

УДК 551.582

НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВА ЕНЕРГЕТИКА (ОГЛЯД). 1. ПРОБЛЕМИ І ПРОГНОЗИ

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

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Булаховського, 2, Київ, 03164, Україна, basok@itf.kiev.ua

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2022.4>

Означено проблеми, що пов'язані з реалізацією стратегії низьковуглецевого розвитку економіки світу та України, намічено шляхи зниження вуглецевості економіки, сформульовано та початково розвинено новий науковий напрямок зі становлення та підвищення енергоефективності промисловості та будівельно-житлової сфери.

Означены проблемы, связанные с реализацией стратегии низкоуглеродного развития экономики мира и Украины, намечены пути снижения углеродоемкости экономики, сформулировано и начально развито научное направление по становлению и повышению энергоэффективности промышленности и строительной сферы.

The problems associated with the implementation of the strategy of low-carbon development of the economy of the world and Ukraine are outlined, ways to reduce the carbon intensity of the economy are outlined, a scientific direction on the formation and improvement of the energy efficiency of industry and the construction and housing sector is formulated and initially developed.

Бібл. 26, рис. 1.

Ключові слова: глобальне потепління, політика ослаблення впливу потепління клімату, вуглецеємність економіки, політика адаптації, низьковуглецева енергетика, Кліматичний пакт.

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ВМО – всесвітня метеорологічна організація;

МГЕЗК – міжурядова група експертів зі змін клімату;

МЕА – міжнародне енергетичне агентство;

COP – Climate Change Conference of the Parties,

конференція сторін зі зміни клімату;

IRENA – International Renewable Energy Agency,

міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії.

Вступ. На шляху свого розвитку планета Земля, її країни та регіони проходили точки біфуркації, в яких змінювалися тренди розвитку людства та породжувалися проблеми, що підривають життєдіяльність та життєздатність на планеті. Наприкінці 20-го та на початку 21 століття такими викликами, що приковують увагу наукової, політичної та громадянської спільноти стали кліматичні зміни (глобальне потепління) та пандемія Covid-19 з її модифікаціями.

Пандемія Covid-19 стала глобальною проблемою для сучасного світу. Але й глобальне потепління (з посиленням тренду такої зміни клімату з середини XX століття) продовжує розглядатися як нагальна проблема фізики та геополітики, як загроза для життєдіяльності та причина падіння економіки на міжнародному та регіональному рівнях. 13 жовтня 2020 року опубліковано доповідь ВМО про стан кліматичного обслуговування в 2020 році: від завчасних попереджень до завчасних дій. Зазначено, що за останні 50 років понад 11000 стихійних лих було викликано погодними та кліматичними та пов'язаними з водою небезпечними явищами (загибло 2 млн. осіб, економічні збитки склали 3,6 млрд. дол. США) [1].

Інструментально зафіксований посилений тренд підвищення глобальної температури з 70-х років XX століття на думку Міждержавної групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) був обумовлений антропогенним впливом – підвищенням концентрації в атмосфері Землі т.з. парникових газів (CO_2 , CH_4 , N_2O та ін.), основним продуцентом яких є паливноенергетичний комплекс (видобуток, транспортування та використання вуглеводневого палива). Однак, не всі фахівці розділяють підхід МГЕЗК, що зводиться до того, що визначальний фактор глобального потепління є антропогенний вплив, більше того, ставлять під сумнів об'єктивність таких висновків. Але все ж таки на сьогодні у рішеннях цілого ряду міжнародних кліматичних самітів у т. ч. Кіотському протоколі (1997 рік) та Паризькій угоді (2015 рік), на Кліматичному пакті Глазго (конференції COP-26, 2021 рік) вирішальна роль у змінах клімату відводиться ПЕК.

Проблематика. Підвищення глобальної температури на $1,1^\circ\text{C}$ порівняно з 1850-1900 рр. і на $0,2^\circ\text{C}$ порівняно з 2011-2015 рр. [2] і пов'язані з цим інші екстремальні природні явища на планеті викликали необхідність відшукувати заходи та механізми пом'якшення можли-

вих наслідків та неминучої адаптації життєдіяльності людства та економіки країн і регіонів до поточних чи очікуваних змін клімату. Відповідно до Паризької угоди з клімату для зниження ризиків кліматичних змін для економіки та населення передбачається розробка і реалізація національних стратегій довгострокового розвитку з низьким рівнем викидів парникових газів, одночасно не завдаючи шкоди пріоритетам національної безпеки розвитку економіки та життєзабезпечення населення. Кліматичні зміни з їх необхідним регулюванням створюють стимули для інноваційно-технологічної модернізації економіки та водночас змушують оцінювати ризики для соціально-економічного розвитку внаслідок тих обмежень, які можуть виникнути під час здійснення заходів щодо зниження емісії парникових газів. Це поглиблює всю складність вирішення проблеми.

