

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 519.8

DOI: <https://doi.org/10.32782/easterneurope.24-38>

СУЧАСНІ ПИТАННЯ ГЕНЕРУВАННЯ ТА НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ УКРАЇНИ

THE MODERN ISSUES OF ELECTRIC ENERGY GENERATION AND STORAGE IN THE POWER GRID OF UKRAINE

Горбачук В.М.

доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
відділу математичних методів дослідження операцій,
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України

Дунаєвський М.С.

магістр, аспірант,
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України

Сирку А.А.

магістр, аспірант,
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України

Gorbachuk Vasyl

Doctor of Sciences (Physics and Mathematics),
Senior Research Associate, Leading Research Associate
at Department of Mathematical Methods of Operations Research,
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics,
National Academy of Sciences of Ukraine

Dunaievskiy Maksym

Master of Sciences (Finance), PhD Student,
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics,
National Academy of Sciences of Ukraine

Syrku Andrii

Master of Sciences (Engineering), PhD Student,
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics,
National Academy of Sciences of Ukraine

Швидкий розвиток «зеленої» енергетики, будівництво додаткових об'єктів енергогенерації, збільшення високоманеврових потужностей, включаючи енергонакопичувачі (енергосховища) з екологічними вимогами європейських країн, сприяють енергетичній безпеці України. Потенційний вихід вітрової та фотоелектричної енергії будь-якої країни можна оцінювати, користуючись великою базою даних погоди. Визначення нижніх меж на потреби накопичення та передачі енергії передбачає глибоке розуміння синергії цих потреб із вимогою балансування. Національна енергетична компанія «Укренерго» неодноразово наголошувала, що розбудова системи накопичення енергії та наявність прозорих і зрозумілих приватним інвесторам умов має величезне значення для майбутнього розвитку української енергетики, її інтеграції

до європейської енергосистеми. Для України важливим є досвід держав Європи з інтеграції відновлювальної енергетики в загальний ринок електроенергії.

Ключові слова: відновлювальна енергетика, енергосистема, балансування потужності, системи енергонакопичення, інвестиції.

Быстрое развитие «зеленой» энергетики, строительство дополнительных объектов энергогенерации, увеличение высокоманевренных мощностей, включая энергонакопители (энергохранилища) с экологическими требованиями европейских стран, способствуют энергетической безопасности Украины. Потенциальный выход ветровой и фотоэлектрической энергии любой страны можно оценивать, пользуясь большой базой данных погоды. Определение нижних пределов на потребности накопления и передачи энергии предусматривает глубокое понимание синергии этих потребностей с требованием балансирования. Национальная энергетическая компания «Укрэнерго» неоднократно подчеркивала, что создание системы накопления энергии и наличие прозрачных и понятных частным инвесторам условий имеет огромное значение для будущего развития украинской энергетики, ее интеграции в европейскую энергосистему. Для Украины важным является опыт государств Европы по интеграции возобновляемой энергетики в общий рынок электроэнергии.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, энергосистема, балансирование мощности, системы энергонакопления, инвестиции.

Rapid development of «green» energy, construction of additional electric energy generation, increase of high maneuver power, including energy storage (reposit) systems with ecological requirements of European countries, facilitates the energy security of Ukraine. The potential output of wind and photovoltaic energy for an arbitrary country can be estimated using the large weather database. Determining the lower bounds on needs of energy storage and transmission foresees a profound understanding of synergy for those needs with the balancing requirement. The national energy company «Ukrenergo» has repeatedly emphasized development of the energy storage system and availability of the transparent and clear for private investors conditions does have a great importance for future progress of Ukrainian energy sector, its integration to the European power grid. The experience of European states on integration of renewable energy to the general electric energy market is significant for Ukraine. The «Ukrenergo» administration has committed to providing the best world practices and standards of grid development and management. According to the «Ukrenergo» administration, cooperation for implementation of complex and innovative energy storage project with Réseau de Transport d'Électricité, the transmission system operator of France and the leading company of the European market, is a crucial step of domestic energy sector on the road of European integration. According to the forecasts, by 2035 the share of «green» energy in the energy balance for Ukraine will amount about 25%, demanding construction of additional high maneuvering power sources satisfying to ecological requirements of the European states. The energy storage systems are able to solve that task. The «Ukrenergo» has considered three variants of energy storage development; 1) allocation of 200 MWt in one place; 2) allocation of 200 MWt in several places with division to 4–5 parts; 3) decentralized allocation of several dozen low power energy blocks. The variant 3) can foresee allocation along highways (Kyiv – Lviv – state border, Kyiv – Kharkiv, Kyiv – Dnipro, Kyiv – Odesa – state border) in parallel with creation of a network for electric vehicle charging stations.

