

СИСТЕМА МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ БАЛАНСУВАННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ SMART GRID ТЕХНОЛОГІЙ

(Шифр 21-Д-403)

Робота проводиться на підставі наказу Міністерства освіти і науки України від 29.12.2021р. №1461 та наказу ВНТУ від 01 лютого 2022 р. № 34.

Дата початку роботи: 01.01.2022 р.

Дата закінчення роботи: 31.12.2023 р.

Науковий керівник: д.т.н., проф. Лежнюк П. Д.

Відповідальний виконавець: д.т.н., проф. Комар В.О.

Строки виконання: початок – 01.01.2022, закінчення – 31.12.2023.

Обсяг коштів, виділених на виконання НДР: 351,504 тис. гривень.

Виконавці дослідження

№	Прізвище, ім'я, по батькові	Науковий ступінь	Вчене звання	Посада і місце основної роботи
1	Лежнюк Петро Дем'янович	д.т.н.	професор	проф. кафедри ЕСС, ВНТУ
2	Комар Вячеслав Олександрович	д.т.н.	професор	зав. кафедри ЕСС, ВНТУ
3	Рубаненко Олена Олександрівна	д.т.н.	професор	проф. кафедри ЕСС, ВНТУ
4	Малогулко Юлія Володимирівна	к.т.н.	доцент	доцент кафедри ЕСС, ВНТУ
5	Гуньоко Ірина Олександрівна	к.т.н.	доцент	доцент кафедри ЕСС, ВНТУ, докторант
6	Прокопенко Ігор Олександрович			аспірант кафедри ЕСС, ВНТУ
7	Ситник Артур Валерійович			аспірант кафедри ЕСС, ВНТУ
8	Греськов Дмитро Олександрович			студент ВНТУ
9	Кузьменко Роман Миколайович			студент ВНТУ

Сумарний h-індекс основних виконавців (авторів) проєкту згідно БД Scopus та WoS – 32.

Сумарна кількість цитувань згідно БД Scopus та WoS – 650.

ОДЕРЖАНІ НАУКОВО-ПРИКЛАДНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВІДПОВІДНО ДО ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Назва етапу згідно з технічним завданням	Заплановані результати	Отримані результати
Розроблення методів і способів оптимізації сумісного використання засобів компенсації нестабільності генерування ФЕС в системі балансування режимів ЕЕС.	Математична модель сумісного використання засобів компенсації нестабільності генерування	Метод і алгоритм погодинного корегування прогнозу генерування ФЕС на наступну добу, адаптація їх в АСК балансування електроенергії в ЕЕС. Математична модель взаємовпливу ФЕС і параметрів електричних мереж, визначення засобів резервування нестабільності генерування ВДЕ. Метод та алгоритм оптимізації складу способів накопичення електроенергії для резервування нестабільності генерування ВДЕ. Вимоги щодо формування інформаційного забезпечення для узгодження графіків генерування та споживання електроенергії в ЕЕС, умови використання активних споживачів як засобу компенсації нестабільності генерування ВДЕ (стимулювання, електроопалення).
Розроблення системи автоматизованого керування для компенсації нестабільності генерування ФЕС в системі балансування режимів ЕЕС.	Натурно-імітаційна модель дослідження процесу реалізації SMART Grid технологій	Структурна схема системи автоматичного керування режимами ФЕС з урахуванням прогнозу вироблення ними електроенергії на основі принципів SMART Grid. Сформована математична модель сумісного використання засобів компенсації нестабільності генерування ФЕС. Метод оцінювання якості функціонування ФЕС та аналіз чутливості моделі до зміни параметрів її стану. Розроблено натурно-імітаційну модель для дослідження процесу реалізації SMART Grid технологій в системі балансування режимів ЕЕС з ВДЕ

УЗАГАЛЬНЕНІ РЕЗУЛЬТАТИ ЗА ТЕМАТИКОЮ ПРОЄКТУ (очікувані/досягнуті)

