

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-357-101>

УДК 338.25(477)

НІКІТІН ЄВГЕНІЙ

Інститут газу НАН України

<https://orcid.org/0000-0002-0173-6461>

e-mail: nikitin_ee@ukr.net

ШПАК ОЛЕКСАНДР

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-0379-9666>

e-mail: ol_shpak@ukr.net

МАЛЯРЕНКО ОЛЕНА

Інститут загальної енергетики НАН України

<https://orcid.org/0000-0001-5882-916X>

e-mail: malyarenlena@gmail.com

ЄВТУХОВА ТЕТЯНА

Інститут загальної енергетики НАН України

<https://orcid.org/0009-0000-9687-4631>

e-mail: tatyana.eutykhova@gmail.com

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ РЕГІОНАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ: ВІД МЕТОДОЛОГІЇ ДО ПРАКТИКИ

У роботі досліджуються науково-методологічні та прикладні основи розробки і реалізації регіональних енергетичних планів (РЕП) як ключового інструменту декарбонізації та енергетичної трансформації. Сформульовано науково-прикладні проблеми, що пов'язані з інтеграцією складових регіональної енергетичної системи, відсутністю єдиної системи регіонального енергетичного менеджменту, недостатньою координацією між секторами енергопостачання та потребою уніфікованих інструментів оцінки соціально-економічного ефекту. Запропоновано методологічні основи розробки РЕП. Основними концептуальними положеннями розробки РЕП є цілісний підхід до окремих секторів енергетичного планування, максимальне врахування регіональних особливостей, залучення до розробки плану всіх зацікавлених сторін, створення та забезпечення умов стабільного функціонування регіональної системи енергетичного менеджменту. Запропоновано організаційну структуру регіональної системи енергетичного менеджменту у складі регіонального енергетичного менеджера, енергетичних менеджерів місцевих громад, енергетичних менеджерів регіональної електроенергетичної та газотранспортної мережі, представників обласної державної адміністрації, енергетичного нагляду та фахових громадських організацій. На прикладі Хмельницької області України проаналізовано регіональні особливості енергетичної генерації та енергоспоживання, визначено сильні та слабкі сторони, можливості й складнощі впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Практичні результати дослідження представлені у вигляді проектів з підвищення енергоефективності об'єктів регіонального підпорядкування, використання скидної теплоти атомних електростанцій для теплозабезпечення, створення університетських мікроенергосистем (мікрогрід), впровадження біопаливних технологій та сонячних електростанцій. Обґрунтовано їх техніко-економічну ефективність і можливість масштабування на інші регіони України. Запропоновані підходи та результати можуть слугувати основою для формування регіональних стратегій сталого розвитку, підвищення інвестиційної привабливості та досягнення національних цілей декарбонізації.

Ключові слова: декарбонізація, регіональні енергетичні плани, енергетичний менеджмент, відновлювані джерела енергії, мікрогрід, енергетична ефективність.

NIKITIN YEVGENII

The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine

SHPAK OLEKSANDR

Khmelnytskyi National University

MALIARENKO OLENA, YEVTUKHOVA TETIANA

General Energy Institute of NAS of Ukraine

A SYSTEMIC APPROACH TO DECARBONIZATION OF REGIONAL ENERGY: FROM METHODOLOGY TO PRACTICE

The paper explores the scientific, methodological and applied foundations of the development and implementation of regional energy plans (REP) as a key tool for decarbonization and energy transformation of Ukraine. Using the example of Khmelnytskyi region, regional features of energy consumption are analyzed, strengths and weaknesses, opportunities and difficulties in the implementation of renewable energy sources (RES) are identified. Scientific and applied problems related to the integration of RES, the lack of a unified system of regional energy management, insufficient coordination between energy supply sectors and the need for unified tools for assessing the socio-economic effect are formulated. Methodological foundations for the development of REP are proposed. The main conceptual provisions of the development of a regional energy plan are a holistic approach to individual sectors of energy planning, maximum consideration of regional characteristics, involvement of all stakeholders in the development of the plan, creation and provision of conditions for the stable functioning of the regional energy management system. The practical results of the research are presented in the form of projects to improve the energy efficiency of regional facilities, use of waste heat from nuclear power plants for heat supply, creation of university micro-energy systems (microgrids), introduction of biofuel technologies and solar power plants. Their technical and economic efficiency and the possibility of scaling to other regions of Ukraine are substantiated. The proposed approaches and results can serve as the basis for the formation of regional strategies for sustainable development, increasing investment attractiveness and achieving national decarbonization goals.

Keywords: decarbonization, regional energy plans, energy management, renewable energy sources, microgrid, energy efficiency.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Країни ЄС мають амбітні плани декарбонізації. Відповідно [1] країни ЄС повинні бути кліматично нейтральними до 2050 року. Європейська директива [2] передбачає збільшити частку ВДЕ до 42,5% до 2030 р. Європейський закон [3] юридично закріплює обов'язки ЄС досягнути нульових викидів до 2050 р.

Загальний підхід щодо розробки регіональних енергетичних планів, які є інструментом декарбонізації, викладено в дослідженні [4]. У багатьох дослідженнях визначається важлива роль регіонального аспекту декарбонізації. Стратегії декарбонізації критично залежать від інтеграції відновлюваних джерел енергії в регіоні та їхнього суспільного визнання, проте їхня роль все ще вимагає уточнення [5]. У статті [6] представлена попередня оцінка характеру та ступеня фінансового впливу глибокої декарбонізації електроенергетичного сектора Індії, на прикладі кількох регіонів із відносно низькими запасами сонячної та вітрової енергії. Результати дослідження [7] показують, що в Італії фотоелектричні технології у поєднанні з акумуляторами, а також морська та офшорна вітроенергетика, біопаливо та відходи. Гідроакумуляуючі установки та гідроелектростанції є технологіями «обов'язкового використання» при розробці планів декарбонізації. У дослідженні [8] для двох регіонів Японії з різними характеристиками та проблемами регіонального характеру вивчалися стійкі шляхи декарбонізації. Декарбонізація енергосистем призвела до фундаментальної зміни їхньої топології, оскільки виробництво енергії переміщується в регіони зі сприятливими умовами для відновлюваних джерел енергії [9]. Глобальні стратегії боротьби зі зміною клімату повинні реалізовуватись за допомогою дій на місцевому рівні. Проте складність та взаємозв'язок глобальних проблем важко інтерпретувати на місцевому рівні. Це потребує розширення співробітництва та координації, а також загального розуміння взаємопов'язаного характеру існуючих енергетичних систем [10].

Таким чином врахування регіональних особливостей є загально прийнятим концептуальним положенням декарбонізації що однак вимагає розширення співробітництва та координації на національному та міжнародному рівні.

Аналіз досліджень та публікацій

Україна має національні плани декарбонізації. Документ [11] передбачає збільшення частки енергії з ВДЕ в системах централізованого тепло- та холодопостачання до 33% до 2030 року. Планується, що річне виробництво електричної енергії з відновлюваних джерел енергії збільшиться до 44 тис. ГВт*год у 2030 році (у 2021 рік було вироблено 158 тис. ГВт*год). Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року [12] передбачає досягнення 27% частки відновлюваних джерел енергії у загальному кінцевому енергоспоживанні. Закон України [13] передбачає обов'язкову звітність для підприємств, стандарти верифікації, підготовку до створення системи торгівлі викидами.

Рівень декарбонізації значною мірою залежить від регіональних особливостей які відображаються у стратегії розвитку регіону [14] та регіональному енергетичному плані (РЕП) [15]. Регіональний рівень – це ланка взаємозв'язку між національним та місцевим рівнями.

Особливістю енергетичного планування регіонального рівня є наявність об'єктів та систем різного адміністративного підпорядкування та форм власності які не пов'язані між собою єдиною системою оперативного управління та стратегічного планування, але повинні бути пов'язані єдиною стратегією розвитку регіону та декарбонізації. Таким чином розробка регіональних енергетичних планів є важливим інструментом декарбонізації та регіонального енергетичного планування. Розробка РЕП пов'язано ні тільки з розробкою проектів декарбонізації, но і з необхідністю створення системи взаємодії зацікавлених сторін різних форм власності та адміністративного підпорядкування у рамках регіону.

