

МІЖГАЛУЗЕВІ ПРОБЛЕМИ І СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ПАЛИВНО- ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ CROSS-SECTORAL PROBLEMS AND SYSTEM RESEARCH IN THE FUEL AND ENERGY SECTOR

УДК 621.31:551.58

Б.І. Басок, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-8935-4248
Є.Т. Базєєв, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник, ORCID 0000-0003-4292-1505
Інститут технічної теплофізики НАН України

ПРОБЛЕМИ ФІЗИКИ ТА ГЕОПОЛІТИКИ В ГЛОБАЛЬНОМУ ПОТЕПЛІННІ

Вступ. Глобальне потепління клімату і т. зв. «парниковий ефект» — одна з найбільш обговорюваних проблем фізики та геополітики, яка викликала протестні екологічні рухи в світі.

Проблематика. Широко обговорюються як антропогенна (емісія парникових газів в атмосферу), так і природна концепції глобального потепління з драматичними наслідками зміни клімату для планети і окремих її регіонів.

Мета. Оцінити стан проблеми, представити результати досліджень і заходи щодо можливого зниження парникового ефекту.

Матеріали й методи. Використано авторитетні літературні джерела з аналізом антропогенних і природних факторів глобального потепління, в т. ч. з поясненням фізичних процесів, що проявляються при сонячно-геомагнітній активності.

Результати. Визначено шляхи та напрямки підвищення ефективності використання енергоресурсів по зниженню емісії парникових газів.

Висновки. Найбільший потенціал підвищення енергоефективності використання енергоресурсів, і тим самим зниження емісії парникових газів, знаходиться в сфері теплопостачання житлово-муніципальної сфери країни. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою і реалізацією організаційно-економічних і технологічних інновацій в цьому секторі енергетики.

Ключові слова: антропогенний вплив, глобальне потепління, енергоефективність, зміна клімату, парниковий газ.

Вступ. До проблем сучасного світу - нерівності між багатими і бідними країнами, перенаселенню, виснаженню природних ресурсів - додалася і проблема глобального потепління. Останню тісно пов'язують з антропогенним впливом сфери енергетики на клімат.

Енергетика, як одна з галузей економіки та життєзабезпечення, була і залишається базовою основою розвитку суспільства. Зі збільшенням чисельності населення планети зростає і споживання енергоресурсів. Одночасно перетворення енергоресурсів в різні, зручні для використання види енергоносіїв, не обходиться без негативних наслідків для навколишнього середовища. З'являється ряд проблем планетарного масштабу з тривожними прогнозами. До однієї з них, що викликають підвищений інтерес протягом останніх десятиліть, було віднесено помітну зміну клімату, і зокрема, інструментально виявлене глобальне потепління, що стало предметом наукових та соціально-громадських дискусій і обговорень на ряді міжнародних форумів в рамках Міжнародної програми з екології [1].

Проблематика. З середини ХХ століття помітно посилюється тренд підвищення глобальної приземної температури (рис. 1) - одного з показників кліматичної системи Землі. Наведені на рис. 1 прогнози моделі RCP, що лежать в основі висновків Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК, останній звіт 2014 р.), представляють фізично обґрунтований діапазон можливих зростань глобальної температури протягом наступних кількох десятиліть. Це явище (глобальне потепління) було пояснено посиленням пар –

© Б.І. Басок, Є.Т. Базєєв, 2021

никового ефекту внаслідок підвищення в атмосфері Землі концентрації так званих парникових газів, що викликають такий ефект (CO₂, CH₄, N₂O, O₃ і ін., рис. 2, [2]). Виявлений зв'язок між підвищенням концентрації CO₂ в атмосфері і зростанням глобальної температури став предметом розгляду вищезазначених ініціатив з аналізу клімату. З'явилися численні публікації в ЗМІ та наукових виданнях з викладом необоротних драматичних для планети і її окремих районів наслідків:

- підйом рівня світового океану внаслідок танення льодовиків, що призведе до затоплення низинних просторів територій ряду прибережних і острівних країн, підвищенню кислотності океанів;
 - порушення біологічної різноманітності: деякі види тварин і рослин не зможуть пристосуватися до нових умов і можуть зникнути, що в свою чергу може викликати зниження врожайності ряду сільськогосподарських культур;
 - нестача питної води, міграція комах і як наслідок поширення епідемій (лихоманка, малярія);
 - зміна клімату ускладнить доступ до водних і продовольчих ресурсів, що може привести до загострення міждержавних відносин;
 - збільшення витрат енергії на кондиціонування в містах.
- Знаходяться і позитивні ефекти глобального потепління:
- скоротиться опалювальний сезон - знизиться витрата енергоресурсів;
 - північний кордон землеробства пересунеться в більш високі широти;
 - потепління в Арктиці полегшить судноплавство і освоєння родовищ вуглеводневих ресурсів на морському шельфі.

Програми адаптації та боротьби з глобальним потеплінням, обговорення систем торгівлі квотами на викиди парникових газів породжують в суспільстві тривоги, протести «зелених» і впливають на світову і регіональну політику і, безумовно, економіку.

Глобальне потепління і клімат як такий стали розглядатися як проблема фізики та геополітики. Організація Об'єднаних Націй, наукові інституції та спільноти виступили з низкою ініціатив з проблеми клімату:

- 1979 р. Перша всесвітня конференція з питань клімату;
- 1988 р. Резолюція ГА ООН № 43/53 закликає до «... охорони глобального клімату в інтересах нинішнього і майбутнього поколінь людства». Створення МГЕЗК з метою збору і оцінки наукової інформації про клімат;
- 1990 р. Перша оціночна доповідь МГЕЗК. Резолюція ГА ООН № 45/212 з закликом до розробки і підписання Глобального договору в сфері клімату;
- 1992 р. На Саміті Землі прийнята Рамкова Конвенція ООН про зміну клімату (РКЗК ООН) - вступила в силу у 1994 році;
- 1997 р. Підписано Кіотський протокол (додаток до РКЗК ООН) з кількісними національними зобов'язаннями щодо зниження викидів - в дії з 2004 року (перша фаза 2008-2012 рр. і друга фаза - до 2017 року);
- 2015 р. Паризька конференція - нова угода по спільним зусиллям щодо стримування кліматичних змін і зростання температури.

Мета. Ні Кіотський протокол, ні Паризькі угоди не обійшлися без розбіжностей між учасниками цих кліматичних самітів. Країни мають різні можливості розвитку своїх економік, що не дозволяє пред'являти до них однакові вимоги. Країни, що розвиваються вважають, що головну відповідальність за зміну клімату повинні нести розвинені країни - вони є головними продуцентами парникових газів. Країни з багатими родовищами традиційних вуглеводнів, які порівняно легко добуваються, насторожено сприймають заклики до скорочення викидів парникових газів і переходу до відновлюваних джерел енергії.

Сучасний погляд на глобальне потепління зводиться до наступних положень:

1. Основна причина глобального потепління - монотонне зростання концентрації парникових газів (в основному вуглекислого газу) в атмосфері Землі.
2. Тренд підвищення концентрації парникових газів визначається збільшенням їх антропогенної емісії при спалюванні вуглеводневих енергоресурсів.
3. Глобальне потепління загрожуватиме негативними наслідками для навколишнього середовища і економіки.
4. Необхідно вдосконалювати політику скорочення антропогенної емісії парникових газів.

Для прогнозів глобальної зміни клімату в даний час в якості наукової бази використовуються результати наукових досліджень Міжурядової групи експертів з проблеми зміни клімату (МГЕЗК), створеної в 1988 році Міжнародною метеорологічною організацією і ООН (в групу входило близько 2500 дослідників і експертів з усього світу). Починаючи з 1990 року, МГЕЗК періодично готує наукові оглядові доповіді з прогнозами оцінок зростання концентрації діоксиду вуглецю в атмосфері і збільшення

глобальної температури до кінця XXI століття. Опубліковані доповіді 1990, 1995, 2001, 2007, 2014 років. В кінці 2019 року на кліматичному саміті ООН були представлені чергові матеріали по сучасному стану і проблемам динаміки клімату.

МГЕЗК виходить з антропогенної концепції глобального підвищення приземної температури і розглядає сценарії динаміки атмосферних концентрацій антропогенних емісій. Огляди групи показують, що кількість антропогенних викидів, концентрація атмосферних парникових газів і середня глобальна температура залежать від соціально-економічних сценаріїв розвитку майбутнього світу. На реалізацію сценаріїв в свою чергу впливає цілий ряд невизначеностей - чисельність населення, темпи економічного зростання, впровадження нових ресурсоефективних і енергозберігаючих технологій, альтернативних напрямків технологічних змін в енергетиці: інтенсивне використання викопних видів палива або збалансоване використання всіх енергоресурсів. Облік такого роду ключових невизначеностей в модельних дослідженнях МГЕЗК призводить до того, що можливі прогнозовані оцінки підвищення атмосферної концентрації парникових газів і глобальної температури до кінця XXI століття варіюються в досить широких межах.

Залежно від сценаріїв розвитку світової енергетики прогнозувалося до 2100 року у порівнянні з кінцем XX століття збільшення концентрації CO₂ від 400 до 790 млн.⁻¹ і температури на 1-4 °C [1]. Були і більш тривожні прогнози - підвищення концентрації CO₂ від 540 до 970 млн.⁻¹ і температури на 1,4-5,8 °C [3]. Відносно безпечним вважається підвищення концентрації CO₂ до 470 млн.⁻¹ [4], і глобальної температури на 1,7 [4], 1,5-1,7 °C [5], на 2 °C [6]. Допускався значний розкид і в оцінці такого важливого показника як чутливість до зміни вмісту парникових газів в атмосфері при подвоєнні концентрації CO₂ - (1,5-5,5 °C) [7], (1,5-4,5 °C) [1].

Такі розмиті показники прогнозів зміни концентрації діоксиду вуглецю і глобальної приземної температури визначаються обмеженістю наукових знань про механізми складних, недостатньо вивчених природних процесів в природі, важко прогнозованих трендів розвитку світової економіки та енергетики в умовах невизначеності ряду факторів. Цю обставину відзначено і в Кліматичній конвенції, один з ключових пунктів якої говорить: «...відзначити наявність ряду невизначеностей в прогнозах кліматичних змін, зокрема щодо тимчасових, амплітудних і регіональних особливостей» [1]. Рекомендувалося посилити наукові дослідження, удосконалити моделі вуглецевого циклу і клімату, уточнити невизначеності щодо глобального потепління [1]. У міру розвитку науки, раніше висунуті теорії піддавалися все більшій критиці і чимало з них в подальшому були відкинуті.

