УДК 621.311 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.30

Ю. В. СІРЕНКО
доктор філософії з галузі знань галузеве машинобудування, доцент,
доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-1818-3653

Т. С. ВОЛЬВАЧ
асистент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-8890-6901

О. Ю. САВОЙСЬКИЙ
кандидат технічних наук,
завідувач кафедри транспортних технологій
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-6459-4931

В. М. КОЗІН
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0001-9821-7774

АНАЛІЗ СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ ТА ЗАХОДИ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ СИТУАЦІЇ

Війна в Україні стала серйозним випробуванням для її енергетичного сектору, спричинивши значні руйнування інфраструктури, зміни структури енергоспоживання та загострення проблем енергетичної безпеки. У роботі проаналізовано поточний стан енергетичного сектору України в умовах війни.

Важливо зазначити, що війна призвела до значного зниження споживання енергії в цілому, що пов'язано зі скороченням промислового виробництва, міграцією населення та загальним економічним спадом. Енергетична інфраструктура отримала значні втрати внаслідок бойових дій. Великі генеруючі потужності зазнали безповоротних руйнувань та пошкоджень. Найбільших втрат зазнали ТЕС та ТЕЦ, які були цілями російських атак через їх важливість для енергопостачання. Атомна енергетика також зазнала значних викликів, зокрема, окупація Запорізької АЕС створила серйозні ризики ядерної безпеки. Окрім того, значних пошкоджень зазнали об'єкти передачі та розподілу електроенергії, зокрема лінії електропередачі та трансформаторні підстанції. Це ускладнило забезпечення стабільного енергопостачання, особливо в прифронтових регіонах. Російські атаки на енергетичну інфраструктуру мають на меті дестабілізацію ситуації в Україні, створення гуманітарної кризи та тиск на український уряд.

Проаналізовано тенденції та виклики для енергетичного сектору України в умовах війни. З огляду на подану інформацію, можна виділити декілька напрямів, в яких можна працювати для поліпшення ситуації в енергетичному секторі України. По-перше, це розвиток відновлюваної енергетики, по-друге, це підвищення енергоефективності складових елементів енергосистеми, по-третє, це модернізація енергетичної інфраструктури, в четверте, сприяння розвитку розподіленої генерації, і останнє, п'яте, це реформування енергетичного сектору. Всі ці напрямки є взаємопов'язаними та потребують комплексного підходу для забезпечення сталого розвитку енергетичного сектору України.

Ключові слова: *електричні станції, енергетика, відновлювальні джерела енергії, сонячна генерація, вітрові електростанції, електричні мережі, електропостачання, трансформатор, генеруюча потужність.*

YU. V. SIRENKO
PhD, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Energy
and Electrical Engineering Systems
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0003-1818-3653

T. S. VOLVACH
Assistant at the Department of Energy
and Electrical Engineering Systems
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0002-8890-6901

O. YU. SAVOISKYI
Candidate of Technical Sciences,
Head of the Department of Transport Technologies
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0002-6459-4931

V. M. KOZIN
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Energy
and Electrical Engineering Systems
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0001-9821-7774

ANALYSIS OF THE STATE OF UKRAINE'S ENERGY SYSTEM AND MEASURES TO IMPROVE THE SITUATION

The war in Ukraine has become a serious challenge for its energy sector, causing significant infrastructure destruction, changes in energy consumption patterns, and exacerbation of energy security issues. This paper analyzes the current state of Ukraine's energy sector under wartime conditions.

It is important to note that the war has led to a significant decrease in overall energy consumption, which is related to the reduction of industrial production, population migration, and the general economic decline. The energy infrastructure has suffered major losses as a result of military actions. Large generating capacities have been irreversibly destroyed or damaged. The greatest losses were suffered by thermal power plants and combined heat and power plants, which were targeted by Russian attacks due to their importance for energy supply. The nuclear energy sector also faced significant challenges, in particular, the occupation of the Zaporizhzhia Nuclear Power Plant created serious nuclear safety risks. Additionally, transmission and distribution facilities, including power lines and transformer substations, sustained significant damage. This complicated the provision of stable energy supply, especially in frontline regions. Russian attacks on energy infrastructure aim to destabilize the situation in Ukraine, create a humanitarian crisis, and exert pressure on the Ukrainian government.

The paper analyzes trends and challenges in Ukraine's energy sector during the war. Based on the presented information, several key areas can be identified for improving the situation in the energy sector of Ukraine. Firstly, this includes the development of renewable energy sources. Secondly, increasing the energy efficiency of the components of the energy system. Thirdly, modernization of the energy infrastructure. Fourthly, the promotion of distributed generation. And finally, the reform of the energy sector. All these directions are interconnected and require a comprehensive approach to ensure the sustainable development of Ukraine's energy sector.

