

О.В. Кириленко^{1*}, академік НАН України, Б.І. Басок^{2**}, член-кор. НАН України,
Є.Т. Базєєв^{2***}, канд. техн. наук, І.В. Блінов^{1****}, докт. техн. наук.

¹ Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна,

e-mail: ied1@ied.org.ua

² Інститут технічної теплофізики НАН України,
вул. Булаховського, 2, Київ, 03164, Україна,

e-mail: basok@ittf.kiev.ua

Висвітлено результати досліджень щодо еволюції світового енергоспоживання, проведено огляд антропогенних і сонячно-земних чинників впливу на глобальне потепління. Досліджено тренд підвищення з середини ХХ століття глобальної приземної температури – одного з показників кліматичної системи нашої планети. Дано пояснення посилення парникового ефекту як наслідку підвищення концентрації в атмосфері Землі парникових газів. Поряд з антропогенною концепцією глобального потепління розглядається і природна концепція, в якій вважається, що все ж таки визначальними факторами підвищення приземної температури є природні, пов'язані з космогенноциклічними процесами, сонячно-земною взаємодією (обертання Землі навколо Сонця, прецесія осі обертання Землі, цикли сонячної активності та ін.). Показано, що є й підходи, які міняють місцями причини та наслідки потепління, а саме: зміни атмосферної концентрації діоксиду вуглецю це наслідок глобальних змін температури планети, а не їхня причина. Прогрів світового океану призводить до зменшення розчинності CO₂ у воді і викиду його надлишку в атмосферу. Наведено авторське бачення трендів розвитку електроенергетики та відновлюваних джерел енергії в Україні в найближчі десятиліття. Зокрема, запропоновано ряд організаційних, технологічних і науково-інноваційних задач, що пов'язані із нерегульованим використанням відновлюваних джерел енергії. Бібл. 39, рис. 3.

Ключові слова: глобальне потепління, зміна клімату, парниковий газ, енергоефективність, світовий енергетичний баланс, відновлювані джерела енергії

Глобальне потепління стало однією з широко обговорюваних наукових і екологічних проблем сучасності. Активно розглядаються як антропогенна, так і природна концепції потепління клімату, а також можливі соціальні та економічні наслідки, викликані зміною клімату. Антропогенна концепція тісно пов'язується зі сферою енергетики, головним чином із спалюванням органічного палива – викидом в атмосферу вуглекислого газу – основного продуцента парникових газів, що посилюють парниковий ефект. Еволюція світового енергоспоживання [1] показує, що основними енергоресурсами в найближчі десятиліття залишатимуться нафта, вугілля, газ в діапазоні 20-30% загально-світового виробництва енергоресурсів при стійкому збільшенні внеску природного газу, а також відновлювані джерела енергії (ВДЕ).

Мета статті – коротко охарактеризувати сучасний стан проблеми глобального потепління і наукових досліджень, виконаних, зокрема, у Відділенні фізико-технічних проблем енергетики НАН України, і пов'язаних із розробкою в Україні інноваційних енергоефективних та енергоощадних технологій, а також надати пропозиції щодо підходів та заходів для зменшення негативного впливу цього потепління.

Програми адаптації та боротьби з глобальним потеплінням, обговорення систем торгівлі квотами на викид парникових газів породжують в суспільстві тривоги, протести «зелених» і впливають на світову і регіональну політику, а також на економіку. На кліматичних самітах глобальне потепління і клімат, як такий, стали розглядатися як проблема фізики та геополітики.

Розроблення Кіотського протоколу (1997 р.) та Паризької угоди (2015 р.) не обійшлося без розбіжностей між учасниками цих кліматичних самітів. Країни мають різні можливості розвитку своїх економік, що не дає змогу висувати до них однакові вимоги. Держави, що розвиваються, вважають, що головну відповідальність за зміну клімату повинні нести розвинені країни, вони є

головними продуцентами парникових газів. Країни з багатими родовищами традиційних і таких, що порівняно легко добуваються, вуглеводнів з настоюгою 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 постійне зростання концентрації парникових газів (в основному вуглекислого газу) в атмосфері Землі.
2. Тренд підвищення концентрації парникових газів визначається збільшенням їхньої антропогенної емісії при спалюванні вуглеводневих енергоресурсів.
3. Глобальне потепління загрожує негативними наслідками для навколишнього середовища і економіки.
4. Необхідно вдосконалювати політику скорочення антропогенної емісії парникових газів.
5. Потрібно розробити загальносвітові та регіональні механізми та заходи щодо адаптації до пагубних змін клімату.