Матеріали та методи. У вересні 2019 року (Нью-Йорк, США) відбувся кліматичний саміт ООН, покликаний прискорити процес підписання і ратифікації Паризької угоди. Напередодні (квітень 2019 року) провідні вчені Всесвітньої Метеорологічної організації ООН представили звіт про останні зафіксовані дані щодо глобального потепління. Температура піднялася на 1,1 °C у порівнянні з 1850-1900 рр. і на 0,2 °C у порівнянні з 2011-2015 рр., що призвело до танення льодовиків, підвищення рівня океану. Зростання концентрації парникових газів з 2015 по 2019 рр. перевищує темпи зростання в попередні п'ять років на 20 %. Щорічні втрати маси льоду в Арктиці збільшилися в 6 разів - з 40 Гт у 1979-1990 роках до 252 Гт на рік в 2009-2019 роках [8].

Не всі фахівці і наукові колективи поділяють такий драматичний підхід і висновки МГЕЗК. Частина з них, не відносячи себе до противників реальності антропогенного впливу на підвищення температури, оцінює тривожні прогнози цієї групи по збільшенню концентрації діоксиду вуглецю в атмосфері та підвищенню температури до кінця XXI століття як явно завищені, що не враховують тенденції зниження світового енергоспоживання, яка з'явилася в останні десятиліття, а пропозицію про необхідність прийняти вже зараз превентивні заходи по обмеженню викидів як недостатньо аргументовані. За різними сценаріями і моделям до кінця століття глобальне середньорічне потепління складе 1,2-2,6 °C і 0,9-1,2 °C [9], а чутливість глобальної кліматичної системи - 1,9 °C [7].

Найбільш послідовними опонентами МГЕЗК виступили наукові групи від Російської академії наук [5, 10, 11] і науково-дослідної лабораторії глобальних проблем енергетики Московського енергетичного інституту [12]. Використовуючи принципово різні методики, ці наукові групи прийшли практично до однакових результатів в прогнозних оцінках збільшення концентрації CO₂ в атмосфері і підвищення глобальної температури до 2100 року. Результати прогнозів МГЕЗК були оцінені як помилкові і сценарії глобального потепління як драматичні. Огляд робіт опонентів з порівняльним аналізом основних розбіжностей з висновками МГЕЗК наведено в [13, 14]. Розбіжності стосуються двох основних проблем, а саме: визначення чутливості кліматичної системи і прогнозу концентрації CO₂ в атмосфері. Від ступеня наукової аргументації висновків з цих проблем залежить обґрунтованість пропонованих заходів і рішень по обмеженню викидів двоокису вуглецю, що підлягають узгодженню на міжнародному рівні.

Разом з антропогенною концепцією глобального потепління (підхід МГЕЗК) розглядається і природна концепція потепління клімату. Не заперечуючи впливу антропогенних викидів на збільшення глобальної температури, прихильники природної концепції потепління клімату вважають, що все ж таки

визначальними факторами підвищення приземної температури є природні, пов'язані з космогенними циклічними процесами, з сонячно-земною взаємодією (обертання Землі навколо Сонця, прецесія осі обертання Землі, цикли сонячної активності та ін.) [15-20]. Є й підходи, що змінюють місцями причини та наслідки глобального потепління, а саме: зміни атмосферної концентрації діоксиду вуглецю - наслідок глобальних змін температури планети, а не їх причина. Прогрів Світового океану повинен призводити до зменшення розчинності CO₂ в морській воді і викиду надлишку CO₂ в атмосферу [15, 21].

Варто відзначити, що в цьому контексті велику кількість як вітчизняних, так і зарубіжних вчених геологічного профілю визначають як ключовий чинник генерації парникових газів процеси глибинної дегазації Землі (ГДЗ). На думку українських геологів [22], ГДЗ - головна рушійна сила ендегенних геологічних процесів, а скрізьформаційні флюїдопровідні системи (тріщини, розломи в земній корі) є основними каналами ГДЗ в літосфері. Уявлення про мантийні плюми, як про базові (мега) труби дегазації, система яких контролює глобальні процеси ГДЗ, дозволяє об'єднати практично всі основні аспекти ендегенного рудоутворення, нафтогенезу і формування парникових газів на Землі. При цьому вивчення процесів ГДЗ реалізується переважно за допомогою сучасних геофізичних методів досліджень.

На противагу гіпотезі про переважання на Землі парникових газів техногенного походження і ключовому впливу антропогенних факторів на зміну планетарної температури, російський геолог А.В. Ніколаєв [23] стверджує, що саме відновлені гази (H₂, CH₄, H₂S), які є похідними висхідного потоку вихідного флюїду в надрах Землі, взаємодіючи з киснем силікатів мантиї і гірських порід земної кори, викликають виділення тепла, а також ініціюють магматичні і гідротермальні процеси. При цьому частина висхідного флюїду проривається до верхніх горизонтів земної кори, а його похідні у вигляді струменів водню, гелію, метану, сірководню досягають земної поверхні і потрапляють безпосередньо в атмосферу.

Уявлення про процеси ГДЗ в зв'язку зі змінами глобальної температури активно досліджуються вченими-геофізиками. Зокрема, наукові результати, викладені в [24], підтверджують теорію щодо утворення флюїдів у верхній частині астеносфери і подальшого вивільнення парникових газів в атмосферу Землі крізь тріщини і розломи. Була розглянута сукупність процесів, які протікають в мантиї від часу утворення астеносфери до її кристалізації. Запропонована і теоретично обґрунтована модель, в якій астеносферу розглядають як відкриту систему, а тонкий шар на її покрівлі - як реактор, в якому відбувається акумуляція активних компонентів. Саме відносно невелика потужність шару максимального плавлення забезпечує вплив на диференціацію розплаву елементів, вміст яких у мантиї в цілому незначний. Крізь реакційний об'єм проходить потік активних компонентів, в ньому відбуваються фізико-хімічні взаємодії. Далі в процесі активізації значна частина продуктів реакцій вивільняється до земної поверхні у вигляді розплавів (ексгаліцій).

Результати. Глобальне потепління як проблема фізики досить докладно розглянуте в [15]. Нижче коротко проанотовані основні положення [15].

Термін «клімат» («нахил» - з грецької) ввів давньогрецький астроном Гіппарх (190-120 рр. до нової ери), що розділив Землю на п'ять широтних зон - полярні, помірні і тропічну, що відрізнялися нахилом сонячних променів (тобто висотою Сонця над горизонтом). Гумбольдт (Німеччина) запропонував враховувати вплив підстильної поверхні суші і океану на атмосферу. Докучаєв (1857-1903) розвинув і деталізував теорію широтної і вертикальної географічної, в тому числі кліматичної зональності поверхні суші. Були побудовані численні кліматичні карти середніх температур, опадів, атмосферного тиску для різних сезонів, для року і т. п.

З сучасних позицій клімат визначається як статистичний ансамбль станів, які кліматична система океан-суша-атмосфера (ОСА) проходить за періоди часу в декілька (близько трьох) десятиліть. Міжнародними метеорологічними конференціями (Варшава 1935 р., Вашингтон 1957 р.) було рекомендовано для визначення сучасного клімату атмосфери вибирати тридцятирічні періоди осереднення.

Основним джерелом енергії для процесів в кліматичній системі Землі є падаючий на Землю потік сонячного випромінювання (інсоляція). Його значення (сонячна постійна) на середній відстані від Землі до Сонця дорівнює близько 1367 Вт·м⁻². Цьому відповідає світимість Сонця (повна потужність сонячного випромінювання) близько 3,83·10²⁶ Вт і ефективна температура сонячного випромінювання 5770 К.

Основна задача теорії клімату - визначити поля температури в кліматичній системі ОСА з властивими їм коливаннями в часі. Цій задачі підпорядковані дві інші, а саме:

1. визначення глобальних горизонтальних неоднорідностей поля температури, що створюються різницею інсоляцій в екваторіальних і полярних зонах при згладжуючому впливі великомасштабних рухів, що генеруються температурними неоднорідностями, і відповідного теплообміну в атмосфері і океані.

2. визначення вертикальних неоднорідностей температурного поля, включаючи «парниковий ефект», що створюються на Землі (з майже прозорої для основної частки сонячного випромінювання земною атмосферою) нагріванням її поверхні і згладжуючим впливом вертикального теплообміну внаслідок термічної конвекції, домінуючою в нижніх шарах атмосфери, променевого переносу власного випромінювання поверхні землі і атмосфери, домінуючого у верхніх шарах.

Суть вищезазначеного парникового ефекту полягає в наступному. У нижньому десятикілометровому шарі атмосфери температура в середньому зменшується з висотою, тому що сонячне короткохвильове випромінювання поглинається в атмосфері слабо і, досягаючи поверхні Землі, нагріває її, а власне довгохвильове випромінювання, навпаки, сильно поглинається в атмосфері, підвищуючи її температуру. Цей процес не є рівномірним - в одних регіонах температура змінюється швидше, в інших - повільніше.

В атмосфері Землі на висотах близьких до 5 км фіксується температура 255 К. Середня приповерхнева температура шару повітря на висоті метеорологічного пункту близька до 288 К. Різниця цих температур в 33 К характеризується як парниковий ефект (за аналогією з таким ефектом в парниках, теплицях). За інших рівних умов, чим більше парниковий ефект, тим тепліші нижні шари атмосфери. Без парникового ефекту приповерхнева температура не перевищувала б -18°C , а це означає відсутність умов для життя. Вода на земній поверхні існувала б тільки у вигляді льоду. Таким чином, головними механізмами, що забезпечують стабільність температури на поверхні Землі, є сонячне випромінювання і парниковий ефект.

Довгохвильове випромінювання інтенсивно поглинається цілим рядом наявних в атмосфері так званих парникових газів, основними з яких є водяна пара (найбільш ефективний поглинач), діоксид вуглецю CO_2 , метан CH_4 , закис азоту N_2O , озон O_3 і інші (таблиця). Як видно з табл., головним парниковим газом є водяна пара, а не вуглекислий газ. Властивості водяної пари як парникового газу було відзначено Д. Тіндалем ще в 1863 році [15]. Вуглекислий газ є другим за значимістю, але втричі меншим за обсягом парникового ефекту (табл.).