Key words: renewable energy, power grid, power balancing, energy storage systems, investments.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Стійкість світового енергопостачання залежить від успішної інтеграції відновлювальних енергоджерел (renewable energy sources – RESs). Для обчислення вигравів енергопередачі між регіонами можна вивчати залишкове навантаження і надлишкове енергогенеравання за повного впровадження змінних відновлювальних енергоджерел (variable renewable energy sources – VRESs). При цьому погодні дані дають змогу моделювати погодинні розбіжності між попитом і відновлювальною пропозицією від вітрових і сонячних фотоелектричних (photovoltaic – PV) джерел.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спираються автори. У жовтні 2019 р. під час міжнародного інвестиційного форуму RE: think. Invest in Ukraine (м. Маріуполь, Донеччина) при-

ватне акціонерне товариство (ПРАТ) «Укрэнерго» підписало консультаційну угоду з Міжнародною фінансовою корпорацією (МФК), що належить до системи Світового банку) та меморандум з Європейським банком реконструкції та розвитку (ЄБРР), щоб залучати приватні інвестиції у східні регіони й забезпечувати надійне функціонування Об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України [1, с. 48–49]. Функціонування сучасної ОЕС України визначається як оптимальним генеруванням [2], так і накопиченням електроенергії [3; 4].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. За прогнозами, до 2035 р. питома вага «зеленої» енергетики в енергобалансі України становитиме близько 25%, що вимагає будівництва додаткових високоманеврових потужностей, які задовольняють екологічним вимогам європейських держав. Енергонакопичувачі спроможні вирішити це завдання.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Виявляється, що для окремих країн Європи застосування VRESs передбачає балансування обсягом до чверті загального річного енергоспоживання. Цей обсяг можна вдвічі зменшити за рахунок створення спільної мережі країн із необмеженими лініями електропередачі. Різниця зазначених обсягів є максимально можливим вирашем передачі для країн. Загальна чиста пропускна здатність (Net Transfer Capacity – NTC) необмежених ліній електропередачі на порядок перевищує значення NTC станом на 2012 р. Водночас NTCs обмежених ліній електропередачі, які вдвічі менші загальних NTCs, можуть забезпечувати 97% максимально можливого вирашу кооперації країн. Тому важливо докладно вивчити різні плани для NTCs обмежених ліній електропередачі, щоб визначити експортно-імпортні можливості країн Європи, які братимуть участь у повністю відновлювальній електричній системі Європи.

VRESs можуть стати ключовими елементами майбутніх енергосистем. Однак VRESs важко інтегрувати в електричну систему, побудовану на порівняно прогнозованих навантаженнях із диспетчеризованим генеруванням. За невеликого впровадження VRESs їх мінливе генерування може поглинатися традиційними засобами, але для майбутньої макроенергосистеми з великою часткою VRESs необхідні нові засоби і підходи. Просторово-часове розсіяння погодних умов, які визначають вихід вітрової та сонячної енергії, вестиме до змінюваних розбіжностей між регіональним попитом на електрику та її пропозицією. Тому перед країнами з великим упровадженням VRESs постають такі виклики, як потреба звичайного резервного балансування, гнучкий попит, диспетчеризовані RESs (гідроелектричні накопичувачі, біомаса, біогаз), підвищення пропускної здатності (transmission capacity) до сусідніх регіонів, енергонакопичення. Оптимальна інтеграція VRESs у майбутні повністю відновлювальні електричні системи означає якнайбільше використання відновлювальних RESs, мінімізуючи потребу звичайного балансування як встановленої наявної, так і розширеної відновлювальної енергопотужності, а також мінімізуючи потреби накопичення і пропускної здатності. Зосередимося на синергії між потребами енергопередачі та балансування.

У низці робіт з'ясувалася потреба більшої мережі енергопередачі. Незважаючи на заплановані інвестиції у посилення енергомережі, Європейська мережа системних операторів передачі електрики (European Network of Transmission System Operators for Electricity – ENTSO-E) визначає близько сотні вузьких місць у своєму плані розвитку мережі, причому 80% таких вузьких місць пов'язано з інтеграцією RESs. Можна оцінювати потенційну енергопередачу

між агрегованими регіонами, беручи до уваги характеристики погодних умов, а отже, досягнути потужність вітрових і сонячних генераторів. Такі оцінки були проведені для США, Німеччини та Європи у цілому. Оцінювання ідеальних ліній електропередач дає потужність 20 GW ланки між Францією та Іспанією, що у понад 15 разів більше наявної пропускної здатності. Тому реалістичне рішення полягає у пошуку деякого компромісу між інтеграцією VRESs і розширенням системи енергопередачі. Далі можна побудувати модель, де обчислюються локальні розбіжності між VRES-генеруванням і навантаженням на множині взаємопов'язаних країн, а також розподіляється надлишкова генерація з метою максимального використання RESs і мінімізації потреби балансування (balancing) енергії від звичайних диспетчеризованих ресурсів. Оптимальний розподіл надлишкового VRES-генерування обчислюється виходячи з потоків постійного струму (direct current – DC) через обмежені лінії електропередачі. Цей розподіл визначає взаємодію між установленою пропускною здатністю і вирашем енергопередачі.

Норвегія стала інвестором у відновлювальну енергетику України шляхом побудови унікального вітропарку «Сиваш»: у квітні 2018 р. компанія NBT AS (Норвегія) придбала засноване під час економічного буму України у 2006 р. товариство з обмеженою відповідальністю (ТОВ) «Сивашенергопром» (вартість угоди є комерційною таємницею), яке було зареєстровано у с. Григорівка у Чаплинському районі Херсонщини, мало потужність вітроенергогенераторів 3 МВт і дозвільні документи для будівництва 64 вітротурбін загальною потужністю 250 МВт на 1300 га на березі озера Сиваш. Для цього офіс в Україні міжнародної юридичної фірми Intergities виступив юридичним радником для проєктного фінансування на понад 300 млн євро транснаціональної компанії NBT AS (Норвегія) (з офісами в Осло (Норвегія), Лімасолі (Кіпр), Пекіні (Китай), Карачі (Пакистан), Києві (Україна)), яка спеціалізується на будівництві та експлуатації вітроелектростанцій.