Мета Паризької угоди та Кліматичного пакту Глазго – підвищення середньосвітової температури до кінця 21-го століття не вище 2°C щодо доіндустріального періоду розвитку (1850-ті роки) і ще вище прагнення лише збільшення на 1,5°C – передбачають зниження емісії парникових газів більш ніж у 4 рази до 2050 року. Але реалії, зокрема COVID-19, уже вносять корективи у прогнози. У країнах, які запровадили карантинні заходи, унаслідок чого було зупинено цілі сектори економіки, викид парникових газів знизився менш як 10 % [3]. А Паризька угода закликає до значно більшого ефекту. Конференція COP26 в Глазго (2021, листопад) визначає свої імперативи до зниження парникових газів дещо обережним словосполученням "треба прагнути". Зазначимо, що на цій конференції були відсутні впливові представники Росії та Китаю – одних із головних емітентів парникових газів, а США не представили чіткої програми дій.

Шляхи вирішення проблеми. Для реалізації Паризької угоди потрібно прийняття кардинальної структурної перебудови світової економіки – насамперед економіки провідних держав та ЄС – підвищення енергоефективності економіки та досягнення її вуглецевої нейтральності. Такий підхід обґрунтовується економічною доцільністю. Так інвестиційні витрати, передбачені політикою ЄС в "Європейському зеленому курсі" [4], в 4 рази нижчі за рівень, який необхідний для скорочення емісії парникових газів на 55% до 2030 року та на досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року. При цьому частину витрат ЄС має намір перекласти на зовнішніх експортерів вуглецевої низько- і середньотехнологічної продукції з оподаткуванням цього імпорту додатковим збором у рамках введення так званого прикордонного компенсаційного вуглецевого механізму [4].

Шляхи зниження вуглецевої ємності економіки (або зменшення карбоноємності ВВП чи карбонопродуктивності – (carbon productivity), або підвищення карбоноефективності економіки) та досягнення вуглецевої нейтральності зі зниженням ризиків екологічних та кліматичних змін для економіки та життєдіяльності включають:

- підвищення ефективності використання енергоресурсів (підвищення енергоефективності економіки);
- посилення тренду використання відновлюваних джерел енергії;
- зменшення обсягу споживання традиційних вуглецевмісних енергоресурсів (вугілля, нафта, природний газ та ін);
- активне використання новітньої безпечної атомної енергетики, в т.ч. модульних реакторів малої та середньої потужності;
- використання низьковуглецевих мікс-палив;
- уловлення та захоронення вуглекислого газу;
- використання водню як енергоносія, у т.ч. спільно з природним газом.

Реалізація заходів. Оптимальний варіант використання зазначених шляхів для зниження вуглецевмісності економіки і досягнення вуглецевої нейтральності полягає не в протиставленні зазначених напрямків один одному, а в їх розумному, техніко-економічно та екологічно виваженішому обґрунтованому поєднанні. Не всі поділяють такий підхід, є радикальні пропозиції. Так, наприклад, Башмаков І.А. відводить вирішальну роль в основному енергоефективності, а інші підходи вважаються міфами [5, 6]. Справді, енергоефективність є одним із головних енергоресурсів [6], рис. 1. У літературі навіть з'явився термін для одиниці вимірювань такого енергоресурсу – негаджоулі [7, 8].

Дійсно, головний ресурс забезпечення потреби людства в енергетичних послугах (корисний ефект від застосування енергоресурсів — механічне пересування, параметри комфорту життя та ін.) – це підвищення енергоефективності [6]. Його мобілізація з 1975 р. дозволила вдвічі знизити глобальну потребу в енергії (на 14 млрд. т н.е.). Тільки у 2000-2015 роках і лише у країнах МЕА економія первинної енергії становила 770 млн. т н.е., а економія країн МЕА щодо витрат на енергопостачання склала 540 млрд. дол. США, тобто втрати доходу постачальників палива від заходів щодо підвищення енергоефективності вже у 1975-2015 рр. були дуже суттєвими. У 2015-2050 роках вони будуть ще більшими. За збереження енергоемності світового ВВП на рівні 2015 р. споживання первинної енергії у

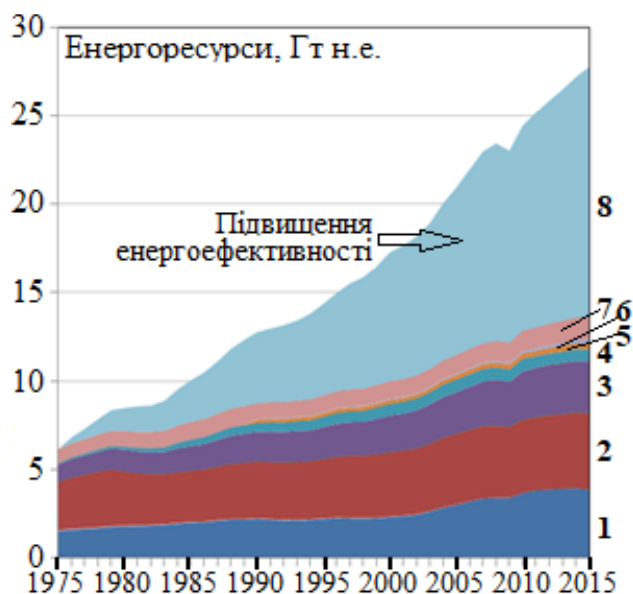


Рис. 1. Історична динаміка складу первинних енергоресурсів, 1975-2016 рр:
 1 – вугілля, 2 – нафта, 3 – природний газ, 4 – атомна енергетика, 5 – гідроенергетика,
 6 – геотермія, інсоляція, вітрова енергетика, 7 – біомаса і відходи, 8 – обсяги енергоресурсу
 за рахунок підвищення енергоефективності [6]

2050 р. становило б 36 млрд. т н.е. проти прогнозованих 16 млрд. т н.е. Економія енергії дорівнює 20 млрд. т н.е., що перевищує прогнозоване світове споживання викопного палива у 2050 р., а економія споживачів на оплаті енергії у 2050 р. становитиме 18 трлн дол. США на рік (у цінах 2011 р.) [6].

