УДК 551.582

ЕНЕРГЕТИКА, НАУКА І ІНЖЕНЕРІЯ СЬОГОДЕННЯ: СТАН ТА ВИКЛИКИ РОЗВИТКУ

Басок Б.І., член-кор. НАН України, **Базєєв Є.Т.,** канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, м. Київ - 57, 03057

https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2023.5

Наведено огляд проблем енергетики України, Європи і світу, проаналізовано виклики і ризики, які постали перед соціальне-економічною сферою, академічною фундаментальною наукою внаслідок російської агресії, зокрема в галузі енергетики. Підкреслено роль науки як інтелектуального фундаменту для соціально-економічної, політичної і воєнної могутності держави. Наведено перелік фундаментальних і прикладних досліджень та розробок в галузі комунальної енергетики, що спрямовані для надійного енергозабезпечення житлових і громадських будівель. Ці дослідження сформували новий науковий напрям – фундаментальну теплофізичну інженерію. Наведено стан і тренди розвитку енергетики Європи і світу в контексті економічних загроз, цінової політики, ресурсної бази, технологій енергоперетворення і кінцевого низьковуглецевого енерговикористання.

An overview of the energy problems of Ukraine, Europe and the world is given, the challenges and risks faced by the socio-economic sphere, academic fundamental science as a result of Russian aggression, in particular in the field of energy, are analyzed. The role of science as an intellectual foundation for the socio-economic, political and military power of the state is emphasized. A list of fundamental and applied research and development in the field of communal energy, aimed at reliable energy supply of residential and public buildings, is provided. These studies formed a new scientific direction - fundamental thermophysical engineering. The state and trends of energy development in Europe and the world in the context of economic threats, price policy, resource base, energy conversion technologies and final low-carbon energy use are presented.

Бібл. 15, рис. 5, табл. 1.

Ключові слова: наука, енергетика, енергетична безпека, виклики і ризики, енергетична стійкість, комунальна енергетика, чиста енергія, фундаментальна теплофізична інженерія.

Вступ

Україна на шляху свого становлення та соціально-економічного розвитку проходила точки біфуркації, що змінювали сценарії та тренди розвитку країни. До них відносяться світова фінансова криза 2007 і 2009 років; пандемія COVID-2019 в 2020-2021 рр. Наразі з'явилася нова жахлива точка біфуркації – у 2022 р. Україна зіткнулася з цивілізаційними викликами та ризиками, породженими неспровокованою війною росії проти України. Через це доводиться оцінювати можливості виживання та переглядати шляхи соціально-економічного розвитку країни в екстремальних умовах.

У статтях Вісника НАН України за 2022 рік провідні вчені представляли концепції та стратегії протистояння і протидії України зовнішнім та внутрішнім загрозам національній безпеці країни. Виклики постали перед усіма галузями економіки, перед українською наукою, у т.ч. і перед академічною наукою, пов'язаною із вирішенням проблем розвитку паливно-енергетичного комплексу країни.

Фундаментальні наукові основи. Як підкреслено в [1], наука сьогодення *«є однією з найбільш конкурентних сфер діяльності та вагомим економічним ресурсом, що визначає рівень інноваційного розвитку держави, показником якого в світі вважають наукомісткість валового внутрішнього продукту та кількість дослідників на 1 млн населення»*. В [1] представлено наукові пошуки відповідей на гібридні загрози і аналізується поняття феномена національної стійкості як *«здатності держави у взаємодії із суспільством зберігати стійкість до зовнішніх та внутрішніх агресивних впливів, оперативно реагувати на асиметричні загрози запровадженням змін та адаптацією без шкоди для основних цінностей суспільства, безперервно функціонувати під час криз, а також відновлюватися від руйнівних наслідків агресивних дій будь-якої природи (самовідновлення)»*.

Серед основних дев'яти пріоритетів стратегії національної стійкості України є енергетична стійкість як вагова складова економічної стійкості країни. А саме: *«Енергетична стійкість потребує проведення моніторингу світового і регіональних енергетичних ринків та енергетичної політики держави в контексті усвідомлення актуальних загроз і викликів, а також можливостей протидіяти ним»* [1].

Важливою складовою економічної політики воєнного часу має бути розроблення стратегічного плану заходів з реконструкції галузевої інфраструктури та відновлення нормального функціонування енергетики в умовах післявоєнного соціоекономічного розвитку країни. В енергетичному секторі України воєнного

періоду першочерговим завданням є мобілізація та оптимізація використання наявних енергоресурсів для надійного енергопостачання за сприянням ефективного енергоменеджменту. Енергобезпека, енергостійкість, енергогнучкість, енергоживучість і підвищення енергоефективності стає основним імперативом і пріоритетом політики в світі, а особливо в Європі та в Україні. Посилилась нагальна потреба скорочення викопного палива і збільшення відновлюваних джерел енергії та водню [2, 3]. Децентралізація енергопостачання, зелена енергетика, місцева енергетика – це тренд розвитку, викликаний війною. Він доповняє світові зусилля отримання чистої (низьковуглецевовмісної або вуглецевонейтральної) енергії, необхідної для унеможливлення або хоча б мінімізації пагубних наслідків глобального потепління клімату.

У вирішенні низки науково-технічних проблем, які з'явились в процесі підготовки Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України до переходу на синхронну роботу з об'єднанням енергосистем європейських країн– ENTSO-E, активну участь брали профільні установи НАН України. Отримані результати дали змогу в складних умовах успішно реалізувати перехід ОЕС України на режим повної синхронізації з європейською енергетичною мережею ENTSO-E і відокремлення від енергетичних систем росії та білорусі, що істотно підвищує стійкість енергетичної системи України [4]. Успішно проведено пробні експортні поставки електроенергії в ЄС, більш того, в умовах дефіциту електроенергії внаслідок масованих неперервних бомбардувань енергетичної інфраструктури країни відбувся імпорт енергії із ЄС.