№ з/п	Назви показників очікуваних результатів	Значення
1.	<p>Нові знання, призначені для створення нових або вдосконалення існуючих (вказати одне значення, непотрібне викреслити):</p> <ul style="list-style-type: none"> - матеріалів, продуктів, пристроїв, систем, технологій - як завершене комплексне рішення - матеріалів, продуктів, пристроїв, систем, технологій - як ключовий складовий елемент/-и рішення вищого рівня (надсистеми) - конкретні пропозиції щодо виконання актуальних науково-технічних та суспільних завдань 	<p>ТАК/ТАК</p> <p>ТАК/ТАК</p> <p>ТАК/ТАК</p>
2.	<p>Буде укладено господарчі договори, продані ліцензії, отримано грантові угоди як впровадження наукових або науково-практичних результатів проєкту 374,4 грн</p>	<p>відсоток від загальної суми вартості проєкту–120/...</p>
3.	<p>Буде отримано охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності (у тому числі свідоцтв на реєстрацію авторського права на твір, патентів на винахід)</p> <ul style="list-style-type: none"> - патенти на винахід - патенти на корисну модель - свідоцтва на авторський твір, патент на промисловий зразок 	<p>1/1 подано</p> <p>4/3+1 подано</p> <p>3/2</p>
4.	<p>Будуть опубліковані статті у наукових журналах, що входять до науково-метричних баз даних WoS та/або Scopus, або публікації у виданнях, які містять інформацію, що становить державну таємницю для проєктів оборонного і подвійного призначення</p>	<p>у наукових журналах 6/8;</p> <p>у збірниках наукових праць, матеріалах конференцій 6/6</p>
5.	<p>Будуть опубліковані за темою проєкту статті у фахових виданнях України категорії «Б», статті у періодичних закордонних фахових виданнях, що мають ISSN, а також англійські тези доповідей у матеріалах міжнародних конференцій.</p>	<p>15/12+3 подано</p>
6.	<p>Будуть представлені науково-практичні результати проєкту на міжнародних комунікативних форумах, всеукраїнських та регіональних науково-технічних/промислових виставкових заходах, в мережі підприємств, що підтверджується відповідним сертифікатом чи посиланням на ел.версію заходу/матеріалів/каталогів</p>	<p>10/10</p>
7.	<p>Буде отримано актів впровадження результатів реалізації проєктів у господарську практику органів державної влади, наукоємних підприємств, приватних компаній (на договірній основі) тощо</p>	<p>3/3</p>

Перелік опублікованих за темою статей в журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus та/або Web of Science Core Collection (WoS)

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії; <u>підкреслити прізвища авторів, які належать до списку виконавців</u>	Наукоме тр. база даних
1	STEPAN KUDRIA, <u>PETRO LEZHNIUK</u> , OLEKSANDR RIEPKIN, <u>OLENA RUBANENKO</u> . HYDROGEN TECHNOLOGIES AS A METHOD OF COMPENSATION FOR INEQUALITY OF POWER GENERATION BY RENEWABLE ENERGY SOURCES // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 98 NR 10/2022. DOI: 10.15199/48.2022.10.01	Scopus
2	<u>Petro Lezhniuk</u> , Oleksandr Burykin, Volodymyr Kulyk, <u>Juliya Malogulko</u> , Andriy Polishchuk, <u>Artur Sytnyk</u> . Devising a Method for Estimating the Share of Electricity Consumption by a Given Consumer, Which is Provided From Renewable Energy Sources // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, ISSN 1729-3774 5/8, 2022. Pp. 21-30. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265749	Scopus
3	M. Belik and O. <u>Rubanenko</u> , "Optimisation of passive solar systems seasonal operation in conditions of central Europe," Renewable Energy and Power Quality Journal, Article vol. 20, pp. 746-750, 2022.	Scopus
4	<u>Lezhniuk P.</u> , <u>Komar V.</u> , <u>Hunko I.</u> , Jarykbassov D. (2022). Natural-simulation Model of Photovoltaic Station Generation in Process of Electricity Balancing in Electrical Power System. Informatyka, Automatyka, Pomiarы W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 12(3), 40-45. https://doi.org/10.35784/iapgos.3030	Scopus
5	Andrzej Smolarz, Petro Lezhniuk, Stepan Kudrya, Viacheslav Komar, Vladyslav Lysiak, Iryna Hunko, Saltanat Amirgaliyeva, Saule Smailova and Zhassulan Orazbekov. Increasing Technical Efficiency of Renewable Energy Sources in Power Systems // Energies 2023, 16, 2828. DOI: https://doi.org/10.3390/en16062828 .	Scopus
6	Petro Lezhniuk, Oleh Kozachuk, Natalia Komenda, Juliya Malogulko. Electrical power and energy balance in the local electrical system by using reconciliation of the generation and consumption schedules // Przegląd Elektrotechniczny. – 2023. – №9. – pp. 57–63. DOI:10.15199/48.2023.09.10	Scopus
7	Лежнюк П.Д., Гунько І.О., Козачук О.І., Лисий В.М. Втрати електроенергії, викликані перетоками відновлюваних джерел енергії, в балансі електричних мереж // Технічна електродинаміка. – 2023. – №6. – С. 60–70.	Scopus
8	Daniyar Jarykbassov, Petr Lezhniuk, Iryna Hunko, Vladyslav Lysyi, Lubov Dobrovolska. Macromodeling of local power supply system balance forecasting using fractal properties of load and generation schedules // Informatyka, Automatyka, Pomiarы W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 2023.– №3. – pp. 79–82. https://doi.org/10.35784/iapgos.4457	Scopus

Перелік опублікованих англомовних статей та тез доповідей у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються у наукометричній базі Scopus або WoS