Окрім власне будівництва, що триватиме понад рік, проєкт включає отримання постійної ліцензії на виробництво електроенергії, договір про її постачання з державним підприємством (ДП) «Енергоринок» та договір про підключення до мережі з ДП «Національна енергетична компанія «Укренерго».

У листопаді 2017 р. Кабінет Міністрів України (КМУ) схвалив перетворення «Укренерго» у ПрАТ із державною власністю. Не підлягає відчуженню майно на балансі компанії, яке забезпечує цілісність ОЕС України, диспетчерське управління, магістральні і міждержавні мережі. «Укренерго» здійснює експлуатацію цих мереж і централізовану диспетчеризацію роботи ОЕС.

У грудні 2018 р. Розпорядженням КМУ підпорядкування компанії «Укренерго» перейшло від

Міністерства енергетики та вугільної промисловості (Міненерговугілля) України до Міністерства фінансів (Мінфін) України, а в лютому 2019 р. було підписано відповідні документи про передачу майнового комплексу «Укренерго». При цьому стратегічне управління і контроль над діяльністю «Укренерго» здійснюватимуть наглядова рада, яка включає чотири незалежні члени ради і три представники держави. Прозора корпоратизація «Укренерго» сприятиме втіленню законодавства про ринок електроенергії, сертифікації компанії як незалежного оператора системи передачі електроенергії за стандартами загальноєвропейської системи ENTSO-E, відокремленню управління виробництвом (генерацією) електроенергії та управління її розподілом (транспортуванням і постачанням). Реорганізація «Укренерго» була умовою отримання Україною другого траншу кредиту 500 млн євро за Меморандумом про взаєморозуміння з Європейським Союзом (ЄС). На відміну від Міненерговугілля Мінфін не має конфлікту функцій розробника галузевої політики і власника компанії: комісія з реорганізації «Укренерго» відмовилася затвердити оцінку майна компанії й оголосила про делегування повноважень з управління справами компанії голові комісії – заступнику міністра енергетики та вугільної промисловості.

ENTSO-E – європейська мережа 43 системних операторів передачі електроенергії 36 держав, яка у липні 2009 р. об'єднала електромережі груп ATSOI, BALTSO, ETSO, NORDEL, UCSTE, UKTSOA.

NORDEL – це енергооб'єднання держав Північної Європи (Фінляндії, Швеції, Норвегії, східної частини Данії), яке також має несинхронні зв'язки з енергосистемами Ісландії та Російської Федерації. Слід зазначити, що перша у світі біржа для торгівлі електроенергією (Nord Pool) була заснована у 1993 р. на основі енергоринку Норвегії.

Проектне фінансування вітропарку «Сиваш» включає переговори з міжнародними фінансовими організаціями (наприклад, Європейським банком реконструкції і розвитку), комерційними кредиторами та інвестиційними банками (наприклад, JP Morgan), інвестиційними партнерами (наприклад, Mainstream), консультації з Національним банком України щодо забезпечення регуляторних вимог. Генпідрядником із будівництва та введення в експлуатацію вибрано державну компанію PowerChina (Китай), а постачальником вітротурбін – компанію Nordex (Німеччина). Зазначені дії з багатьма учасниками різних відомств і держав вимагають, насамперед, людського капіталу і належного міжнародного співробітництва. Тому питання стійкості, різноманіття, кібербезпеки енергетичної інфраструктури є актуальними для всіх подібних сучасних енергопроектів Євразії. Завдяки стратегії дерегуляції тривалість розроблення (development) подібних проектів в Україні ско-

ротилася в кілька разів. Такому розробленню мають відповідати наукові дослідження, підготовка кваліфікованих кадрів, фахова освіта.

За недавніми дослідженнями, згаданий Чаплинський район у 2017–2018 рр. серед усіх районів Херсонщини виявляв поквартальну економічну ефективність, нижчу середньої, незважаючи на вищі середні капітальні інвестиції на душу населення. Оскільки, за оцінками, потужності 1 МВт достатньо для забезпечення електроенергією 1 тис. людей, то створення високопродуктивних робочих місць вітропарку «Сиваш» біля озера Сиваш (приблизно одне робоче місце для генерації енергопотужності 3 МВт) може започаткувати новий економічно ефективний кластер у Таврії загалом, що стане успішним прикладом для сусідніх районів.

Безперерйне функціонування ланцюгів постачання цього вітропарку (скажімо, постачання важкого обладнання з Німеччини) потребуватиме модернізації місцевих портів і шляхів, розвитку місцевої інфраструктури загалом. Окрім того, для підвищення безпеки та надійності роботи електромереж Херсонщини NBT AS має побудувати нову підстанцію з високовольтними мережами на 330 кВ, сполученими з наявною підстанцією «Каховська», через яку електроенергія Запорізької атомної електростанції йшла у південному напрямку.