У цьому дослідженні розглядаються регіональні особливості декарбонізації скрізь призму регіонального енергетичного плану. Основними методичними положеннями розробки регіональних енергетичних планів та декарбонізації є:

- енергетичне планування розглядається як важлива складова стратегії розвитку регіону;
- основним інструментом взаємодії зацікавлених сторін при розробці РЕП та планів декарбонізації повинна бути регіональна система енергетичного менеджменту;
- інформаційною платформою для розробки РЕП та планів декарбонізації є регіональна енергетична статистика, документи загального регіонального стратегічного планування, муніципальні енергетичні плани та опитувальні листи для певних секторів енергетичного планування;
- регіональні енергетичні плани повинні включати до себе проекти регіонального масштабу, проекти для об'єктів регіонального підпорядкування та пілотні проекти муніципального рівня, які актуальні для регіону у цілому.

Це дослідження виконано на основі прикладів для України яка включає більше двадцяти регіонів, які мають суттєві географічні та природно-географічні особливості, потужні обласні електроенергетичні та газорозподільчі системи, централізовані системи тепло- водопостачання та

водовідведення, розвинуте сільське господарство, промисловість та міську інфраструктуру. Наведені приклади для Хмельницької області, де на практиці застосовано сформульовані методичні положення.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є удосконалення методології регіонального енергетичного планування як інструменту декарбонізації регіональної енергетичної системи та практичне застосування цього інструменту на прикладі одного з регіонів України, а саме Хмельницької області.

Виклад основного матеріалу

Регіональні енергетичні плани розробляються в Україні у рамках реалізації Закону «Про енергетичну ефективність» [16]. Національна методологія розробки регіональних та місцевих енергетичних планів викладена у нормативно-методичному документі [15]. У якості основного інструменту розробки та запровадження регіонального енергетичного плану розглядається регіональна система енергетичного менеджменту, яка створюється відповідно нормативного документу [17]. Для розробки РЕП відповідно розпорядження обласної державної адміністрації створюється робоча група, в яку входять представники всіх зацікавлених сторін. Джерелами вихідної інформації для розробки РЕП є наявні документи стратегічного регіонального планування, регіональна енергетична статистика, опитувальні листи для різних секторів енергетичного планування, муніципальні енергетичні плани органів місцевого самоврядування.

Важливою складовою методичного підходу розробки РЕП є визначення секторів регіонального планування. Сектори, органи та об'єкти регіонального планування, а також взаємозв'язок секторів на прикладі Хмельницької області України представлено на рис.1 та в таблиці 1.

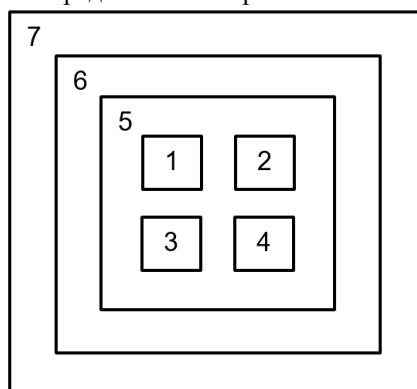


Рис. 1. Структура секторів енергетичного планування

Таблиця 1

Сектори, органи та об'єкти регіонального планування

Сектори планування	Орган планування	Об'єкти енергетичного планування
Об'єкти регіонального підпорядкування	Обласна державна адміністрація (ОДА)	Об'єкти освіти та науки, охорони здоров'я, соціальні заклади, інші. Невелика частка енергоспоживання, але безпосередньо фінансуються з обласного бюджету. Велике значення, як демонстраційних проєктів
Об'єкти муніципальної власності	Органи місцевого самоврядування (ОМС)	Централізоване теплопостачання (ЦТ), центральне водопостачання та водовідведення (ЦВВ), системи управління твердими побутовими відходами (ТПВ), вуличне освітлення, транспорт, житлові будівлі, будівлі, що належать ОМС – є об'єктами планування при розробці муніципального енергетичного плану (МЕП). На регіональному рівні здійснюється моніторинг МЕП з точки зору досягнення регіональних та національних цілей.
Об'єкти державної власності на території області	Відповідні органи державної влади	Будівлі, навчальні та наукові заклади, джерела електричної енергії національного рівня, інші об'єкти державної власності на території області
Об'єкти приватної власності	Уповноважені власників	Підприємства можуть бути джерелом скидної теплової енергії та горючих відходів, майданчиком для розміщення когенераційних установок (КГУ), ВДЕ, об'єктами проведення енергетичних аудитів
Регіональна газорозподільча мережа (РГМ)	Хмельницька філія ТОВ «Газорозподільні мережі України»,	Об'єктами газорозподільної мережі (ГРМ) є магістральні та розподільчі газові мережі, які забезпечують газовим паливом всі сектори життєзабезпечення та діяльності регіону.

Сектори планування	Орган планування	Об'єкти енергетичного планування
	ПрАТ «Шепетівкагаз»	Планування здійснюється у рамках галузевої інвестиційної програми. В перспективі планується, що ГРМ може бути використана для транспортування біометану, виробленого з відходів сільського господарства
Регіональна електро-енергетична мережа (РЕМ)	АТ «Хмельницьк-обленерго»	Об'єктами РЕМ є електричні мережі та потужні джерела електрозабезпечення для всіх секторів життєзабезпечення та діяльності регіону. Планування здійснюється у рамках галузевої інвестиційної програми
Сфера декарбонізації енергетики регіону	Відсутній єдиний орган планування. Окремі об'єкти належать різним органам планування	Сонячні електричні станції (СЕС), вітрові електричні станції (ВЕС), гідравлічні електричні станції (ГЕС), теплові насоси (ТН), регіональний потенціал біопалива, енергетичні плантації, скидний енергетичний потенціал.

Сектори регіональної, муніципальної, державної та приватної власності (1,2,3,4) з технічної точки зору та точки зору оперативного управління та стратегічного планування є взаємозалежні. Сектор газопостачання (5) з технічної точки зору та з точки зору оперативного управління охоплює практично всі сектори (1-4). Сектор електропостачання (6) охоплює сектори 1-4 та сектор 5 і є найбільш всеохоплюючої регіональною системою. Сфера декарбонізації регіону (7) повинна охоплювати всі вищезгадані сектори, але не має певного органу планування, що негативно впливає на її функціонування, розвиток та взаємозв'язок з іншими секторами планування. Сфера декарбонізації накладається на всі вищезгадані сектори і з технічної точки зору впливає на режими їх експлуатації. Так впровадження СЕС безпосередньо впливає на функціонування РЕМ, виробництво і транспортування біометану впливає на функціонування ГРМ, наявність потужних атомних електростанцій (АЕС), теплових електростанцій (ТЕС) та теплоелектроцентралей (ТЕЦ) впливає на регіональний потенціал скидної теплової енергії. Існують певні ще не вирішені питання збільшення частки декарбонізації та забезпечення якості управління існуючими енергетичними системами. Зі зростанням частки декарбонізованої енергії, ці протиріччя будуть проявлятися у більш критичній формі. Тому актуальність створення регіонального органу планування сфери декарбонізації з часом буде зростати.

Важливою складовою регіональних планів декарбонізації є визначення та врахування різноманітних регіональних особливостей, загальна структура яких представлена у таблиці 2.