№	Повні дані про статті та тези доповідей з веб-адресою електронної версії; <u>підкреслити прізвища авторів</u> , які належать до списку виконавців	Наукометр. База даних
1	P. Lezhniuk, M. Belik, V. Komar, O. Rubanenko, Olena Rubanenko, I. Smaglo. Analysis of technical conditions influencing the operation of PV power stations cooperating with controlled power grids // 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). 979-8-3503-4683-1/22/\$31.00 ©2022 IEEE. doi: 10.1109/MEES58014.2022.10005686	Scopus
2	PETRO LEZHNIUK, ARTUR SYTNYK, VOLODYMYR KULYK, JULIYA MALOGULKO, ANDRIY POLISHCHUK. METHOD OF ESTIMATING THE SHARE OF ELECTRICITY CONSUMPTION OF A GIVEN CONSUMER, WHICH IS PROVIDED FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES. 2022 IEEE 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY SMART SYSTEMS (ESS), IGOR SIKORSKY KYIV POLYTECHNIC INSTITUTE. PP. 85–88.	Scopus
3	Olena Rubanenko and Milan Belik, "PV system for emergency power supply of cattle-farm in war conditions" 2023 IEEE 64th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON) RTUCON 2023.	Scopus прийнято до публікації
4	Milan Belik and Olena Rubanenko "Digital Twin of PV system for Ukrainian thermal power plant flue gas cleaning unit"2023 IEEE 64th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON) RTUCON 2023	Scopus прийнято до публікації
5	Olena Rubanenko. Energy Consumption Optimisation of Emergency Shelters for Ukrainian War Refugees // 21th International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'23) Madrid (Spain), 24th to 26th May 2023. ISSN 2172-038 X, Volume No.21, July 2023.	Scopus
6	M. Belik, O. Rubanenko Energetická studie využití budovy kalcinační linky pro instalaci FV panelů pro energetické účely. p.15-19	Scopus
7	M. Belik, O. Rubanenko and O. Rubanenko, "Optimization of PV-system design for household," 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312893.	Scopus
8	V. Vostriakova, O. Rubanenko, N. Burennikova, M. Belik and O. Lesko, "Prosuming Business Models in Transition to a Sustainable Bioeconomy," 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312899.	Scopus
9	M. Belik, J. Timr and O. Rubanenko, "Prediction of the degradation process of mono-Si photovoltaic panels in Ukrainian and Czech conditions," 2023 23rd International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), Brno, Czech Republic, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/EPE58302.2023.10149312.	Scopus

Перелік опублікованих статей, у журналах що входять до переліку фахових видань України

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії, або вихідні дані про охоронні документи; <u>підкреслити</u> <u>прізвища авторів</u> , які належать до списку виконавців
1.	П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, Л. Н. Добровольська, К. О. Повстянко. Відносне оцінювання засобів балансування режимів електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії // Вісник ВПІ. – № 3. – 2022. – С. 24–30. https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-162-3-24-30
2.	Комар В. О., Лежнюк П. Д., Лесько В. О., Гунько І. О., Смагло І. І. Програмно-апаратний комплекс діагностування технічного стану обладнання фотоелектричних станцій // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – № 2. – 2022. – С. 43–50. doi: 10.20998/2224-0349.2022.02.05
3.	Комар В. О., Кудря С. О., Лежнюк П. Д., Гунько І. О. Водневі технології для вирівнювання графіків генерування вітрових електростанцій під час балансування режимів електроенергетичних систем // Відновлювана енергетика. №4. – 2022. С. 64–70. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.4(71).64-70
4.	Комар В.О., Лежнюк П.Д., Гунько І.О., Смагло І.І. Оцінювання технічного стану обладнання фотоелектричних станцій програмно-апаратними засобами // Відновлювана енергетика. – 2023. – №1. – С. 19–26. https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.1(72)19-26 .
5.	Лежнюк П.Д., Комар В.О., Повстянко К.О. Відносне оцінювання вартості засобів резервування відновлюваних джерел енергії // Енергетика: економіка, технології, екології. – 2023. – №1. – С. 39–45. DOI: 10.20535/1813-5420.1.2023.275958
6.	Лежнюк Петро, Козачук Олег, Галузінський Олександр. Використання активних споживачів для балансування електроенергії в електричній мережі // Вісник Хмельницького національного університету (Технічні науки). – 2023. – №3. – С. 214–221. DOI 10.31891/2307-5732-2023-321-3-214-221
7.	Гунько І. О., Лежнюк П. Д., Лисий В. М. Макромодельовання прогнозування балансу локальних систем електропостачання з використанням фрактальних властивостей графіків навантаження та генерування // Наукові праці ВНТУ. – 2023. – Прийнято
8.	Лежнюк П.Д., Комар В.О., Гунько І.О., Повстянко К.О. Гарантійне походження електроенергії в локальній електроенергетичній системі з відновлюваними джерелами енергії // Енергетика: економіка, технології, екології. – Прийнято

№	Повні дані про монографії; <u>підкреслити прізвища авторів, які належать до списку виконавців</u>
1	Petro Lezhniuk, Vyacheslav Komar, Vladyslav Lesko, Volodymyr Netrebskyi, Yuliya Malogulko, Olena Sikorska. Electricity Consumption and Renewable Energy Sources Generation Schedules Coordination in Electric Networks for Balance Reliability Increasing // Energy Facilities: Management and Design and Technological Innovations, Collective monograph. – Published in 2022 by PC Technology Center, Kharkiv, Ukraine. DOI: 10.15587/978-617-7319-63-3.CH2. Scopus
2	Лежнюк П.Д., Комар В.О., Сікорська О.В. Розосереджене генерування в задачах підвищення енергоефективності розподільних електричних мереж: монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – 195 с.
3	С. Кудря, П. Лежнюк, О. Рубаненко, І. Гунько, О. Дяченко. Локальні електроенергетичні системи на основі відновлюваних джерел енергії. – Стаття прийнята до колективної монографії з індексацією в Scopus від Інституту загальної енергетики НАН України.