Але якщо у 1975-2015 роках частка низьковуглецевих джерел у споживанні первинної енергії змінювалася мало, то з 2015 по 2050 р. її зростання прискориться, а частка палива помітно знизиться до 54% ...63% [6]. У 2050 р. сумарний обсяг споживання ВДЕ на 53% перевищуватиме внесок нафти – найбільшого джерела викопного палива, що наразі споживається. Більше того, ВДЕ на 13% перевищать сумарний внесок вугілля та нафти, частка яких у споживанні первинної енергії у 2015 р. склала 81%. Це приклад того, як small on small scale стає big on big scale (мале на малій шкалі стає великим на великій), і навпаки. Отже, на перспективу до 2050 р. головним ресурсом задоволення потреб людства в енергетичних послугах, як і раніше, залишається підвищення енергоефективності. За рахунок цього суттєво знижується потреба в енергії для забезпечення економічного зростання. Основним джерелом задоволення додаткової потреби в енергії стануть ВДЕ [6].

Також зазначимо, що у 1975-2015 роках кумулятивне зниження викидів парникових газів за рахунок енергоефективності склало 13 Гт CO₂-екв. Наразі у

країнах ЄС реалізується близько 2500 заходів політики щодо підвищення енергоефективності [6].

Міфи [5, 6] зводяться до наступного:

1. зростання економіки вимагає зростання споживання енергоресурсів, у т.ч. і на душу населення;
2. нафта – головний енергоресурс і разом із газом найбільш привабливі для інвестування;
3. відновлювані джерела енергії завжди дорожчі і не можна створити економіку, засновану повністю на ВДЕ;
4. механізми з ціною на вуглець гальмують зростання економіки;
5. багато прогнозів переносять минуле і сьогодення у майбутнє ("шлях у майбутнє усякий руїнами прогнозів").

Що стосується аргументації з розвінчування згаданих міфів, то вона теж частково побудована на припущеннях і прогнозах, ступінь достовірності деяких з них в сучасному світі, що динамічно змінюється, теж може виявитися невисоким.

В даний час, коли тренд геополітичних, економічних та екологічних подій має імовірнісний характер, доречно паралель з розвитку фізики, що образно представлена в [9]: "У класичній, доквантовій фізиці на питання: "що відбудеться за таких і таких умов?", слідувала відповідь: "відбудеться те і те". Квантова фізика на таке запитання відповідає: "Відбудеться те і те з такою ймовірністю". А може статися щось інше з відповідною ймовірністю.

Ейнштейну класична визначеність і детермінізм подобались більше, ніж імовірнісний опис. Він казав “Бог не грає у кості” [9].

Треба визнати, що тренди розвитку енергетики, глобального потепління і можливі при цьому ризики кліматичних змін також мають імовірнісний характер. Головне при цьому – спробувати оцінити ступінь ймовірності подій, використовуючи добре аргументовані докази.

Зниження нетто-викидів парникових газів залежить від структурно-технологічної модернізації економіки та її ефективності. У [3] розглянуто три сценарії такої модернізації. Розумний сценарій (на відміну від базового та агресивного) охарактеризований як оптимальний, його основні підходи наведені нижче (цільові значення вказані для 2050 року).

Загальний принцип - економічне зростання, що забезпечує підвищення ефективності використання ресурсів та диверсифікацію економіки;

Електропостачання, теплопостачання. Скорочення вуглеводнів у паливній структурі на 40%; прискорення зростання частки АЕС (зокрема з накопичувачами енергії);

Дорожній транспорт та нафтопереробка. Зростання частки електромобілів у автопарку до 25%; зниження витрати пального до 6 л/100 км;

Трубопровідний транспорт. Зниження витоків метану на 30%;

Видобуток вуглеводнів. Доведення корисної утилізації попутних нафтових газів до 99%; скорочення витоків метану на 50%;

Побутовий сектор. Переведення 50% газових плит на електроенергію; зростання енергоефективності будівель на 40%;

Сільське господарство. Зростання середньої продуктивності корів до 7000 кг на рік, що дозволяє скоротити поголів'я на 15%;

Металургія. Переведення 30% конверторів на електроплавку; зростання ефективності використання коксу на 30%;

Землекористування, зміна у землекористуванні та лісове господарство. Немає зростання лісозаготівель, добровільні проекти щодо висадки нових лісів у розмірі 1% прибутку;

Відходи. Переробка 50% відходів, пов'язаних із викидом парникових газів;

Авіатранспорт. Зростання паливної ефективності на 25%.