NBT AS планує інші енергопроекти в Україні загальною потужністю до 1 000 МВт. У вересні 2018 р. міністр закордонних справ Норвегії під час офіційного візиту в Україну на зустрічах з міністром закордонних справ України та в Національному університеті «Києво-Могилянська академія» (де брав участь один з авторів даної роботи) зазначила участь Норвегії у проєктах відновлювальної (екологічно чистої) енергетики в Україні.

У прийнятті своїх інвестиційних рішень NBT AS брала до уваги інформацію про Україну щодо потужності й рози вітрів, «зеленого» тарифу на відновлювальну енергію (який діятиме до 2030 р.), державної стратегії зростання відновлювальної енергетики, продажу електромобілів, формування дерегульованого ринку електроенергії, інтегрованого з іншими державами Європи й узгодженого з практикою ЄС.

Розглядаючи кілька міжнародних проєктних пропозицій із метою придбання потужностей до 300 МВт, компанія NBT AS у період 2014–2016 рр. не ризикувала фінансувати проєкти в Україні, зосереджуючись на експлуатації трьох вітрових електростанцій потужністю 50 МВт у провінціях Внутрішня Монголія (Inner Mongolia) та Цзілінь (Jilin) Китаю. Після запровадження «зеленого» тарифу Китай залучив значні інвестиції у відновлювальну енергогенерацію, але наявні електромережі виявилися не готовими до новостворених потужностей, потребуючи подальших інвестицій в інфраструктуру ліній електропередач. Цей досвід NBT AS у

Китаї має стати важливим уроком для України. Зважаючи на широке міжнародне співробітництво у питаннях енергетики і безпеки, з 2017 р. NBT AS стала переглядати інвестиційні пропозиції в Україні, Таїланді, В'єтнамі, Албанії.

Улітку 2018 р. інша компанія Норвегії, Scatec Solar (zareєстрована на фондовій біржі Норвегії), уклала угоду з фірмою Rengyu Development (Україна) про будівництво трьох сонячних електростанцій загальною потужністю 47 МВт на Миколаївщині за понад 50 млн євро. Scatec Solar розробляє, будує, володіє, експлуатує, обслуговує сонячні електростанції на чотирьох континентах: у Чехії, Йорданії, Південній Африці, Руанді, Гондурасі. Фірма Rengyu Development є прикладом диверсифікації активів власників за різними галузями – від галузі молочної продукції до галузей альтернативної енергетики і фінансів. Scatec Solar (через Scatec Solar Ukraine B.V. (Нідерланди)) і компанія України Trust Capital Group (через Trust Capital Group Ltd. (Британські Віргінські острови) і Rengyu Solar B.V. (Нідерланди)) купили частку TOB Rengyu Bioenergo, отримавши дозвіл Антимонопольного комітету України.

Восени 2018 р. представники оператора системи передачі (ОСП) Франції RTE (Réseau de Transport d'Électricité) поінформували «Укренерго» про зацікавленість французької сторони в проєкті з розбудови енергонакопичення (energy storage) в Україні та своє бачення цієї співпраці із залученням французьких постачальників, інвесторів, фахівців. Ухвалення остаточного рішення про форму участі RTE в проєкті потребувало певних передпроектних заходів і робіт. За словами керівництва «Укренерго», участь RTE у розбудові системи енергонакопичення України є важливою, зважаючи на новизну проєкту для України. Мета участі RTE – якнайкраще оцінити перспективи застосування в Україні енергонакопичення.

Напрямок комунікацій та міжнародного співробітництва «Укренерго» планував фінансування подібних проєктів за рахунок кредитів міжнародних фінансових організацій. RTE та «Укренерго» обговорили перспективи залучення французьких фахівців до проведення додаткових розрахунків, необхідних для організації заходів із балансування великої кількості сонячних електростанцій (СЕС) та вітрових електростанцій (ВЕС) в ОЕС України, моделювання режимів функціонування енергосистеми, обґрунтування розбудови нових балансуєчих потужностей. Французька сторона запропонувала включити реалізацію цих досліджень у дорожню карту співробітництва. «Укренерго» і RTE обговорили можливість інших спільних проєктів із модернізації підстанцій, будівництва нової цифрової підстанції та обміну досвідом у підготовці та проведенні тренувань із робіт під високою напругою.

Сторони домовилися про доопрацювання до кінця 2018 р. проєкту двостороннього Меморан-

думу про співпрацю між RTE та «Укренерго», а також створення дорожньої карти для його реалізації. У жовтні 2018 р. було підписано міжурядовий Меморандум про співпрацю між стороною «Укренерго» і стороною RTE та RTE International для того, щоб упроваджувати європейські стандарти управління та розвивати енергосистему України в процесі її інтеграції до ENTSO-E. Однією з вимог ENTSO-E є забезпечення необхідного обсягу первинного регулювання частоти (primary frequency control), де велику роль відіграє накопичення електрики під час поглинання відновлюваної енергії. Впровадження Україною інноваційних технологій та європейських стандартів управління обладнанням підніме систему передачі електроенергії на якісно новий технічний рівень, дасть змогу досягнути найвищих стандартів експлуатаційної безпеки, що діють в ENTSO-E.