Key words: *power plants, energy sector, renewable energy sources, solar generation, wind power plants, electrical grids, electricity supply, transformer, generating capacity.*

Постановка проблеми

Аналіз питання стану виробництва електроенергії спрямований на розробку заходів, що забезпечують надійну та ефективну генерацію, транспортування, передачу та розподіл електричної енергії з виконанням всіх вимог зі збереження та охорони довкілля, підвищення енергетичної ефективності, має значну актуальність та вимагає термінового вирішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

До повномасштабного вторгнення енергетичний баланс України характеризувався диверсифікованою структурою, в якій значну частку займали традиційні види палива, переважно вугілля та торф, що становить 25,2 %. Саме ці види палива, а особливо вугілля, відігравали важливу роль у тепловій енергетиці та промисловості, що свідчить про значну залежність країни від викопних ресурсів. Наступним за обсягом споживання був природний газ, частка якого складала 23,9 %. Цей вид палива використовувався у промисловості, теплоенергетиці та у побутовому секторі, що також вказує на залежність від його поставок. Нафтопродукти – продукти переробки нафти – використовувалися переважно на транспорті та промисловості, їх частка становила 0,7 %. Важливу роль в енергетичному балансі відігравала атомна енергетика, яка забезпечувала значну частину виробництва електроенергії – 22,6 %. Гідроенергетика, представлена великими ГЕС та ГАЕС, була важливим джерелом електроенергії з потенціалом для балансування енергосистеми, її частка складала 11,4 %. Відновлювані джерела енергії (ВДЕ),

включаючи сонячну, вітрову, гідроенергетику (малі ГЕС), енергію біомаси тощо, на той час займали відносно невелику частку – 5,9 %, що вказує на початковий етап розвитку цього сектора в Україні. Загальна електрична потужність електрогенеруючих об'єктів становила 55 579,2 МВт, у тому числі на АЕС приходилося 13 880 МВт за рахунок роботи 15 енергоблоків. Атомна енергетика забезпечувала значну частину базового навантаження в енергосистемі. ТЕС та ТЕЦ за рахунок використання 112 енергоблоків дозволяли отримувати 30 545 МВт електроенергії. Теплова енергетика відігравала важливу роль у виробництві не лише електричної, але і теплової енергії. ГЕС та ГАЕС в Україні використовують 14 гідроспоруд із загальною потужністю 6646,7 МВт. Гідроенергетика використовувалася для покриття пікових навантажень та балансування енергосистеми. Виробничі потужності сектору ВДЕ складали 4507,5 МВт та він мав потенціал для зростання, але на той час його потужність була відносно незначною.

Структура розподілу генерації електроенергії за типами електростанцій була такою: АЕС – 56,1 %, ТЕС та ТЕЦ – 29,3 %, ГЕС та ГАЕС – 8,7 %, ВДЕ – 5,9 %. При цьому атомна енергетика була основним джерелом генерації електроенергії, а теплова енергетика відігравала важливу роль, у першу чергу, для маневрування потужності під час пікових навантажень на енергосистему. Водночас відновлювані джерела енергії генерували невелику частку електроенергії [2, 4].

Аналіз даних свідчить про те, що до повномасштабного вторгнення енергетичний сектор України характеризувався значною залежністю від викопних видів палива та атомної енергетики. Відновлювані джерела енергії на той час відігравали відносно невелику роль, але мали потенціал для подальшого розвитку [6]. Наведена інформація є важливою для розуміння вихідної ситуації в енергетичному секторі України до початку повномасштабного вторгнення та аналізу змін, які відбулися внаслідок воєнних дій.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є порівняльний аналіз стану енергетики в Україні до моменту повномасштабного вторгнення та під час нього.

Викладення основного матеріалу дослідження

Об'єднана енергетична система України – основа електроенергетики країни для забезпечення електроенергією споживачів. Вона поєднує генеруючі потужності, розподільчі мережі по регіонах та лінії електропередачі класами напруги 220–750 кВ. Розподільчі мережі електроенергії мають довжину близько 1 млн. км повітряних і кабельних ліній електропередачі класів напруги 0,4–150 кВ [5].

До складу системи електропостачання (СЕ) України входить дві підсистеми. Перша відповідає за надійність та технічне забезпечення надання споживачам електричної потужності необхідної якості, а друга – за регулювання процесів електроенергетичного комплексу.

Всі складові СЕ пов'язані спільним технологічним процесом за фізичними законами. Виконання цих законів забезпечує роботу системи, та, у першу чергу, за забезпечення відповідно до навантаження в системі генеруючої потужності. Умова стабільності СЕ полягає у збереженні балансу між виробництвом та споживанням електроенергії відповідно до потреб.

Протягом трьох років війни в Україні повністю зруйновані та знаходяться на окупованих територіях близько 45 % генеруючих потужностей енергосистеми [5].

Не відновлювальної шкоди зазнала теплова генерація. Близько 87 % вугільних ТЕЦ, що входили до її складу, наразі вважаються втраченими. На початку повномасштабної війни в Україні працювали 12 ТЕС загальною потужністю 21,5 ГВт. Потужність ТЕЦ нараховувала 6,1 ГВт. У даний час під окупацією знаходиться 22 ГВт теплової генерації, переважно вугільної. Країна була змушена швидко скоротити використання кам'яного вугілля як джерела енергії. [2, 4, 5].