Стан енергетики України. Економічно невиправдане штучне підвищення цін на російські енергоносії для Європи в кінці 2021 року, що можна трактувати як економічно-енергетичну агресію, додалось для України в 2022 році повномасштабною війною із масовим знищенням населення, транспортної і житлової інфраструктури, а восени цього ж року доповнилось цілеспрямованим руйнуванням енергетики, тобто енергетичним тероризмом. Як результат - станом на 10 серпня 2022 р. через війну в комунальній теплоенергетиці України будо пошкоджено або зруйновано 300 об′єктів [5], з серед них – 10 потужних ТЕЦ. А з 10 жовтня по 10 листопада 2022 р. пошкоджена або зруйнована третина (400 одиниць) об'єктів енергетичної (електричної, теплової, газової, водопостачання тощо) інфраструктури України, деякі жахливі дані наведені на рис. 1 [6]. Ракетні удари в листопаді-грудні 2022 р. були ще більш інтенсивнішими. Але найбільші і непоправимі втрати згідно даних Всесвітньої організації охорони здоров'я [7] до жовтня 2022 року - це: 14 тисяч мирних українців загинули; 17,7 мільйона людей в Україні потребували гуманітарної допомоги; 7,5 мільйона - були вимушені переміститися до Європи; декілька мільйонів мешканців стали внутрішньо переселеними особами. Нині за даними міжнародної організації з міграції майже 2 млн українців переїхали в інше місце на зимівлю, побоюючись можливих проблем з теплопостачанням великих міст.

Порушення міжнародного права та основних принципів ядерної безпеки внаслідок захоплення військами РФ спочатку ЧАЕС, а потім ЗАЕС, створило загрозу як для України, так і для всього світу. Такі порушення кваліфікуються як ядерний тероризм [8].

Станом на грудень 2022 р. Україна зазнала прямих задокументованих збитків на $136 млрд від російських атак на інфраструктуру, найбільше постраждала енергетика – такі дані Київської школи економіки [9]. За інформацією Мінінфраструктури України, внаслідок ракетних обстрілів Росією пошкоджено 592 об'єкти теплопостачання: 444 котельні, 13 ТЕЦ, 7 ТЕС та 128 центральних теплових пунктів. З них уже відновлено майже 300 об'єктів теплопостачання. На середину грудня 2022 р. збитки, завдані житловому фонду, досягли $52,5 млрд. Частка житлового фонду в загальному обсязі збитків складає 38,6%. У Донецькій області зруйновано 78700 будинків ($14,3 млрд), збитки Київщини від руйнувань та пошкоджень 22800 житлових будинків складають $8,2 млрд. У столиці за час війни зруйновано та пошкоджено 348 житлових будинків, переважна більшість яких багатоквартирні, втрати на $0,9 млрд. "Це політика знищення українців через створення умов, непридатних для життя. З наближенням зими російське керівництво свідомо позбавляє людей базових речей: води, електрики, тепла. Так само як свідомо прирікало на голодну смерть під час Голодомору 1932-1933 років.

Рис. 1. Динаміка російських ракетно-бомбових ударів по енергосистемі України [6, 31]

Це - тероризм і воєнний злочин", - заявив Генпрокурор України [6].

Приклади теплофізичних досліджень. В [10] узагальнено проблеми енергетики України, зокрема муніципальної енергетики, із урахуванням міст та селищ – забезпечення надійного енергопостачання житлових і громадських будівель та споруд в умовах військового та післявоєнного періодів. Наведено перелік пріоритетних наукових досліджень та науково-технологічних розробок, спрямованих на створення конкурентоспроможної продукції, необхідної в умовах воєнного стану для дотримання енергетичної безпеки й досягнення енергонезалежності країни і регіонів.

Досить глибокий аналіз щодо проблеми науки як комплексної проблеми, наприклад, співвідношення фундаментальної і прикладної науки, місця і ролі науки в післявоєнному відновленні, науки як інтелектуального фундаменту культурної, воєнної могутності держави й народів, надано в [11]. *«Саме наука, пізнаючи навколишній світ, відіграла ключову роль у масштабних соціальних змінах, забезпечивши сучасний рівень життя провідних країн світу, які й стали такими завдяки щедрій підтримці науки і науковців»* [11]. На жаль, як відмічає академік НАН України В.М. Локтєв, що йому не відомий *«проект розвитку післявоєнної України, який має визначити шляхи її надзвичайного політико-економічного перетворення, зокрема подальшу демократизацію, лібералізацію, спрощення законодавства, в тому числі й наукової сфері, різке зменшення ролі і впливу, особливо політичного, олігархів, поступове приборкання корупційних відносин тощо»*. В статті поставлено кардинальне питання: яка наука потрібна Україні саме сьогодні, виходячи з найбільш пріоритетних фундаментальних наукових напрямів у світі. «А такими, за даними журналу Science, є: *квантові технологія і фотоніка, математичне моделювання і штучних інтелект, перспективні функціональні матеріали, генетика і біомедицина, космічні технології, а також технології стійкого розвитку»*. Серед технології стійкого розвитку безумовно повинна бути енергетична стійкість, яка є одночасно і вагомою складовою економічної стійкості, як це було відзначено в [1].

У відділі теплофізичних основ енергозберігаючих технологій (ТОЕТ) ІТТФ НАН України фундаментальні і прикладні розробки інноваційних пропозицій при викликах щодо модернізації та розвитку муніципальної енергетики (в умовах військового та післявоєнного періодів) виконуються в рамках наукового напряму – методологія організаційно-економічного та інноваційного підвищення енергоефективності будівель з урахуванням їх термомодернізації і тренду використання низьковуглецевих технологій. Такий підхід реалізується у тріаді енергетика-економіка-екологія стосовно сучасного технологічного укладу з метою збереження та підвищення життєдіяльності людини. Досить розгорнута характеристика наукового напрямку, що відображає сутність досліджень у відділі ТОЕТ, може бути узагальнена і сформульована більш стисло: фундаментальна теплофізична інженерія. Даний науковий напрямок може реалізовуватися для різних практичних програм і застосувань, зокрема може бути основою пріоритетних наукових досліджень та науково-технологічних розробок, спрямованих на створення нової конкурентоспроможної науково-технічної і енергетичної продукції, необхідної в умовах воєнного стану.

В якості прикладу наведемо деякі результати відділу ТОЕТ за період 2021-2022 років, зокрема:

- Розроблено модель і проведено дослідження процесів тепломасообміну при горінні пелет з рослинної сировини, що включає послідовне протікання стадій первинного розігріву біомаси, термічного її розкладання з виходом летючих газів, горіння летючих газів та горіння вуглецевого залишку. Встановлено розподіли температури в пелеті та в природно-конвекційному потоці повітря навколо окремої пелети, а також концентрації складових газової суміші, що утворюється в процесі горіння. Визначено зміну у часі маси та температури окремої пелети. Досліджено характеристики температурного режиму пелетного пальника малої потужності, одержано розподіли температури, швидкості повітря та концентрацій окремих складових газового середовища по об'єму пальника. Запропоновано оптимальні експлуатаційні режими промислового спалювання деревних та рослинних пелет.
- Розроблено чисельну модель перенесення теплоти в ґрунтовому пористому масиві, який містить U - подібний вертикальний теплообмінник, що є елементом теплонасосної установки «грунт-рідина». Такі теплообмінники широко застосовується для вилучення низькопотенційної теплоти з ґрунту з подальшим її використанням для автономного опалення та гарячого водопостачання приміщень і будівель різного призначення. Досліджено вплив фільтраційних властивостей ґрунту, як пористого середовища, на характеристики роботи ґрунтового теплообмінника. Визначено залежність теплообмінних характеристик роботи ґрунтового теплообмінника, як елемента теплонасосної системи, від характеристик середовища в порах, а також від пористості ґрунту та розміру його частинок.