Таблиця 2

Регіональні особливості декарбонізації

Географічні та природно-кліматичні	Інфраструктурні	Адміністративні та соціальні
Потенціал сонячної енергії Потенціал вітрової енергії Потенціал гідроенергії Потенціал біопалива Наявність природних водойм Наявність геотермальної енергії Наявність вільних земельних ділянок для розміщення сонячних елементів Наявність придатних ділянок для енергетичних плантацій	Наявність розгалужених електричних мереж Наявність розгалужених мереж природного газу Розвиток систем централізованого теплопостачання Розвиток систем централізованого водопостачання та водовідведення Наявність потужних джерел електричної енергії (АЕС, ТЕС, ТЕЦ) Галузі промисловості Галузі сільського господарства	Крос-граничний потенціал взаємодії Активність бізнес-середовища Наявність енергетичних кооперативів у місцевих громадах Наявність зацікавлених структур

Розробка та реалізація регіональних енергетичних планів потребує використання загального наукового підґрунтя, який включає системний аналіз, багатокритеріальну оптимізацію та моделювання на основі інтеграції енергетичних, економічних і соціальних факторів.

Системно-енергетичний підхід розглядає РЕП як ланцюжок багаторівневої системи (національний → регіональний → муніципальний → об'єктовий рівні), що дозволяє застосовувати методи аналізу складних систем. Сценарний аналіз розглядає моделювання різних траєкторій розвитку (базової, консервативної, оптимістичної) з урахуванням цінових, технологічних та політичних чинників. Балансово-ресурсний підхід – побудову регіональних енергобалансів та використання матричних методів (Input-Output аналіз із екологічним розширенням), а мультиагентне моделювання – відображення дій і взаємодії ключових учасників: органів влади, бізнесу, домогосподарств, інвесторів.

Корисне застосування багатокритеріальної оптимізації за екологічними, економічними і соціальними цілями при виборі проєктів та стратегій.

Більш детально регіональні особливості розглядаються на прикладі Хмельницької області.

Результати дослідження. Результатами цього дослідження є аналіз регіональної енергетичної статистики та регіональних особливостей декарбонізації, розробка регіональних інструментів активізації процесів декарбонізації та приклади проєктів декарбонізації для Хмельницької області.

Регіональна енергетична статистика. Аналіз регіональної енергетичної статистики надає змогу виявити особливості певного регіону порівняно з іншими регіонами, відслідковувати тенденції певних змін та обґрунтувати пріоритетні напрями енергетичного розвитку регіону та декарбонізації. Згідно з статистичною звітністю [18], найбільшими споживачами органічного палива серед регіонів України станом на 2020 р. були Дніпропетровська обл. (18,35% від споживання палива по країні), Донецька обл. (18,11%), Запорізька обл. (9,35%). Хмельницька обл. спожила 1,55% органічного палива (1555, 8 тис. т у.п.), в основному це – природний газ (725,8 тис. т у.п.) – 46,7% від регіонального паливоспоживання, газойлі (231,1 тис. т у.п.) – 14,9%, бензин моторний (68,1 тис. т у.п.) – 4,4%, пропан і бутан скраплені (64,7 тис. т у.п.) – 4,2% та дрова (52,9 тис. т у.п.) – 3,4%. Використання палива за окремими видами економічної діяльності (ВЕД) по Хмельницькій області у 2020 році дозволяє зосередити зусилля на розробленні заходів з підвищення енергоефективності у тих секціях економіки, де споживання є більшим (табл. 3).

Таблиця 3.

Використання палива за окремими видами економічної діяльності в Хмельницькій області за 2020 рік [19]

Види палива	Використано*	Частка використання за окремими ВЕД, %					
		Сільське, лісове та рибне господарство	Промисловість	Будівництво	Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	Підприємства та організації інших ВЕД	Разом за ВЕД
Усього, тис. т у.п.	1555,8	8,0	48,7	1,3	3,4	3,1	64,5
Вугілля, тис. т	к**	-	к	к	к	к	к
Газ природний, млн м ³	615,1	2,4	41,9	к	к	2,5	46,8
Бензин моторний, тис. т	45,7	7,1	4,9	1,6	0,9	7,3	21,8
Газойлі (пальне дизельне), тис. т	159,4	40,2	11,8	5,8	16,0	4,2	78,0
Мазути паливні важкі, тис. т	3,0	-	90,6	к	к	-	90,6
Пропан і бутан скраплені, тис. т	41,2	4,8	4,9	0,5	0,9	2,1	13,2
Оливи та мастила нафтові; дистильати нафтові важкі, тис. т	2,8	38,4	43,8	2,5	13,8	0,9	99,4
Дрова для опалення, тис. м ³ щільн.	147,0	11,7	17,0	0,8	1,4	17,9	48,8
Паливні брикети та гранули з деревини та ін. природної сировини, тис. т	7,3	к	75,0	к	-	13,7	88,7

* Дані підприємств, організацій та установ про використання палива на виробничо-експлуатаційні та комунально-побутові потреби, з урахуванням обсягів, реалізованих населенню та роздрібного продажу через автозаправні станції.

** Дані є конфіденційні згідно з Законом України «Про державну статистику» щодо конфіденційності.

Зі спожитого палива – всього за видами економічної діяльності (ВЕД) використано 64,5%, решта спожита населенням на власні потреби. По газу за ВЕД спожито 46,8%, решта – споживання населенням. Обсяг використаного в секціях економіки бензину моторного складає лише 21,8%, решта – споживання населенням. Дизельне пальне, навпаки, 78% спожито секціями економіки, решта населення. Так само бачимо невеликий процент використання пропану і бутану в секціях економіки, і значну частку використання мазутів, олив і паливних гранул у секціях економіки. Дрова використовуються практично напів підприємствами та населенням. Щодо споживання олив та мастильних матеріалів, треба зауважити, що вони мають переважно неенергетичне використання, тому в енергетичному балансі не враховуються (лише та частка відпрацьованих олив, яку спалюють як паливо).

Статистична звітність «Потужність і відпуск енергії за джерелами постачання енергії в Хмельницькій області за 2020 рік» [19] містить дані по установленій електричній і тепловій потужності різних типів генерувальних джерел та обсяги відпуску електричної та теплової енергії усього по області та від перелічених джерел генерації. При цьому інформація по джерелах «Теплові електростанції» та «Атомна електростанція» є конфіденційною. З приведених даних, загальна установлена електрична потужність складає 2385 тис. кВт. З них 49 тис. кВт припадає на ТЕЦ (2,05%), 308 тис. кВт – сонячні електростанції (12,91%), 8 тис. кВт – гідроелектростанції (0,33%), 3 тис. кВт – інші енергогенерувальні установки (0,13%). Відновлювана енергетика у сумі складає 13,38% (319 тис. кВт). За даними відкритих інформаційних джерел [20] генерувальна потужність ХАЕС - 2000 МВт (83,86% від установленої потужності); ТЕЦ, СЕС, ГЕС, інші установки разом – 368 тис. кВт (15,43%), а теплові електростанції, відповідно, – 17 тис. кВт (0,71%). Тобто структура електрогенерації наступна: 83,86% – атомна електростанція, 2,76% – тепла генерація (0,71% – ТЕС та 2,05% ТЕЦ), 13,38% – ВДЕ. Відпуск електроенергії в Хмельницькій області за 2020 рік склав 10899 млн кВт·год. Сумарний відпуск від ТЕЦ, СЕС та ГЕС склав 403 млн кВт·год, при цьому з ВДЕ (СЕС + ГЕС) – відпущено 335 млн кВт·год. Зрозуміло, що найбільшим виробником електроенергії в області є АЕС.

Установлена тепла потужність в Хмельницькій області складає 2667 Гкал/год. Найбільшу частку серед теплогенерувальних потужностей мають котельні – 1875 Гкал/год (70,3% від установленої теплової потужності регіону), ТЕЦ – 340 Гкал/год (12,7%), решта генерувальних установок – 452 Гкал/год (17,0%). Відпуск теплової енергії в Хмельницькій області за 2020 рік склав 1949 тис. Гкал, з яких 247 тис. Гкал відпущено ТЕЦ (12,67%), 1416 тис. Гкал – від котельних (72,65%). Решта – 286 тис. Гкал (14,67%) відпущено від ТЕС, АЕС та інших теплогенерувальних джерел.