Політика низьковуглецевого розвитку та прагнення до досягнення вуглецевої нейтральності передбачає

реалізацію комплексу заходів та механізмів зниження неттоемісій парникових газів та адаптаційних заходів до зміни клімату з одночасним аналізом та оцінкою можливих ризиків для економіки, рівня та якості життя населення країни. Основні заходи пов'язані з підвищенням енергоефективності економіки та адаптації населення та низки виробництв до змін клімату (насамперед паливно-енергетичного комплексу та енергоємних виробництв, агропромислового комплексу та житлово-комунального господарства). Оцінка показує, що за правильному вибудовуванні пріоритетів і формуванні зваженої кліматичної політики можна домогтися дотримання Паризького угоди при одночасному зростанні економіки за темпами, що не нижче світових [3].

Вищезгадані заходи щодо зниження викидів парникових газів, що продукуються технологіями паливно-енергетичного комплексу, підтримуються більшістю представників науково-технічного товариства та політиками. Однак не всі розглядають такий підхід до вирішення кліматичної проблеми як продуктивний, коли все зводиться тільки до скорочення викидів парникових газів. Більше того, він охарактеризований як прямолінійний, контрпродуктивний [10].

Для зниження антропогенного впливу на довкілля підкреслюється «необхідність та ефективність системного підходу, що передбачає пріоритет інституційних, структурних та технологічних перетворень у суспільстві та економіці», [10]. Повинні бути враховані насамперед досягнення в науці та технологіях в галузі економіки, енергетики та екології з урахуванням сучасних тенденцій розвитку соціальної екології та процесу екологізації суспільства [11]. Саме тому “аналізується проблема взаємозв'язку природничо-наукового та соціогуманітарного знання та методів вивчення проблеми глобальних і регіональних змін клімату та їх соціально-економічних наслідків” [10]. В якості методологічної та інструментальної основи досліджень використовується теорія ризику та моделювання [10].

Аналізу стану та трендам розвитку світової енергетики з урахуванням наростаючих кліматичних змін присвячено низку робіт. Особливу увагу приділено до залучення в енергопостачання альтернативних енергоресурсів. При цьому думки щодо ролі таких енергоресурсів в енергетичному балансі розходяться [12].

Основним кроком до утримання глобального потепління, на думку прихильників антропогенної концепції зміни клімату, є зниження викидів парникових газів внаслідок підвищення ефективності видобутку та використання традиційних вуглеводневих

енергоресурсів, прискореного переходу до використання відновлюваних джерел енергії (їх частка повинна становити 40% і вище) [13]. "Лише симбіоз відновлюваних джерел енергії та атомних станцій з ядерними реакторами малої та середньої потужності останнього покоління, що володіють високим ступенем безпеки, дозволить витіснити і замінити вуглеводневе паливо і вирішити проблему кліматичної безпеки без шкоди економічного розвитку" [13]. Такий тренд розвитку енергетики до 2040-2050 рр. Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA) характеризує як Великий енергетичний перехід. Математичне моделювання показує можливість реалізації такого переходу та досягнення цілей Паризької кліматичної угоди ООН. Як відомо, ця угода від 4 листопада 2016 року набула чинності у 2020 році та передбачає обмеження зростання глобальної температури на рівні 1,5°C до 2050 року або на 2°C до 2070 року. Для цього за розрахунками IRENA необхідно скоротити енергетичні викиди парникових газів в атмосферу в 3 рази від рівня 2019 року (33,3 Гт).

Інший підхід передбачає, що основними енергоресурсами (принаймні до 2050 року) будуть традиційні енергоресурси – вугілля, нафта і газ, зі збільшенням пайової участі останнього як найбільш екологічно ощадного енергоресурсу. Роль альтернативних енергоресурсів у загальному енергобалансі, незважаючи на суттєве збільшення тренду їх використання з початку 21 століття, залишатиметься відносно скромною. Принципи, особливості та проблеми використання альтернативних енергоресурсів представлені у [12]. Що стосується прогнозу розвитку водневої енергетики з використанням "зеленого" водню (одержання електролізом із води) та "блакитного" водню (отримання з природного газу з попутним виходом CO₂), то включення цього енергоносія в енергетику залежить від вирішення низки науково-технологічних, економічних та організаційних проблем [12].

Стан проблеми і її розв'язання в Україні. З низкою ініціатив щодо проблеми зміни клімату виступила і Україна. Обґрунтуванням дій до цього є Розпорядження КМ України від 7 грудня 2016 р. № 932-р. "Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року". У ньому наголошено, що одним із основних напрямів "реалізації Концепції є адаптація до зміни клімату, підвищення опірності та зниження ризиків, пов'язаних із зміною клімату". Така адаптація здійснюється шляхом реалізації середньострокової стратегії адаптації до зміни клімату України на період до 2030 року, скоординованої зі стратегіями та планами розвитку секторів економіки та регіональними

стратегіями розвитку. Важливість питань адаптації до змін клімату в Україні набуває особливого значення в контексті Договору про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, оскільки у статті 365 зазначено, що співробітництво сторін охоплює питання розвитку та імплементації політики з питань зміни клімату. В січні 2020 року КМ України створивши міжвідомчу групу з подолання наслідків змін клімату для охорони здоров'я громадян. Її мета – "Охорона здоров'я та благополуччя громадян від ризиків та наслідків зміни клімату". Тому доцільність і актуальність політики адаптації всієї економіки і населення країни є обґрунтованою.