Баланс електроенергії в ОЕС України в частині генерування формується різними електростанціями:

$$P_{AEC}(t) + P_{TEC}(t) + P_{ГЕС}(t) \pm P_{ГАЕС}(t) + P_{ВДЕ}(t) \pm P_{рез}(t) - P_n(t) - \Delta P(t) = 0, \quad (1)$$

де $P_{AEC}(t)$ – потужність атомних електростанцій (АЕС), $P_{TEC}(t)$ – потужність теплових електростанцій (ТЕС) і теплоелектроцентралей (ТЕЦ), $P_{ГЕС}(t)$ – потужність гідроелектростанцій, $P_{ГАЕС}(t)$ – потужність гідроакумуючих електростанцій (ГАЕС), $P_{ВДЕ}(t)$ – потужність ВДЕ, $P_{рез}(t)$ – потужність засобів і шляхів резервування електроенергії під час балансування, $P_n(t)$ – навантаження трансформаторних підстанцій (ТП), $\Delta P(t)$ – технологічні витрати в електричних мережах.

Якщо за критерій оптимальності прийняти сумарні витрати $B_{рез}$ на резервування $P_{рез}(t)$ в (1) несталого генерування ВДЕ, то з врахуванням реально можливих на сьогодні способів резервування задача мінімізації $B_{рез}$ запишеться [9]:

$$B_{рез} = B_x(P_x) + B_6(P_6) + B_2(P_2) + B_c(P_c) + B_n(P_n) + B_k(P_k) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де $B_x(P_x)$ – витрати на резервування накопичувачами електрохімічного типу; $B_6(P_6)$ – витрати на водневі технології; $B_c(P_c)$ – витрати, зв'язані з використанням біогазових технологій як резерву; $B_2(P_2)$ – витрати на користування системним резервом, що є фактично компенсацією за утримання резерву на енергоагрегатах ТЕС, що працюють за ціновими заявками; $B_n(P_n)$ – витрати на запаси пропускної спроможності ліній електропередачі, що необхідно для транспортування електроенергії з/до місця під'єднання резервної потужності до ЕЕС; $B_k(P_k)$ – витрати на реалізацію координації графіків генерування і споживання електроенергії в ЕЕС; $P_x, P_6, P_2, P_c, P_n, P_k$ – відповідно оптимальні значення потужностей, які визначаються з кожного зі способів резервування.

Математичну модель оптимізації питомих витрат на 1 кВт резервної потужності для урівноваження генерування ВДЕ, в якій враховуються особливості режимів ЕЕС, можна представити у такому вигляді:

$$B_{рез} = \frac{C_1}{P_x} + C_2 P_6 + C_3 P_2 + \frac{C_4}{P_c} + C_5 \frac{P_x^2 P_c^2}{P_6 P_2} \rightarrow \min, \quad (3)$$

за умови, що $P_c \leq G_c, P_x \leq G_x$ або $g_c P_c \leq 1, g_x P_x \leq 1$,

де C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 – узагальнені константи, що містять вихідні дані задачі (в першу чергу це цінові показники); G_c – максимальна потужність системного резерву, яку можна використати для урівноваження генерування ВДЕ ($g_c = 1/G_c$); G_x – максимально доступна потужність накопичувачів електрохімічного типу ($g_x = 1/G_x$).

$\pi_i = \frac{B_i(P)}{B_{рез}(P)}$ – ваговий коефіцієнт або в термінах теорії подібності критерій подібності.

Оптимальні значення критеріїв подібності визначаються з умов ортогональності і нормування:

$$\mathbf{a}\boldsymbol{\pi} = \mathbf{b}, \tag{4}$$

де $\mathbf{a} = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \dots & \alpha_{1m} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \dots & \alpha_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & \dots & \alpha_{nm} \\ 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \end{vmatrix}; \quad \boldsymbol{\pi} = \begin{vmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \dots \\ \pi_m \end{vmatrix}; \quad \mathbf{b} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix},$

\mathbf{a} – матриця показників степені змінних; $\boldsymbol{\pi}$ – вектор оптимальних значень критеріїв подібності; \mathbf{b} – вектор, записаний з умов ортогональності і нормування критеріїв подібності; n – кількість змінних P_i ; m – кількість членів цільової функції, включно обмеження.

Вибравши склад базових змінних, шляхом лінійних перетворень розв’язок системи рівнянь (4) і відповідна множина допустимих рішень відносно базових змінних $\boldsymbol{\pi}_b$ отримується у вигляді:

$$\boldsymbol{\pi} = \mathbf{b}_0 + \mathbf{b}_n \boldsymbol{\pi}_b, \tag{5}$$

де \mathbf{b}_0 – вектор нормалізації; \mathbf{b}_n – вектори нев’язки стосовно базових змінних.