У [19] приведено обсяги використання електроенергії за період 2016 – 2020 рр. по області у цілому та основних ВЕД. Динаміку зміни цих обсягів по найбільших споживачах ілюструє рис. 2, з якого видно, що у 2019 р. (початок ковіду) спостерігається провал у споживанні електроенергії по області в цілому, промисловості разом, секторі «Постачання електроенергії та ін.» при практично незмінних тенденціях споживання у «Переробній промисловості», «Державному управлінні» та «Сільському господарстві». Цей період характеризувався перенесенням робочих місць у місця проживання населення, де це було можливо (фінансові, інформаційні, адміністративні та інші види послуг), скорочення споживання у добувній промисловості, торгівлі. Найбільшими споживачами електроенергії в Хмельницькій області є сектор «Промисловість-разом» та його складові: «Переробна промисловість» та «Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря». Відповідно саме у цих секціях економіки необхідно розглядати заходи з енергозбереження.

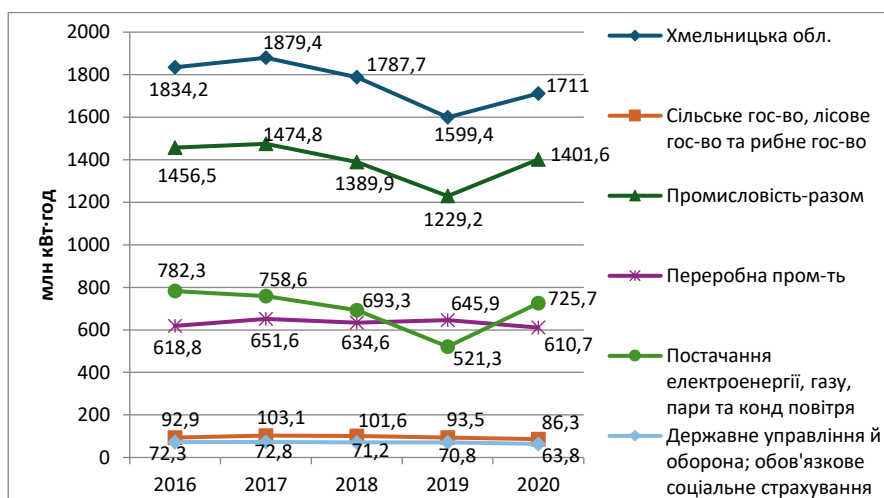


Рис. 2. Динаміка зміни обсягів використання електроенергії за найбільшими споживачами у Хмельницькій області за 2016 – 2020 рр.

У статистичній звітності [19] також представлено обсяги споживання теплової енергії в Хмельницькій області за видами економічної діяльності за період 2016 – 2020 років. Тенденції зміни використання теплової енергії за найбільшими споживачами продемонстровано на рис. 3.

З нього видно, що найбільшими споживачами теплової енергії у Хмельницькій області є «Промисловість-разом», у т.ч. «Переробна промисловість» як його найбільша складова та секція за ВЕД «Державне управління й оборона; обов'язкове соціальне страхування». Саме «Переробна промисловість» та «Державне управління й оборона» є тими видами економічної діяльності, в яких потребується розгляд заходів з теплоенергозбереження. Треба додати, що використання теплової енергії у секторі «Промисловість-разом» та секції «Переробна промисловість» зросло у 2020 р. порівняно із 2016, але знизилось порівняно із 2017 – 2019 роках. Тенденція зниження може бути пов'язана як зі зменшенням обсягів виробництва, так і з підвищенням ефективності енерговикористання.



Рис. 3. Тенденції зміни використання теплової енергії у Хмельницькій області за ВЕД у 2016 – 2020 рр.

Використання теплової енергії по найбільших містах Хмельницької області, за даними [19] показує, що найбільше споживання теплової енергії серед міст області має м. Хмельницький. Другим за обсягами є м. Нетішин.

У [19] наведено динаміку виробництва електроенергії у Хмельницькій області за 2015 – 2020 рр. (табл. 4).

Таблиця 4

Виробництво електроенергії в Хмельницькій області, млн кВт·год /% від виробленої

всього

Джерела виробництва	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Електроенергія, вироблена всього, у т.ч.	13552,4 100%	15066,5 100%	13504,5 100%	12769,7 100%	7949,9 100%	к
ТЕС	78,5 0,6%	84,5 0,6%	88,5 0,7%	117,2 0,9%	147,5 1,8%	178,3
АЕС	13454,1 99,3%	14961,6 99,3%	13382,4 99,1%	12595,0 98,7%	к	к
ГЕС	17,5 0,1%	14,6 0,1%	16,0 0,1%	18,3 0,1%	к	14,3
СЕС	2,3 0%	5,8 0%	17,6 0,1%	39,2 0,3%	215,1 2,7%	296,2

Згідно з даними табл. 4 структура виробництва електроенергії у Хмельницькій області показує, що лівова частка електроенергії виробляється атомною електростанцією. Є незначне зростання у виробництві тепловими та сонячними електростанціями, особливо у 2019 – 2020 рр. Порівняння даних по виробництву електроенергії (табл. 4) та її використанню (рис. 2) показує, що із кількості виробленої електроенергії у самому регіоні споживається 12 – 20%, тобто Хмельницька область є експортером електроенергії (самодостатня в енергетичному забезпеченні).

Регіональні особливості декарбонізації

Регіональні енергетичні особливості, включно з особливостями декарбонізації на прикладі Хмельницької області відображені у форматі SWOT-аналізу (табл. 5).

Таблиця 5

SWOT-аналіз регіональних енергетичних особливостей Хмельницької обл.

Сильні сторони	Слабкі сторони
- Наявність АЕС, яка задовольняє потреби в електричній енергії не тільки області, але й країни, а також експорту електричної енергії. - Велика кількість скидної теплової енергії від АЕС. - Наявність потужного комплексу ЦТ в населених пунктах області. - ЦТ Хмельницької області – лідер по встановленій потужності малих КГУ. - Область має великий досвід впровадження та експлуатації малої когенерації. - Наявність розвинутого с/г сектору, відходів цієї галузі та великий потенціал виробництва біогазу, біометану та іншого палива з біологічних відходів. - Швидке зростання встановленої потужності СЕС на території області.	- Відсутність системи використання скидної теплової енергії АЕС. - Наявні системи ЦТ фізично та морально застарілі. Низька частка ВДЕ. Домінування природного газу. - Відсутність регіональної системи енергетичного менеджменту. - Системи тепло- водопостачання населених пунктів знаходяться у власності ОМС. У власності обласної громади знаходиться відносно невелика кількість енергоспоживальних об'єктів, переважно будівель, що звужує сферу планування ОДЕ. - Відсутність інструментів впливу обласної державної адміністрації на енергетичну, газорозподільну мережу, муніципальні та приватні ВДЕ. - Відсутність системи управління ТПВ в регіоні. Велика кількість несанкціонованих звалищ. Принцип «Відходи в енергію» не реалізовано.
Можливості	Загрози
- Великий потенціал впровадження КГУ в системах ЦТ для заміщення застарілих газових котлів. - Використання скидної теплової енергії від АЕС для теплозабезпечення міста Славути. - Перспектива створення потужніших об'єктів агропромислового комплексу (АПК) з тепличними господарствами з використанням скидної теплової енергії АЕС у районі майбутньої теплової мережі ХАЕС – Славути. - Синергетичне розв'язання проблеми ТПВ області з використанням концепції «відходи в енергію».	- Зростання частки мінливої електричної генерації від СЕС та малих КГУ у загальному обсязі регіональної електричної генерації, включно базову генерацію від ХАЕС. - Складності забезпечення економічно обґрунтованих режимів функціонування СЕС та КГУ в умовах відсутності координації на регіональному рівні. - Складності організації скоординованих дій в реалізації цілісного підходу до трансформації регіональної енергетичної системи. - Недостатньо активна позиція ОДА, ОМС до розробки МЕП, РЕП, що ставить під загрозу перспективи їх реалізації. - Недостатність фінансових ресурсів для реалізації заходів МЕП та РЕП.

Виконаний SWOT аналіз є основою для розробки проєктів декарбонізації, які розглянуто нижче.