• Проаналізовано тренди зміни клімату від глобального потепління. Представлено інноваційне-орієнтовані технології і науково-технічні заходи в напрямку підвищення енергоефективності використання енергоресурсів, зниження емісії шкідливих викидів та парникових газів і запропоновані адаптаційні заходи до змін клімату для комунальної енергетики, зокрема при енергозабезпеченні будівель житлово-комунального сектору з використанням інноваційних інженерно-будівельних рішень і низьковуглецевих технологій. Це відповідає прийнятій в Україні Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату.

• В контексті заходів із відновлення України розроблено теплофізичну модель процесів перетворення енергії та теплообміну в системі теплонасосної утилізації теплових скидів котельних установок на біомасі, що дозволяє визначати раціональні параметри таких систем в регіональних системах теплопостачання. Результати роботи впроваджено при проведенні теплового розрахунку та техніко–економічного аналізу інвестиційного проєкту «Дооснащення біопаливної котельні конденсаційним утилізатором з тепловим насосом» принадно до біопаливної котельні встановленою тепловою потужністю 40 МВт», що впроваджується НЕК «Нафтогаз України» на базі теплових насосів виробництва ТОВ «Теплові насоси ВДЕ». Реалізація проєкту дозволяє знизити рівень споживання біопалива котельнею у обсязі до 6,9 тис. т н.е. в рік з відповідним зниженням рівня забруднення атмосферного повітря.

Фундаментальна теплофізична інженерія. Зважаючи на отримані результати досліджень інфраструктури енергопостачання демонстраційного пасивного будинку та з метою поглиблення й розширення теорії і практики підвищення енергоефективності будівель, на найближчу перспективу визначено головні цілі наукових досліджень, предмети фундаментальних і прикладних досліджень, тематику, методи та інструментарій таких досліджень з урахуванням тренду змін клімату [12].

Фундаментальні дослідження. Предмет досліджень– розвиток науково-технічних основ розроблення енергоефективних технологій енергопостачання будівель житлово-комунальної сфери. Тематика досліджень:

1) поглиблення та розширення теорії теплообміну в конструкціях будівель, зокрема з урахуванням у тепловому балансі будівель пасивного внеску енергії сонячного випромінювання та інших чинників енергетичної взаємодії будівлі з довкіллям;

2) поглиблення і розширення теорії теплообміну в ґрунтових масивах при використанні для енергопостачання будівель геотермальної енергії верхніх шарів ґрунту, а також для довготривалого акумулювання теплоти в ґрунтових масивах;

3) системний і безперервний облік протягом року всіх проявів кліматичних чинників (сонячної радіації, швидкості й напряму вітру, температури і вологості зовнішнього повітря), аналіз їх впливу на теплопередачу через зовнішні елементи будівель.

Прикладні дослідження. Предмет досліджень – розроблення технологій енергоефективних систем енергопостачання будівель з урахуванням оптимізації архітектурно-планувальних рішень будівель. Тематика досліджень:

1) оцінка потенціалу і стану ринку паливно-ресурсної бази енергопостачання, в тому числі з урахуванням нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії;

2) експериментальні дослідження з розроблення науково-конструктивних рішень при створенні енергоефективних технологій та обладнання енергопостачання будівель з визначенням вихідних даних і залежностей для інженерних розрахунків обладнання та конструктивних елементів будівель;

3) розвиток методів поглибленого техніко-економічного аналізу енергоефективності енергопостачання будівлі;

4) розроблення організаційно-економічних і управлінських заходів та механізмів щодо підвищення ефективності енергопостачання будівель;

5) зміщення акцентів на енергетичну безпеку, стійкість, надійність, гнучкість, живучість та на ефективний ризиковий енергоменеджмент, зумовлений обставини воєнного стану.

Вказані напрямки досліджень базуються на всебічному застосуванні технік і технологій високої енергоефективності та системно кореспондують із заходами виконання низки Законів України, прийнятих останнім часом в цій сфері енергетики, зокрема законів: «Про енергетичну ефективність будівель»; «Про енергетичну ефективність»; «Про Фонд енергоефективності»; «Про запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб'єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації», «Про внесення змін до деяких законів України щодо усунення бар'єрів для масштабної термомодернізації будівель» та із Національними планами: планом дій з енергоефективності до 2030 року; планом з розвитку відновлюваної енергетики на період до 2030 року; планом дій з охорони навколишнього природного середовища на період до 2025 року і планом збільшення кількості будівель з близьким до нульового споживання енергії. Тобто, попри певний

Таблиця.