Таблиця. Парникові гази атмосфери Землі

| Парниковий газ | Концентрація (вміст) парникового газу | Внесок в парниковий ефект, градусів |
|--|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Водяна пара, H_2O | $2,5 \text{ г} \cdot \text{Кг}^{-1}$ | 20,6 |
| Діоксид вуглецю, CO_2 | 355 чнм | 7,2 |
| Озон, O_3 | 343 ED* | 2,4 |
| Закис азоту, N_2O | 0,28 чнм | 1,4 |
| Метан, CH_4 | 1,3 чнм | 0,8 |
| Сірчистий газ, SO_2 | $2 \cdot 10^{-3}$ чнм | 0,8 |
| Фреон, чотирихлористий вуглець, аміак та ін. | $1 \cdot 10^{-4}$ чнм | 0,8 |

* ED – одиниця Добсона. $1 \text{ ED} = 2,7 \cdot 10^{16}$ молекул см^{-2} [15]

Роль вуглекислого газу, як парникового, була показана С. Арреніусом (1896 р.) і Т. Чемберленом (1899 р.). Збільшення концентрації CO_2 в період 1956-1997 рр. з 315 до 360 млн. $^{-1}$ стало підставою висунути гіпотезу про антропогенний внесок у потепління клімату саме вуглекислого газу внаслідок спалювання викопного палива. Вперше про таку гіпотезу заявив Д. Каллендор ще у 1938 р. Головний же парниковий газ - водяна пара - не став предметом пильної уваги при розгляді зв'язку температури і вмісту водяної пари в атмосфері. У той же час в цілому ряді авторитетних джерел відстоюється особлива, домінуюча роль саме водяної пари в підвищенні глобальної температури [15, 25, 26].

Значний внесок у вібрацію клімату вносять завислі в атмосфері частки - аерозоль природного (до 90%) і антропогенного походження. При цьому, аерозоль може викликати як парниковий так і антипарниковий ефекти. Якщо аерозоль пропускає більшу частину теплового випромінювання Землі, то температура атмосфери під аерозольним шаром може виявитися нижче, ніж за відсутності аерозолі (антипарниковий ефект). Але при деяких поєднаннях властивостей аерозолі (просторова і часова мінливість характеристик) він може посилювати парниковий ефект [15]. Крім водяних крапельок і кристалів водяного льоду в хмарах визначають наступні види тропосферного аерозолі:

1. морський аерозоль - частинки солі, які випарувалися з бризків води морських хвиль. Інтенсивність їх утворення значна (до $1 \text{ Гт} \cdot \text{рік}^{-1}$) і визначається в основному швидкістю вітру. Аерозоль досить швидко осідає або вимивається, не проникаючи через «хмарний фільтр» на висоті до 3-х км.

2. сульфатний аерозоль - субмікронні частинки, що містять сульфат амонію $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, бісульфат NH_4HSO_4 і сірчану кислоту в водному розчині. Вони утворюються в атмосфері в реакціях окислення відновлених з'єднань сірки, що виділяються океанським фітопланктоном. Сульфатні частки вносять найбільший внесок в антипарниковий ефект.

3. пустельний аерозоль - мінеральний пил з частинок глинистих мінералів під час пилових буревіїв. Середня концентрація частинок - 300 мкг/м^3 , але в поверхневому шарі під час бурі зростає в 3-10 разів.

4. біогенний аерозоль - летючі органічні речовини, що виділяються рослинами, особливо вічнозеленими, а також деякими бактеріями, грибами і комахами. Емісія таких речовин може бути до $0,2 \text{ Гт} \cdot \text{рік}^{-1}$ середня концентрація в атмосфері невисока (близько 50 мкг/м^3).

5. димовий аерозоль - дим, сажа та інші продукти згоряння при лісових, степових та інших пожежах. Сумарні викиди в широкому діапазоні - (0,003-0,150 Гт·рік⁻¹).

6. вулканічний аерозоль - сульфатний аерозоль з вулканічних газів і вулканічний попел - викинуті в атмосферу частинки роздроблених і розпорошених вибухами гірських порід. Вихід такого аерозолю близько 0004 Гт·рік⁻¹).

Є також два види антропогенного аерозолю. Кількість його на порядок менша природного, але викиди їх можна порівняти з природними. Промисловий сульфатний аерозоль - частинки, що утворюються в атмосфері з сірчистого газу SO₂ при спалюванні палива, особливо вугілля, на електростанціях, при виплавці металів, виробництві сірчаної кислоти та в інших технологіях. Промисловий пил - викиди гірничодобувної промисловості, цементних, металургійних і інших заводів. Ці два види промислового аерозолю становлять не менше 0,045 Гт·рік⁻¹.

В межах України характерним прикладом території з значною кількістю промислового пилу в атмосферному повітрі є м. Маріуполь [27]. Індекс забруднення атмосфери тут становить 17,7 умовних одиниць, і за цим параметром місто є абсолютним лідером серед інших промислових регіонів країни. При цьому валовий вміст важких металів в пилових викидах становить (мг/кг): Mn – 4300, Ni – 60, Co – 4, V – 210, Cr – 600, Mo – 4, Cu – 286, Pb – 1088, Zn – 5825, Sn – 26.

Антипарниковий ефект аерозолю в цілому невеликий, хоча сильні виверження вулканів і великі лісові пожежі (Росія, Бразилія, 2019 рік) вносять істотний внесок у вібрацію клімату [15].

При всій простоті визначення поняття «парниковий ефект» ... *«прямий розрахунок парникового ефекту виявляється важкою справою через складність спектрів поглинання парникових газів»* [15]. Фізика парникового ефекту досить детально представлена в [15]. Згідно [15] необхідно вирішувати завдання по визначенню глобальних горизонтальних неоднорідностей поля температури внаслідок різниці інсоляцій в екваторіальній і полярних зонах, а також вертикальних неоднорідностей температурного поля, включаючи парниковий ефект, внаслідок вертикального теплообміну за рахунок термічної конвекції (з урахуванням вертикального перенесення звичайної теплоти і прихованої теплоти випаровування, теплоти ка переноситься водяною парою). Для цього розглядають і описують «горизонтальні» процеси тепло- і масопереносу між екваторіальній і полярними зонами і вертикальні процеси радіаційно-конвективного тепло- і масопереносу по вертикалі, включаючи парниковий ефект водяної пари і малих газових домішок, та радіаційного теплопереносу в атмосфері, замуненою аерозольною суспензією з включенням її антипарникового ефекту. *«Переконливі розрахунки парникового ефекту можливі, звичайно, лише при використанні повних (тривимірних нестационарних) чисельних моделей загальної циркуляції атмосфери з детальним описом променистого і конвективного теплообміну, при обліку хмарності і аерозолю»* [15]. Зараз же для якісного розуміння суті парникових процесів побудована оціночна теорія, що викладена в [15].

Немає єдиної думки фахівців і про природу парникового ефекту. Як відомо, МГЕЗК пояснює підвищення глобальної температури монотонним зростанням концентрації в атмосфері парникових газів, головним чином, діоксиду вуглецю, внаслідок їх антропогенних викидів. Не всі в науковому співтоваристві поділяють підхід МГЕЗК про визначальну роль антропогенних викидів в підвищенні глобальної температури. Наявність парникового ефекту ніхто не заперечує, але по іншому визначають природу такого ефекту. Наприклад, фахівці з фізичної оптики нижньої атмосфери пояснюють природу сучасного глобального потепління впливом факторів сонячно-магнітної активності (спалахи на Сонці, магнітні бурі) [25]. Потік мікрохвиль з іоносфери утворює в тропосфері з кластерів водяної пари конденсаційно-кластерну димку, що переходить в оптично тонку хмарність (у вигляді «молодих» перистих хмар), яка екранує потік тепла в космос з нижньої тропосфери і підстильної поверхні. Відбувається розігрів приземного повітря і поверхні світового океану [25]. Пари води - основний парниковий газ в тропосфері і його зміст набагато більше (до 36-70%) у порівнянні (9-26%) для CO₂, (4-9%) метану або (3-7%) озону [25]. Таким чином, кластероутворення з парів води, що призводить до створення оптично тонкої хмарності, стає основною причиною сучасного глобального потепління в епоху проходження в кінці ХХ-го початку ХХІ століття як сонячної так і геомагнітної активності. Викид парникових газів антропогенного походження (головним чином діоксиду вуглецю, метану), може посилювати ефект глобального потепління.

Як зазначається в [25], дослідження сонячно-геомагнітної активності і техногенного електромагнітного шуму (що виникає в тому числі в передавальних пристроях мобільного зв'язку) дозволять краще зрозуміти механізм впливу порівняно слабких впливів на біосферу і навколишнє середовище, зокрема, і на погодно-кліматичні характеристики.

Є й інші дослідження про зв'язок потепління зі збільшенням хмарності [28]. На основі аналізу метеорологічних і аерологічних даних, отриманих на стнції Восток (Антарктида), були виявлені значні варіації рівня хмарного покриву і температури повітря, пов'язані з варіаціями рівня галактичних космічних променів і міжпланетного магнітного поля. «Посилення хмарності на висотах нижче 8 км викликає

потепління приземної температури атмосфери, ймовірно, за рахунок парникового ефекту, відсутність вихолодження поверхні Землі» [28].

Сценарії антропогенного посилення глобального парникового ефекту, термічні, гідрологічні режими і основні висновки для можливих температурних змін клімату в Україні були розглянуті на початку 90-х років ХХ століття і представлені в [29]:

1. при глобальному антропогенному потеплінні приблизно на 1 °С (в першій чверті ХХІ століття) в південних районах України рівень потепління практично збігатиметься з глобальним, а в північних може посилитися до 40%.

2. широтний градієнт температур на території України буде по абсолютній величині зменшуватися до 10 % (в сучасну епоху широтний градієнт приземної річної температури - близько 0,8 °С на 1° широти).

3. якщо річна глобальна температура підніметься на 3 °С (близько середини ХХІ століття), то температурний режим північних областей України може стати подібним температурному режиму її південних регіонів.