Створення регіональної системи енергетичного менеджменту

Створення регіональної системи енергетичного менеджменту (РСЕМ) є одним з ключових умов розробки, реалізації регіонального енергетичного плану та декарбонізації. Розробка та впровадження РСЕМ здійснюється відповідно до рекомендацій [21], які визначають порядок запровадження та забезпечення функціонування систем енергетичного менеджменту органів державної влади, підприємств, установ та організацій, що належать до сфери їх управління. РЕП охоплює різні сектори енергетичного планування, що накладає відповідні вимоги до структури РСЕМ. Запропонована структура РСЕМ представлена на рис. 4.

На рис. 4 позначення ЕМ – енергетичний менеджер, ГО Хм ЕК – громадська організація «Хмельницький енергетичний кластер», Хм ОДА – Хмельницька обласна державна адміністрація, РГ РЕП – робоча група з розробки та реалізації регіонального енергетичного плану.

Відповідальним органом за створення та забезпечення стабільного функціонування РСЕМ є ОДА Хмельницької області. Складові організаційної структури РСЕМ та їх функціональне призначення відображено в табл. 6.

Таблиця 6

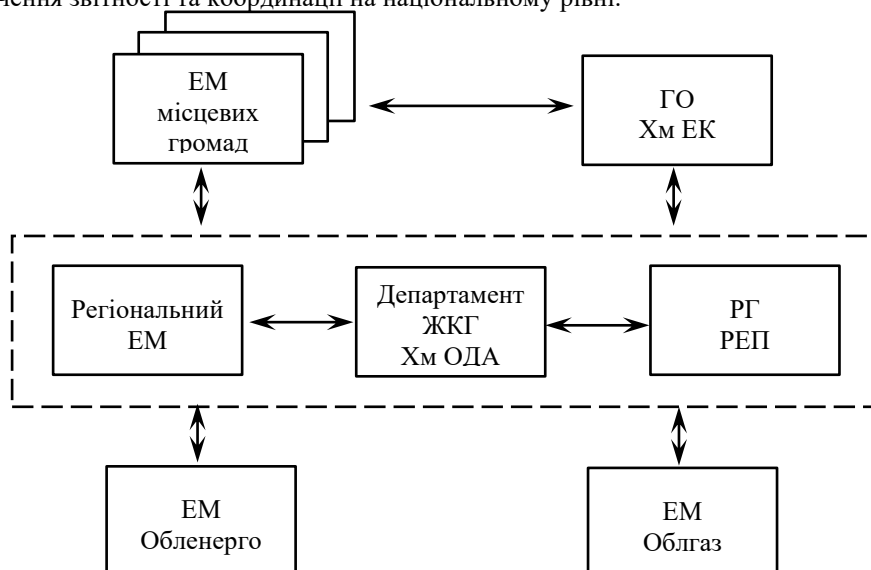
Організаційна структура та функціональне призначення РСЕМ

Складова організаційної структури	Функціональне призначення
Департамент ЖКГ Хм ОДА	Структурний підрозділ ОДА, який відповідає за регіональну систему енергетичного менеджменту
Регіональний енергетичний менеджер	Забезпечення умов спільної діяльності енергетичних менеджерів місцевих громад з метою досягнення регіональних енергетичних цілей. Моніторинг процесу розробки, корегування та реалізації

Залучення зацікавлених сторін

Обласна державна адміністрація повинна бути основною зацікавленою стороною. Однак кількість підпорядкованих їй об'єктів охоплює тільки незначну частку об'єктів яку повинна охоплювати РЕП. Переважно це об'єкти освіти, науки, охорони здоров'я, культури, соціальні заклади. Цим об'єктам належить невелика частка регіонального енергоспоживання, але ці об'єкти безпосередньо фінансуються з обласного бюджету, тому мають велике значення як демонстраційні проекти активної політики регіональної енергетичної ефективності та декарбонізації.

Однак є проекти, які мають регіональне значення, а саме: пілотні та демонстраційні проекти, які актуальні для більшості муніципалітетів, кластерні проекти, які охоплюють декілька муніципалітетів або весь регіон, а також комплексні проекти, які включають декілька однотипних або пов'язаних між собою проектів, що об'єднані з метою підвищення інвестиційної привабливості. Крім того, ОДА у рамках РЕП повинна здійснювати моніторинг та координацію всіх муніципальних проектів з метою забезпечення звітності та координації на національному рівні.



Herald of Khmelnytskyi national university, Issue 5, Part 2, 2025 (357)

Потужний вплив на регіональну політику енергетичної ефективності та декарбонізації повинні мати громадські організації. Прикладом такої громадської організації для Хмельницької області є «Хмельницький енергетичний кластер» [21]. Стосовно розробки та впровадження пілотних проєктів провідну роль повині грати навчальні та наукові заклади. Прикладом такої організації для Хмельницької області є Хмельницький національний університет» [22].

На регіональному рівні у сферах електроенергетики, теплопостачання та газопостачання важлива роль належить Державній інспекції з енергетичного нагляду України [23], яка має регіональні відділення у кожній області України, у тому числі Хмельницькій області. Представник Державної інспекції з енергетичного нагляду задіяний у робочій групі при ОДА щодо розробки РЕП.

Приклади регіональних проєктів декарбонізації

Нижче на основні аналізу статистичної звітності, опитувальних листів та SWOT-аналізу запропоновані проєкти з декарбонізації Хмельницької області України.

Комплексний проєкт «Підвищення енергетичної ефективності об'єктів регіонального підпорядкування» охоплює заклади освіти, науки, охорони здоров'я, соціального захисту населення та такі напрями підвищення енергетичної ефективності, як термомодернізація будівель, модернізація котелень, встановлення сонячних електростанцій та когенераційних установок.

Відповідно до пропозицій, отриманих від закладів регіонального підпорядкування, доцільно проведення термомодернізації 68 будівель із загальною опалювальною площею 55,8 тис. м². Відповідно до попередніх розрахунків, необхідні капітальні витрати на проведення термомодернізації цих будівель складають 274 млн грн. Очікуване зниження споживання теплової енергії та, відповідно, бюджетних витрат на ПЕР у результаті термомодернізації складає 45% (6028 МВт·год). Розрахунковий термін окупності програми термомодернізації будівель складає близько 12,4 року. Очікувана річна економія бюджетних коштів складає близько 22 млн грн.

У 8 закладах соціального захисту населення запропоновано заміна газових котлів на біопаливні, що забезпечить заміщення 504 тис.м³ природного газу біопаливом. Капітальні витрати, необхідні для заміни газових котлів на біопаливні, складають 13,8 млн грн (329 тис. \$). Економія бюджетних витрат на паливо складатиме 6 млн грн. Термін окупності капітальних витрат складатиме 2,3 року.

Загальна запланована потужність дахових СЕС складає 2665 кВт. Необхідні капітальні витрати складають 53,2 млн грн. Річне виробництво електричної енергії цими СЕС складає 2,2 млн кВт·год, що складає близько 68% загального річного споживання енергії об'єктів, де планується встановлення СЕС. Встановлення СЕС дозволить скоротити витрати на придбання електричної енергії приблизно на 7,5 млн грн. Орієнтовний термін окупності капітальних витрат на встановлення СЕС складає близько 7 років.

Когенераційні установки (КГУ) встановлюються з метою підвищення надійності електроживлення та ефективності використання природного газу. Умовою ефективного використання КГУ є наявність споживачів не тільки електричної, але й теплової енергії. Саме таким чином здійснювалося визначення об'єктів впровадження КГУ. Загальна запланована встановлена електрична потужність КГУ складає 345 кВт (е), та, відповідно, тепла потужність 480 кВт (т). Капітальні витрати на встановлення КГУ складають близько 22 млн грн. КГУ дозволяють зекономити 10 – 30% первинної енергії у порівнянні з нарізним виробленням теплової та електричної енергії. Термін окупності впровадження КГУ залежно від режимів експлуатації та складає 2 – 5 років. Річний економічний ефект від впровадження 6 КГУ загальної встановленої потужністю 345 кВт(е) можливо оцінити величиною 6,2 млн грн.