Підземні газосховища можуть вмістити 12 млрд. м^3 природного газу. Однак [3] на потреби опалення побутових приміщень необхідно мати 14,5 млрд. м^3, що компенсується щоденним надходженням до сховищ близько 30 млн. м^3 природного газу. За 2024 рік в Україні було видобуто близько 19 млрд. м^3 природного газу, що перевищило показники попереднього року на 400 млн. м^3 та дозволило впевнено забезпечити всі потреби житлово-комунального сектору [2, 4, 5].

На заміну зруйнованих ТЕЦ були встановлені газо-поршневі установки, які дозволили закрити власні потреби в електроенергії та забезпечити пікові балансування енергосистеми. За підтримки держави розпочато будівництво газо-поршневих електричних станцій загальною потужністю 120 МВт [5].

У результаті бойових дій постраждала відновлювальна та гідрогенерація: зруйновані, пошкоджені або знаходяться в окупації 2,3 МВт потужностей ГЕС та 3,9 ГВт ВЕС та СЕС. До втрат у ВЕС можна віднести 3 вітрогенератори, що розташовані у Донецькій та Запоріжській областях, трансформаторну підстанцію ВЕС у м. Херсон, зруйновані лопаті вітрогенератора біля м. Очаків (Миколаївська область) внаслідок влучання дрону.

Дуже вразливою до обстрілів та ракет є наземна частина СЕС. У Харківській області зруйновані всі наземні частини приватних СЕС загальною потужністю 28,4 МВт та більша частина промислових дахових СЕС загальною потужністю 6,3 МВт із 7,3 МВт. На окупованих територіях втрачено близько 1,2 ГВт СЕС [2, 4, 5].

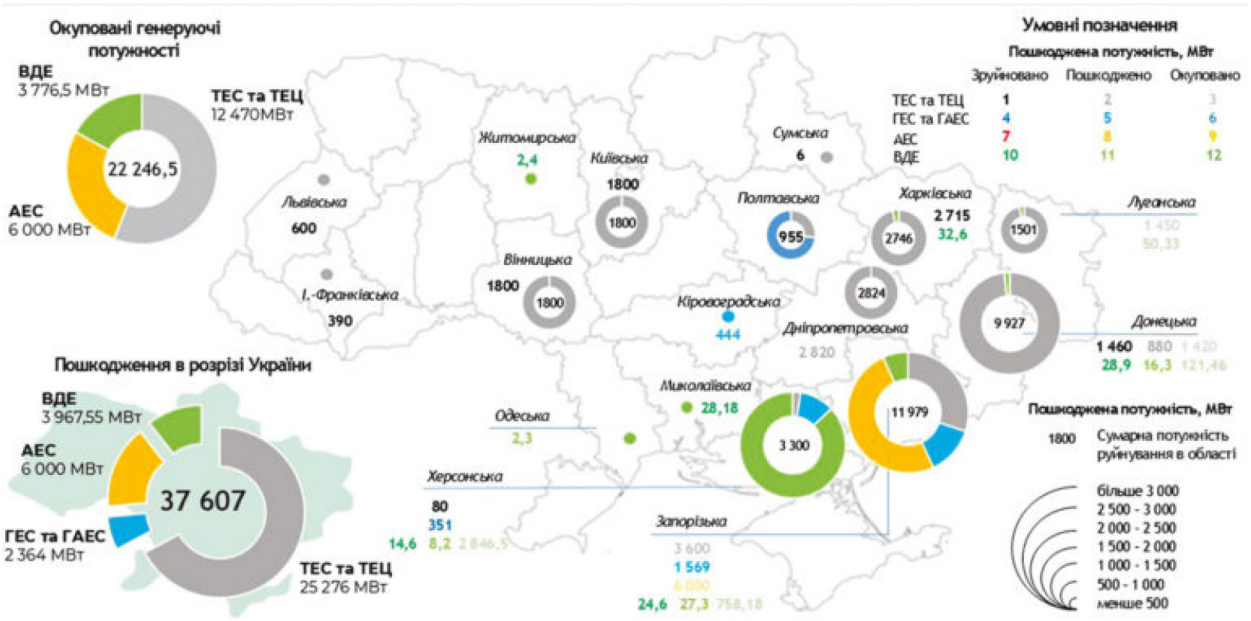

Рис. 1. Карта втрат об'єктів енергосистеми України станом на 25.11.2024 р. [2]

З рис. 1 можна зробити висновок, що максимально зазнали втрат потужностей регіони, що знаходяться безпосередньо близько до зон бойових дій. Значні руйнування об'єктів енергетичного призначення спостерігаються на Поділлі та Прикарпатті.