На рис. 1 показано середньомісячне значення глобальної температури поверхні GMST впродовж періоду прямих інструментальних спостережень (набір даних HadCRUT4, NOAA GlobalTemp, GISTEMP та Cowtan-Way – сіра область коливань 1, виражене як відхилення від 1850-1900 років (чорна горизонталь на осі 0.0). Усі наведені набори даних спостережень представляють GMST як середньозважену температуру приземного повітря над поверхнею та над рівнем моря. Показані внески в ці зміни GMST, спричинені людською діяльністю 2 та загальні внески 3. Лінія 4 демонструє модельовану глобальну середню температуру поверхневого повітря (пунктирна) та змішану температуру поверхневого повітря та поверхні моря 5, що розрахована по моделі CMIP5, числовий експеримент RCP8.5. Поздовжня смуга вказує на діапазон коливань температури в голоценові. Для періоду 2020-2035 рр. визначена область 6 прогнозу по моделі AR5 для середнього рівня GMST на 2016–2035 рр. [2].

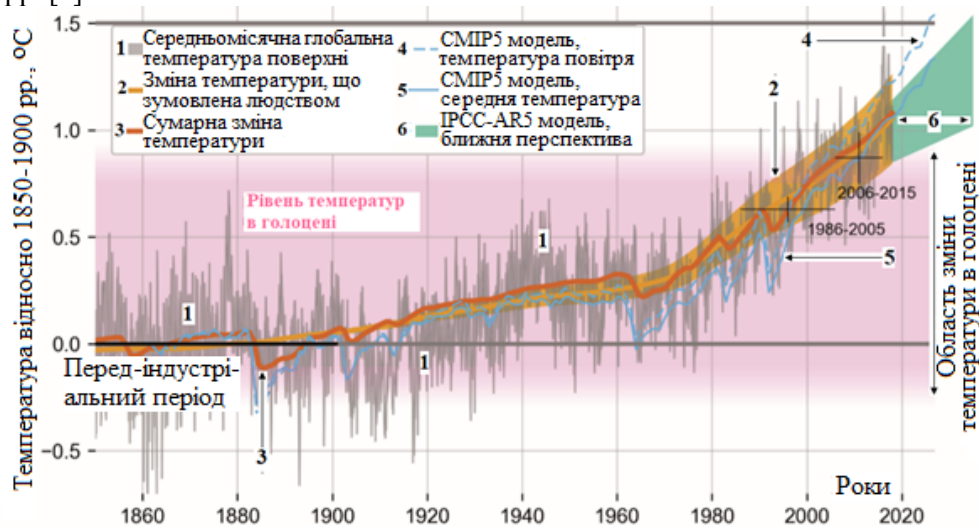


Рис. 1

Основою для прогнозування глобальної зміни клімату стали результати наукових досліджень міжурядової групи експертів з проблеми зміни клімату (МГЕЗК), створеної у 1988 році Міжнародною метеорологічною організацією ООН (на той час в групу входило близько 2500 дослідників і експертів з усього світу), яка виходить з антропогенної концепції глобального підвищення приземної температури. Проте не всі у науковому світі згодні з причинами потепління і представленими прогнозами підвищення температури.

Не заперечуючи впливу антропогенних викидів на збільшення глобальної температури, прихильники природної концепції потепління клімату вважають, що визначальними факторами підвищення приземної температури є природні, які пов'язані з космогенними циклічними процесами, з сонячно-земною взаємодією (обертання Землі навколо Сонця, прецесія осі обертання Землі, цикли зміни сонячної активності та ін.) [3, 4]. Є думки, які змінюють місцями причини та наслідки глобального потепління, а саме: зміни атмосферної концентрації діоксиду вуглецю – наслідок глобальних змін температури планети, а не їхня причина. Тому прогрівання Світового океану призводить до зменшення розчинності CO₂ в морській воді і викиду надлишку вуглекислого газу в атмосферу [3, 4].