№	Завдання	Захід	Відповідальний
7.4.1.	Розробити та впровадити вітчизняну (або закупити закордонну) єдину по країні розрахункову комп'ютерну програму енергоаудиту будівель (житлових, громадських, комерційних, муніципальних, бюджетної сфери тощо та інженерних систем їх ресурсо(енерго)забезпечення	Загальнодоступне використання єдиної програми, адаптованої до законодавства та нормативно-технічної бази України (з відповідними поточними змінами) з з енергоаудиту будівель. Призначити головну організацію-утримувача такої програми із функціями постійної підтримки програми і її оперативного оновлення із врахуванням поточного та перспективного стану енергоефективності будівель.	Мінінфраструктура України Держенергоефективність МОН України НАН України
7.4.2.	Розробити та впровадити загальнодержавну розрахункову комп'ютерну програму моніторингу енергоефективності будівель	Загальнодоступне використання єдиної програми, адаптованої до законодавства та нормативно-технічної бази України (з відповідними поточними змінами) з енергоефективності будівель. Призначити головну організацію-утримувача такої програми із функціями постійної підтримки програми і її оперативного оновлення із врахуванням поточного та перспективного стану енергоефективності	Держенергоефективність, Мінінфраструктура НАН України МОН України
7.4.3.	Запровадити учбові (бакалавр магістр) та наукові (PhD, доктор наук) спеціальності: «енергоефективність»; «енергоефективність будівель»; «енергоменеджмент»; «енергомоніторинг» у ЗВО та інших інститутах відповідного профілю.	Реалізувати належне державне замовлення за вказаними спеціальностями	МОН України НАН України
7.4.4.	Забезпечити науковий, інноваційний, технологічний, технічний супровід довгострокової стратегії термомодернізації будівель на період до 2050 року з врахуванням економічних можливостей та екологічних вимог післявоєнного оновлення країни та світових тенденцій декарбонізації енергетики	Започаткування та реалізація цілеспрямованих наукових досліджень з енергоефективності взагалі і, зокрема, з енергоефективності будівель, створення інновацій, пілотних проектів та дослідно-промислових об'єктів пасивних будівель, будівель «нудь-енергії»; «розумних» будівель, включаючи повномасштабні висотні новобудови і споруди.	Мінінфраструктура Держенергоефективність НАН України МОН України Національний фонд досліджень України
7.4.5.	Пропаганда енергоощадливого стилю життя суспільства і кожного окремого громадянина України як домінанти стійкого розвитку людства.	Переконлива, дохідлива, просто обґрунтована і нав'язлива реклама та пропаганда енергоефективності життєдіяльності населення і кожного громадянина України. Видача ліцензій ЗМІ із обов'язковою реалізацією певного обсягу контенту про енергозбереження, енергозаощадження і енергоефективність.	Міністерство культури та інформаційної політики України, Держкомтелерадіо, Мінінфраструктура України, НАН України, МОН України

опір фінансово-промислових груп, Україна, як і весь цивілізований енергетичний світ, вибрала тренд енергетичного розвитку, що ґрунтується на енергоефективності та енергомодернізації, використанні відновлюваних джерел енергії, протидії пагубним впливам глобального потепління, використанні наукових та технічних інновацій.

В конкретизацію і реалізацію такого підходу в другій половині 2022 року були розроблені матеріали Довгострокової стратегія термомодернізації до 2050 року; державна цільова програма підтримки термомодернізації до 2030 року (Концепція); державна цільова програма стимулювання енергетичної модернізації систем централізованого теплопостачання до 2030 року. Наразі опрацьований Операційний план заходів виконання завдань першого періоду «Перший середньостроковий план термомодернізації будівель до 2027 року» першого етапу «Відновлення та усунення бар'єрів» на період 2021-2030 роки» Довгострокової стратегії термомодернізації будівель на період до 2050 року. Президія НАН України прийняла цю ініціативу і за поданням ІТТФ НАН України запропонувала доповнити Операційний план наступними заходами, що наведені в таблиці.

Стан енергетичної Європи. Окремо відмітимо, що якщо енергетика України зазнала прямих пошкоджень та руйнувань, то і енергетика Європи відчула потрясіння, які викликані російським агресивним енергетично-фінансовим шантажем. За останні місяці Європа, ймовірно, вже пережила найгіршу кризу, яка виникла після повномасштабного вторгнення росії. Вона коштувала близько 1 трильйона доларів через різке зростання цін на енергоносії [13]. Уряди країн ЄС надали понад 700 мільярдів доларів прямої допомоги, щоб посприяти компаніям і споживачам подолати цей удар. Доволі м'яка погода, більш широкий спектр постачальників і спроби скоротити попит допомогли, оскільки запаси газу все ще майже заповнені, а ціни впали до довоєнного рівня. ЄС більше не імпортує вугілля та сиру нафту з росії, а поставки газу значно скоротилися. Збільшилися поставки газу з Норвегії та поставки зрідженого газу з Катару, США та інших виробників. У Німеччині сховища вдалось заповнити на 91% у порівнянні з 54% рік тому, коли росія вже спустошувала контрольовані нею потужності зберігання. Відтоді уряд ФРН націоналізував місцеві підрозділи ПАТ «Газпром» і витратив мільярди євро на наповнення резервів, включаючи оперативне будівництво двох LNG-терміналів, а в планах будівництво ще трьох.

Очікується, що європейське споживання протягом 2023 року буде приблизно на 16% нижче середнього рівня за п'ять років (звіт Morgan Stanle). Розширення потужностей відновлюваної енергетики ЄС також сприяють подоланню кризи. За даними S&P Global, зростання вітрової та сонячної енергії допоможе скоротити цього року виробництво електроенергії на газу на 10 найбільших енергетичних ринках Європи на 39%. Можливий імпорт російського трубопровідного газу 2023 року становитиме лише п'яту частину звичайного рівня – близько 27 мільярдів кубометрів – і це «велике скорочення для ринку (ЄС), який споживав у 2021 році 400 мільярдів кубометрів газу» [13]. Причому ціну на природний газ із Росії обмежили значенням не більше 180 євро за 1 МВт·годину. На початок лютого 2023 р. ЄС вибрав із підземних сховищ газу лише 30 млрд куб. м газу. Наразі ПСГ Європи заповнені на 71,64% – на 19,83% вище, ніж у середньому на цю дату за останні п'ять років, у них міститься 77,5 млрд куб. м газу [14]. Також акцентуємо, що успішному подоланню енергетичної кризи в ЄС ефективно сприяли пакет Fit for 55 і оперативно прийнятий в березні 2022 р. план REPowerEU.

Стосовно трендів розвитку світової енергетики зазначимо, що дві кризові біфуркації – пандемія Covid-19 і вторгнення росії в Україну – призвели до серйозних збоїв у глобальних ланцюгах забезпечення енергією та новими технологіями її виробництва. Подолати ці проблеми можна на основі фундаментальної енергетичної науки і інженерії та енергетичної економіки, реалізувавши відповідну енергетичну, кліматичну та індустріальну політику і забезпечивши енергетичну безпеку, стійкість та живучість. Не лише в Європі, а у всьому світі відбувається зростання цін на енергію і супутні їй матеріали [15], рис. 2.