14 вересня 2020 року Президент України підписав Указ "Про рішення Ради національної безпеки та оборони України від 14 вересня 2020 року "Про стратегію національної безпеки України". У Стратегії враховано останні зміни ситуації у сфері національної безпеки та оборони, що пов'язано з кризовими явищами у світовій економіці, появою нових факторів, що впливають на стан міжнародної сфери безпеки, поширення хвороби COVID-19, спричиненої коронавірусом SARS-CoV-2, а також підвищення небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. Стратегія національної безпеки України є основою для розробки інших дванадцяти документів стратегічного планування, що визначатиме шляхи та інструменти її реалізації [14]. Серед зазначених документів вже прийнято і започатковано до реалізації Стратегію енергетичної безпеки на період до 2025 року [15] та Стратегію екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року [16]. При розробці цих регуляторних документів були враховані досягнення і сучасні тенденції розвитку в науці і в технологіях в галузі економіки, енергетики та екології.

Нещодавно КМ України схвалив Національний план дій з енергоефективності до 2030 року [17]. План передбачає: споживання первинної енергії (ППЕ) у 2030 році не повинно перевищувати 91,5 млн. т н.е., кінцеве споживання – 50,5 млн. т н.е. За енергоефективним сценарієм споживання енергії по відношенню до базового сценарію має бути скорочено на 22,3% (ППЕ) та на 17,1% (кінцеве споживання). До Національного плану дій з енергоефективності до 2030 року включено заходи щодо підвищення енергоефективності:

1. термосанация державних та комунальних будівель.
2. повний комерційний облік комунальних послуг.
3. зниження втрат у мережах передачі та розподілу електроенергії, природного газу.
4. перехід на електричний громадський транспорт, розвиток ринку електромобілів та ін.

В кінці січня 2022 р. для громадського обговорення оприлюднено проект Національного плану дій України з розвитку відновлюваної енергетики на період до 2030 року. Проект [18] передбачає індикативну ціль споживання енергії з ВДЕ у 2030 році на рівні 27%. Зокрема, у секторі енергетики рівень споживання енергії ВДЕ до 2030 року має сягнути 25%, у секторі опалення та охолодження – 35%, на транспорті – 14%. План дій також передбачає заходи, які забезпечать збалансований розвиток відновлюваної електроенергетики, теплоенергетики та споживання ВДЕ на транспорті. У документі приділена увага забезпеченню сталості роботи об'єктів відновлюваної генерації; підвищенню надійності енергопостачання; стимулюванню виробництва «чистої» електроенергії на ринкових засадах; стимулюванню використання енергоносіїв з ВДЕ тощо.

В Національній економічній стратегії України на період до 2030 року [19] одним із орієнтирів є декарбонізація економіки (підвищення енергоефективності, розвиток відновлюваних джерел енергії, розвиток циркулярної економіки та синхронізація із ініціативою “Європейський зелений курс”), а “червоною лінією” (одним із критичних перепонів для розвитку економіки) є невиконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії. Взаємодія із цим товариством ЄС є вкрай важливою, адже атомна енергетика є майже безвуглецевою, більш того, наразі вирішується питання визнання цієї енергетики «умовно зеленою».

Стосовно впливу глобального потепління на майбутнє сфери теплоенергетики можна відмітити наступне. Мета стратегії адаптації до зміни клімату для комунальної енергетики - це забезпечення такого стану муніципального енергопостачання (теплопостачання та кондиціонування), яке гарантує комфортне і надійне поточне і перспективне теплохолодопостачання технічно та економічно обґрунтованим способом при дотриманні вимог охорони навколишнього середовища.

Предметні дослідження в Україні в комунальній енергетиці за проблематикою впливу зміни клімату на теплопостачання та кондиціонування приміщень активізувалися після широкого обговорення проблеми глобального потепління у 90-х – початку 2000-х років (після Кіотського протоколу 1997 року та Паризької угоди 2015 року) [20-22]. Згідно цих досліджень необхідно вносити корективи в управління у багатьох галузях економіки України, в тому числі, у комунальній енергетиці України, а саме: у теплопостачанні та кондиціонуванні у будівлях житлово-комунального сек-

тору. Необхідно буде скорочувати терміни та параметри опалювального періоду, але в той же час необхідно збільшувати терміни та параметри кондиціонування. Таким чином, зміна клімату веде до економії енергоресурсів в опалювальний період і одночасно до збільшення витрат електроенергії (в кінцевому рахунку енергоресурсів) на кондиціонування приміщень у літній період. Особливо це буде характерним для південних областей України. Тому дуже важливо розробити заходи щодо формування політики адаптації комунальної енергетики – визначення і обґрунтування основних напрямків вирішення ключових проблем адаптації муніципального енергозабезпечення (теплохолодозабезпечення) щодо глобального потепління з урахуванням норм і стандартів енергозабезпечення із узгодженням нормативних документів з директивами Європейського Союзу щодо сфери муніципального енергозабезпечення та енергоефективності будівель. Необхідно буде змінити прикладні температурні характеристики - градусодобу теплого і холодного періодів, удосконалювати інженерні системи та обладнання енергопостачання будівель, оптимізувати теплотехнічні характеристики огорожувальних будівельних конструкцій, зокрема при спорудженні "пасивних" будинків, будинків типу "нуль-енергії", удосконалити архітектуру будівель тощо. Повинна бути сформована політика адаптації до зміни клімату до умов України з розробкою відповідного регуляторного документа – стратегії адаптації [23-26].