Станом на 2018 р. НЕК «Укренерго» була державним підприємством, яке корпоратизувалося відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії» з метою перетворення в ПрАТ. «Укренерго» зареєстровано як приватне акціонерне ПрАТ зі статутним капіталом 37,2 млрд грн, 100% акцій якого належать державі, відповідно до Наказу Міністерства фінансів України від 29.07.2019.

Компанія RTE International створена у 2006 р. як консалтингова дочірня компанія RTE. Експерти RTE International працюють із системними операторами у понад 50 країнах світу, надаючи консультаційні послуги, технічну допомогу у сфері організації, управління, інжинірингу, досліджень і розробок, супроводження виконання технічних проєктів.

Компанія RTE створена у 2000 р. в результаті розукрупнення (unbandling) державного електроенергетичного гіганта Electricité de France (EDF), проведеного на виконання Енергетичних директив ЄС із демонополізації енергетичного сектору та лібералізації газового й електричного ринків (ЄС закликав Україну до якнайшвидшого аналогічного розукрупнення ринку газу й електроенергії). RTE – єдиний системний оператор Франції, який керує найбільшою в Європі електромережею. RTE – державна компанія, у власності якої перебуває вся мережева інфраструктура електропередачі. У 2000-х роках головним завданням RTE було сприяння конкуренції на ринку електроенергії.

Міністерство економіки та фінансів Франції виділило Україні грант у 560 тис євро для фінансування спільного проєкту «Укренерго» і RTE International на будівництво пілотної (першої в Україні) системи енергонакопичення. Завдання проєкту – випробування методів балансування СЕС і ВЕС. На 2019 р. заплановано реалізацію RTE International першого етапу (тривалістю три місяці) проєкту – техніко-економічного обґрунтування (full feasibility study) й технічних завдань для подальших робіт з енергонакопичення, які

визначатимуть конфігурацію і потужність майбутньої системи, оптимальне розташування накопичувачів, можливі ризики та вигоди для ОЕС України. На другому етапі оцінюватиметься вартість проведення будівельних робіт, створюватиметься модель (design) майбутньої синхронізації обладнання для накопичення електроенергії з ОЕС України за дотримання основних характеристик, розроблятиметься дорожня карта з переліком необхідних заходів для ефективної реалізації проєкту енергопереходу (energy transition).

Весною 2019 р. протягом трьох днів українсько-французька робоча група працювала над збором та структуризацією даних, які дадуть змогу визначити оптимальні місця розташування обладнання для накопичування електроенергії та його технічні характеристики. Фахівці «Укренерго» перейняли цінний досвід європейських колег щодо оцінки та моделювання новітньої енергосистеми, вивчили методологію проведення досліджень і розрахунків, надали французьким інженерам основний масив даних для подальшого моделювання. Учасники групи визначили перелік додаткових даних, які необхідно зібрати для продовження досліджень, та узгодили графік подальшої співпраці. На червень 2019 р. планувалося отримати перший звіт французьких колег за результатами досліджень. Проєкт має велике значення для майбутнього розвитку української енергетики та інтеграції ОЕС України з енергосистемою континентальної Європи, оскільки однією з вимог є забезпечення необхідного обсягу первинного регулювання частоти.

Керівництво «Укренерго» зобов'язалося впроваджувати найкращі світові практики і стандарти розвитку й управління мережею. На думку керівництва «Укренерго», співпраця з RTE, провідною компанією на ринку Європи, для реалізації складного та інноваційного проєкту енергонакопичення є важливим кроком вітчизняної енергетики на шляху європейської інтеграції.

Головний виконавчий директор (Chief Executive Officer, CEO) RTE International Ніколя Бреам заявив: «Ми розпочинаємо дуже амбіційний та інноваційний проєкт, який підтверджує потенціал та лідерство «Укренерго» у сфері передачі електроенергії та діджиталізації в Україні, особливо з огляду на чіткий курс на інтеграцію в ENTSO-E. RTE International надаватиме консультаційну підтримку для розвитку української енергосистеми відповідно до найкращих міжнародних стандартів. Також ми залучатимемо до співпраці лідерів у сфері енергонакопичувальних технологій французькі компанії Saft, Blue solutions, Clean Horizon та Entech». ОСП може використовувати системи накопичення енергії як віртуальні лінії електропередачі. Ніколя Бреам сказав: «У Франції і, думаю, у всій Європі йдуть дискусії між ОСП і регуляторами з приводу енергонакопичення.

Компаніям, що передають енергію, заборонено володіти енергогенерацією. Хтось вважає, що енергонакопичення не є видом генерації, а хтось – навпаки. Сьогодні у нас в RTE немає потужностей для накопичення електроенергії, але як пілотний проєкт ми ведемо переговори з регулятором про можливість будівництва нових потужностей для накопичення на різних територіях. Основна ідея в тому, що можна використовувати об'єкти енергонакопичення, не впливаючи на енергетичний ринок. Їх можна вважати віртуальними лініями електропередачі: ви накопичуєте енергію там, де генерація є надмірною, а потім використовуєте її там, де генерація є меншою. При цьому в мережі зберігається той же обсяг енергії в іншому місці без впливу на енергетичний ринок».