Відзначається, що отримані рядом дослідників результати математичного моделювання динаміки земної кліматичної системи для створення сценаріїв RCP регіональних змін клімату при антропогенному посиленні парникового ефекту поки малонадійні. Труднощі тут в недостатньо глибокій вивченості всієї сукупності фізичних процесів, які формують широтно-довготний розподіл полів температури та інших кліматичних параметрів (суми опадів, мінливість погоди та ін.)

Публікація прогнозів через десять років показала, що в Україні підвищення середньої приземної температури в період 1900-2000 рр. склало 0,4-0,6 °С, причому по регіонах: північний схід близько - 1 °С, полісся і лісостеп - 0,7-0,9 °С, степ - 0,2-0,3 °С. За порами року: взимку - 1,2 °С, навесні - 0,8 °С, влітку - 0,2-0,3 °С. Виявлений негативний тренд числа морозних днів і деконтиненталізація клімату. Прогнозні оцінки зміни середньої приземної температури в Україні до 2050 року зводяться до того, що підвищення складе 1,5-2,0 °С, причому в січні для півдня - 2,0 °С, для півночі - 2,8 °С і в липні для України - 0,5-1,0 °С [30].

Недавній прогноз для потепління в Україні по ряду періодів до 2100 року наведено на рис. 3. Видно, що результати інструментальних вимірювань підвищення температури і прогнози потепління в Україні в цілому відповідають трендам зміни глобальної температури, і перед Україною стоять ті ж виклики і ризики, якими стурбований світ [31].

Шлях до зниження викиди парникових газів - зменшення кількості використання енергоресурсів внаслідок підвищення енергоефективності їх використання, залучення до теплового циклу низьковуглецевих енергоресурсів і (або) ефективне управління теплотехнічними характеристиками процесу спалювання вуглеводнів (низькоемісійне спалювання, утилізація теплоти продуктів спалювання).

Відомо, що на збільшення енергоемності продукції впливає як необґрунтована втрата цінності енергії (ексергії) в технологічних процесах виробництва, так і надмірне споживання енергоресурсу в результаті недотримання принципів і методів економічного стимулювання зниження енергоемності продукції. Тому необхідно спрямовувати зусилля на вдосконалення виробництва енергоносіїв (електричної, теплової енергії), продукції теплотехнологій, вдосконалення і підвищення ролі держави в створенні стимулюючих заходів по реалізації інвестиційних проєктів, енергоефективних технологій та енергозберігаючих заходів, методів і програмних засобів організаційно-технологічного та економічного управління підвищенням ефективності використання енергоресурсів з удосконаленням політики ціноутворення, формування тарифів в умовах ринку. Що стосується організаційно-економічних механізмів модернізації теплоенергетики України, то вони досить детально представлені в [32].

Як відомо, неодмінним наслідком перетворення енергоресурсів в зручні для використання види енергоносіїв (електричний струм, пара, гаряча вода та ін.) є викид забруднюючих речовин, тепла і парникових газів у навколишнє середовище. При цьому принципово важливо підкреслити, що немає жодного виду енергоресурсів, при використанні якого б не виявлялося негативного впливу на екологічну рівновагу в природі. Поновлювані джерела енергії, умовно віднесені до "екологічно чистих", такими не є, якщо розглядати т. зв. повний цикл їх життя. Але все ж таки є потенційно значний екологічно чистий енергоресурс, який не видобувається з родовищ, який не витягується з навколишнього середовища і, природно, не зазнає ніяких перетворень. Він відсутній в природі як такий і може бути віднесений до екологічно абсолютно чистих енергоресурсів. В літературі [33] з'явився вже термін, що характеризує такий енергоресурс - «негаджоуль»: него - заперечую (лагин.), тобто це як би "віртуальні" джоулі. Мова йде про підвищення енергоефективності - понятті, що не є тотожним поняттю енергозбереження.

Енергоефективність - характеристика, що відображає відношення будь-якого корисного ефекту (виробництво матеріальних цінностей, надання послуг, проведення різного виду робіт з використанням енергоресурсів) до витрат енергетичних ресурсів з метою отримання такого ефекту [34]. Енергоефективність характеризує ефект від використання одиниці енергії і вимірюється в відносних одиницях (позитивний ефект / Дж) і має ідеальним результатом, наприклад, для теплопостачання - це

повне без втрат використання первинної енергії на створення належного теплового режиму комфорту в зонах перебування людини. Енергоефективність, як правило, показник, обернено пропорційний енергоемності виробництва продукції.

Енергозбереження - це реалізація організаційних, правових, технічних, технологічних, економічних та інших заходів, спрямованих на зменшення обсягу енергетичних ресурсів, що використовуються, при збереженні відповідного корисного ефекту від їх використання (в тому числі обсягу виробленої продукції, виконаних робіт, наданих послуг) [35]. Важливо підкреслити: "існуючого корисного ефекту", інакше просте припинення подачі теплоносія для опалення або електроенергії аж до відключення можна віднести до заходу "енергозбереження". Енергозбереження вимірюється в абсолютних одиницях (т. у. п., Гкал, Дж і ін.).

На початку XXI століття енергоефективність стала одним з основних енергоресурсів в енергетичному балансі світу (рис. 4, [36]) У енергобаланс України цей енергоресурс поки ще не включений в належній мірі. Як видно з рис. 4, енергоресурси у вигляді «негаджоулей» можуть бути порівнянні з іншими енергоресурсами в структурному енергобалансі світу і Європи і, зокрема, можуть бути рівні або навіть перевищувати обсяги використання нафти.

Загострена ситуація в українській енергетиці, зокрема, імпортозалежність від поставок газу і нафтопродуктів, недопоставки антрациту, відсутність повноцінних ринкових відносин в енергетиці та інші негативні явища, поглибила проблему диверсифікації енергоресурсів. І в той час все ще залишається малопомітним і проігнорованим такий енергоресурс як негаджоулі. Досвід роботи по підвищенню енергоефективності недостатньо систематизується і пропагується, немає банку пропонуваніх інноваційних технологій і їх ієрархічного ряду для вибору найбільш оптимальних. Ігнорування підвищення енергоефективності - це зниження економічного зростання, збереження високої енергоемності ВВП, загроза енергетичної безпеки, зниження конкурентоспроможності промисловості та інвестиційної привабливості, підвищення рівня бідності, підвищення рівня забруднення навколишнього середовища і карбонізації економіки.

За даними ЦЕНЕФ-XXI у 1973-2011 роках за рахунок підвищення енергоефективності було забезпечено більше половини приросту потреби людства в енергії. У ці роки світовий ВВП зріс в 3,3 рази, а споживання первинної енергії – лише в 2,1 рази. Якби енергоемність ВВП залишалася б на постійному рівні 1973 року, то приріст споживання енергії склав би 14,1 млрд. т н.е., а фактично він склав 7 млрд. т н.е. Внаслідок підвищення енергоефективності було забезпечено половину приросту - 7 млрд. т н.е. У ці ж роки прирости палива і енергії склали (в млрд. т н.е.): нафта - 1,35; вугілля - 2,28; природний газ - 1,81; ядерне паливо - 0,62 [34].

Останнім часом в Україні в законодавчому полі і в політиці виконавчої влади активізувалася діяльність по пропаганді енергоефективності та реальним шляхам її реалізації в сфері енергетики. До знакових заходів у цьому напрямку відносяться:

1. прийнята в 2017 році нова Енергетична стратегія України на період до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Слід зауважити, що в порівнянні зі стратегіями 2006 і 2013 рр. в останній стратегії окремими суттєвими блоками представлені: теплозабезпечення населення і промисловості, відновлювальна енергетика та енергоефективність, включаючи підрозділ підвищення енергоефективності будівель. Причому в матеріалах стратегії до 2035 року, в яких розглядаються конкретні сектори енергетики, на перше місце ставиться енергоефективність, далі йдуть електроенергетика, теплоенергетика, видобуток газу, вугілля, нафти, а потім відновлювальна енергетика. Так розставлені пріоритети впливу на ситуацію в енергетиці.

2. реалізація двох національних планів дій до 2020 року - з відновлюваної енергетики та енергоефективності з відповідними секторальними дорожніми картами.

3. розробка і прийняття декількох енергозначимих законів України: по енергоефективності будівель; по фонду енергоефективності; по комерційному обліку комунальних послуг; по житлово-комунальним послугам; про тариф на негазову теплогенерацію; по створенню оптового ринку електроенергії; по енергосервісним компаніям, а також проекту закону по енергоефективності.

4. проекти науково-технічного та експертного середовища з прогнозування на далеку перспективу соціально-економічного розвитку України, включаючи докладні дослідження спільної динаміки економіки і енергетики.

Найбільший потенціал підвищення енергоефективності використання енергоресурсів, і тим самим зниження викидів парникових газів, знаходиться в сфері теплопостачання житлово-комунального господарства (ЖКГ) країни. Головною метою для комунальної теплоенергетики України стає вибір стратегічно вивірених рішень щодо розвитку цієї сфери ЖКГ - розробка керівних документів державного значення (концепції, стратегії, програми) і формування на їх основі науково-технічної політики, створення комплексу нормативно-правових актів та науково-організаційних заходів, реалізація яких забезпечить

енергоефективне використання енергоресурсів, енергетичну безпеку, сталий розвиток і ефективне функціонування систем теплозабезпечення населених пунктів України.

Дослідження у вирішенні глобальних і регіональних проблем потепління клімату проводяться, зокрема, в установах НАН України (відділення фізико-технічних проблем енергетики [37-46], відділення наук про Землю [22, 24, 27, 47]).

У сфері електроенергетики також можна виділити ряд факторів перегляду стратегії її розвитку з урахуванням проблем зміни клімату [48, 49]. По-перше, розвиток за рахунок використання традиційних технологій викликає значне погіршення екологічної ситуації і збільшення споживання органічного палива. По-друге, в ситуації, коли відбувається об'єднання традиційних енергетичних систем і систем з розподіленою генерацією, які орієнтовані на використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії. Організація функціонування таких систем істотно відрізняється. Необхідність врахування цих факторів і інших чинників дозволила сформуванню нової концепції розвитку енергетики, яка отримала назву Smart Grid. При цьому енергетична система розглядається як розгалужена мережева інфраструктура, призначена для підтримки енергетичних, інформаційних, економічних і фінансових взаємовідносин між усіма суб'єктами енергетичного ринку. Вона стає об'єктом формування нового технологічного базису, що дає можливість істотного поліпшення досягнутих і створення нових функціональних властивостей енергосистеми. Енергоспоживачі отримують можливість організації взаємодії в інформаційній мережі, стануть керованими і будуть виконувати функції вимірювання власного споживання електроенергії і потужності. Передбачається розробка ідеології матеріальної реалізації концепції інтелектуальних мереж - її технічної і технологічної платформ, головним чином по відношенню до технології та пристроїв генерування малої і середньої потужностей, до складу яких входять альтернативні і поновлювані джерела енергії.