Ризикова концентрація виробництв. Енергія, є ключовим компонентом витрат на виробництво товарів, особливо у важкій промисловості. Природний газ та електроенергія – це два основних джерела енергії для виробників матеріалів і технологій, ціни на які відрізняються залежності від географії походження і виробника. Як видно із графіків ціни в США дещо менші, ніж у іншому світі, а тому надають структурну перевагу для виробників енергоємної продукції. Щодо технологій масового виробництва устаткування для чистої енергії, такого як вітроагрегати, електроакумулятори, електролізери, сонячні батареї та теплові насоси, то на три найбільші країни-виробники припадає 70% виробничих потужностей для кожної технології, причому Китай домінує в усіх з них [15], рис. 3. Територіальний

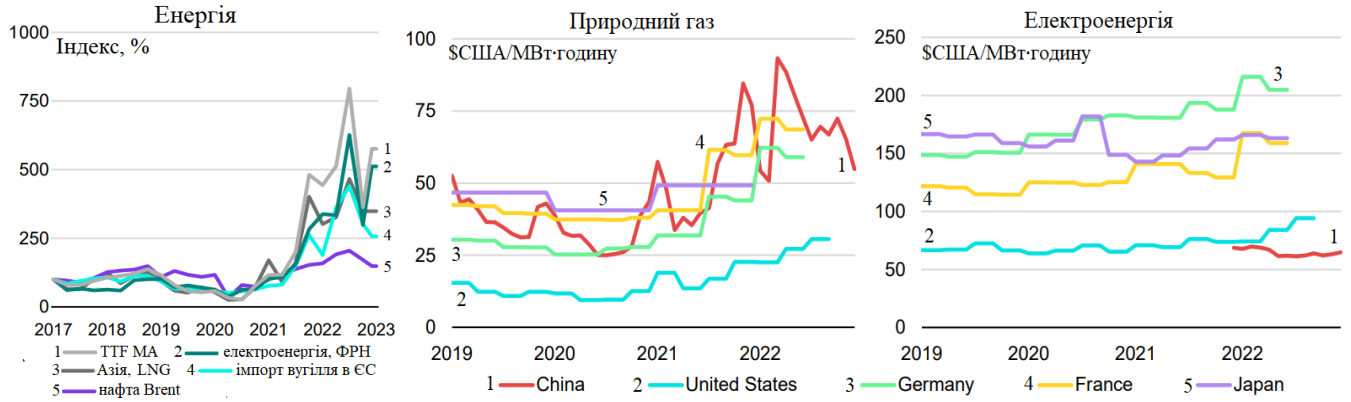

Рис. 2. Зростання осереднених цін на енергоресурси. Примітка: LNG – скраплений природний газ; TTF MA (Title Transfer Facility) спотові ціни на природний газ на Нідерландському хабі. Ціни є середніми квартальними значеннями, проіндексованими (індекс=100) по даним на початок 2017 року. Дані по ФРН є місячними середніми значеннями

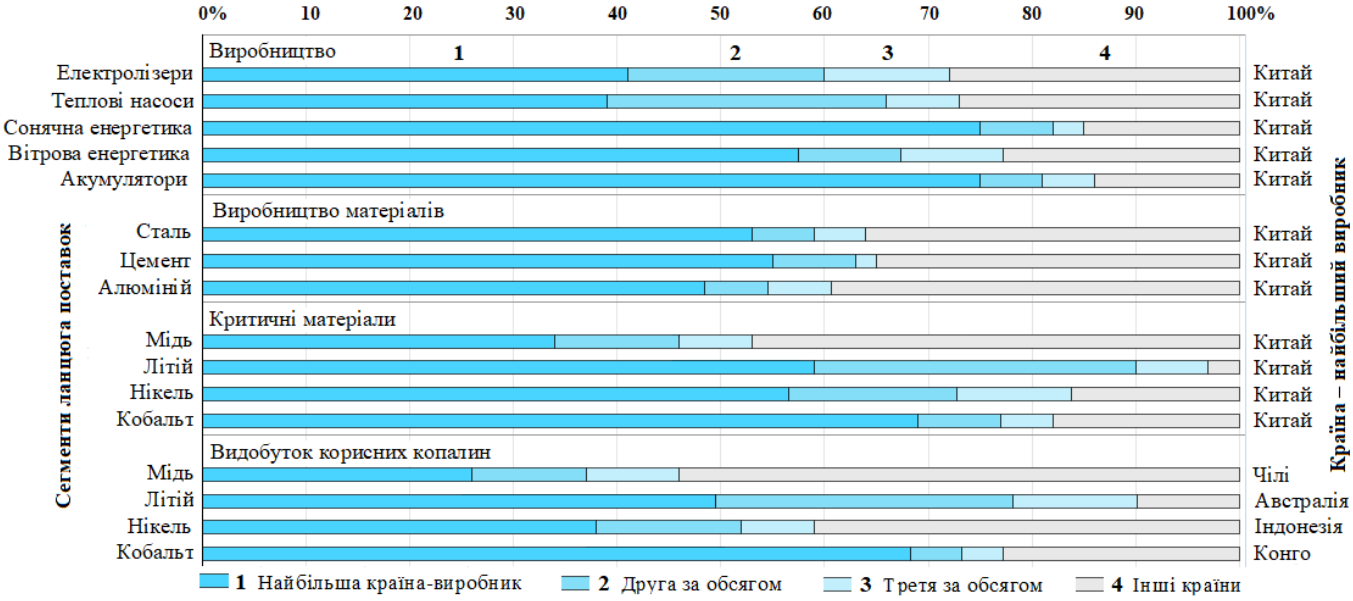

Рис. 3. Географічна концентрація за сегментами ланцюга поставок, 2021 рік

розподіл найважливіших корисних копалин пов'язаний із запасами ресурсів, і подекуди значна їх частина є концентрованою в одній країні. Зокрема, Конго виробляє 70% світового кобальту, і лише три країни виробляють понад 90% світового обсягу літію. Інший приклад, ціни на сталь і мідь приблизно подвоїлися між першою половиною 2020 року та тим самим періодом 2022 року. Середня ціна на літій у 2022 році була майже в чотири рази вищою, ніж у 2019 році, вдвічі зросли ціни на кобальт і нікель. Наведені дані вказують на певні вразливості, виклики і навіть ризики стійкому світовому енергопереходу на низьковуглецеву енергетику, тобто на чисту енергію. Ціновий шантаж росії на поставки природного газу в Європу в четвертому кварталі 2021 року є тому яскравим прикладом. Інший приклад – недавня криза виробництва електронних чипів через нехватку рідкоземельних матеріалів. На Китай припадає більшість поточних оголошених планів розширення виробничих потужностей до 2030 року для сонячних фотоелектричних компонентів (близько 85% для елементів і модулів та 90% для фотоповерхонь); для компонентів шельфових вітроагрегатів (близько 85% для лопатей і близько 90% для гондол і башт); і для компонентів акумуляторів електромобілів (98% для матеріалу анода та 93%

для матеріалу катода). Виняток становлять водневі електролізери: близько чверті оголошених виробничих потужностей до 2030 року припадає відповідно на Китай і ЄС,, а ще 10% – на Сполучені Штати. Характерно, що видобуток руд критичних матеріалів контролюють різні країни (нижній блок діаграми рис. 3), а вже наступний крок ланцюга поставок, тобто критичні матеріали із більшою доданою вартістю, підконтрольні Китаю. Обсяги виробництва Китаєм сипучих матеріалів (наступний блок на рис. 3) – половина світового обсягу і повне домінування в кінцевому виробництві устаткування для чистої енергетики: електролізери - 41%, теплові насоси– 39%, сонячна фотовольтаїка – 75%, вітрова енергетика – 58,% і електроакумулятори – 75%. Через це є виклики відсутності диверсифікації виробництв, високої географічної концентрації видобутку та переробки первинних матеріалів і ресурсів, а також монополізму технологій і виробництв. Таке становище повинно привернути увагу енергетичної спільноти до змін парадигми світової енергетичної безпеки.