В критеріальній формі вираз оптимальних витрат (3) запишеться:

$$V_{рез*} = \frac{\pi_{1o}}{P_{x*}} + \pi_{2o} P_{\theta*} + \pi_{3o} P_{z*} + \frac{\pi_{4o}}{P_{c*}} + \pi_{5o} \frac{P_{x*}^2 P_{c*}^2}{P_{\theta*} P_{z*}}, \tag{6}$$

де $V_{рез*} = V_{рез} / V_{рез \min}$; $P_{x*} = P_x / P_{xo}$, $P_{\theta*} = P_{\theta} / P_{\theta o}$, $P_{z*} = P_z / P_{zo}$, $P_{c*} = P_c / P_{co}$, де $P_x, P_{\theta}, P_z, P_c$ – відповідно поточні та оптимальні значення потужності способів резервування.

Числові значення критеріїв подібності в (6) визначаються як

$$\pi_i = b_{oi} + \sum_{j=1}^s b_{nij} \pi_{bj}. \tag{7}$$

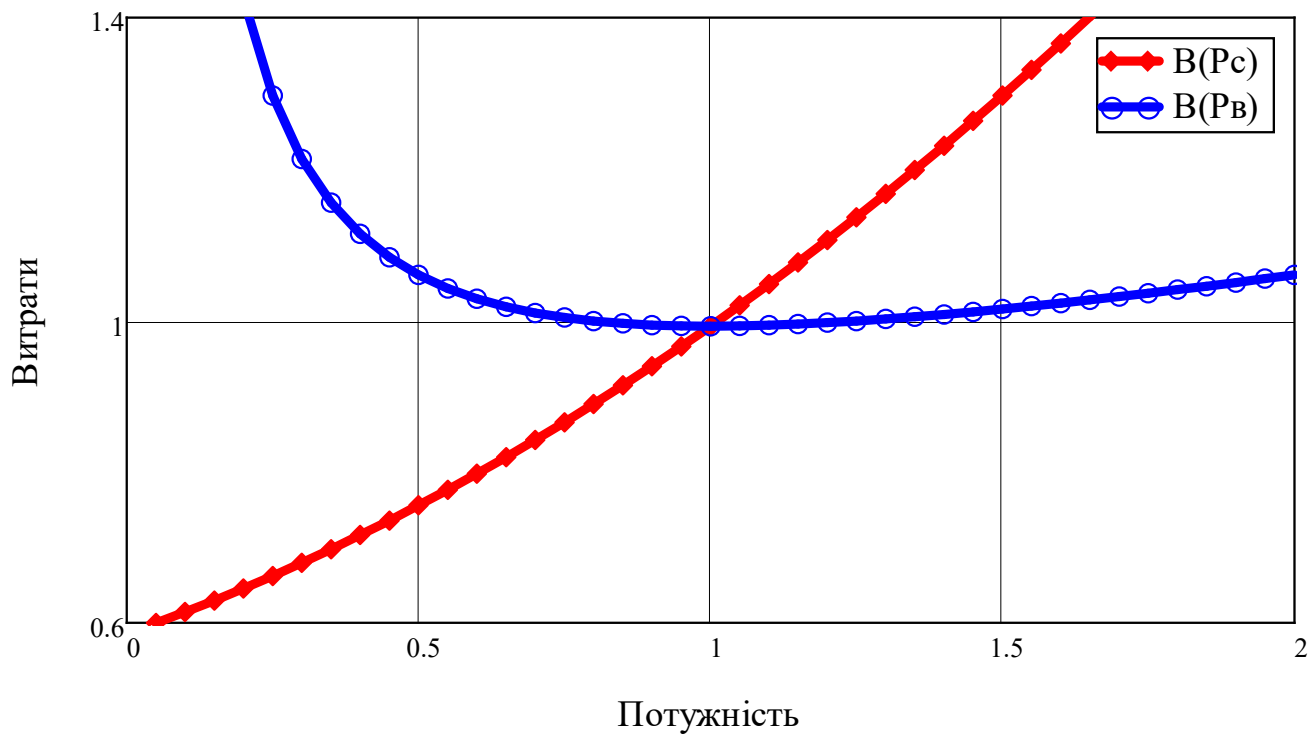


Рисунок 1 - Чутливість витрат до зміни потужності системного резерву (червона крива) та до змін потужності водневих технологій (синя крива)