Оцінка потужності енергонакопичення за проєктом – 200 МВт.

ДП «Укренерго» розглядало три варіанти розбудови енергонакопичення: 1) розташування 200 МВт в одному місці; 2) розташування 200 МВт у декількох місцях із поділом на 4–5 частин; 3) децентралізоване розташування кількох десятків енергоблоків малої потужності. Варіант 3) може передбачати розміщення енергонакопичувачів уздовж автомагістралей (Київ – Львів – держкордон, Київ – Харків, Київ – Дніпро, Київ – Одеса – держкордон) паралельно зі створенням мережі зарядних станцій для електромобілів.

Станом на 2019 р. ОЕС України була здатна поглинути до 3 ГВт нових потужностей СЕС і ВЕС без ризику розбалансування і серйозних змін у своїй структурі. За стрімкого розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в Україні необхідно збудувати 2,5 ГВт високоманеврових швидкодіючих балансуючих потужностей (акумуляторних або газопоршневих станцій) до 2025 р., щоб урівноважувати денні графіки навантаження на енергосистему. Ці потужності коштують майже 55 млрд грн і мають покривати 30% установленої потужності ВДЕ. Якщо ж Україна не збудує таких потужностей, то за зростання частки ВДЕ їй доведеться обмежувати продукцію атомних електростанцій (АЕС), що працюють у базовому режимі реакторів, і підвищувати частку теплових електростанцій (ТЕС), що працюють на вугіллі й здатні до маневрування своєї потужності, збільшуючи на 60% загальну собівартість генерації електроенергії.

Реформа ринку електроенергії в Україні з 01.07.2019 мала ризик неконтрольованого збільшення ціни електроенергії через низький рівень конкуренції, високу концентрацію виробників електроенергії, відсутність налагодженої системи подання достовірних даних комерційного обліку від операторів систем розподілу, відсутність прямих ефективних засобів впливу на виробників електроенергії зі значною часткою ринку. Водночас відтермінування реформи мало інший ризик – ризик її повного скасування,

неприйняття подальших потрібних рішень і всіх необхідних нормативно-правових актів та заходів для впровадження нового ринку електроенергії, зважаючи на відсутність повного переліку нормативних актів для запуску ринку допоміжних послуг і блокування платежів для розробників програмного забезпечення для балансуєчого ринку та ринку допоміжних послуг.

У липні 2019 р. «Укренерго» підписало контракт із RTE International про консультативні послуги щодо оптимізації експлуатації магістральних електромереж «Укренерго», підвищення їх надійності та приведення до європейських стандартів. Загальна вартість контракту перевищує 1 млн євро. Проєкт триватиме до грудня 2020 р. та фінансуватиметься за рахунок кредитних коштів Світового банку в рамках Другого проєкту з передачі електроенергії (ППЕ-2). Відповідно до контракту, фахівці RTE International нададуть низку рекомендацій для поліпшення технічної політики «Укренерго»: будуть надані стандарти характеристик обладнання з компенсації реактивної потужності, автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСКТП) та каналів зв'язку, стандарти та вимоги до первинного та вторинного обладнання, які використовуються в ENTSO-E. Окрім того, будуть надані рекомендації щодо адаптації чинного законодавства України до впровадження сучасних технологій, оскільки станом на 2019 р. більшість діючих в Україні нормативних документів про вимоги до обладнання та його експлуатації, регламенти проведення робіт розроблялися на основі застарілих устаткування та технологій. Консультації від фахівців RTE International охоплюватимуть також питання оптимізації функцій ремонтів, розроблення дорожньої карти з упровадження системи планування ремонтів відповідно до поточного стану обладнання, комплексу технічних рішень для автоматизації діагностики ліній електропередачі (ЛЕП).

RTE International допоможе у створенні офісу досліджень і розробок (Research & Development, R&D) для вирішення основних проблем в енергосистемі України, оптимізації її роботи з урахуванням змін в економіці, національних та світових тенденцій тощо. З листопада 2019 р. для працівників «Укренерго» напрямів експлуатації, релейного захисту та інформаційних технологій (IT) будуть проведені три семінари (workshops) у центральному офісі RTE International, а також на першій в Європі смарт-підстанції Bloisaux (Франція).

Меморандум «Укренерго» з ЄБРР передбачає спільну реалізацію проєкту розбудови мережі накопичувачів енергії потужністю до 220 МВт і модернізації підстанції (ПС) 220 кВ «Азовська» (м. Маріуполь, Донеччина). ЄБРР долучиться до розроблення техніко-економічного обґрунтування проєкту з розбудови накопичувачів і нормативної бази для забезпечення

їх комерційної та прибуткової діяльності в Україні, підготовки та подання заявки на грантове фінансування ЄС для подальшої реалізації цього проєкту.