На рис. 2 показано реконструкції концентрацій CO₂ в атмосфері за останні 1-55 мільйонів років, отримані за непрямыми даними на основі досліджень ізотопів бора, алкенонів та продири листя. Дані за 10 – 800 тис. років отримані з досліджень повітря в антарктичних льодових ядрах. Оцінки на майбутнє включають репрезентативні траєкторії концентрацій (РТК) по моделі СМІР5, а саме дані числових експериментів RCP8.5 (лінія 1 на рис. 2), RCP6.0 – 2, RCP4.5 – 3 і RCP2.6 – 4. Показані на рис. 2. значення поряд з лінією стосуються розрахункових значень збільшення глобальної температури Землі у 2300 р. в порівнянні із 1850-1900 рр.

Сценарії антропогенного посилення глобального парникового ефекту, термічні, гідрологічні режими і основні висновки для можливих температурних змін клімату в Україні було розглянуто на початку 90-х років і представлено у [5].

1. При глобальному антропогенному потеплінні приблизно на 1°C (в першій чверті XXI століття) в південних районах України рівень потепління практично збігатиметься з глобальним, а в північних може збільшитися до 40%.

2. Широтний градієнт температур на території України буде за абсолютною величиною зменшуватися до 10% (в сучасну епоху широтний градієнт приземної річної температури – близько 0,8 °C на 1° широти).

3. За умови, що річна глобальна температура підвищиться на 3°C (середина XXI століття), температурний режим північних областей України може стати подібним до температурних режимів її південних регіонів.

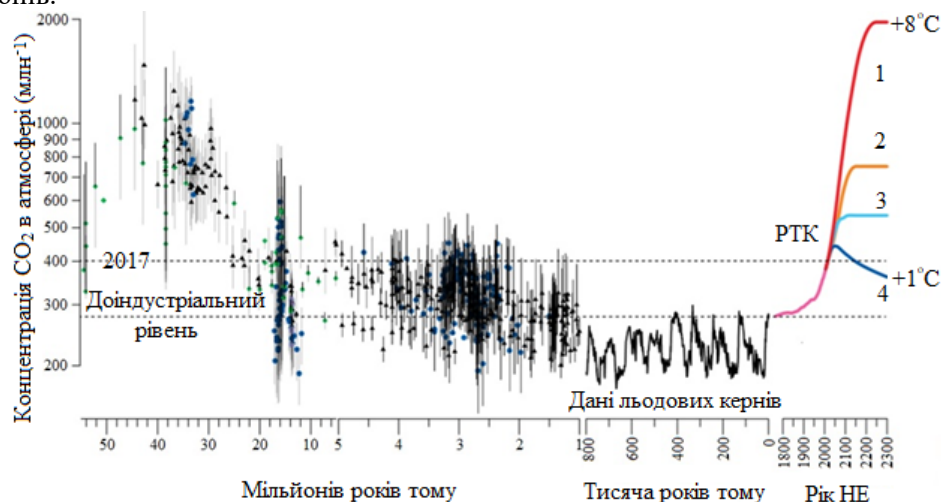


Рис. 2

Слід зазначити, що отримані результати математичного моделювання динаміки земної кліматичної системи для створення сценаріїв регіональних змін клімату при антропогенному посиленні парникового ефекту поки малонадійні. Це пояснюється недостатнім рівнем вивчення всієї сукупності фізичних процесів, які формують широтно-довготний розподіл полів температури та інших кліматичних параметрів (суми опадів, мінливості погоди та ін.).

Після підписання Кіотського протоколу (1997 р.) роботи в Україні з проблеми зміни клімату отримали подальший розвиток. Зокрема, проведено регіональні екологічні та соціально-економічні оцінки щодо зміни клімату в Україні, проаналізовано та обґрунтовано стратегічні напрями зниження викидів парникових газів в економіці [6–8].

Наведені прогнозні дані за десять років показали, що в Україні підвищення середньої приземної температури в період 1900-2000 рр. склало 0,4-0,6 °C. За окремими регіонами: північний схід – близько 1 °C, полісся і лісостеп – 0,7-0,9 °C, степ – 0,2-0,3 °C. За порами року: взимку – 1,2 °C, навесні – 0,8 °C, влітку – 0,2-0,3 °C. Виявлено негативний тренд числа морозних днів і деконтиненталізація клімату. Прогнозні оцінки зміни середньої приземної температури в Україні до 2050 року показують, що підвищення складе 1,5-2,0 °C, причому в січні для півдня – 2,0 °C, для півночі – 2,8 °C і в липні для України 0,5-1,0 °C [9].