Комплексний проєкт «Підвищення енергетичної ефективності об'єктів регіонального підпорядкування» є економічно доцільним. Капітальні витрати на реалізацію проєкту складають 363 млн грн (8,6 млн \$), річна економія коштів обласного бюджету складає 41,7 млн грн (1 млн \$), а термін окупності капітальних витрат – 8,7 років. Реалізація цього проєкту може здійснюватися як комплексно, так і по окремих напрямках. Інвестиційна привабливість проєкту може бути покращена за рахунок поетапної його реалізації, а саме реалізації на першому етапі біопаливних котлів, КГУ та СЕС. Капітальні витрати на реалізацію першого етапу складатимуть 89 млн грн., річна економія коштів обласного бюджету – 19,2 - 41,7 млн грн., а термін окупності капітальних витрат - 4,5 років. Зекономлені кошти обласного бюджету на першому етапі можуть бути спрямовані на реалізацію другого етапу проєкту, що присвячений термомодернізації будівель.

Транспортування скидної теплової енергії від Хмельницької АЕС на великі відстані.

Потенціал скидної теплової енергії Хмельницької атомної електричної станції (ХАЕС) складає близько 1400 МВт, але зараз він не використовується. Тепла вода контуру охолодження конденсаторів турбін з температурою близько 35°C скидається в ставок-охолоджувач, створюючи теплове забруднення довкілля.

Високі ринкові ціни на природний газ, перспектива її зростання та прагнення скоротити теплове забруднення оточуючого середовища створюють передумови для використання скидної теплоти ХАЕС за допомогою теплового насоса та протяжних теплових мереж для теплозабезпечення міста Славута та інших споживачів. Місто Славута розташоване на відстані 16 км від ХАЕС. Централізоване теплозабезпечення міста Славута здійснюється за допомогою 14 газових котелень загальною

встановленою потужністю 41 МВт. Приєднане теплове навантаження на опалення складає 16 МВт, а фактичне середнє теплове навантаження на опалення міста складає 6,6 МВт.

Замість використання теплової енергії від газових котлів у рамках цього проєкту запропоновано будівництво теплової мережі (ТМ) від ставка-охолоджувача ХАЕС до централізованої системи теплопостачання міста Славута для опалення міста скидною тепловою енергією ХАЕС. Для підвищення температури скидної води з температури 35°C до температури опалювальних параметрів запропоновано використання теплового насоса (ТН). Основні техніко-економічні показники проєкту, які визначені за допомогою розробленої математичної моделі, наведені у табл. 7.

Таблиця 7

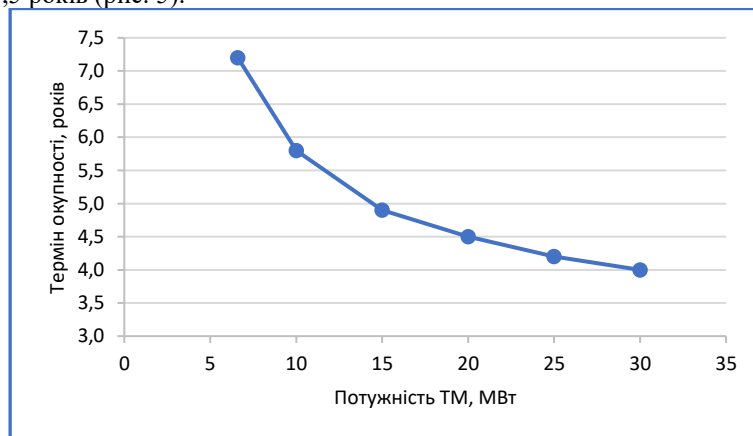
Техніко-економічні показники проєкту використання скидної теплоти від ХАЕС

Назва показника	Значення
Прогнозована ринкова ціна природного газу, грн/м ³	18
Прогнозований тариф на електричну енергію, грн/МВт·год	4000
Потужність теплової мережі (ТМ), МВт (відповідає середній потужності ЦТ міста Славута)	6,6
Протяжність теплової мережі, км	16
Діаметр ТМ, м	0,2
Потужність теплового насоса, МВт	7,2
Прогнозована вартість теплової енергії від газового котла в Теплокомуненерго (ТКЕ) при ринковій ціні газу, грн/МВт·год	4923
Прогнозована вартість теплової енергії від теплового насоса для ТКЕ, грн/МВт·год (на 20% нижче порівняно з газовим котлом)	3938
Розрахункова собівартість теплової енергії від ТН, грн/МВт·год	2038
Необхідні інвестиції для реалізації проєкту, млн грн	346
Термін окупності капітальних витрат для інвестора, років	7,2

Проведені техніко-економічні розрахунки показують, що запропонований проєкт буде інвестиційно привабливим, коли будуть встановлені ринкові ціни на природний газ. Для міста Славута досягається зниження вартості теплової енергії на 20% порівняно з газовими котлами. Для потенційного інвестора капітальні витрати на реалізацію проєкту складають 346 млн грн (8,4 млн \$), а термін окупності проєкту – 7,2 року.

Проведений аналіз показує, що техніко-економічна ефективність запропонованого проєкту може бути суттєво покращена при збільшенні теплової потужності теплової мережі (рис. 5).

Так, якщо потужність ТМ збільшиться з 6,6 до 20 МВт, то термін окупності інвестицій зменшиться з 7,2 до 4,5 років (рис. 5).

**Рис. 5. Залежність терміну окупності проєкту від потужності ТМ**

Збільшення теплової потужності ТМ може бути економічно доцільним при появі додаткових теплових споживачів. Можна зробити висновок, що район ставка-охолоджувача ХАЕС та запланованої теплової мережі ХАЕС – Славута доцільно розглядати як перспективну агропромислову зону, зокрема тепличних господарств, та агропромислових підприємств, які будуть забезпечені дешевою тепловою енергією.

Пілотний проєкт мікрогрід в студентському містечку ХНУ. Хмельницький національний університет (ХНУ) компактно розташований в південно-західному мікрорайоні міста Хмельницького та включає 5 навчальних корпусів, наукову бібліотеку, їдальню, гараж, 5 гуртожитків, спортивний комплекс, котельню, молодіжний центр, стадіон, ботанічний сад. Корпуси та гуртожитки університету під'єднані до різних трансформаторних підстанцій електромереж Хмельницькобленерго. Теплопостачання навчальних корпусів і господарських споруд університету здійснюється від власних газової котельні та теплових мереж. Гуртожитки отримують тепло і гаряче водопостачання (ГВП) від ТКЕ міста Хмельницького.

У 2019 – 2020 рр. на дахах корпусів ХНУ побудовано СЕС загальною потужністю майже 500 кВт, що виробляють електроенергію, яку по «зеленому тарифу» університет продає ДП «Гарантований покупець». У 2024 р. була встановлена КГУ потужністю 140 кВт(е)/ 207 кВт(т). КГУ змонтована поруч із газовою котельнею університету і під'єднана до його теплових мереж, газових мереж - «Хмельницькгаз» і до власних електричних кабельних мереж 0,4 кВ. Для управління електропостачанням ХНУ є диспетчерський пункт СЕС з АСКОЕ. Його планується використовувати також для управління КГУ, дизель-електростанцією (ДЕС) потужністю 100 кВт, а в перспективі – для управління мікрогрід, системи енергомоніторингу та енергоменеджменту. Для цього створено власну мережу ВОЛЗ (оптоволоконного зв'язку).

Таким чином ХНУ має гібридну систему енергозабезпечення, яка включає СЕС, КГУ, власну газову котельню, підключення до електричних, газових та теплових мереж, що забезпечує можливість створення локальної електричної системи (мікрогрід), яка може працювати як підключеною до загальних мереж, так і автономно в режимі «енергетичного острова», який споживає сонячну енергію, виробляє електричну та теплову енергію та гнучко взаємодіє з зовнішніми мережами.

Для забезпечення ефективного функціонування енергетичного острова необхідне дооснащення мікрогрід ХНУ накопичувачами електроенергії з гібридними інверторами, комп'ютерною технікою, програмним забезпеченням та телекомунікаційним обладнанням.

