікації світового енергоринку. *Бізнес Інформ.* 2014. № 7. С. 32–39.
 14. Ровных Е. А. Цифровая экономика. Инструменты стимулирования производства инновационных товаров. *Компетентность.* 2017. № 9–10/150–151. С. 4–12.
 15. Елистратов В. В. *Использование возобновляемой энергии.* Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического ун-та, 2008. 224 с.
 16. Белогорьев А. М., Бушуев В. В., Громов А. И., Куричев Н. К., Мастепанов А. М., Троицкий А. А. *Тренды и сценарии развития мировой энергетики в первой половине XXI века.* Москва: ИД «Энергия», 2011. 68 с.
 17. Дзядикевич Ю. В., Буряк М. В., Розум Р. І. *Енергетичний менеджмент.* Тернопіль: Економічна думка, 2010. 295 с.
 18. *Аналітичний огляд перших результатів роботи ринку електроенергії.* URL: <https://enerhodzherela.com.ua/analytika/> (дата звернення: 12.01.2020).
 19. Дмитриева А. И. Управление взаимоотношениями с просьюмерами с целью увеличить производительность организации. *Управленческие науки в современном мире.* 2017. № 1. С. 37–42.
 20. *Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Інформаційні матеріали.* URL: <https://sae.gov.ua/uk/content/informatsiyni-materialy> (дата звернення: 15.01.2020).

References (transliterated)

1. *Ohlyad analitychnykh robіt mіzhnarodnykh enerhetychnykh orhanizatsiy shchodo stanu ta stsenariyiv rozvytku svitovoyi enerhetychnoyi sfery z prohnozom investuvannya v enerhoefektyvnist'* [Review of the analytical work of international energy organizations on the state and scenarios of development of the world energy sector with the forecast of energy efficiency investments]. Kiev, NPTsR OES Ukrayiny, viddil informatsiyno-analitychnoyi roboty departamentu mizhnarodnoho spivrobitnytstva ta yevrointehratsiyi Publ., 2018. 95 p.
2. *Dydzhitalizatsiya v enerhetychnomu sektori* [Digitization in the energy sector]. Available at: <https://avenston.com/articles/digitalization-in-the-energy-sector/> (accessed 11.01.2020).
3. *Tsifrovaya energetika i virtual'nye elektrostantsii* [Digital power and virtual power plants]. Available at: <https://www.elec.ru/articles/cifrovaya-energetika-i-virtualnye-elektrostantsii/> (accessed 11.01.2020).
4. Bykovskaya E. N., Kharchilava G. P., Kafiyatullina Yu. N. *Sovremennye tendentsii tsifrovizatsii innovatsionnogo protsessa* [Modern trends in the digitalization of the innovation process]. *Upravlenie.* 2018, no. 1 (19), pp. 38–43.