Енергетична система України налаштована за двома принципами: виробництво електроенергії потужними АЕС протягом доби (переважно вдень) постійного обсягу 7,8 ГВт·год, а зранку і ввечері у пікові години енергетичний баланс забезпечують ТЕС та ГЕС. Транспортування електроенергії забезпечується переважно повітряними лініями окремо з кожної області до мереж загальнодержавного значення НЕК «Укренерго». АЕС не можуть забезпечувати глибокого регулювання потужності, тобто швидко зменшувати виробництво електроенергії вночі під час зменшення її споживання, або навпаки, різко збільшувати генерацію під час пікових годин зранку та ввечері [2, 5].

Із загальної кількості генерації ТЕС загальною потужністю 30,6·ГВт зазнали руйнування станції потужністю 22,6 ГВт. Ті, що залишилися у роботі, потужністю 8 ГВт можуть забезпечувати електроенергією в обсязі 2,4 ГВт·год [2].

Ворожа тактика винищення енергетичних об'єктів була спрямована і на руйнування ГЕС та ГАЕС: із загальної потужності 6,6 ГВт безповоротно зруйновано станції загальною потужністю 0,351 ГВт. Переважно це пов'язано з руйнуванням греблі Каховської ГЕС. ГАЕС здатні акумулювати енергію, перерозподіляючи її виробництво між періодами мінімального та максимального споживання. Вони закачують воду у нічні години, використовуючи наявний у системі надлишок електроенергії, що виникає за рахунок зменшення її споживання, а повертають у пікові ранкові години. Вони є резервом для компенсування браку енергії в енергосистемі. Баланс потужностей гідростанцій забезпечується в обсязі 2,2 ГВт · год при великій кількості води у річках. Упродовж посушливого періоду року генерація знижується до 1,2 ГВт · год [2, 4, 5].

Втрат енергосистема України зазнала і внаслідок пошкодження ВДЕ: із 6,3 ГВт загальної потужності промислових СЕС під контролем ворога наразі знаходяться 3,7 ГВт, що становить близько 60 % від загальної потужності. Крім того, зазнали руйнувань на лінії фронту близько 1 ГВт СЕС. Залишки сонячної енергетики генерують у мережу до 2,2 ГВт·год, а у світлу пору доби взимку здатні виробляти лише 0,5 ГВт·год [2, 4, 5].

Зазнала втрат і вітроенергетика України. Встановлена потужність вітроенергетики становить 1672 МВт, до якої входять 34 ВЕС або 699 вітрових турбін потужністю 3,5 МВт кожна. Потужні ВЕС знаходяться у Запоріжській, Миколаївській, Одеській та Львівській областях із загальною потужністю генерації 2 ГВт. Внаслідок військових дій у даний час не експлуатується переважна частина вітрогенераторів, зупинено близько 70 % (1162,5 МВт). На тимчасово окупованих територіях залишились найбільші ВЕС: 200 МВт – Ботієвська ВЕС, 100 МВт – Орловська ВЕС, 200 МВт – Приморська 1, 2 ВЕС. Під окупацією знаходяться також п'ять ВЕС загальною потужністю 335 МВт компанії ТОВ «Віндкрафт Україна», що складає близько 21 % загальної потужності ВЕС України. Діючі ВЕС, що розташовані у Одеській та Львівській областях, здатні забезпечити тільки 372,5 МВт потужностей. Частково працездатною залишилась Дністровська ВЕС першої та другої черг із загальною потужністю 100 МВт, а також вітряки потужністю 33 МВт ТОВ «Овід Вінд». На початку вторгнення 2022 року було запущено першу чергу Тилігувської ВЕС (Миколаївська область) та Сколівську ВЕС (Львівська область) загальною потужністю

126 МВт. Разом з тим були виведені з ладу 11 вітрогенераторів. Протягом 2024 року було заплановано розширити Тилігувську ВЕС за рахунок будівництва 2 черги з сумарною потужністю 500 МВт. Компанією ТОВ УК «Вітряні парки України» було завершено будівництво першої вітрової турбіни між львівською та закарпатською областями, вітропарк «Островський» потужністю 80 МВт [2, 5].

Загальна кількість руйнувань промислових СЕС і ВЕС складає близько третини від загальної потужності. Було втрачено СЕС у м. Мерефи Харківської області потужністю 1,2 МВт (рис. 2) [2, 5].

Рис. 2. Зруйнована СЕС (м. Мерефа, Харківська область) [2]

Водночас необхідно зазначити, що [7] завдяки бізнесу у такий складний час відбувається створення нових проєктів зеленої генерації на забезпечення власних потреб. Так за 2024 рік було встановлено 200 МВт СЕС на дахах підприємств та логістичних відділень. Наприклад, група компаній «Епіцентр» збудувала СЕС потужністю 12,4 МВт для забезпечення потреб компанії у робочий час. Для розширення проєктів зеленої генерації державні банки України надали кредити на будівництво СЕС потужністю 83 МВт на дахах приватних підприємств для забезпечення їх власних потреб. Сектор відновлювальної енергетики за час повномасштабної війни зріс на 650 МВт потужностей [2, 5, 7].