Пропонується такий склад мікрогрід ХНУ:

- дахові СЕС потужністю 263,5 кВт (перша черга проєкту);
- гібридні інвертори СЕС з накопичувачами електроенергії (ННН);
- когенераційна установка (КГУ) потужністю 140 кВт;
- дизельна електростанція (ДЕС) потужністю 100 кВт;
- газова котельня потужністю 3900 кВт;
- власні КЛ-0,4 кВ, ВОЛЗ, комп'ютерна мережа;
- інтелектуальні прилади обліку енергоресурсів;
- інтелектуальні системи збору та обробки інформації (SCADA), управління та енергомоніторингу;

диспетчерський пункт (ДП) управління та моніторингу мікрогрід ХНУ.

При створенні мікрогрід ХНУ застосовані такі основні принципи:

- максимальне доведення джерел енергії, які об'єднуються в мікрогрід, до здатності самосинхронізації з мікрогрід в острівному режимі при відключенні централізованого електропостачання;

- збалансованість альтернативних джерел енергії (СЕС) завдяки використанню накопичувачів електроенергії (ННН) з гібридними інверторами;

- при об'єднанні таких джерел енергії зі споживачами, електромережою, лініями (каналами) зв'язку для управління, моніторингу та обліку електроенергії, мікрогрід легко балансується, завдяки маневровій генерації та ННН з гібридними інверторами, самосинхронізується, забезпечує стабільність роботи за умов несиметричного навантаження.

Створення мікрогрід ХНУ дозволить отримати такі результати:

- забезпечення енергонезалежності університету шляхом створення автономних систем електро- та теплопостачання, та інтеграції їх в інтелектуальну мікрогрід;

- забезпечення споживачів критичної інфраструктури університету електроенергією під час вимкнень її в енергосистемі в острівному режимі;

- створення комбінованих систем генерації тепла та електроенергії;

- використання маневрових потужностей накопичувачів електроенергії (ННН) та КГУ для вирівнювання добових графіків навантаження, максимального використання енергії СЕС, балансування потужності та регулювання частоти в мікрогрід;

- інтелектуальне управління енергоспоживанням та енергомоніторингом;

- використання мікрогрід для наукових та навчальних цілей;

- застосування штучного інтелекту в управлінні мікрогрід;

- скорочення викидів CO₂ та генерація квот;

- зниження затрат на енергозабезпечення університету.

Запропонований проєкт мікрогрід має великий потенціал розповсюдження. Технічні рішення, що прийняті в запропонованому проєкті мікрогрід, можуть бути використані при створенні об'єктових чи територіальних мікроенергосистем, в яких об'єднуються негарантовані відновлювані джерела енергії (СЕС, ВЕС) та маневрові джерела енергії (КГУ, ДЕС, малі ГЕС тощо), а також споживачі з несиметричним навантаженням, такі як навчальні заклади, лікарні, житлові будинки тощо, в яких переважає однофазне навантаження.

Запропонований проєкт буде використано для навчання, підвищення кваліфікації та розповсюдження передового досвіду. Капітальні витрати, що необхідні для реалізації проєкту мікрогрід ХНУ, без врахування вже існуючих елементів (СЕС, КГУ, ДЕС, газова котельня, системи підключення до зовнішніх мереж) складає біля 2220 тис. \$.

Впровадження СЕС. Сонячна енергетика є одним із ключових напрямів декарбонізації енергосистеми України та Хмельницької області. Високий рівень сонячної радіації (1150–1350 кВт·год/м²/рік) створює сприятливі умови для розміщення сонячних електростанцій (СЕС) промислового, комунального та приватного рівня. Серед усіх існуючих джерел відновлюваної енергетики – сонячна має найбільшу динаміку розвитку, що зумовлено доступністю технологій, швидкістю реалізації проєктів та зменшенням вартості обладнання.

До початку повномасштабної війни, станом на січень 2022 року, в Хмельницькій області було реалізовано 99 промислових проєктів СЕС та встановлено понад 1500 домашніх СЕС, що загалом складало близько 500 МВт встановленої потужності. Більшість із цих станцій працює досі за «зеленим тарифом», який дав стимул для розвитку галузі відновлюваної енергетики. Нові промислові станції, які будуються в 2025 році, орієнтуються на ринкові умови (РДН) або для власного споживання комерційними об'єктами. Зелений тариф залишився актуальним лише для домогосподарств.

Повномасштабна війна стимулювала комерційний та комунальний сектор подумати про альтернативні джерела живлення, які би допомагали під час відключень забезпечувати енергією комерційні об'єкти. Враховуючи, що тариф для юридичних осіб більше 10 грн, пошук альтернативних рішень має ще одну мету – економія коштів. Навіть самі прості рішення, як встановлення СЕС, можуть бути окупними до 3 років, якщо правильно підійти до проєктування та розрахунку потужності. З технологіями сонячної енергетики важко досягти автономності, але економії в продовж теплого періоду травень-вересень вистачає, аби ця інвестиція була вигідною. Особливо це вигідно для тих підприємств, які мають сезонну специфіку роботи, наприклад – пивзаводи. Вони працюють на повну саме в теплий сезон, тоді, коли сонячна енергетика є найбільш продуктивною. І ми бачимо низку прикладів в Хмельницькому, Рівному та інших містах, де саме на таких підприємствах використовують СЕС.

Можна комбінувати технології сонячної генерації з установками збереження енергії (УЗЕ). Наприклад, якщо СЕС в окремі години генерує більше енергії, ніж споживає об'єкт, то цю енергію можна накопичувати і споживати в години, коли СЕС генеруватиме менше за реальні потреби. Тільки на відсутності плати за розподіл, підприємство заощаджує орієнтовно 30% від свого тарифу, а якщо додати собівартість виробленої на власній СЕС енергії та збереження – ціна буде понад вдвічі менша, ніж тариф для промисловості.

Загалом, розвиток сонячної енергетики в період 2022-2025 рр. відзначається збільшенням вдвічі кількості домашніх СЕС, як під «зелений тариф», так і під власне споживання без функції продажу, що стало наслідком державної програми довгострокових безвідсоткових кредитів. Комунальний сектор вперше почав використовувати сонячну енергетику, не як пілотні проєкти, а як дієвий механізм зменшення витрат в частині самозабезпечення електроенергією (особливо для водоканалів та медичних закладів). Велика кількість СЕС була передана для ОМС в якості технічної допомоги, але після отримання реальної результату, громади активно залучають власні та кредитні кошти для будівництва СЕС для власних потреб. Державні та приватні банки створюють умови для фінансування проєктів відновлюваної енергетики, де сонячна енергетика має одне із визначальних місць. Менше ніж за рік, українські банки видали близько 2 тисяч кредитів на суму понад 25 млрд гривень. Це 700 МВт генерації та 320 МВт*год зберігання енергії у 21 області, в тому числі й на Хмельниччині.

За наявною (неофіційною) інформацією, в Хмельницькій області видано технічні умови на приєднання понад 100 МВт промислових СЕС, що створює передумови до збільшення встановленої потужності сонячної енергетики в найближчі роки на 30% (в порівнянні з початком 2022 року). Враховуючи активність будівництва СЕС для власного споживання в комерційному та комунальному секторі, домогосподарствах, можна передбачити, що до 2030 року серед відновлюваних джерел енергії, сонячна енергетика збереже перше місце за встановленою потужністю.

Підготовка кадрів для розвитку сонячної енергетики, відбувається в закладах різної форми акредитації, зокрема: Хмельницький національний університет, Хмельницький політехнічний фаховий коледж Національного університету «Львівська політехніка», Вище професійне училище №25 м. Хмельницького.

Висновки

Розробка регіональних енергетичних планів є ключовим інструментом реалізації національної стратегії декарбонізації України та досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. На прикладі Хмельницької області доведено, що врахування регіональних особливостей забезпечує реалістичність та практичну доцільність планів.

Запропоновано системний підхід, що дозволяє враховувати складну взаємодію економічних, соціальних та екологічних чинників.