Важливою постає проблема моделювання ринку електроенергії. Зокрема, моделювання стану конкурентної рівноваги пов'язано з пошуком таких цін на електроенергію в енерговузлах й таких обсягів виробництва, передачі і споживання електроенергії, за яких результати діяльності кожного з учасників (агентів) досягають власних цілей: споживача – максимум власного добробуту, компанії-постачальника – максимум постачання електроенергії споживачам, генеруючої компанії – максимум власного прибутку, компанії-оператора системи передачі електроенергії – максимум сприяння учасникам ринку у виконанні їх зобов'язань. Роботи у цьому напрямку проводяться в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г. С. Пухова НАН України [50].

Для сфери теплоенергетики в ІТТФ НАН України проведені детальні дослідження з енергоефективності сфери теплопостачання населення з розробкою проекту стратегії теплопостачання населених пунктів України.

Комунальна теплоенергетика України та її головна сфера - теплопостачання населених пунктів України - основний споживач первинних енергоресурсів (понад 60% загального енергобалансу країни, переважно імпортованого природного газу). У той же час саме цей сектор має і найбільший потенціал енергозбереження, якщо задіяти заходи і механізми підвищення ефективності використання енергоресурсів, в першу чергу при енергопостачанні в будівлях (теплові втрати тут доходять до 40%).

Для реалізації потенціалу підвищення показника енергоефективності в будівлях необхідно задіяти технологічні та організаційно-економічні інновації, розробляти заходи та механізми, що стимулюють підвищення сприйнятливості економіки до інновацій. Технологічні інновації пов'язані як з істотним посиленням теплового опору огорожувальних конструкцій будівель, так і з модернізацією технологій і інженерних систем їх енергопостачання з використанням нових підходів до розробок таких технологій і систем, з активним залученням відновлюваних джерел енергії та інформаційно-інтелектуальних технологій.

Організаційно-економічні інновації припускають необхідність максимально ефективного управління наявними ресурсами відповідно до нових завдань, а також соціально-економічними, технічними можливостями і механізмами взаємодії комунальної теплоенергетики з економікою в цілому. Такі інновації пов'язані також з удосконаленням механізмів використання результатів досліджень, взаємодії державних інститутів, підприємств, експертів, науковців.

Функції держави полягають у створенні високоефективної системи управління теплопостачанням населених пунктів України із забезпеченням мінімальних витрат на розвиток і ефективність генерації, транспорту та розподілу теплоти з досягненням якісного, надійного, безпечного теплопостачання, доступного по оплаті для споживача.

Пропозиції по технологічним, організаційним і соціально-економічним інноваціям підвищення енергоефективності будівель, а також обладнання та інженерних систем їх енергозабезпечення, в тому числі. При спорудженні «пасивних» будинків типу «нуль-енергії» наведені в [38, 39, 41, 51, 52].

У світовому масштабі геополітика, екологія, економіка знаходяться в тісному взаємозв'язку. Енергетична політика різних країн (і регіонів) будується з урахуванням переваг тієї чи іншої складової

такої залежності. Наприклад, 2019 рік відзначився особливою увагою світової громадськості до кліматичних проблем. На саміті G7 генеральний секретар ООН Антоніу Гуттеріш оголосив «надзвичайну кліматичну ситуацію». У США проходить офіційний процес виходу з Паризького угоди по клімату. Франція прийняла закон про енергетику та клімат, який встановлює екологічний і кліматичний надзвичайний стан і передбачає досягнення країною вуглецевої нейтральності до 2050 року. До 2030 р. Франція повинна зменшити споживання викопного палива на 40% [53].

На 25-й конференції ООН з клімату (Мадрид, грудень 2019 р.) Генеральний секретар ООН визначив чіткі завдання з порятунку планети: до 2030 року скоротити викиди парникових газів на 45%; до 2050 року досягти вуглецевого нейтралітету; до 2100 року обмежити зростання глобальної температури на 1,5° С [54]. Європарламент 28 листопада 2019 року прийняв резолюцію, яка оголошує «глобальну кліматичну і екологічну надзвичайну ситуацію», і закликав усі країни ЄС до 2050 року повністю позбутися від викидів парникового газу. За ухвалення резолюції проголосували 429 депутатів, проти - 225 осіб, ще 19 утрималися. При цьому екологи вже розкритикували декларацію практично за повну відсутність якихось конкретних положень, а кліматичні цілі ЄС що існували до цього і зовсім не відповідали Паризькій угоді [55].

Але не всі фахівці з клімату поспішають оголошувати про прийдешні катастрофи. Уточнюється методологія, поглиблюється і розширюється теорія і практика досліджень, вдосконалюється інструментарій досліджень. Достовірні на перший погляд висновки беруться під сумнів. Здавалося б, можна достовірно визначити площу морських льодовиків в Арктиці - одного з ключових індикаторів клімату. Існують широко розвинена авіарозвідка, супутникові спостереження. Однак похибка при вимірюваннях і розрахунках досягає, наприклад, для Арктичного басейну 10% - в цілому близько 1 млн. км². Причина такої похибки - великі моря талої води шаром в 1-2 м в полярне літо на поверхні льоду. Талий шар води «екранує власне випромінювання льоду, в такій ситуації льодові спостереження в інфрачервоному діапазоні неможливі» [56].

Визначаються нові напрямки і об'єкти досліджень навколишнього середовища, що впливають на клімат внаслідок природної емісії парникових газів. У 2010 р виконані унікальні дослідження в Арктиці з вивчення причин і механізмів виникнення «метанового максимуму» в атмосфері Північної півкулі. Виявлені чинники і встановлені закономірності надходження в атмосферу величезних кількостей метану на мілководних акваторіях арктичних морів, дають підстави вважати метановий фактор одним з основних при розгляді причин глобальних змін клімату на Землі, а також пояснюють природу раніше встановлених аномалій [57].

У порівнянні з матеріалами щодо антропогенної концепції зміни клімату які широко публікуються, менш доступні (і менш помітні) для громадськості публікації в спеціальних журналах про результати досліджень іншого чинника впливу на клімат - сонячно-земної взаємодії. Природному впливу на глобальне потепління саме такого фактора фахівці з фізики атмосфери і океану, геомагнетизму і аеронаути відводять вирішальну роль.

Зараз основним трендом досліджень природи і характеру динаміки глобального потепління стають міждисциплінарні дослідження на стику, здавалося б, досить далеких дисциплін. Так, наприклад, виконавцями програми «Глобальні та регіональні зміни клімату та природного середовища пізнього кайнозою Сибіру» були десять інститутів Сибірського відділення РАН - Археології та етнографії, геології та мінералогії ім. В.С. Соболева, Нафтогазової геології і геофізики ім. А.А. Трофимука, Геохімії ім. А.П. Виноградова, Лісу ім. В.Н. Сукачова, Лімнологічного, Ядерної фізики ім. Г.І. Будкера, Обчислювального моделювання, Земної кори, Мерзлотоведення ім. П.І. Мельникова.

Проведені дослідження підтверджують спільність ходу і єдиний механізм кліматичних змін як в середніх широтах Північної Азії, так і всієї планети. Ці результати переконливо свідчать, що сучасне потепління має природний характер, його рівень поки не перевищив порогу природних змін клімату, що відбувалися протягом навіть останніх 1000 років, а тим більше четвертинного періоду [58].

В [19] проведено порівняльний аналіз отриманих результатів і висновків обговорюваних концепцій. *«Як прихильників, так і противників антропогенного потепління не можна звинуватити в некоректному трактуванні наявних даних. ... Тому для вибору між концепціями необхідно залучити додатковий набір даних (палеокліматичних реконструкцій)».*

Для реконструкції був обраний період 500-1900 рр., в якому потенційний антропогенний вплив на клімат зневажливо малий. Проведений аналіз динаміки глобальної температури показав, що на зазначеному вище часовому інтервалі *«не спостерігалось циклічних процесів такого поєднання і періодичності і амплітуди, яке могло б призвести до потепління яке спостерігається в ХХ столітті, а значить, його не можна пояснити без причини антропогенного чинника».* «... Однак і ігнорувати природну циклічність не варто, оскільки вона визначає ряд специфічних рис сучасної кліматичної динаміки, або знижуючи, або збільшуючи темпи зміни температури» [19].

З урахуванням спрямованої антропогенної і циклічних природних компонент був виконаний прогноз динаміки глобальної температури в XXI столітті. Були використані прогнозні оцінки емісії вуглецю і змін атмосферної концентрації CO₂ в залежності від майбутньої динаміки антропогенних емісій, яка в свою чергу визначається багатьма факторами: технологічним прогресом та інноваціями в енергетиці, темпами розвитку світової економіки, результатами реалізації запланованих заходів, прийнятих на міжнародних кліматичних самітах, геополітичними турбулентностями і т. п. (див. посилання [12] в [19]).

В залежності від різних сценаріїв розвитку енергетики за прогнозними оцінками зростання температури в XXI столітті складе 2,2; 1,8; і 1,0 °С. Прогноз МГЕЗК для тих же умов - 3,6; 2,8 і 1,8 °С. Розбіжність в оцінках є суттєвою, тому що за багатьма пропозиціями висловленими на останніх кліматичних самітах, і зокрема, на Паризькій нараді в 2015 р, небезпечна зміна потепління не повинна перевищувати 2 °С. Така межа в 2 °С за двома сценаріями (більш жорстким по динаміці викидів CO₂) за прогнозами МГЕЗК буде перевищена в 2050 році і за менш жорстким сценарієм в 2060 році. Згідно [19] таке перевищення за двома сценаріями настане в 2070 році, а за останнім сценарієм не матиме місце. Таким чином, є час для вирішення проблем пов'язаних, з антропогенної емісією парникових газів, хоча для першого сценарію (більш жорсткого) залишилося не так багато - близько 30-ти років.