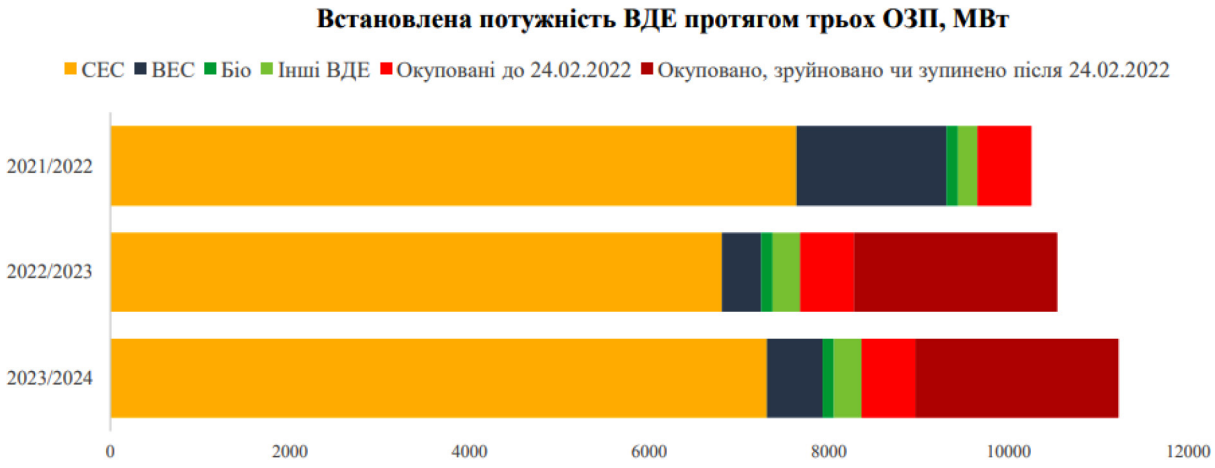

Рис. 3. Нарощування потужності ВДЕ за період 2022–2024 рр. [5]

Постійно зазнають руйнувань складові магістральних електромереж та підстанції. Внаслідок цілеспрямованих атак ворога пошкоджені десятки магістральних ліній мережі, що призвело до глобальних ушкоджень енергосистеми [8]. Складна ситуація у Харківській області, особливо у м. Харків, де ворог неодноразово намагався повністю знищити енергосистему міста [9, 10]. Відновлення електропостачання до міста завжди вимагає значного часу.

Магістральні лінії електропостачання та розподільчі електромережі з'єднані вузловими підстанціями. Система електропостачання нараховує 23 600 км повітряних ліній та 141 підстанцію під експлуатацією оператором системи передачі (ОСП) «Укренерго» класів напруги 110–750 кВ, а також близько 200 тис. трансформаторних підстанцій класів напруги 6–150 кВ. У випадку ушкоджень лінії або підстанції, енергетикам доводиться забезпечувати заміну схеми електропостачання споживачів. Більша частина повітряних ліній зношена та вимагає заміни або реконструкції. Близько 5 % від загальної протяжності повітряних ліній електропередачі повністю відпрацювали свій ресурс. Однак під час виконання планових та аварійних робіт здійснюється постійна модернізація електромережі, встановлюється автоматика [1, 5].

Головне завдання СЕ України – забезпечення балансу електроенергії між виробництвом та споживачами. Відповідно до [11] частота струму змінюється в суворо регламентованих межах і має знаходитися для систем із синхронізацією генераторів у діапазоні 50 Гц ± 1 % протягом 99,5 % часу та 50 Гц +4 / –6 % протягом всього часу. Щойно відбувається пошкодження енергетичної системи, частота змінного струму змінюється і виникає необхідність збільшення активної потужності, яка генерується електростанціями. Якщо в енергосистемі порушується баланс, то трансформатори та електромережі часто перевантажуються, що спричиняє виникнення серйозних аварійних ситуацій. Часто це призводить до спрацювання систем автоматичного захисту, які відключають споживачів та окремі електростанції від загальнодержавної енергосистеми. Вирівнювання її балансу часто забезпечується енергетиками вручну під'єднанням або від'єднанням генеруючих потужностей [5].

Основна частина електроенергії ОЕС України виробляється енергоблоками трьох АЕС з п'яти, а саме Рівненською, Південноукраїнською та Хмельницькою, які мають загальну встановлену потужність 8 ГВт та забезпечують електроенергією базові потреби споживачів і промисловості. Найбільша в Європі та одна з десяти світових атомних станцій – Запорізька АЕС, яка має 6 ГВт встановленої потужності, що складає близько 43 % від загальної потужності всіх АЕС України, у даний час знаходиться на тимчасово окупованій території. Роботу цієї станції повністю забезпечують повітряні лінії НЕК «Укренерго». Постійно знаходячись під масовими обстрілами, у даний час на повну потужність працюють лише два енергоблоки Запоріжської АЕС з дев'яти, інші сім завантажені лише на 40 % [2, 5].