Головні заходи і механізми адаптації до зміни клімату для комунальної енергетики мають бути розроблені для кінцевого споживача – енергозабезпечення будівель житлово-комунального сектору. При цьому збільшується роль адаптаційних заходів, пов'язаних з впровадженням архітектурно-будівельних інновацій будівель – термомодернізації огорожувальних конструкцій; вибору матеріалів, що відбивають або навпаки поглинають сонячну радіацію; «зеленого» екранування фасадів будівель та ін. Посилюється інтерес до біоніки – розроблення механізмів адаптації до зміни клімату, створених за аналогією їх дії в живій природі. Зараз у світі з такими природоподібними технологіями пов'язують великі надії на вирішення глобальної екологічної кризи. Ці технології передбачають створення інновацій на основі дублювання в техносфері ефективних процесів, що спостерігаються в живій природі (природовідтворювані технології); розроблення технологічних систем з використанням перенесення в техносферу ефективної функціональної структури поведінки речовини і енергії в біологічних системах (конвергентні технології) [24]. Одним з актуальних за-

вдань архітектурної біоніки (архітектурний стиль, заснований на використанні в архітектурі принципів біоніки) є пошук таких архітектурно-технічних рішень, які дозволяли б використовувати екологічно чисті види енергії – енергію сонця, вітру, ґрунту, водойм, річок тощо [24, 25].

Саме тому в ІТТФ НАН України започатковано науковий напрям і, відповідно, наукову школу з розвитку енергоефективності на основі використання світового тренду інтелектуальних низьковуглецевих технологій в тріаді енергетика-економіка-екологія з метою досягнення рівня високого технологічного укладу. Цей напрям головним чином орієнтований на розробку, комплексні дослідження та реалізацію системних науково-методологічних положень стратегічного, організаційного, інноваційного і економічно обґрунтованого розвитку систем енергоспоживання кінцевого користувача, зокрема, підвищення енергоефективності промисловості та будівельно-житлової сфери (споживачі-регулятори, активні споживачі, «розумні» споживачі).

Висновки. Безсумнівно, фізика і геополітика глобального потепління стали однією з найактуальніших трансдисциплінарних проблем у реаліях сучасного світу. Тому в енергетичній сфері необхідно розвивати та поглиблювати наукові основи адаптації життєдіяльності та економіки до можливих змін клімату та їх наслідків.

Рекомендації. Основні заходи для реалізації переходу України до низьковуглецевого розвитку економіки включають:

- підвищення енергоефективності економіки як основного фактору скорочення техногенних викидів парникових газів;

- розробку секторальних дорожніх карт заходів із пом'якшення (ослаблення) пагубного впливу потепління клімату та адаптації населення та економіки до змін клімату;

- оцінку викликів, загроз та ризиків від реалізації заходів по зниженню нетто-викидів парникових газів при переході до низьковуглецевої (або до «зеленої») енергетики з використанням інтелектуальних технологій декарбонізації економіки.

Стосовно вкладу вітчизняної науки і техніки в постановку та розв'язання наведених завдань, то першочергові задачі НАН України можуть полягати в розробці і реалізації наступних конкретних заходів:

1. в рамках Національної економічної стратегії України на період до 2030 року спільно із профільними міністерствами України (Мінприроди, Міненерго, Мінрегіон) ініціювати розроблення Законів України

(робочі назви): закону «Про зменшення теплового забруднення довкілля», закону «Про поводження із побутовими відходами»;

2. залучити профільні відділення і установи НАН України до корегування другого Національно визначеного внеску України на подальшу перспективу до 2060 р. згідно Паризької угоди і Кліматичного пакту Глазго та відповідно до Національної економічної стратегії України з урахуванням тренду стійкого зростання української економіки;

3. залучити установи НАН України в координації із профільними відомствами України до розробки:

- дорожньої карти з адаптації до глобального потепління комунальної теплоенергетики;
- дорожньої карти з адаптації до глобального потепління аграрно-промислового комплексу;
- дорожньої карти з адаптації до глобального потепління промисловості, включаючи паливно-енергетичний комплекс та транспорт;
- дорожньої карти з розвитку нових лісових насаджень та деревних енергетичних культур.

4. можливо по науково-технічним аспектам наведених задач доцільно розглянути необхідність започаткування наукової програми НАН України із розвитку енергоефективності.

Стаття виконана в рамках реалізації проекту «Розроблення наукових засад процесів тепломасопереносу і горіння для вдосконалення технологій отримання та використання відновлюваних видів палива з метою декарбонізації енергетики України», науковий керівник – академік НАН України Снежкін Ю.Ф.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Доклад о состоянии климатического обслуживания в 2020 году: от заблаговременных предупреждений к заблаговременным действиям.* State of Climate Services 2020 Report: Move from Early Warnings to Early Action. WMO, Press Release Number:13102020, 13 October 2020. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/state-of-climate-services-2020-report-move-from-early-warnings-early-action>.