Показано, що використання скидної теплоти АЕС у поєднанні з тепловими насосами та тепловими мережами є інвестиційно привабливим рішенням.

Доведено ефективність створення локальних мікроенергосистем (мікрогрід) на базі університетських корпусів як експериментальних платформ для апробації технологій ВДЕ, енергоменеджменту та інтелектуальних систем керування.

Сформульовано науково-прикладні проблеми, серед яких: інтеграція ВДЕ в регіональні енергосистеми, недостатня координація між секторами енергопостачання, відсутність єдиної системи

енергетичного менеджменту, а також потреба уніфікованих інструментів оцінки соціально-економічного ефекту.

Практичні результати дослідження підтверджують можливість масштабування запропонованих рішень для інших регіонів України, що сприятиме підвищенню інвестиційної привабливості та сталому розвитку енергетики.

Рекомендації для подальших досліджень і впровадження

Рамках подальших досліджень планується вирішення комплексу взаємопов'язаних завдань викладених нижче.

1. Удосконалити підходи до взаємодії зацікавлених сторін у процесах регіональної декарбонізації з урахуванням поведінкових факторів, ризиків та невизначеностей.

2. Розширити Input-Output моделі за рахунок врахування особливостей енергетичних підсекторів, промисловості, сільського господарства та механізмів регіональної взаємодії, що дозволить точніше оцінювати вплив енергетичних трансформацій на валовий регіональний продукт (ВРП) та зайнятість.

3. Виконати комплексні дослідження можливостей поєднання сонячної, вітрової, біо- та гідроенергетики з маневровими потужностями і накопичувачами енергії у рамках об'єктових (університетських) та муніципальних мікрогрідів.

4. Удосконалити механізми використання скидної теплоти та дальнього транспортування теплоти, що враховують різні конфігурації теплових насосів і тепломереж, оптимізуючи їхні техніко-економічні показники.

5. Впроваджувати об'єктові та муніципальні мікрогрід-проекти як експериментальні полігони для відпрацювання інтеграції розподілених джерел та інтелектуальних систем управління.

6. Розробити рекомендації щодо удосконалення регіональної системи моніторингу та управління регіональною енергетичною системою, що об'єднуватиме дані про енергоспоживання, генерацію, інвестиційні проекти та екологічні показники.

7. Адаптувати механізми державно-приватного партнерства, ЕСКО-схеми, інвестиційні платформи та інструменти зеленого фінансування для реалізації проектів декарбонізації.

8. Вивчати вплив трансформації енергосистем на рівень життя населення, зайнятість, розвиток місцевих громад та готовність до участі у кооперативних проектах.

9. Продовжувати порівняльний аналіз із практиками ЄС та інших країн, адаптуючи успішні моделі до українських реалій, зокрема в частині децентралізованої енергетики та енергосервісних ринків.

Література

1. European Green Deal. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.
2. Renewable Energy Directive (RED II) 2018/2001. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.europex.org/eulegislation/renewable-energy-energy-directive/>.
3. European Climate Law (Regulation (EU) 2021/1119). [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=EN>.
4. Regional Energy Efficiency Programs. Current Status and Development Prospects. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://etars-journal.org/index.php/journal/article/view/375/310>.
5. The role of regional renewable energy integration in electricity decarbonization—A case study of Japan. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261924005014>.
6. DEEP DE-CARBONIZATION AND REGIONAL EQUITY. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.nipfp.org.in/media/medialibrary/2023/10/WP_402_2023.pdf.
7. Investigating the regional contributions to the Italian decarbonization: an energy modelling multi-regional approach. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/218662>.
8. Impact of Regional Characteristics on Energy Consumption and Decarbonization in Residential and Transportation Sectors in Japan's Hilly and Mountainous Areas. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/14/6606>.
9. Data-Driven Regionalization of Decarbonized Energy Systems for Reflecting Their Changing Topologies in Planning and Optimization. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/16/4076>.
10. Regional CCUS strategies in the context of a fully decarbonized society. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624033316>.
11. «Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80#Text>.
12. Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/587-2024-%D1%80#Text>.

13. Закон України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20#Text>.
14. Регіональне планування стратегічного розвитку. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/content/strategichne-planuvannya-regionalnogo-rozvitku.html>.
15. Методика розроблення місцевих енергетичних планів. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0245-24#Text>.
16. Закон України «Про енергетичну ефективність». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>.
17. Порядок запровадження та забезпечення функціонування систем енергетичного менеджменту органів державної влади, підприємств, установ та організацій, що належать до сфери їх управління. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1460-2021-%D0%BF#Text>.
18. Державна служба статистики України. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ukrstat.gov.ua>.
19. Статистична інформація Головного управління статистики у Хмельницькій обл.
20. Хмельницька АЕС. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BC%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D0%90%D0%95%D0%A1.
21. ГО «Хмельницький енергетичний кластер». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.energycluster.in.ua/>.
22. Хмельницький національний університет. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://khmnu.edu.ua/?>.
23. Державна інспекція енергетичного нагляду України. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://sies.gov.ua/misiya-ta-strategiya>.

Referenes

1. European Green Deal. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.
2. Renewable Energy Directive (RED II) 2018/2001. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://www.europex.org/eulegislation/renewable-energy-energy-directive/>.
3. European Climate Law (Regulation (EU) 2021/1119). [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1119&from=EN>.
4. Regional Energy Efficiency Programs. Current Status and Development Prospects. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://etars-journal.org/index.php/journal/article/view/375/310>.
5. The role of regional renewable energy integration in electricity decarbonization—A case study of Japan. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261924005014>.
6. DEEP DE-CARBONIZATION AND REGIONAL EQUITY. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: https://www.nipfp.org.in/media/medialibrary/2023/10/WP_402_2023.pdf.
7. Investigating the regional contributions to the Italian decarbonization: an energy modelling multi-regional approach. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/218662>.
8. Impact of Regional Characteristics on Energy Consumption and Decarbonization in Residential and Transportation Sectors in Japan's Hilly and Mountainous Areas. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/14/6606>.
9. Data-Driven Regionalization of Decarbonized Energy Systems for Reflecting Their Changing Topologies in Planning and Optimization. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/16/4076>.
10. Regional CCUS strategies in the context of a fully decarbonized society. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624033316>.
11. «Pro zatverdzhennia Natsionalnoho planu dii z vidnovliuvanoi enerhetyky na period do 2030 roku ta planu zakhodiv z yoho vykonannia». [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80#Text>.
12. Natsionalnyi plan z enerhetyky ta klimatu na period do 2030 roku. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/587-2024-%D1%80#Text>.
13. Zakon Ukrainy «Pro zasady monitoryngu, zvitnosti ta veryfikatsii vykydiv parnykovykh haziv». [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20#Text>.
14. Rehionalne planuvannya stratehichnoho rozvytku. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://mtu.gov.ua/content/strategichne-planuvannya-regionalnogo-rozvitku.html>.
15. Metodyka rozroblennia mistsevykh enerhetychnykh planiv. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0245-24#Text>.
16. Zakon Ukrainy «Pro enerhetychnu efektyvnist». [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>.
17. Poriadok zaprovadzhennia ta zabezpechennia funktsionuvannia system enerhetychnoho menedzhmentu orhaniv derzhavnoi vlady, pidpriemstv, ustanov ta orhanizatsii, shcho належать до сфери yikh upravlinnia. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1460-2021-%D0%BF#Text>.
18. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://ukrstat.gov.ua>.
19. Statystychna informatsiia Holovnoho upravlinnia statystyky u Khmelnytskii obl.
20. Khmelnytska AES. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BC%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D0%90%D0%95%D0%A1.
21. HO «Khmelnytskyi enerhetychnyi klaster». [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://www.energycluster.in.ua/>.
22. Khmelnytskyi natsionalnyi universytet. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://khmnu.edu.ua/?>.
23. Derzhavna inspektsiia enerhetychnoho nahliadu Ukrainy. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://sies.gov.ua/misiya-ta-strategiya>.