В якості прикладу взаємодії вхідних матеріалів, енергії, устаткування, процесів і технологій на рис. 4 наведена схема виробництва водню і вуглекислого газу. Композиція такої схеми визначається фундаментальними підходами і співвідношеннями енергетичної інженерії.

Реалізувати такий ланцюг виробництва, наприклад теплових насосів, безпечним, гнучким та стійким можна лише за допомогою комплексного та скоординованого підходу. Це означає своєчасне вжиття заходів для розвитку поставок, які можуть задовольнити потреби шляху до чистого нуля викидів парникових газів; які можуть пристосовуватися та відновлюватися після короткострокових потрясінь; які можуть адаптуватися до довгострокових змін у постачанні, включаючи періодичну нестачу матеріалів, вплив зміни клімату та стихійні лиха, екстремальні стани, а також інші потенційні збої на ринку.

Стан світової енергетики. Однак, незважаючи на швидке зростання останнім часом технологій чистої енергії, сьогодні загалом світ все ще покладається на викопне паливо для свого енергопостачання (рис. 5) [15]. Зростання постачання чистої енергії з 2000 року було нижчим, ніж зростання нафти, газу та вугілля, особливо в країнах із економікою, що розвивається. У цих країнах частка викопного палива в загальному обсязі первинної енергії зросла з 77% у 2000 році до 80% у 2021 році, в основному через збільшення обсягів вугілля з 27% до 35%. У розвинутих економіках частка впала з 82% до 77% за той самий період. У результаті загальна частка викопної енергії в глобальному енергетичному балансі залишилася майже незмінною на рівні близько 80%.

Нафта залишається найбільшим джерелом первинної енергії, становлячи 29% від загального обсягу енергопостачання у 2021 році (зменшення з 37% у 2000 році), потім розташоване вугілля з 26% (зро-

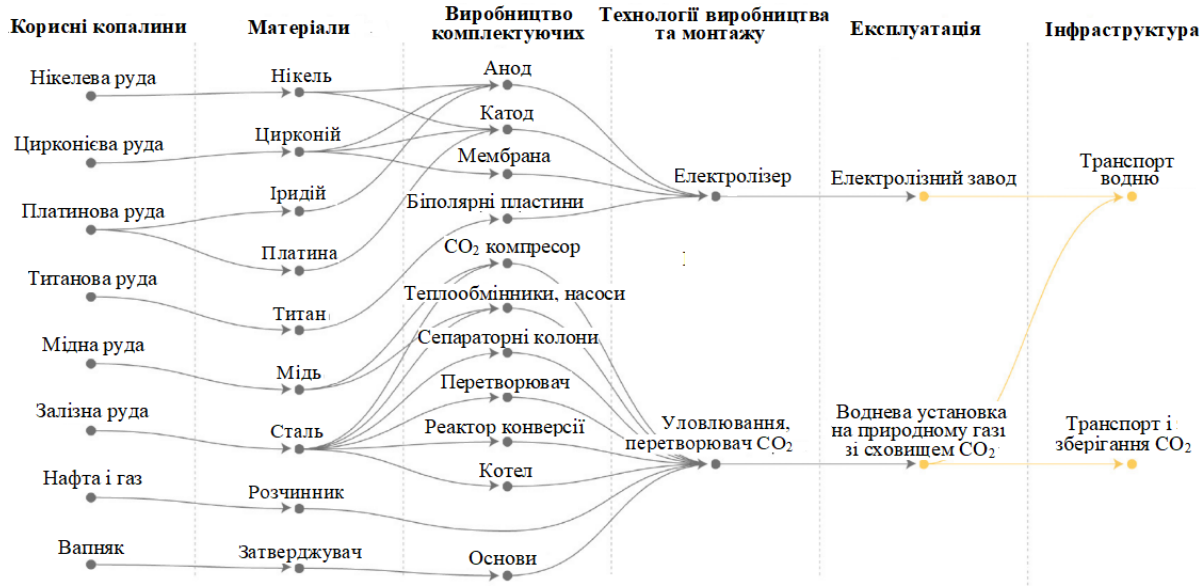

Рис. 4. Ключові елементи для кожного кроку в інженерному ланцюгу постачання чистої енергії з водню з низьким рівнем викидів (включаючи технологічні ланцюги поставок для електролізерів і установок на основі природного газу з уловлюванням і зберіганням вуглецю [CCS])

стання з 23%) і природний газ з 23% (зростання з 21%). Біоенергія все ще залишається найбільшим джерелом невикопної енергії, на яку припадає близько 10% від загального споживання первинної енергії у 2021 році, з них понад третина у формі традиційної біомаси, яка часто використовується неефективно. Атомна енергія становить 5% від загального обсягу поставок, гідроенергія– близько 2%, а сонячна та вітрова – лише 2%. Хоча електрифікація прискорилася за останні два десятиліття, викопне паливо все ще домінує в кінцевому споживанні енергії, на нього припадає близько 35% загального споживання енергії в будівлях і 95% на транспорті.

Глобальний перехід до чистої енергії з майже нульовими викидами CO_2 наразі повинен прискоритися завдяки поєднанню політики, технологічних змін та економіки. Потреба різко та терміново скоротити викиди парникових газів перед фактом все більш вражаючих доказів глобальної зміни клімату зараз широко визнана, що відображається у все більш амбітних національних цілях. Глобальна енергетична криза через війну росії в Україні посилила занепокоєння енергетичною безпекою щодо постачання традиційних видів палива, таких як нафта та газ, надаючи додатковий поштовх потребі та політичній підтримці чистих енергетичних технологій. Станом на кінець листопада 2022 року 87 країн і Європейський Союз оголосили про зобов'язання скоротити викиди до нуля цього століття, охоплюючи понад 85% світових викидів і 85% валового внутрішнього продукту. Аналогічні заяви включають мету Китаю з 2021 року досягти вуглецевої нейтральності до 2060 року, ціль Індії – нульові чисті викиди до 2070 року та нульові чисті викиди Індонезії до 2060 року. Якщо всі оголошення та цілі будуть виконані в повному обсязі та вчасно, їх буде достатньо, щоб утримати підвищення глобальної температури приблизно до 1,7°C у 2100 році [15].