Консультаційна угода «Укренерго» з МФК передбачає технічну допомогу в розробленні механізму аукціонів для залучення приватних інвесторів, бажаних фінансувати розбудову системи накопичення електроенергії в Україні. Спочатку МФК надасть системному оператору України допомогу у формуванні прозорої та надійної бізнес-моделі залучення приватних інвестицій для розбудови енергонакопичувачів, у розробленні регуляторних документів для гарантій безпеки капіталовкладень приватних інвесторів, а потім – у розробленні проєктної та тендерної документації для проведення відповідних аукціонів. На думку керівництва Міністерства енергетики та захисту довкілля (Мінекоенерго), ця угода відкриває шлях до державної підтримки створення стимулів для приватних інвестицій у підвищення гнучкості ОЕС України та нові технологічні сектори загалом, дасть відповіді на нові виклики перед ОЕС України за зміни структури виробництва і споживання електроенергії. Керівництво Мінекоенерго виразило подяку МФК та «Укренерго» за проявлену ініціативу у започаткуванні новітнього сегменту енергетики держави, сподіваючись на якнайшвидші темпи розроблення документів за цією технічною допомогою і зобов'язуючись якнайшвидше імплементувати такі документи в законодавстві України.

Під час робочого візиту 19–22 листопада 2019 р. фахівці RTE International оглянули об'єкти НЕК «Укренерго», проаналізували технічну та закупівельну політику компанії. Цю дослідницько-аналітичну роботу французькі консультанти проводили за контрактом з «Укренерго» про надання послуг з оптимізації обслуговування магістральних мереж для приведення їх обслуговування і надійності роботи до європейських стандартів. Під час візиту експерти RTE International відвідали Коростенську лінійну дільницю на Житомирщині, а також дві підстанції, основані на різних технологіях, – ПС 330 кВ «Лісова» (с. Холосно, Коростенський район, Житомирщина) (лінія «Чорнобильська АЕС – Лісова» та підстанція 330/110/10 потужністю 200 мегавольт-ампер (МВА), введені в експлуатацію у 1976 р. для підвищення енергопостачання споживачів північних районів Житомирщини), і ПС 750 кВ «Київська» (с. Наливайківка, Макарівський район, Київщина) (підключена у 2009 р.). На підстанціях вивчалися обладнання, системи управління та захисту.

ПС 750 кВ «Київська» будувалася у 2006–2009 рр. відповідно до:

пункту 3.10) Плану заходів щодо забезпечення енергетичної безпеки України, затвердженого Указом Президента України № 1863/2005 «Про рішення Ради національної без-

пеки і оборони України від 9 грудня 2005 року «Про стан енергетичної безпеки України та основні засади державної політики у сфері її забезпечення» від 27.12.2005, – будівництва підстанції «Київська» і повітряної лінії електропередачі Рівненська атомна станція – підстанція «Київська» напругою 750 кВ;

Розпорядження Кабінету Міністрів України № 145-р «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» від 15.03.2006;

Розпорядження Президента України № 42/2001-рп «Про розроблення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року та дальшу перспективу» від 27.02.2001, де пункт 1 починається так: «Підтримати пропозицію Національної академії наук України щодо розроблення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року та дальшу перспективу» [5];

Розпорядження Кабінету Міністрів України № 45-р «Про затвердження робочого проєкту та титулу будови лінії електропередачі для видачі потужностей Рівненської та Хмельницької електростанцій» від 01.02.2006.

14 липня 2006 р. «Укренерго» розпочало будівництво ПС 750 кВ «Київська» потужністю 1000 МВА для передачі потужності Рівненської АЕС (РАЕС) і Хмельницької АЕС (ХАЕС) у Центральний і Східний регіони України, забезпечення надійного електропостачання споживачів Київщини та Києва.

На 2006 р. було заплановано освоїти 246 млн грн із 739 млн грн кошторисної вартості ПС 750 кВ «Київська» на площі 48 га з уведенням в експлуатацію: чотирьох автотрансформаторів 750 кВ по 333 МВА; чотирьох трансформаторів поперечного регулювання 110 кВ по 92 МВА; семи шунтуючих реакторів по 750 кВ; відкритого розподільчого пристрою (ВРП) 750 кВ із сімома елегазовими вимикачами; ВРП 330 кВ із п'ятьма елегазовими вимикачами; заходів повітряних ліній (ПЛ) 750 кВ «Чорнобильська АЕС – Вінниця» 1,6 км; заходів ПЛ 330 кВ «Київська-Новокиївська – Сєверна» 110 км; ПЛ 35 кВ «Рожів – Київська» 14,4 км.

Кошторисна вартість за другим титулом становила 1,7 млрд грн і передбачала будівництво ПЛ 750 кВ «ХАЕС – Київська» 120 км і ПЛ 750 кВ «РАЕС – Київська» 317 км.

Отже, сумарний кошторис перевищував 2,439 млрд грн, або 480 млн дол. за обмінного курсу 5,05 грн/дол. станом на 16.07.2006.

Замовники будівництва: «Укренерго»; Центральна електроенергетична система. Генеральний проєктувальник: Державний проєктно-вишукувальний і науково-дослідний інститут «Укренергомережпроєкт» (м. Харків). Проєктувальник: Київська філія «Укренергомережпроєкт». Генеральний підрядник: колективне підприємство «Електропівденьзахідмонтаж-б» (с. Солонка, Пустомитівський район, Львівщина). Субпідрядники: ТОВ «МіГ-95»; ВАТ «Південьзахіделектромережбуд» (м. Львів); ВАТ «Київсьільелектро» (м. Київ); ЗАТ «Управління будівництва (УБ) РАЕС» (м. Вараш, Володимирецький район, Рівненщина); ЗАТ «СВС – Дніпро» (м. Вишгород, Київщина). Проєкт рекомендований до затвердження Центральною службою Укрінвестекспертизи Мінбуду України.