2. *WMO Provisional Statement of the State of the Climate 2019.* https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10108.

3. Порфир'єв Б., Широков О., Колтаков А. Стратегія низьковуглецевого розвитку: перспективи для економіки Росії // Світова економіка та міжнародні відносини, 2020, т. 64, №9. - С. 15-25.

4. Порфір'єв Б.М., Широков О.О., Колпаков А.Ю. Комплексний підхід до стратегії низьковоуглецевого соціально-економічного розвитку Росії // ГЕОРЕСУРСИ. 2021, т.23, №3. С. 3-7. DOI <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.1>.
5. Башмаков И.А. Энергетика мира: мифы прошлого и уроки будущего // Вопросы экономики. 2018;(4):49-75. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2018-4-49-75>.
6. Башмаков И.А. Зачем России переходит на траекторию низкоуглеродного развития? 2017. Режим доступа: http://www.cenef.ru/file/Bashmakov_17.pptx.
7. Басок Б.И., Базеев С.Т. Глобальне потепління: проблеми, дискусії та прогнози // Світогляд. – 2020. – т. 86, №6. – С. 12-23.
8. Башмаков И. Закон повышающейся энергоэффективности. Энергоинформ. 2002. №27 (158).
9. Болотовський Б. Ейнштейн і сучасна картина світу / Наука і життя, № 2, 2006. - С. 53-61.
10. Данілов-Данільян В.І., Катцев В.М., Порфір'єв Б.М. Взаємодія природничих та соціогуманітарних наук // Вісник РАН, 2020, т. 90, № 10, - С. 914-925.
11. Котляревський Я.В., Мельниченко О.О., Іваницька О.М., Семенюк Ю.П., Князев С.І., Мельников О.В. Нова економіка: еволюція форм та методології досліджень // Наука та інновації. 2020, т. 16, №1. - С. 16-32.
12. Арутюнов В.С., Лисичкин Г.В. Энергетические ресурсы XXI столетия: проблемы и прогнозы. Могут ли возобновляемые источники энергии заменить ископаемое топливо? // Успехи химии, 2017, т. 86, № 8. –С. 777-804.
13. Акаев А.А., Давыдова О.И. Парижское климатическое соглашение вступает в силу. Состоится ли великий энергетический переход? // Вестник РАН, 2020, т. 90, №10, - С. 926-938. DOI: 10.31857/S0869587320100023.
14. Указ Президента України від 14.09.2020, № 392. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 вересня 2020 року "Про Стратегію національної безпеки України".
15. Кабінет Міністрів України. Розпорядження «Про схвалення Стратегії енергетичної безпеки» від 4 серпня 2021 р. № 907-р.
16. Кабінет Міністрів України. Розпорядження «Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року» від 20 жовтня 2021р. № 1363-р.
17. Кабінет Міністрів України. Розпорядження «Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року» від 29 грудня 2021 р. № 1803-р.
18. Національний план дій з розвитку відновлюваної енергетики на період до 2030 року. Проект плану. <https://saee.gov.ua/uk/content/elektronni-consultatsii>.
19. Кабінет Міністрів України. Розпорядження «Національна економічна стратегія на період до 2030 року» 3 березня 2021 р. № 179.
20. Emissions Gap Report 2020. UN Environment Programme. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>.
21. Global Energy Outlook: CO₂ Emissions in 2020. Paris: IEA, 2021. <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>.
22. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
23. Басок Б.И., Базеев С.Т., Дубовський С.В. Про проблему адаптації комунальної енергетики до глобального потепління (огляд) // Теплофізика та теплоенергетика. 2020, т. 42, №2. - С. 48-59. doi.org/10.31472/tpe.2.2020.5.
24. Басок Б.И., Базеев С.Т., Кураєва І.В. Адаптація комунальної теплоенергетики до змін клімату // Вісник НАНУ. 2021. № 4. - С. 59-75. doi: <https://doi.org/10.15407/visn2021.04.060>
25. Basok B., Bazeev E., Pavlenko A., Kurayeva I. Municipal Heat Energy of Ukraine – Adaptation to Global Warming // Rocznik Ochrona Środowiska, 2021, v. 23, pp. 552-568.
26. Basok B., Davydenko B., Pavlenko A. Numerical Network Modeling of Heat and Moisture Transfer through Capillary-Porous Building Materials // Materials 2021, 14, 1819. <https://doi.org/10.3390/ma14081819>.

LOW CARBON ENERGY (REVIEW). 1. PROBLEMS AND FORECASTS

Basok B.I., Baseyev Ye.T.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Marii Kapnist str., 2a, Kyiv, 03057, Ukraine. basok@itf.kiev.ua

<https://doi.org/10.31472/tpe.1.2022.4>

The problems associated with the implementation of the strategy of low-carbon development of the economy of the world and Ukraine are noted, ways to reduce the carbon intensity of the economy are outlined, a new scientific direction is formulated and initially developed to establish and improve the energy efficiency of industry and the construction and housing sector, including end-users-regulators, active consumers. The main attention is paid to the development of energy efficiency (the main and cheapest energy resource) and the development of renewable energy - two basic directions for achieving a global decarbonized economy. At the same time, a positive feature of Ukraine is the presence of powerful nuclear generation and obligations to integrate energy systems with European ENTSO-E and ENTSO-G. It is noted that carbon neutrality is one of the UN sustainable development goals, which must be achieved with careful miscalculations of possible scenarios, while maintaining a balance between global environmental problems and the national interests of countries. Therefore, there should be joint economic growth with the reformatting of the energy system based on intelligent "green" technologies and also ensuring the principles of social justice.