5. Hryb O. H., Karpalyuk I. T., Shvets' S. V., Rudevich N. V. Elementy tsyfrovoyi enerhetyky v kontroli stanu merezhi, shcho pobudovani na vymirakh dopomizhnykh parametriv [Elements of digital energy in the control of the state of the network, built on measurements of auxiliary parameters]. *Visnyk Nats. tekhn. un-ta "KhPI". Seriya: Elektrichni mashyny ta elektromekhanichne peretvorennya enerhiyi* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Electric machines and electromechanical energy conversion]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2019, no. 20 (1345), pp. 58–64. doi:10.20998/2409-9295.2019.20.08
6. Grushnikov V. A. Innovatsii v oblasti ispol'zovaniya energii [Innovation in energy use]. *Kompetentnost'*. 2016, no. 8 (139), pp. 44–51.
7. Ponkin I. V., Red'kina A. I. Tsifrovaya formalizatsiya prava [Digital formalization of law]. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019, vol. 7, no. 1, pp. 39–48.
8. Dyachenko O. V. *Rozvytok metodiv znakhodzhennya chastkovoyi uchasti u vidpovidal'nosti za porushennya yakosti elektroenerhiyi: dis. kand. tekhn. nauk 05.14.02* [Development of methods for finding equity participation in the responsibility for violations of the quality of electricity. Candidate eng. sci. diss. (Ph. D.)]. Kharkiv, 2017. 163 p.
9. Lyashenko V. I., Vyshnevs'kyi O. S. *Tsyfrova modernizatsiya ekonomiky Ukrainy yak mozhyvist' proryvnoho rozvytku* [Digital modernization of the Ukrainian economy as a breakthrough opportunity]. Kiev, NAN Ukrainy, In-t ekonomiky prom-ti Publ., 2018. 252 p.
10. Balashov O. V. Informatsionnaya bezopasnost' v intellektual'nykh elektroenergeticheskikh setyakh [Information security in smart electric networks]. *Energoekspert*. 2016, no. 1, pp. 77–79.
11. Lir V. E. Analiz ta prohnozuvannya enerhetychnoho balansu Ukrainy [Analysis and prediction of energy balance of Ukraine]. *Ekonomika i prohnozuvannya*. 2004, no. 2, pp. 101–115.
12. Mayssner F., Ukerdt F. *Rozvytok vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi v Ukraini: potentsial, pereshkody i rekomendatsiyi shchodo ekonomichnoyi polityky* [Renewable energy development in Ukraine: potential, obstacles and policy recommendations]. Berlin, BE Berlin Economics GmbH Publ., 2010. 42 p.
13. Busaryev D. V. Vidnovlyuval'na enerhetyka – vazhlyvyi napryam strukturnoyi dyversyfikatsiyi svitovoho enerhorynku [Renewable energy is an important area of structural diversification of the world energy market]. *Biznes Inform.* 2014, no. 7, pp. 32–39.
14. Rovnykh E. A. Tsifrovaya ekonomika. Instrumenty stimulirovaniya proizvodstva innovatsionnykh tovarov [The digital economy. Tools to stimulate the production of innovative products]. *Kompetentnost'*. 2017, no. 9–10/150–151, pp. 4–12.
15. Elistratov V. V. *Ispol'zovanie vozobnovlyayemoy energii* [Use of renewable energy]. St. Petersburg, Politekhicheskii universitet Publ., 2008. 224 p.
16. Belogor'ev A. M., Bushuev V. V., Gromov A. I., Kurichev N. K., Mastepanov A. M., Troitskiy A. A. *Trendy i stsenarii razvitiya mirovoy energetiki v pervoy polovine XXI veka* [Trends and scenarios for the development of world energy in the first half of the XXI century]. Moscow, Energiya Publ., 2011. 68 p.
17. Dzyadykevych Yu. V., Buryak M. V., Rozum R. I. *Enerhetychnyy menedzhment* [Energy management]. Ternopil, Ekonomichna dumka Publ., 2010. 295 p.
18. *Analitichnyy ohlyad pershykh rezul'tativ roboty rynku elektroenerhiyi* [Analytical review of the first results of the electricity market]. Available at: <https://enerhodzherela.com.ua/analytika/> (accessed 12.01.2020).
19. Dmitrieva A. I. Upravlenie vzaimootnosheniyami s pros'yumerami s tsel'yu uvelichit' proizvoditel'nost' organizatsii [Relationship management with prosumers in order to increase the productivity of the organization]. *Upravlencheskie nauki v sovremennom mire*. 2017, no. 1, pp. 37–42.
20. *Derzhavne ahent-stvo z enerhoefektyvnosti ta enerhozabezpechennya Ukrainy. Informatsiyi materialy* [State agency for energy efficiency and energy supply of Ukraine. Information materials]. Available at: <https://saee.gov.ua/uk/content/informatsiyi-materialy> (accessed 15.01.2020).

Надійшла (received) 10.09.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гриб Олег Герасимович (Гриб Олег Герасимович, Hryb Oleh) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4758-8350>; e-mail: oleg47gryb@gmail.com

Сендерович Геннадій Аркадійович (Сендерович Геннадий Аркадьевич, Senderovich Gennady) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5823-5692>; e-mail: sengennadii@gmail.com

Дяченко Олександр Васильович (Дяченко Александр Васильевич, Diachenko Oleksandr) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7232-6585>; e-mail: diachenko.a.v@ukr.net

Карпалюк Ігор Тимофійович (Карпалюк Игорь Тимофеевич, Karpaliuk Ihor) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5634-6807>; e-mail: humpway@gmail.com

Швец Сергій Вікторович (Швец Сергей Викторович, Shvets Serhii) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3716-141X>; e-mail: se55sh32@gmail.com