Таким чином, глобальне потепління, ставши однією з найбільш гостро обговорюваних проблем сучасності, викликало дискусії серед фахівців з клімату щодо причин, що породжують глобальне потепління і наслідки такої зміни клімату. Є прихильники як антропогенного, так і природного впливу на клімат. І ті й інші відстоюють свої концепції, приводячи, з їх точки зору, переконливі аргументи. Але треба спиратися на «науковий метод в політиці: велике мистецтво - це не переконувати себе в тому, що ми не зробили жодної помилки, ігнорувати їх, приховувати і звинувачувати інших людей, а взяти на себе відповідальність за помилки, вчитися на них і застосовувати цей досвід так, щоб уникнути помилок в майбутньому [59]. Треба дотримуватися і такого принципу, як «Скільки б сил не було витрачено на вашу теорію, не можна ігнорувати дані, що суперечать їй» або «Слід звертати більше уваги на пошук даних, що суперечать вашій теорії, ніж доказів, що підтверджують її» [60].

Висновки. Безсумнівно, є протистояння точок зору прихильників антропогенної і природною концепцій глобального потепління. Вчені мають свої гіпотези, ведуть дискусії, до проблеми підключається широка громадськість. Форми протесту збагачують навіть словниковий запас. У 2019 з'явилося «слово року»: кліматичний страйк (Climate strike). Протести - це теж трибуна громадської експертизи. Але головне при вирішенні соціально значущих проблем - дотримуватися принципу: від громадянської сміливості і гучного патетики - до наукової доказовості там, де можуть домінувати емоційні перегини. Тільки так можна зняти небезпеку руйнівних моментів, які можуть проявлятися при масовому залученні людей в громадські рухи.

Незважаючи на існуючу серед фахівців неоднозначність висновків про природу глобального потепління і оцінок значущості ролей антропогенного і природного факторів в зміні клімату, ступеня небезпеки таких змін, відсутність в міжнародному співтоваристві узгодженої позиції щодо прийняття та виконання рішень, визначених кліматичними самітами, (зокрема, Паризьких угод), довгострокова енергетична політика України повинна бути спрямована на підвищення енергоефективності використання енергоресурсів з необхідними заходами з охорони навколишнього середовища на всіх етапах паливного циклу; від видобутку енергоресурсів до споживання енергії. Можна підтримати твердження: «Навіть якби глобального потепління не було, з точки зору провідних країн світу його слід було б вигадати, оскільки для його запобігання вживаються заходи які сприяють розробці нових енергетичних технологій, заснованих на поновлюваних джерелах енергії» [61]. Розробка нових енергетичних технологій не повинна, природно, обмежуватися тільки орієнтацією на поновлювані джерела енергії.

Реалізація енергоефективного використання енергоресурсів повинна передбачати:

1. Розвиток і вдосконалення виробничо-технологічної бази теплоенергетики шляхом підвищення її науково-технічного рівня із забезпеченням необхідних екологічних норм і вимог, з тим, щоб послабити вплив цієї галузі енергетики на навколишнє середовище і, зокрема, в локальних регіональних масштабах.

2. Зниження питомих витрат палива на одиницю валового внутрішнього продукту внаслідок впровадження інноваційних енергоефективних технологій, структурних змін в економіці.

3. Розвиток і розширення масштабів впровадження комбінованого виробництва тепла й електричної енергії (когенерацію).

4. Розробку заходів щодо зниження викидів парникових газів оптимізацією вибору видів використовуваних енергоресурсів і режимів роботи енергообладнання.

5. Розвиток малої (децентралізованої, розподіленої, розосередженої, автономної) енергетики і більш широке залучення в паливний цикл нетрадиційних і поновлюваних енергоресурсів.

6. Підвищення ефективності використання енергоресурсів у комунальній теплоенергетиці при виробництві, транспортуванні та споживанні теплової енергії в житлово-комунальному секторі.

7. Впровадження систем прозорого тривалого і постійного моніторингу за станом і достовірним прогнозом викидів парникових газів для оцінки екологічної ситуації в регіонах, де реально існує можливість створення резервів для передачі квот на викиди парникових газів на комерційній основі.

Якщо говорити про прогнози розвитку енергетики і, відповідно, характеру динаміки емісії парникових газів, то згідно «досвіду генетичних прогнозів світової енергетики» в найближчі десятиліття будуть проявляти себе тенденції [62]:

1) стабілізація національної питомого енергоспоживання на душу населення на рівні, який в основному визначається клімато-географічними факторами країн;

2) неухильне і практично лінійне зниження з часом вуглецевої інтенсивності світової енергетики (кількість діоксиду вуглецю, що припадає на одиницю споживання енергії) в результаті змін структури паливно-енергетичного балансу, спостерігається вже більше ста років (перехід від вугілля до нафти, газу і останнім часом - до збільшення обсягів поновлюваних енергоресурсів).

Остання тенденція призводить, як зазначено в [62], до зниження темпів зростання антропогенного впливу на кліматичну систему і тому слід очікувати досить помірних змін складу атмосфери і клімату планети.

Сильні країни світу цього (G7, G20) на кліматичних самітах, при наявності політичної волі, можуть впливати на антропогенні фактори глобального потепління. Впливати на зміни клімату внаслідок сонячно-земної взаємодії надзвичайно важко. Але до наслідків спільної дії обох факторів необхідно розробляти заходи адаптації до можливих природних змін.

Автори висловлюють подяку доктору географічних наук Бойченко С.Г. за корисні дискусії при написанні цієї статті.

Фрагментарно дана стаття написана в рамках виконання: цільової комплексної міждисциплінарної програми наукових досліджень НАН України з розробки наукових основ раціонального використання природно-ресурсного потенціалу та сталого розвитку і цільової програми наукових досліджень НАН України «Інтелектуальна екологічно безпечна енергетика з традиційними та відновлюваними джерелами енергії».

Список використаної літератури

1. Мировая энергетика будущего — время действовать. Документы МИРЭС 2000. Мировой энергетический Совет. Справочный перевод. 2000. 175 с.
2. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). Интернет-ресурс: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml.
3. Флавін К. та ін. Стан світу 2002. Пер. з англійської: ВГО «Україна. Порядок денний на ХХІ століття та інститут сталого розвитку.» - Київ, Інтелсфера. 2002. 289 с.
4. Терешин А.Г., Клименко А.В., Клименко В.В. Золотой век газа и его влияние на мировую энергетику, глобальный цикл углерода и климат. *Теплоэнергетика*. 2015. №5. С. 3-13.
5. Демерчян К.К., Демерчян К.С., Кондратьев К.Я. Темп роста концентрации CO₂ и уточнение его прогнозных оценок. *Известия РАН. Энергетика*. 2001. №1. С. 3-35.
6. Елисеев А.В. Глобальный цикл CO₂// Eliseev_A_V_theses_26042017. Pdf
7. Клименко В.В., Терешин А.Г. Мировая энергетика и глобальный климат в ХХІ веке в контексте исторических тенденций: Пределы роста. Универсальна и глобальная история. Эволюция Вселенной, Земли, жизни, общества. Под ред. Л.Е. Гринина, И.В. Ильина, А.В. Коротаева. Волгоград: Учитель, 2012. — С. 608-621. - 688 с.
8. Интернет-ресурс: <https://www.segodnya.ua/world/wnews/temperatura-na-planete-podnyalas-na-1-1-0s-v-oon-byut-trevogu-1335122.html>
9. Аржанов М.М. и др. Оценка климатических изменений в Северном полушарии в ХХІ веке при альтернативных сценариях антропогенного воздействия. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2012. Т. 48. № 6. С. 643- 654.
10. Демерчян К.С., Демерчян К.К., Данилевич Я.Б., Кондратьев К.Я. Глобальное потепление, энергетика и геополитика. *Известия РАН. Энергетика*. 2002. №3. С. 18-46.
11. Демерчян К.С., Кондратьев К.Я. Научная обоснованность прогнозов влияния энергетики на климат. *Известия РАН. Энергетика*. 1999. №6. С. 3-46.
12. Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г. Энергетика и климат на рубеже веков: прогнозы и реальность. *Теплоэнергетика*. 2001. №10. С. 61-66.
13. Базеев Е.Т. Киотский протокол: препятствия на пути реализации (к вопросу неоднозначности прогнозных оценок изменения концентрации парниковых газов в атмосфере Земли и повышения приземной температуры. Обзор). Труды международного энергоэкологического конгресса «Энергетика. Экология. Человек». 27-28 марта 2003 года. Киев. 2003. С. 67-71.