Сумарна потужність, яку генерує ОЕС України становить 12·ГВт·год електричної енергії. Споживачі використовують у пікові години 14·ГВт·год електричної енергії влітку та 18·ГВт·год взимку при температурі повітря не вище –5 °С. У зв'язку з цим виникає брак електроенергії взимку у кількості до 6·ГВт·год та влітку під час проведення на АЕС планових робіт. Наявний дефіцит електроенергії у кількості 2,1·ГВт·год у години пік теоретично можуть покривати енергосистем сусідніх країн. Однак такий захід не покриває повністю брак енергії у системі. У даний час нестача потужності генерації електроенергії у країні складає близько 4 ГВт за умови, що не відбувається додаткове руйнування об'єктів генерації, передачі та розподілу внаслідок військових дій. Значною проблемою щодо покриття дисбалансу за рахунок імпорту електроенергії зі Словаччини та Румунії стало пошкодження електростанції Мукачево-500, що спричинило суттєве обмеження потужності до 0,3 ГВт·год [2, 4, 5].

Попри складну ситуацію на території України у 2024 році оператори системи розподілу часто знаходячись під обстрілами здійснили заміну 14 тис. км ліній електропередачі, виконали ремонт 29 тис. км трас повітряних ліній та більше 6 тис. енергетичних об'єктів, розчистили більше 47 тис. км трас повітряних ліній, замінили близько 65 км ліній грозозахисту, а також відремонтували значну кількість трансформаторних підстанцій та іншого електрообладнання [2, 5].

Внаслідок повномасштабного вторгнення відбулися значні зміни в енергетичному секторі України. Спостерігається зростання частки ВДЕ у загальній структурі об'єктів генерації, що є позитивною тенденцією. Водночас, відбулося зменшення використання частки викопного палива (вугілля та торфу), що може бути пов'язано із руйнуванням вугільних ТЕС, економічними чинниками або екологічною політикою країни. Відзначається зростання частки природного газу та атомної енергії, що може бути тимчасовим явищем, пов'язаним з необхідністю заміни втрачених потужностей та забезпеченням енергетичної безпеки. Зафіксовано значне зменшення загальних електрогенеруючих потужностей, що є прямим наслідком руйнувань, окупації та пошкоджень енергетичної інфраструктури. Зміни у структурі потужностей також впливають на співвідношення потужностей різних типів електростанцій.

Вплив на країну є значним. Втрати енергетичних потужностей та зміни у структурі енергогенерації мають прямий вплив на енергетичну безпеку країни, роблячи Україну більш вразливою до енергетичних криз та залежною від зовнішніх джерел енергії. Енергетична криза негативно впливає на економіку країни, спричиняючи зростання цін на енергоносії, перебої в енергопостачанні та зниження конкурентоздатності підприємств. Зростання

частки ВДЕ є позитивною тенденцією з точки зору екології, оскільки сприяє зменшенню викидів парникових газів та забруднення довкілля.

Україна має потенціал для розвитку відновлюваної енергетики та переходу до більш стійкої енергетичної системи. Відновлення та модернізація енергетичної інфраструктури потребують значних інвестицій та міжнародної підтримки. Важливою є диверсифікація джерел енергії та підвищення енергоефективності.

Загалом, порівнюючи дані, ми бачимо значні зміни в енергетичному секторі України, спричинені війною. Ці зміни мають серйозні наслідки для енергетичної безпеки, економіки та екології країни. Однак, Україна має потенціал для подолання цих викликів та побудови більш стійкої та сучасної енергетичної системи.

Загальна пошкоджена потужність енергосистеми України у даний час досягає 37 607 МВт, що свідчить про значні втрати в енергетичному секторі. У сегменті генерації на основі ВДЕ (СЕС, ВЕС та інші об'єкти відновлюваної енергетики) пошкодження становлять 3967,55 МВт. Пошкодження у сегменті АЕС становлять близько 6000 МВт. Це викликає особливе занепокоєння через ризики, пов'язані з ядерною безпекою. У сегменті генерації на базі ГЕС та ГАЕС пошкодження становлять 2364 МВт, що впливає на регулювання частоти та балансування енергосистеми. Пошкодження на ТЕС і ТЕЦ становлять 25 276 МВт. Це найбільша категорія втрат, що серйозно впливає на виробництво електроенергії та теплопостачання [2, 5].

У деяких областях сумарна потужність зруйнованих енергетичних об'єктів перевищує 3 ГВт, що свідчить про критичну ситуацію у цих регіонах. Значні пошкодження зафіксовано у Харківській, Луганській, Донецькій, Запорізькій та Київській областях. Ці регіони зазнали найбільшого впливу бойових дій. В інших областях, таких як Львівська, Івано-Франківська та Вінницька, пошкодження менші, однак значні та потребують уваги [5].