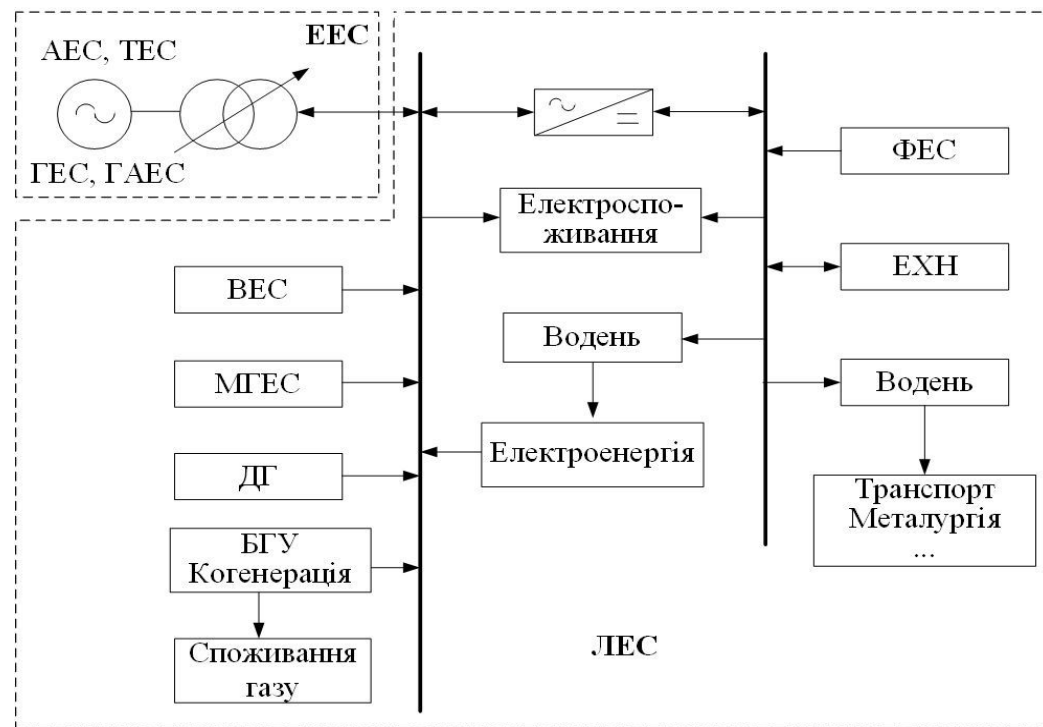


Рисунок 2 - Структура локальної електроенергетичної системи

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПУ НАЙМЕНШОЇ ДІЇ ЯК МЕХАНІЗМУ САМООПТИМІЗАЦІЇ І САМООРГАНІЗАЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ SMART GRID ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ (ЛЕС) З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ (ВДЕ) ТА ЕЛЕМЕНТАМИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ЇЇ АВТОНОМНІСТЬ В ОБ'ЄДНАНІЙ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ (ОЕС)

Науковий керівник: д.т.н., проф. Лежнюк П. Д.

Відповідальний виконавець: д.т.н., проф. Комар В.О.

Строки виконання: початок – квітень 2023, закінчення – грудень 2023.

Обсяг коштів, виділених на виконання НДР: 99,5 тис. гривень.

ОДЕРЖАНІ НАУКОВО-ПРИКЛАДНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВІДПОВІДНО ДО ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Заплановані результати	Отримані результати
<p>Адаптування принципу найменшої дії (ПНД) до технології Smart Grid для автоматизації ЛЕС з ВДЕ та способами і засобами забезпечення її автономності в ОЕС.</p> <p>Формування математичної моделі ЛЕС як системно інтегрованого об'єкта, що має єдину мережеву інфраструктуру, яка технологічно й інформаційно зв'язує всі джерела енергії і всіх споживачів.</p> <p>Оптимізація способів і засобів резервування ВДЕ для повноцінної їх участі в керуванні режимами ЛЕС.</p> <p>Розроблення алгоритму використання водневих технологій та узгодження графіків генерування і споживання електроенергії в ЛЕС як балансуєчої групи.</p> <p>Розроблення структурної схеми програмного комплексу внутрішньо-добового уточнення прогнозування генерування ВДЕ і оптимізації їх режимів.</p> <p>Анотований звіт.</p> <p>Науково-технічний звіт.</p>	<p>Сформована математична модель локальних електроенергетичних систем (ЛЕС) як системно інтегрованого об'єкта, що має єдину мережеву інфраструктуру, яка технологічно й інформаційно зв'язує всі джерела енергії і всіх споживачів. ЛЕС як окремий елемент входять в об'єднану електроенергетичну систему і приймають участь в балансуванні її режимів. За особливих умов вони можуть функціонувати в автономному режимі, забезпечуючи певний рівень електропостачання споживачів електроенергії. В цьому випадку вони групуються з окремих microgrid, що працюють за принципом «що згенерував те спожив».</p> <p>Розроблено метод самовідновлення ЛЕС під час виникнення аварійної ситуації. При цьому застосовуються технології Smart Grid для автоматизації ЛЕС з ВДЕ і використовується принцип найменшої дії для реалізації механізмів самооптимізації і самоорганізації. Перекриття різниці згенерованої та прогнозованої електроенергії ВДЕ здійснюється за рахунок системи накопичення електричної енергії, зокрема з використанням водневих технологій, а також шляхом узгодження графіків генерування ВДЕ та споживання «активними» споживачами. Розроблено відповідні алгоритми використання засобів резервування ВДЕ для відновлення функціонування ЛЕС і роботи її як балансуєчої групи. .</p> <p>Показано, що за умови оптимізації потужності ВДЕ і засобів резервування їх генерування зменшуються втрати електроенергії на 2–5%, покращується якість електроенергії та зменшуються SAIDI I SAIFI.</p>

За результатами дослідження передбачається: видання розділу в колективній монографії; 2 статті у фахових журналах, 1 з них у журналах, що входять до наукометричних баз даних WoS та/або Scopus; участь в конференціях, що організуються IEEE; Міжнародні науково-технічні конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність в XXI столітті» (ІВЕ НАНУ, 5.2023 р.), «Оптимальне керування електроустановками, ОКЕУ-2023» (ВНТУ, 10.2023 р.)