Висновок. За останнє десятиліття впровадження чистих енергетичних технологій і постачання енергії з невикопних джерел, зокрема з відновлюваних джерел, стрімко прискорилося. У 2022 році на відновлювані джерела енергії припадало 30% світового виробництва електроенергії, порівняно з менш ніж 20% у 2010 році, із помітним збільшенням виробництва сонячної фотоелектричної, вітрової, гідроенергії та біоенергії [15]. Електрифікація прискорюється в усіх секторах кінцевого використання, включаючи теплозабезпечення будівель. У сфері транспорту продажі електромобілів у 2022 році перевищили 10 мільйонів або 13% світового автомобільного ринку, в результаті

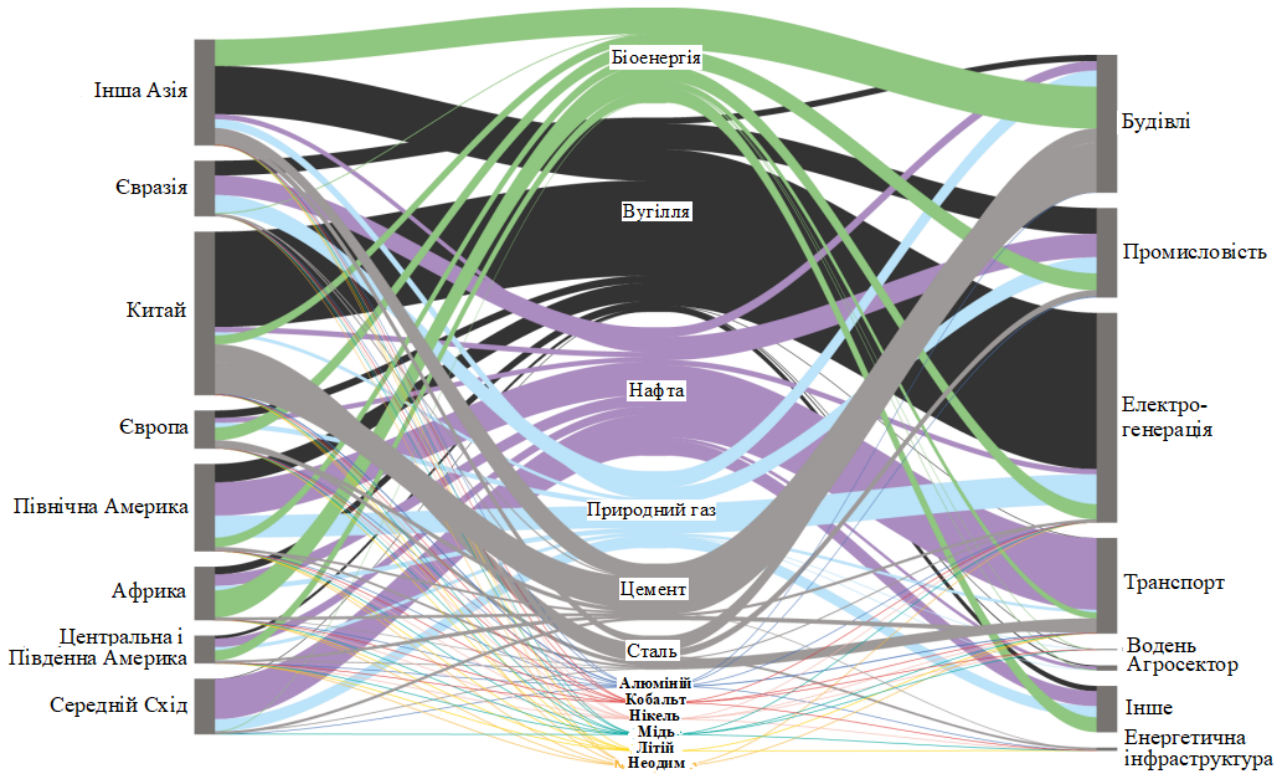

Рис. 5. Глобальна географія енергоресурсів і розподіл енергії по галузям світової економіки, 2021 рік. Фізичні масові потоки палива і матеріалів в енергетичній системі, млн тон

чого їх загальна кількість на дорогах світу перевищила 25 мільйонів, порівняно з практично нульовим показником у 2010 році. У 2021 році в усьому світі працювало понад 1000 теплових гігават теплових насосів, порівняно з приблизно 500 ГВт у 2010 році, а продажі зросли на 13% порівняно з 2020 роком. Аналіз показує, що світовий ринок ключових екологічно чистих енергетичних технологій до 2030 року становитиме приблизно 650 мільярдів доларів США на рік (що більш ніж у три рази перевищує сьогоднішній рівень), якщо країни світу повністю виконають свої оголошені обіцянки щодо енергетики та клімату. Пов'язані з цим робочі місця у виробництві чистої енергії зростуть більш ніж удвічі з 6 мільйонів сьогодні до майже 14 мільйонів до 2030 року – і в наступні десятиліття очікується подальше швидке зростання промисловості та зайнятості.

Оптимальне рішення залучення в енергобаланс різних енергоресурсів та енергоносіїв полягає не в протиставленні їх один одному, а в розумному технікоекономічно та екологічно обґрунтованому поєднанні, що звичайно вимагає поглиблення та розширення наукових основ з теорії та практики проведення технікоекономічного аналізу енергетичних технологій з урахуванням сучасних інтелектуальних та обчислювальних можливостей у інноваційній цифровій економіці. Особливо важливо в воєнний час врахування реалій і проведення ретельних розрахунків можливих сценаріїв розвитку енергетики з дотриманням балансу між національними (безпековими, економічними тощо) інтересами і світовою політикою покращення екології довкілля.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Пирожков С.І.* Про національну доповідь НАН України «Національна стійкість України: стратегія відповіді на виклики та випередження гібридних загроз» // Вісник НАН України, №5, 2022. – С. 45-55. doi: https://doi.org/10.15407/visn2022.05.045

2. *Геєць В.М.* Про оцінку економічних втрат України внаслідок збройної агресії росії // Вісник НАН України, №5, 2022. – С. 30-38..doi: https://doi.org/10.15407/visn2022.05.030

3. *Мележик О.О.* Із зали засідань Президії НАН України // Вісник НАН України, №5, 2022. – С. 7-8.