Подана інформація показує масштабні руйнування в енергетичній системі України, спричинені бойовими діями. Відновлення енергетичної інфраструктури є пріоритетним завданням, що потребує значних інвестицій та зусиль. Необхідно враховувати регіональні особливості та пріоритети під час планування відновлювальних робіт. Важливо забезпечити не лише відновлення, але й модернізацію енергетичної системи для підвищення її стійкості та енергоефективності.

У результаті проведеного аналізу стану енергетики в Україні протягом перших трьох років військового стану можна запропонувати такі заходи з покращення енергетики:

– здійснити модернізацію систем постачання та розподілу для уникнення втрат електроенергії застарілими системами;

– протягом найближчих двох років встановити газо-поршневі установки загальною встановленою потужністю не менше 2,7 ГВт, що дозволить ефективно покривати дефіцит під час пікових годин навантаження;

– здійснити деокупацію Запорізькою АЕС та відновити її роботу у повному обсязі, що дозволить не лише підвищити ядерну безпеку країни, але й забезпечити збільшення загального виробництва електроенергії для потреб промисловості;

– продовжити добудову, у тому числі із залученням зовнішніх інвестицій, чотирьох енергоблоків Хмельницької АЕС;

– сприяти залученню закордонних інвесторів до відновлення та розбудови енергетичної системи України у післявоєнний період;

– забезпечити збільшення можливостей імпорту електроенергії з сусідніх країн для балансування енергетичної системи у час пік доти, поки буде відбуватися відновлення енергетики;

– сприяти розвитку існуючих та створенню нових об'єктів ВДЕ: ВЕС потужністю до 800 МВт, СЕС та інших типів установок, що дасть можливість розвантажити енергосистему в цілому до 1 ГВт та полегшить її балансування під час пікових навантажень;

– розглянути можливість створення по всій території країни потужних центрів акумуляції електроенергії, що дозволять більш рівномірно диверсифікувати її потоки між споживачами, у тому числі з метою перерозподілу споживання між сусідніми країнами та впродовж доби або періоду року. Цей захід сприятиме суттєвому збільшенню частки СЕС, однак вимагатиме застосування високоефективної, наприклад, літій-залізо-фосфатної технології акумуляції енергії.

Висновки

У результаті проведеного аналізу встановлено, що енергетична система України зазнала масштабних руйнувань через повномасштабну війну, зокрема втрачено більшість теплової генерації та значну частку відновлюваних джерел енергії. Незважаючи на це, спостерігається позитивна тенденція до зменшення залежності від викопного палива та зростання ролі атомної і відновлюваної енергетики. Атомна енергетика залишається основним джерелом стабільної генерації, однак окупація Запорізької АЕС створює значні ризики для національної безпеки. Поряд із цим, розвиток сонячної та вітрової енергетики, особливо в приватному секторі, демонструє високий потенціал зеленої трансформації.

Водночас серйозною проблемою є зношеність розподільчих мереж та уразливість інфраструктури, що ускладнює балансування системи. Україна має потенціал до формування стійкої, енергоефективної енергетики, однак

для цього необхідні значні інвестиції, міжнародна підтримка, модернізація мереж та розбудова систем накопичення енергії.

Комплексна реалізація запропонованих заходів стане запорукою енергетичної безпеки країни у післявоєнний період.

Список використаної літератури

1. ПРОХОДЖЕННЯ ОСІННЬОЗИМОВИХ ПЕРІОДІВ 2022–2024 РР. СТАН ЕНЕРГОСИСТЕМИ / ГО «ДІКСІ ГРУП». – : ГО «ДІКСІ ГРУП», 2024. С. 22.

2. Ігнатьєв С. Енергетична система України: стан на кінець 2024 року та сценарії на 2025. нафта&газ України. Статті. URL: https://oil-gas.com.ua/statti/enerhetychna_systema_ukrainy_stan_na_kinets_2024_roku_ta_stsenarii_na_2025 (дата звернення: 23.03.2025).

3. Ткачук М. Енергетична незалежність України: реалії та перспективи зимового сезону. Ua.news. Статті. 24.12.2024. URL: https://Https://ua.news/ua/ukraine/energetychna-nezalezhnist-ukrayiny-realiyi-ta-perspektyvy-zymovogo-sezonu (дата звернення: 23.03.2025).

4. Обленерго у 2024 році відремонтували понад 29 тис. Км електромереж. Українська енрегетика. навігатор у світі даних про енергоринки. 29.01.2025. URL: https://ua-energy.org/uk/posts/oblenerho-u-2024-rotsi-vidremontuvaly-ponad-29-tys-km-elektromerezh (дата звернення: 23.03.2025).

5. Цілісність енергосистеми і стабільність енергопостачання – наслідок безперервної роботи тисяч енергетиків. Міністерство енергетики України. Новини. 14.03.2025. URL: https://www.mev.gov.ua/novyna/tsilisnist-enerhosystemy-i-stabilnist-enerhopostachannya-naslidok-bezpererervnoyi-roboty (дата звернення: 23.03.2025).