Опубліковані за темою статті в журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus та/або Web of Science Core Collection (WoS)

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії; <u>підкреслити прізвища авторів</u> , які належать до списку виконавців	Наукометр. база даних
1	Daniyar Jarykbassov, Petr Lezhniuk, Iryna Hunko, Vladyslav Lysyi, Lubov Dobrovolska. Macromodeling of local power supply system balance forecasting using fractal properties of load and generation schedules // Informatyka, Automatyka, Pomiarы W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 2023.– №3. – pp. 79–82. https://doi.org/10.35784/iaggos.4457	Scopus

Опубліковані англomовні статті у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються у наукометричній базі Scopus або WoS

№	Повні дані про статті та тези доповідей з веб-адресою електронної версії; <u>підкреслити прізвища авторів</u> , які належать до списку виконавців	Наукометр. база даних
1	Milan Belik and Olena Rubanenko "Digital Twin of PV system for Ukrainian thermal power plant flue gas cleaning unit"2023 IEEE 64th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON) RTUCON 2023	Scopus прийнято до публікації

Опубліковані статті у журналах, що входять до переліку фахових видань України

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії, або вихідні дані про охоронні документи; <u>підкреслити прізвища авторів</u> , які належать до списку виконавців
1	Лежнюк П.Д., Комар В.О., Гунько І.О., Повсянко К.О. Гарантійне походження електроенергії в локальній електроенергетичній системі з відновлюваними джерелами енергії // Енергетика: економіка, технології, екології. – Прийнято
2	Лежнюк П.Д., Гунько І. О. Самовідновлення електропостачання в інтелектуальній локальній електроенергетичній системі на основі відновлюваних джерел енергії // Відновлювана енергетика. – 2023. – №4. – Прийнято