14. Базеев Е.Т., Диденко В.М. Парниковый эффект и теплоэнергетика Украины. Політичні, економічні та екологічні проблеми енергетичної безпеки і транспортування енергоресурсів в Україні. Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції. 24-26 жовтня 2000 р., м. Київ. РВПС НАН України, 2001. 268 с.
15. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики. *Успехи физических наук*. 2000. Т. 170, № 4. С. 419-445.
16. Иванов В., Богуславський С., Совга О., Жоров В. Світовий океан як стабілізатор клімату Землі. *Вісник НАН України*. 2004. №3. С.32-37.
17. Лосев К.С. Парадоксы борьбы с глобальным потеплением. *Вестник РАН*. 2009. Т. 79, №1. С 36-40.
18. Большаков В.А., Капица А.П. Уроки развития орбитальной теории климата. *Вестник РАН*. 2011. Т. 81, № 7. С. 603-612.
19. Замолодчиков Д.Г. Естественная и антропогенная концепции современного потепления. *Вестник РАН*. 2013. Т. 83, №3. С. 227-235.
20. Корабльєв О.И. Марс и Венера: разные судьбы планет земной группы. *Вестник РАН*. 2016. Т. 86, № 7. С 587-599.
21. Сорохтин О.Г. Эволюция климата Земли и происхождение ледовых эпох. *Вестник РАН*. 2006. Т. 76. №8. С. 699-706.
22. Шестопапов В.М., Лукин А.Е., Згонник В.А., Макаренко А.Н., Ларин Н.В., Богуславський В.М. Очерки дегазации Земли. Київ, 2018. 632 с.
23. Николаев А.В. Проблемы геотомографии. Москва, 1997. С. 4-38.
24. Усенко О.В. Формирование расплавов. Геодинамический процесс и физико-химические взаимодействия. Київ, 2014. 237 с.
25. Авакян С.В. Супрамолекулярная физика окружающей среды: климатические и биофизические эффекты. *Вестник РАН*. 2017. Т. 87, № 5. С. 456-466.
26. Барцев С.И., Белоліпецький П.В., Дегерменджи А.Г. и др. Новый взгляд на динамику климата Земли. *Вестник РАН*. 2016. Т. 86, № 3. С. 244-251.
27. Кармазиненко С.П., Кураєва І.В., Самчук А.І., Войтюк Ю.Ю., Манічев В.Й. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти). Київ, 2014. 168 с.
28. Вовк В.В., Егорова Л.В., Трошичев О.А. Связь атмосферных характеристик в Антарктиде с факторами космической погоды. *Геомагнетизм и аэрономия* 2008. Т. 48, №4. С 561-565.
29. Волошук В., Срипник М. Глобальний парниковий ефект і кліматичні умови України. *Вісник НАН України*. 1993. №9. С. 43-46.
30. Ліпінський В.М. Глобальна зміна клімату та її відгук в динаміці клімату України. Матеріали міжнародної конференції «Інвестиції та зміна клімату: можливості для України, 10–12 липня 2002 р. — К.: Інвестиції з питань зміни клімату. 2002. С. 177-185.
31. Підвищення стійкості до зміни клімату сільськогосподарського сектору Півдня України. Сентендре, Угорщина. Regional environmental center. Жовтень 2015. 73 с.
32. Організаційно-економічні механізми модернізації теплоенергетики України (під ред. Баска Б.І.). Київ, 2015. 338 с.
33. Сам собі пан. *Вісник української мережі "Енергоефективні міста"*. 2005. №3-4. С. 17.
34. Башмаков И. Повышение энергоэффективности - главный энергетический ресурс (презентация). <https://www.cenef.ru/file/Stady.ppt> .
35. Закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".
36. Башмаков И. Закон повышающей энергоэффективности. *Енергоінформ*. 2002. №27 (158).
37. Патон Б.Є., Долінський А.А., Геєць В.М., Кухар В.П., Басок Б.І., Базєєв Є.Т., Подолець Р.З. Пріоритети національної стратегії теплозабезпечення населених пунктів України. *Вісник НАН України*. 2014. №9. С. 29-47.
38. Басок Б.І., Новосельцев О.В., Дубовський С.В., Базєєв Є.Т. Модернізація систем теплозабезпечення населених пунктів України (теплофізика, енергоефективність, енергоекономіка, екологія). Київ, 2018. ТОВ. «Видавничий дім «Калита». 406 с.
39. Карп И.Н., Никитин Е.Е. Пути решения проблем коммунальной энергетики. *ЖКХ Украины*. 2011. №6. С. 16-22.
40. Сігал О.І., Бикоріз Є.Й. Екологічні аспекти процесів спалювання органічних палив. /Проблеми екології та експлуатації об'єктів енергетики: Сборник трудов. Институт промышленной экологии. К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2016. С. 142-148.

41. Сігал О.І., Падерно Д.Ю., Павлюк Н.Ю., Сафьянц А.С., Бикоріз Є.Й., Плашихин С.В. Скорочення споживання природного газу та зниження викидів шкідливих речовин з продуктами спалювання в комунальній теплоенергетиці. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2019. Т. 41, №2. С. 54-63.
42. Мацевитый Ю.М., Шубенко А.Л., Канило П.М., Соловей В.В. Энергия, экология и глобальное потепление климата. *Доповіді НАН України*. 2016. №12. С. 102-108.
43. Сорока Б.С. Влияние климатических факторов на теплотехнические характеристики, энергетическую эффективность и оценка экологических последствий сжигания газового топлива. *Альтернативная энергетика и экология*. 2017. №04-06 (216-218). С. 116-129.
44. Сорока Б.С. Влажное горение — современное направление экологически чистого сжигания топлива и решение проблемы устойчивого развития энергетики. *Альтернативная энергетика и экология*. 2018. №25-30 (273-278). С. 97-117.
45. Вольчин І.А., Гапонич Л.С. Викиди діоксиду вуглецю на українських вугільних теплових електростанціях. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2018. Т. 24, № 6. С. 131-142. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnuokht_2018_24_6_17.
46. Кобзар С.Г., Халатов А.А. Дослідження ефективності зниження оксидів азоту при застосуванні вдосконаленого методу триступеневого спалювання вугілля з використанням вугілля в якості палива допалення. *Промышленная теплотехника*. 2017. Т. 39. №5. С. 91–96.
47. Бойченко С.Г. Напівемпіричні моделі та сценарії глобальних і регіональних змін клімату. НАН України, Ін-т геофізики ім. С.І. Субботіна. Київ: Наук. думка, 2008. 310 с.
48. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П., Буцьо З.Ю. Національні пріоритети енергоефективності'2010. Київ, Текст. 2010. 580 с.
49. Кулик М.М., Горбулін В.П., Кириленко О.В. Концептуальні підходи до розвитку енергетики України (аналітичні матеріали). Київ: Інститут загальної енергетики НАН України, 2017. 78 с.
50. Саух С.Є. Проблеми математичного моделювання конкурентної рівноваги на ринку електроенергії. *Вісник НАН України*. 2018. №4. С. 53-67.
51. Долінський А.А., Басок Б.І., Базєєв Є.Т., Піроженко І.А. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації. У 2-х томах. Київ, 2007. 827 с.
52. Басок Б.І., Базєєв Є.Т. Инновационные технологии для зданий — приоритет повышения энергоэффективности в Украине. *Промышленная теплотехника*. 2017. Т. 39, №4. С. 61-67.
53. Интернет-ресурс: <https://www.unian.net/ecology/10749615-franciya-obyavila-klimaticheskoe-chrezvychaynoe-polozhenie.html>
54. Интернет-ресурс: <https://www.rbc.ua/rus/news/gensek-oon-klimaticheskoy-konferentsii-nazval-1575336213.html>.
55. Интернет-ресурс: <https://hightech.fm/2019/11/30/euro-eco>.
56. Матишев Г.Г., Дженюк С.Л., Моисеев Д.В. Климат и большие экосистемы Арктики *Вестник РАН*. 2017. Т. 87, №2. С. 110-120.
57. Сергиенко В.И. Выступление на общем собрании РАН (стенограмма). *Вестник РАН*. 2011. Т.81, № 10. С. 893.
58. Фомин В.М., Молодин В.И., Ерминов В.Д. Междисциплинарные исследования — главный тренд развития науки в России. *Вестник РАН*. 2015. Т. 85, №11. С. 993-1004.
59. Поппер К. Нищета историцизма. *Вопросы философии*. 1992. №9. С. 22-48.
60. Харре Р. Социальная эпистемология: передача знаний посредством речи. *Вопросы философии*. 1992. №9. С. 49–60.
61. Миронов Н. Меры и вызовы глобальной энергетической безопасности. *Мировая энергетика*. 2007. №4. С. 50-51.
62. Клименко В.В. Опыт генетических прогнозов мировой энергетики: можем ли мы предвидеть далёкое будущее. *Доклады академии наук. Энергетика*. 2014. Т. 458, №4. С. 415-418.

B. Basok, Dr. Eng. Sc., Prof., ORCID 0000-0002-8935-4248

Ye. Basyev, Cand. Sc. (Eng.), SRF, ORCID 0000-0003-4292-1505

Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine

PROBLEMS OF PHYSICS AND GEOPOLITICS IN GLOBAL WARMING

Introduction. Global warming and so-called the “greenhouse effect” is one of the most discussed problems of physics and geopolitics, which has caused protest environmental movements in the world.

Problem Statement. *Widely discussed are both anthropogenic (the emission of greenhouse gases into the atmosphere) and the natural concepts of global warming with the dramatic effects of climate change on the planet and individual regions.*

Purpose. *Evaluate the state of the problem, to present the results of research and measures to possible reduction of the greenhouse effect.*

Materials and Methods. *Authoritative literary sources were used to analyze anthropogenic and natural factors of global warming, including an explanation of the processes from physics that manifest themselves during solar-geomagnetic activity.*

Results. *Ways and directions of increasing the efficiency of energy use to reduce greenhouse gas emissions are identified.*

Conclusions. *The greatest potential for increasing energy efficiency in the use of energy resources, and thereby reducing greenhouse gas emissions, lies in the heat supply sector of the country's housing and municipal sector. Prospects for further research are related to the development and implementation of organizational, economic and technological innovations in this energy sector.*

Keywords: *anthropogenic impact, global warming, energy efficiency, climate change, greenhouse gas.*