6. Електроенергетика України: стан і перспективи. YC.Market. 26.01.2025. URL: https://blog.youcontrol.market/ieliektroienierghietika-ukrayini-stan-i-pierspiektivi/ (дата звернення: 23.03.2025).

7. Губарєва В. Перспектива відновлювальних джерел енергії під час війни: Як за рахунок зеленої генерації Україна планує забезпечити собі енергонезалежність? Ukraine War Environmental Consequences Working Group. Зелене відновлення. 26.12.2024. URL: https://uwecworkgroup.info/uk/prospect-for-renewable-energy-in-wartime-how-ukraine-plans-to-ensure-energy-independence-using-green-generation/ (дата звернення: 23.03.2025).

8. Бондарчук І. Тренди енергетичної галузі та прогноз на 2025 рік. LCF. 20.01.2025. URL: https://lcf.ua/thought-leadership/energy-and-natural-resources/trendi-energetichnoyi-galuzi-ta-prognoz-na-2025-rik/ (дата звернення: 25.03.2025).

9. КорфЄ. 3 роки війни: Стан енергетики України та її перспективи. Copyright. 18.03.2025. URL: https://e-b.com.ua/3-roki-viini-stan-energetiki-ukrayini-ta-yiyi-perspektivi-7614 (дата звернення: 25.03.2025).

10. Омельченко В. Енергетика України: 2024-2025 років у тумані невизначеності. Banker. 05.12.2024. URL: https://banker.ua/uk/projects/energetika-ukraini-2024-2025-rokiv/ (дата звернення: 25.03.2025).

11. ДСТУ EN 50160-2023. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2022, IDT). [Чинний від 08.12.2023]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. – 32 с.

References

1. PROKhODZhENNIa OSINNOZYMOVYKh PERIODIV 2022–2024 RR. STAN ENERHOSYSTEMY (2024) [Passage of the autumn-winter periods 2022–2024. State of the energy system.] Civic Organization “DIXI GROUP”. https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2024/04/2024_winterseasons_analysis_dixi_group_final.pdf [in Ukrainian]

2. Ihnatiev, S. (2024, 23 December). *Ukraine’s energy system: status at the end of 2024 and scenarios for 2025*. BANKER. Expert Column. https://oil-gas.com.ua/statti/enerhetychna_systema_ukrainy_stan_na_kinets_2024_roku_ta_stsenarii_na_2025

3. Tkachuk, M. (2024, 24 December). *Ukraine’s energy independence: realities and prospects of the winter season*. Ua.news. https://ua.news/ua/ukraine/energetychna-nezalezhnist-ukrayiny-realiyi-ta-perspektyvy-zymovogo-sezonu

4. Ukrainian Energy. (2025, 29 January). *Oblenergo repaired over 29 thousand km of power grids in 2024*. https://ua-energy.org/uk/posts/oblenerho-u-2024-rotsi-vidremontuvaly-ponad-29-tys-km-elektromerezh

5. Ministry of Energy of Ukraine. (2025, 14 March). *Integrity of the energy system and stability of power supply – the result of the uninterrupted work of thousands of energy workers*. https://www.mev.gov.ua/novyna/tsilisnist-enerhosystemy-i-stabilnist-enerhopostachannya-naslidok-bezpererervnoyi-roboty

6. YC.Market. (2025, 26 January). *Electric power industry of Ukraine: state and prospects*. https://blog.youcontrol.market/ieliektroienierghietika-ukrayini-stan-i-pierspiektivi/

7. Hubarieva, V. (2024, 26 December). *Prospects for renewable energy in wartime: how Ukraine plans to ensure energy independence through green generation*. Ukraine War Environmental Consequences Working Group. https://uwecworkgroup.info/uk/prospect-for-renewable-energy-in-wartime-how-ukraine-plans-to-ensure-energy-independence-using-green-generation/

8. Bondarchuk, I. (2025, 20 January). *Energy sector trends and forecast for 2025*. LCF. https://lcf.ua/thought-leadership/energy-and-natural-resources/trendi-energetichnoyi-galuzi-ta-prognoz-na-2025-rik/

9. Korf, Ye. (2025, 18 March). *Three years of war: the state of Ukraine's energy sector and its prospects*. Copyright. https://e-b.com.ua/3-roki-viini-stan-energetiki-ukrayini-ta-yiyi-perspektivi-7614

10. Omelchenko, V. (2024, 05 December). *Ukraine's energy sector in 2024–2025 in the fog of uncertainty*. BANKER. https://banker.ua/uk/projects/energetika-ukraini-2024-2025-rokiv/

11. Kharakterystyky napruhy elektropostachannia v elektrychnykh merezhakh zahalnoi pryznachenosti (2023) [.Voltage characteristics in public electricity supply networks] DSTU EN 50160:2023 (EN 50160:2022, IDT) Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].