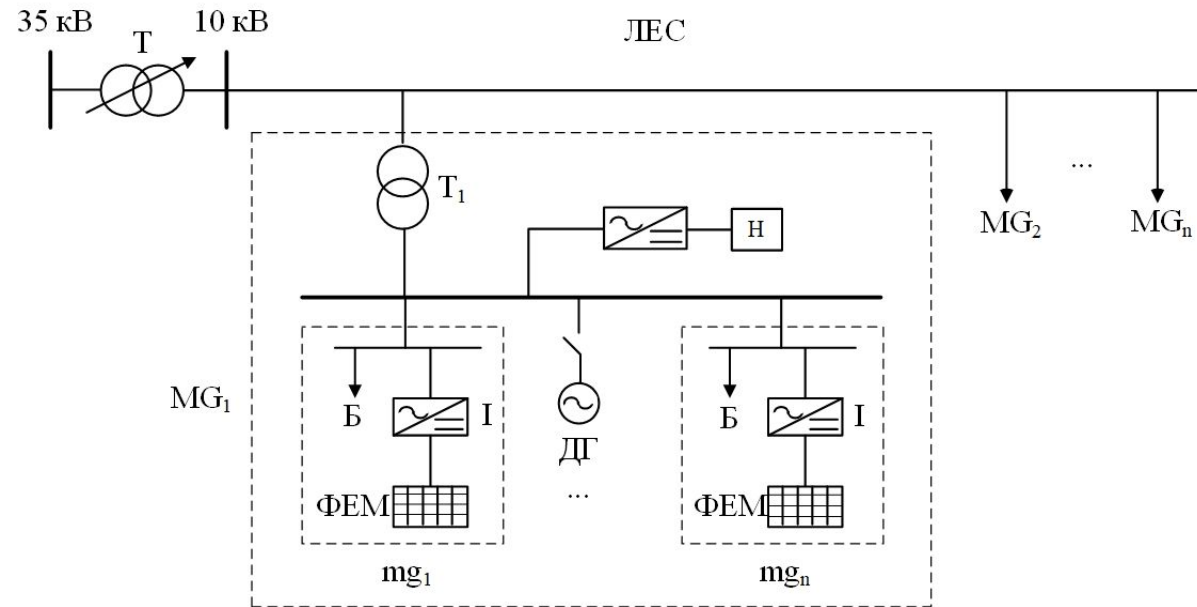
Опубліковано монографії

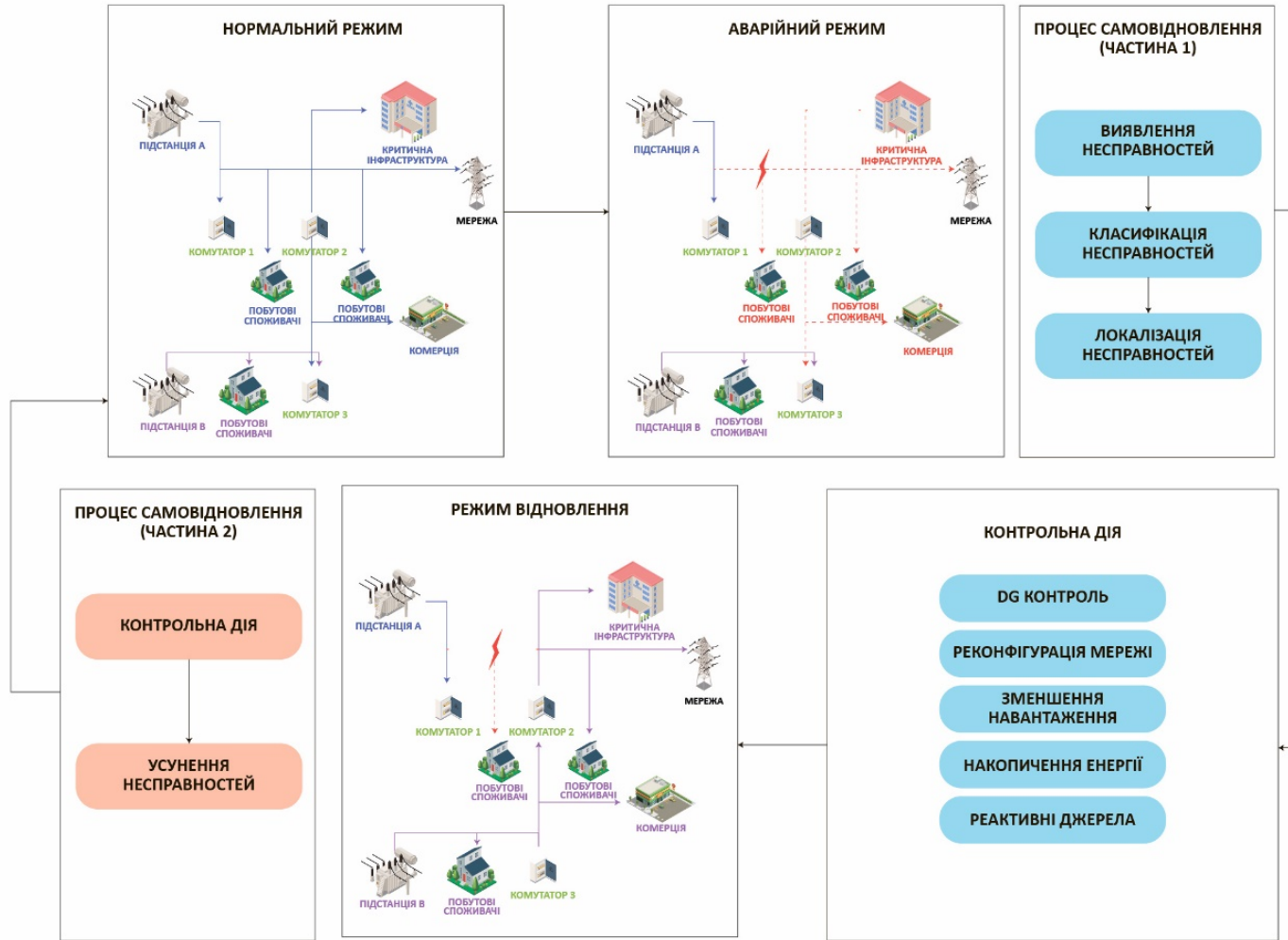
№	Повні дані про монографії; підкреслити прізвища авторів, які належать до списку виконавців
1	С. Кудря, П. Лежнюк, О. Рубаненко, І. Гунько, О. Дяченко. Локальні електроенергетичні системи на основі відновлюваних джерел енергії. – Стаття прийнята до колективної монографії з індексацією в Scopus від Інституту загальної енергетики НАН України.
2	Вітроенергетика / За заг. ред. С. О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2023. – 230 с. Розділ 7. Кудря С.О., <u>Лежнюк П.Д., Рубаненко О.О.</u> Характеристика водневих технологій для сумісного використання з вітроелектростанціями. С. 86–116.

Участь в конференціях

1. XXIII Міжнародна НПК «Відновлювана енергетика та енегоефективність у XXI столітті», Київ, травень 2023 р.
2. 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), 2023, Kremenchuk, Ukraine.
3. 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology, Kharkiv, Ukraine, 3–7.10.2023.
4. XVI Міжнародна НПК «Контроль і управління в складних системах, КУСС-2023», Вінниця, ВНТУ, 15–17.11.2023 р.

Основні науково-практичні результати





————— ПЕРЕТОКИ ПОТУЖНОСТІ З ПІДСТАНЦІЇ А
 ————— ПЕРЕТОКИ ПОТУЖНОСТІ З ПІДСТАНЦІЇ В
 - - - - - ВИМКНЕННЯ

Класифікації керуючих дій самовідновлення, цільові функції самовідновлення та алгоритми оптимізації, які використовуються для самовідновлення .