REFERENCES

1. World energy of the future - time to act. *Documents WEC 2000. World Energy Council.* Reference translation. (2000) [in Russian].
2. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4) URL: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml
3. Flavin K. et al. (2002). *State of the World 2002.* Translated from English: VGO «Ukraine. The Agenda for the 21st Century and the Institute for Sustainable Development». Kyiv, Intelsfera [in Ukrainian].
4. Tereshin A.G., Klimenko A.V., Klimenko V.V. (2015). The golden age of gas and its impact on global energy, the global carbon cycle and climate. *Thermal Engineering.*, №5, 3-13 [in Russian].
5. Demerchyan K.K., Demerchyan K.S., Kondratiev K.Ya. (2001). The growth rate of CO₂ concentration and the refinement of its forecast estimates. *News of the Russian Academy of Sciences. Energy.*, №1, 3-35 [in Russian].
6. Eliseev A.V. *Global CO₂ cycle.* Eliseev_A_V_theses_26042017. Pdf [in Russian].
7. Klimenko V.V., Tereshin A.G. (2012). *World energy and the global climate in the 21st century in the context of historical trends: The limits of growth. Universal and global history. The evolution of the universe, earth, life, society.* Ed. L.E. Grinin, I.V. Ilyin, A.V. Korotaev. Volgograd: Teacher, 608-621 [in Russian].
8. Internet resource URL: <https://www.segodnya.ua/world/wnews/temperatura-na-planete-podnyalas-na-1-1-0s-v-oon-byut-trevogu-1335122.html>
9. Arzhanov M.M. et al. (2012). Climate change assessment in the Northern Hemisphere in the 21st century under alternative scenarios of anthropogenic impact. *News of the Russian Academy of Sciences. Physics of the atmosphere and the ocean.* V. 48. № 6, 643- 654 [in Russian].
10. Demerchyan K.S., Demerchyan K.K., Danilevich Ya.B., Kondratiev K.Ya. (2002). Global warming, energy and geopolitics. *News of the Russian Academy of Sciences. Energy.*, №3, 18-46 [in Russian].
11. Demerchyan K.S., Kondratiev K.Ya. (1999). The scientific validity of forecasts of the impact of energy on climate. *News of the Russian Academy of Sciences. Energy.*, №6, 3-46 [in Russian].
12. Klimenko V.V., Klimenko A.V., Tereshin A.G. (2001). Energy and climate at the turn of the century: forecasts and reality. *Thermal Engineering.*, №10, 61-66 [in Russian].
13. Baseyev E.T. (2003). Kyoto Protocol: obstacles to implementation (to the question of the ambiguity of forecast estimates of changes in the concentration of greenhouse gases in the Earth's atmosphere and an increase in surface temperature. Overview). *Proceedings of the International Energy-Ecological Congress "Energy. Ecology. Human". March 27-28, 2003. Kiev,* 67-71 [in Russian].
14. Baseyev E.T., Didenko V.M. (2001). Greenhouse effect and heat power of Ukraine. Political, economic and environmental problems of energy security and transportation of energy resources in Ukraine. *Collection of scientific papers of the international scientific-practical conference. October 24-26, 2000, Kyiv. RVPS of NAS of Ukraine* [in Russian].
15. Monin A.S., Shishkov Yu.A. (2000). Climate as a problem of physics. *Advances in physical sciences.* V. 170, № 4, 419-445 [in Russian].
16. Ivanov V., Boguslavsky S., Sovga O., Zhorov V. (2004). World Ocean as a stabilizer of the Earth's climate. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine.* №3, 32-37 [in Ukrainian].
17. Losev K.S. (2009). Paradoxes of the fight against global warming. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences.* V. 79, №1, 36-40 [in Russian].
18. Bolshakov V.A., Kapitsa A.P. (2011). Lessons from the development of the orbital theory of climate. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences.* V. 81, № 7, 603-612 [in Russian].

19. Zamolodchikov D.G. (2013). Natural and anthropogenic concepts of modern warming. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. V. 83, №3, 227-235 [in Russian].
20. Korablev O.I. (2016). Mars and Venus: different fates of the planets of the earth group. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. V. 86, № 7, 587-599 [in Russian].
21. Sorokhtin O.G. (2006). The evolution of the Earth's climate and the origin of the ice eras. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. V. 76, №8, 699-706 [in Russian].
22. Shestopalov V.M., Lukin A.E., Zgonnik V.A., Makarenko A.N., Larin N.V., Boguslavsky V.M. (2018). *Essays on the degassing of the Earth*. Kyiv [in Russian].
23. Nikolaev A.V. (1997). *Problems of geotomography*. Moscow, 4-38. [in Russian].
24. Usenko O.V. (2014). The formation of melts. Geodynamic process and physicochemical interactions. Kyiv, [in Russian].
25. Avakyan S.V. (2017). Supramolecular environmental physics: climatic and biophysical effects. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. V. 87, № 5. 456-466 [in Russian].
26. Bartsev S.I., Belolipetskiy P.V., Degermendzhi A.G. et al. (2016). A new look at the dynamics of the Earth's climate. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. V. 86, № 3, 244-251 [in Russian].
27. Karmazinenko S.P., Kuraeva I.V., Samchuk A.I., Voityuk Yu.Yu., Manicheva V.I. (2014). *Heavy metals in environmental components. Mariupol (ecological and geochemical aspects)*. Kyiv [in Ukrainian].
28. Vovk V.V., Egorova L.V., Troshichev O.A. (2008). The relationship of atmospheric characteristics in Antarctica with space weather factors. *Geomagnetism and Aeronomy*. V. 48, №4, 561-565 [in Russian].
29. Voloschuk V., Sripnik M. (1993). Global greenhouse effect and climatic conditions of Ukraine. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*. №9, 43-46 [in Ukrainian].
30. Lipinskiy V.M. (2002). Global climate change and its response in the dynamics of Ukraine's climate. *Proceedings of the International Conference "Investment and Climate Change: Opportunities for Ukraine, July 10-12, 2002, Kyiv: Climate Change Investments*, 177-185 [in Ukrainian].
31. Increasing the climate resilience of the agricultural sector of the South of Ukraine. Szentendre, Hungary. Regional environmental center. October 2015 [in Ukrainian].
32. Basok B.I. (Ed.). (2015). *Organizational and economic mechanisms for modernization of the heat power industry of Ukraine*. Kyiv [in Ukrainian].
33. Mister himself. (2005). *Bulletin of the Ukrainian Network "Energy Efficient Cities"*. №3-4, p. 17 [in Ukrainian].
34. Bashmakov I. Improving energy efficiency - the main energy resource (presentation). URL: <https://www.cenef.ru/file/Stady.ppt> [in Russian].
35. The Law of the Russian Federation of November 23, 2009 No. 261-ФЗ "On energy conservation and on improving energy efficiency and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation" [in Russian].
36. Bashmakov I. (2002). The law of increasing energy efficiency. *Energoinform*. №27 (158) [in Russian].
37. Paton B.E., Dolinsky A.A., Geyets V.M., Kuhar V.P., Basok B.I., Baseyev E.T., Podolets R.Z. (2014). Priorities of the national strategy of heat supply of settlements of Ukraine. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*. №9, 29-47.
38. Basok B.I., Novoseltsev O.V., Dubovsky S.V., Baseyev E.T. (2018). *Modernization of district heating systems of settlements of Ukraine (thermal physics, energy efficiency, energy economy, ecology)*. LLC «Kalita» Publishing House. Kyiv [in Ukrainian].
39. Karp I.N., Nikitin E.E. (2011). Ways to solve the problems of public utilities. *Housing and communal services of Ukraine*. №6, 16-22 [in Russian].
40. Segal O.I., Bykoriz E.Y. (2016). Environmental aspects of organic fuel combustion processes. *Problems of ecology and exploitation of energy objects: Collection of works. Institute of Industrial Ecology*. Kyiv: IPC ALCON NAS of Ukraine. 142-148 [in Ukrainian].
41. Segal O.I., Paderno D.Yu., Pavlyuk N.Yu., Safyants AS, Bykoriz E.Y., Plashikhin S.V. (2019). Reducing the consumption of natural gas and reducing emissions of harmful substances from combustion products in municipal heating. *Thermophysics and thermal power engineering*. V. 41, №2, 54-63 [in Ukrainian].
42. Matsevity Yu.M., Shubenko A.L., Kanilo P.M., Solovey V.V. (2016). Energy, ecology and global warming. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. №12, 102-108 [in Russian].
43. Soroka B.S. (2017). Influence of climatic factors on heat engineering characteristics, energy efficiency and environmental impact assessment of gas fuel combustion. *Alternative energy and ecology*. №04-06 (216-218), 116-129 [in Russian].
44. Soroka B.S. (2018). Wet burning is a modern direction of environmentally friendly fuel combustion and a solution to the problem of sustainable energy development. *Alternative energy and ecology*. №25-30 (273-278), 97-117 [in Russian].

45. Volchin I.A., Gaponich L.S. (2018). Carbon dioxide emissions from Ukrainian coal-fired thermal power plants. *Scientific works of the National University of Food Technology*. V. 24, № 6, 131-142. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2018_24_6_17 [in Ukrainian].
46. Kobzar S.G., Halatov A.A. (2017) Investigation reduction efficiency of nitrogen oxides at an improved method for applying a three-stage burning coal using coal as fuel reburning. *Industrial Heat Engineering.*, V. 39, № 5, 91-96 [in Ukrainian].
47. Boychenko S. (2008). *Semi-empirical models and scenarios of global and regional climate change*. NAS of Ukraine, S.I. Subbotin Institute of Geophysics. Kyiv: Naukova Dumka [in Ukrainian].
48. Stogniy B.S., Kirilenko O.V., Prahovnik A.V., Denisyuk S.P., Butzo Z.Y. (2010). *National energy efficiency priorities'2010*. Kyiv, Text [in Ukrainian].
49. Kulyk M.M., Gorbulin V.P., Kirilenko A.V. (2017). Conceptual approaches to the development of energy in Ukraine (analytical materials). Kyiv: Institute of General Energy of the NAS of Ukraine [in Ukrainian].
50. Saukh S.E. (2018). Problems of mathematical modeling of competitive equilibrium in the electricity market. *Bulletin of the NAS of Ukraine*. №4, 53-67[in Ukrainian].
51. Dolinsky A.A., Basok B.I., Bazeyev E.T., Pirozhenko I.A. (2007). *Communal heat power engineering of Ukraine: state, problems, ways of modernization*. In 2 volumes. Kyiv [in Ukrainian].
52. Basok B.I., Bazeyev E.T. (2017). Innovative technologies for buildings are a priority for improving energy efficiency in Ukraine. *Industrial heat engineering*. V. 39, №4, 61-67 [in Russian].
53. Internet resource URL: <https://www.unian.net/ecology/10749615-franciya-obyavila-klimaticheskoe-chrezvychaynoe-polozhenie.html>
54. Internet resource URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/gensek-oon-klimaticheskoy-konferentsii-nazval-1575336213.html>.
55. Internet resource URL: <https://hightech.fm/2019/11/30/euro-eco>.
56. Matishev G.G., Dzhenyuk S.L., Moiseev D.V. (2017). Climate and large ecosystems of the Arctic. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. V. 87, №2. 110-120 [in Russian].
57. Sergienko V.I. (2011). Speech at the general meeting of the RAS (transcript). *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. V. 81, № 10, 893 [in Russian].
58. Fomin V.M., Molodin V.I., Erminov V.D. (2015). Interdisciplinary research is the main trend in the development of science in Russia. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. V. 85, №11, 993-1004 [in Russian].
59. Popper K. (1992). The Poverty of Historicism. *Problems of Philosophy*. №9, 22-48 [in Russian].
60. Harre R. (1992). Social epistemology: knowledge transfer through speech. *Problems of Philosophy*. №9, 49-60 [in Russian].
61. Mironov N. (2007). Measures and challenges of global energy security. *World energy*. №4, 50-51.
62. Klimenko V.V. The experience of genetic predictions of world energy: can we foresee the distant future. *Reports of the Russian Academy of Sciences. Energy*. 2014. V. 458, №4, 415-418.

Надійшла 01.05.2021
Received 01.05.2021