References 26, figures 1.

Keywords: global warming, climate change mitigation policy, carbon intensity of the economy, adaptation policy, low-carbon energy, Climate Pact.

1. *State of Climate Services 2020 Report: Move from Early Warnings to Early Action*. WMO, Press Release Number:13102020, 13 October 2020. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/state-of-climate-services-2020-report-move-from-early-warnings-early-action>.

2. *WMO Provisional Statement of the State of the Climate 2019*. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10108.

3. Porfiriev B., Shirov O., Kolpakov A. Low-carbon development strategy: prospects for the Russian economy // *World economy and international relations*, 2020, v. 64, №9. - P. 15-25.

4. Porfiriev B.M., Shirov O.O., Kolpakov A. Yu. An integrated approach to the strategy of low-carbon socio-economic development of Russia // *GEORESOURCES*. 2021, v.23, №3. P. 3-7. DOI <https://doi.org/10.18599/grs.2021.3.1>.

5. Bashmakov I.A. Energy of the world: myths of the past and lessons of the future // *Questions of Economics*. 2018;(4):49-75. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2018-4-49-75>.

6. Bashmakov I.A. Why should Russia switch to a low-carbon development trajectory? 2017. Access mode: http://www.cenef.ru/file/Bashmakov_17.pptx.

7. Basok B.I., Bazeev E.T. Global warming: problems, discussions and forecasts // *World outlook*. – 2020. – V. 86, №6. – P. 12-23.

8. Bashmakov I. The Law of Increasing Energy Efficiency. *Energoinform*. 2002. №27 (158).

9. Bolotovskiy B. Einstein and the modern picture of the world / *Science and Life*, № 2, 2006. - P. 53-61.

10. Danilov-Danilyan V.I., Kattsev V.M., Porfiriev B.M. Interaction of natural and socio-humanitarian sciences // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2020, v. 90, № 10, - P. 914-925.

11. Kotlyarevsky Ya.V., Melnichenko E.A., Ivanitskaya E.M., Semenyuk Yu.P., Knyazev S.I., Melnikov E.V. New Economy: Evolution of Forms and Methodologies of Research // *Science and Innovations*. 2020, v. 16, №1. - P. 16-32.

12. Arutyunov V.S., Lisichkin G.V. Energy resources of the 21st century: problems and forecasts. Can renewable energy replace fossil fuels? // *Advances in chemistry*, 2017, v. 86, № 8. –P. 777-804.

13. Akaev A.A., Davydova O.I. The Paris Climate Agreement comes into force. Will there be a great energy transition? // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2020, v. 90, №10, - P. 926-938. DOI: 10.31857/S0869587320100023.

14. *Decree of the President of Ukraine* dated September 14, 2020 No. 392. On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated September 14, 2020 "On the National Security Strategy of Ukraine".

15. *Cabinet of Ministers of Ukraine*. Order "On approval of the Energy Security Strategy" dated August 4, 2021 № 907-p.

16. *Cabinet of Ministers of Ukraine*. Order "On approval of the Strategy for environmental safety and adaptation to climate change for the period up to 2030" October 20, 2021 № 1363-p.

17. *Cabinet of Ministers of Ukraine*. Order "On the National Action Plan on Energy Efficiency until 2030" of December 29, 2021 № 1803-p.

18. *National Action Plan for the Development of Renewable Energy until 2030*. Draft plan. <https://sae.gov.ua/uk/content/elektronni-consultatsii>.
19. *Cabinet of Ministers of Ukraine*. Order "National Economic Strategy until 2030" March 3, 2021 № 179.
20. *Emissions Gap Report 2020*. UN Environment Programme. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>.
21. *Global Energy Outlook: CO₂ Emissions in 2020*. Paris: IEA, 2021. <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>.
22. *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
23. *Basok B.I., Bazeev E.T., Dubovsky S.V.* On the problem of adaptation of municipal power engineering to global warming (review) // *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. 2020, v. 42, №2. - P. 48-59. doi. [org/10.31472/ttpe.2.2020.5](https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2020.5).
24. *Basok B.I., Bazeev E.T., Kuraeva I.V.* Adaptation of communal heat power engineering to climate change // *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2021. № 4. - P. 59-75. doi: <https://doi.org/10.15407/visn2021.04.060>
25. *Basok B., Bazeev E., Pavlenko A., Kurayeva I.* Municipal Heat Energy of Ukraine – Adaptation to Global Warming // *Rocznik Ochrona Środowiska*, 2021, v. 23, P. 552-568.
26. *Basok B., Davydenko B., Pavlenko A.* Numerical Network Modeling of Heat and Moisture Transfer through Capillary-Porous Building Materials // *Materials* 2021, 14, 1819. <https://doi.org/10.3390/ma14081819>

Отримано 08.02.2022

Received 08.02.2022