Французькі консультанти разом з українськими фахівцями аналізували нормативи та вимоги до обслуговування ПЛ, методи ремонтних робіт, обладнання та інструментарій монтажників, систему безпеки, навчання й умови роботи персоналу. Експерти RTE International провели низку семінарів, обговорили технічну політику «Укренерго», зокрема, оптимізацію ремонтних робіт. Для RTE ключовим принципом є попередження збоїв і аварійних ситуацій під час обслуговування мереж, для чого ведеться моніторинг роботи мережі на основі постійно оновлюваної бази даних технічного стану обладнання. Експерти RTE розповіли про завдання єдиного технічного координаційного експертного центру RTE та про внутрішній контроль якості роботи. Окремий семінар було присвячено закупівлям обладнання й робіт. Експерти RTE роз'яснили процедуру укладання рамкового (довгострокового) контракту з кількома підрядниками одночасно для реалізації певного проєкту з можливістю рубіжного контролю: такий контракт підвищує гарантії якості та дотримання термінів виконання робіт. Експерти RTE також розповіли про розроблення стратегічних рішень на попередження проблем і прийняття тактичних рішень для усунення поточних нештатних ситуацій.

Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Розвиваючи широке міжнародне співробітництво у стратегічних напрямках енергетики, для України актуальними залишаються питання енергоефективності, імпортозаміщення, власної економічної політики [5].

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Стратегія 2020. Вип. 102(155). (Огляд матеріалів ЗМІ за 10 жовтня – 31 жовтня 2019 р.) Київ : Національна бібліотека України імені В.І.Вернадського, 2019. 155 с.
2. Фесюк О.В., Стецюк П.І., Буткевич О.Ф. Використання системи Manuever-New для розв'язання задач оптимального завантаження енергоблоків електростанцій. *Технічна електродинаміка*. 2018. № 4. С. 94–97.
3. Буткевич О.Ф., Юнєєва Н.Т., Гурєєва Т.М. До питання про розміщення накопичувачів енергії в ОЕС України. *Технічна електродинаміка*. 2019. № 6. С. 59–64.
4. Горбачук В.М., Дунаєвський М.С., Сулейманов С.-Б. Аналіз ланцюгів вартості на основі нових технологій енергонакопичення. *Удосконалювання енергоустановок методами математичного і фізичного моде-*

лювання. Секція 3 (8–10 жовтня 2019 р., Харків). Харків : Інститут проблем машинобудування імені А.М. Підгорного НАН України, 2019. С. 20–21.

5. Електроенергетика України: стратегія ефективності / І.Р. Юхновський (гол. ред.) та ін. Київ : Міжвідомча аналітично-консультативна рада з питань розвитку продуктивних сил і виробничих відносин, 2001. 88 с.

REFERENCES:

1. Stratehiia 2020 [Strategy 2020] (2019) Vol. 102(155). (Ohliad materialiv ZMI za 10 zhovtnia – 31 zhovtnia 2019 r. [Review of media materials for October 10 – October 31, 2019]). Kyiv: V.I.Vernadskyi National Library of Ukraine, 155 p. (In Ukrainian)

2. Fesiuk O.V., Stetsiuk P.I., Butkevych O.F. (2018) Vykorystannia systemy Maneuver-New dlia rozviazannia zadach optimalnogo zavantazhennia enerhobloktiv elektrostantsii [The MANEUVER-NEW system's use for problems solving of the optimal loading of the thermal power plants' units]. *Tekhnichna elektrodynamika* [Technical electrodyamics], no. 4, pp. 94–97.

3. Butkevych O.F., Yunieieva N.T., Hurieieva T.M. (2019) Do pyttannia pro rozmishchennia nakopychuvachiv enerhii v OES Ukrainy [On the issue of energy storages placement in the IPS of Ukraine]. *Tekhnichna elektrodynamika* [Technical electrodyamics], no. 6, pp. 59–64.

4. Horbachuk V.M., Dunaievskiy M.S., Suleimanov S.-B. (2019) Analiz lantsiuhiv vartosti na osnovi novykh tekhnolohii enerhonakopychennia [The supply chain analysis based on new energy storage technologies]. *Udoskonaluvannia enerhoustanovok metodamy matematychnoho i fizychnoho modeliuvannia. Sektsiia 3 (8–10 zhovtnia 2019 r., Kharkiv)*. Kharkiv: A.M. Pidhorny Institute of Problems in Machine Building, National Academy of Sciences of Ukraine, pp. 20–21.

5. Elektroenerhetyka Ukrainy: stratehiia efektyvnosti [Electric energy of Ukraine: strategy of efficiency] (2001) I.R. Yukhnovskiy (hol. red.), V.H. Bariakhtar, V.M. Horbachuk, V.A. Kopylov, M.M. Kulyk, V.T. Merkuhov, H.H. Pivniak, S.B. Tulub (red.). Kyiv: Interdisciplinary analytical-consulting council on the issues of development of production factors and production relations, 88 p. (In Ukrainian)