4. *Кириленко О.В.* Особливості роботи Об'єднаної енергетичної системи України в синхронному режимі з європейською континентальною енергетичною системою // Вісник НАН України, №5, 2022. – С. 66-72. doi: https://doi.org/10.15407/visn2022.05.039

5. *Підготовка до проходження* опалювального періоду в умовах воєнного стану. Матеріали семінару USAID, 12 серпня 2022 р.

6. https://www.unian.ua/economics/energetics/obstril-ukrajini-skilki-raziv-rosiya-atakuvala-ob-yekti-elektroenergetiki-12022740.html

7. *https://www.reuters.com*/article/ukraine-crisis-who/who-report-on-ukraine-health-emergency-sparks-u-s-russia-row-idUSKBN2UE086

8. *Носовський А.В.* Щодо наслідків тимчасової окупації території зони відчуження Чорнобильської АЕС // Вісник НАН України, №6, 2022. – С. 39-44. doi: https://doi.org/10.15407/visn2022.06.066

9. *https://thepage.ua/ua/news*/ukrayina-vtratila-dollar136-mlrd-vid-atak-na-infrastrukturu-najbilshe-postrazhdala-energetika-kse

10. *Кириленко О.В., Снєжкін Ю.Ф., Басок Б.І., Базєєв Е.Т.* Енергетика України: ймовірні сценарії відновлення та розвитку // Вісник НАН України, (9), 22-37. doi:https://doi.org/10.15407/visn2022.09.022

11. *Локтев В.М.* Наука і перемога, або війна як casus bell наукових реформ // Вісник НАН України, №6, 2022.– С. 27-40. doi: https://doi.org/10.15407/visn2022.06.027

12. *Басок, Б. І., Базєєв, Є. Т., & Кураєва, І. В.* (2021). Адаптація комунальної теплоенергетики до змін клімату // Вісник НАН України, (4), 60–75. https://doi.org/10.15407/visn2021.04.060

13. *Putin's Energy Gambit* Fizzles as Warm Winter Saves Europe. https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-01-08/warm-winter-helps-europe-overcome-the-worst-of-russia-s-energy-squeeze?srnd=premium-europe

14. *Євросоюз вибрав* із ПСГ 30 млрд кубів газу. https://newsyou.info/2023/02/yevrosoyuz-vibrav-iz-psg-30-mlrd-kubiv-gazu

15. *IEA (2023)*, Energy Technology Perspectives 2023, IEA, Париж. https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives 2023

ENERGY, SCIENCE AND ENGINEERING TODAY: THE STATE AND CHALLENGES OF DEVELOPMENT

B.I. Basok, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, **E.T. Bazeev,** PhD (Engin.)

Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine
2a, Marii Kapnist str., Kyiv, 03057, Ukraine

https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2023.5

Abstract. An overview of the energy problems of Ukraine, Europe and the world is given, the challenges and risks faced by the socio-economic sphere, academic fundamental science as a result of russian aggression, in particular in the field of energy, are analyzed. The role of science as an intellectual foundation for the socio-economic, political and military power of the state is emphasized. A list of fundamental and applied research and development in the field of communal energy, aimed at reliable energy supply of residential and public buildings, is provided. These studies formed a new scientific direction-fundamental thermophysical engineering. The state and trends of energy development in Europe and the world in the context of economic threats, price policy, resource base, energy conversion technologies and final low-carbon energy use are presented.

References 15, figures 5, tables 1.

Keywords: science, energy power, energy security, challenges and risks, energy sustainability, communal energy, clean energy, fundamental thermophysical engineering.

1. *Pirozhkov S.I.* About the national report of the National Academy of Sciences of Ukraine "National stability of Ukraine: a strategy for responding to challenges and anticipating hybrid threats" // Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, No. 5, 2022. – P. 45-55. doi: https://doi.org/10.15407/visn2022.05.045

2. *Geets V.M.* On the assessment of Ukraine's economic losses as a result of Russia's armed aggression // Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, No. 5, 2022.- P. 30-38..doi: https://doi.org/10.15407/visn2022.05.030

3. *Melezhik O.O.* From the meeting hall of the Presidium of the National Academy of Sciences of Ukraine // Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, No. 5, 2022. – P. 7-8.

4. *Kirylenko O.V.* Peculiarities of the operation of the United Energy System of Ukraine in synchronous mode with the European continental energy system // Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, No. 5, 2022.– P. 66-72. doi: https://doi.org/10.15407/visn2022.05.039

5. *Preparation for the* heating period under martial law. Materials of the USAID seminar, August 12, 2022.

6. *https://www.unian.ua*/economics/energetics/obstril-ukrajini-skilki-raziv-rosiya-atakuvala-ob-yekti-elektroenergetiki-12022740.html

7. *https://www.reuters.com*/article/ukraine-crisis-who/who-report-on-ukraine-health-emergency-sparks-u-s-russia-row-idUSKBN2UE086

8. *Nosovsky A.V.* Regarding the consequences of the temporary occupation of the exclusion zone of the Chornobyl NPP // Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, No. 6, 2022. – P. 39-44. doi: https://doi.org/10.15407/visn2022.06.066

9. *https://thepage.ua*/ua/news/ukrayina-vtratila-dollar136-mlrd-vid-atak-na-infrastrukturu-najbilshe-postrazhdala-energetika-kse

10. *Kirylenko O.V., Snezhkin Y.F., Basok B.I., Bazeev E.T.* Energy of Ukraine: probable scenarios of recovery and development // Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, (9), 22-37. doi:https://doi.org/10.15407/visn2022.09.022

11. *Loktev V.M.* Science and victory, or war as a casus bell of scientific reforms // Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, No. 6, 2022. – P. 27-40. doi: https://doi.org/10.15407/visn2022.06.027

12. *Basok, B.I., Bazeev, Y.T., & Kuraeva, I.V.* (2021). Adaptation of communal heat energy to climate changes // Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, (4), 60–75. https://doi.org/10.15407/visn2021.04.060

13. *Putin's Energy Gambit* Fizzles as Warm Winter Saves Europe. https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-01-08/warm-winter-helps-europe-overcome-the-worst-of-russia-s-energy-squeeze?srnd=premium-europe

14. *The European Union* selected 30 billion cubic meters of gas from UGS. https://newsyou.info/2023/02/yevrosoyuz-vibrav-iz-psg-30-mlrd-kubiv-gazu

15. *IEA (2023)*, Energy Technology Perspectives 2023, IEA, Paris. https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives 2023

Отримано 11.02.2023
Received 11.02.2023