У 2012-2013 роках в Україні було виконано досить детальні дослідження з розробки сценаріїв зміни клімату на середньо- і довгострокову перспективу. На рис. 3 показано прогнозні дані з потепління в Україні за ряд періодів до 2100 року. Наведені результати інструментальних вимірювань підвищення температури і прогнози потепління в Україні в цілому відповідають світовим трендам

зміни глобальної температури. Таким чином перед Україною стоять ті ж виклики і ризики, що і перед світом у цілому [10].

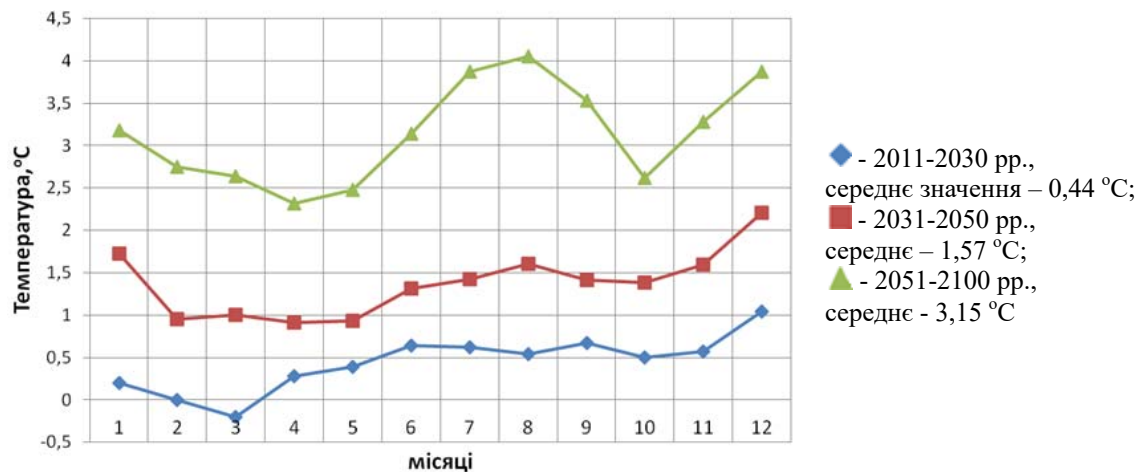


Рис. 3

Шлях до зниження викидів парникових газів, пов'язаний зі зменшенням обсягів використання енергоресурсів, це залучення в тепловий цикл низьковуглецевих енергоресурсів та організація раціонального управління процесом спалювання вуглеводнів (низькоемісійне спалювання, утилізація теплоти продуктів спалювання).

Відомо, що збільшення енергоємності продукції пов'язане, з одного боку, з необґрунтованою втратою цінності енергії (ексергії) в технологічних процесах виробництва, а з іншого – надмірним споживанням енергоресурсу в результаті недотримання принципів і методів економічного стимулювання зниження енергоємності продукції. Для подолання цих проблем слід спрямовувати зусилля на вдосконалення виробництва енергоносіїв (електричної, теплової енергії), теплотехнологій. Що стосується організаційно-економічних механізмів модернізації теплоенергетики України, то вони досить детально представлені в [11].

Нижче викладено перелік робіт з оригінальних інноваційно-орієнтованих досліджень, виконаних у Відділенні фізико-технічних проблем енергетики НАН України, у напрямку вирішення глобальної і регіональної проблем потепління клімату. Мова іде про дослідження з енергоефективності в сфері теплопостачання населення з розробкою проекту стратегії теплопостачання населених пунктів України [12, 13]. Пропозиції з технологічних, організаційних і соціально-економічних інновацій підвищення енергоефективності будівель, а також обладнання та інженерних систем їхнього енергозабезпечення, в т. ч. у разі спорудження "пасивних" будинків типу «нуль-енергії», наведено у [14-16].

Скорочення викидів парникових газів у комунальній теплоенергетиці може бути досягнуто підвищенням ефективності використання палива, заміною застарілих котлів систем теплопостачання більш сучасними з коригуванням температурного графіку теплових мереж, зниженням виходу парникових газів, зокрема, оксидів азоту внаслідок оптимізації процесів спалювання палива [17-22]. Проблеми побудови математичних моделей і програмних засобів для оцінювання впливу енергетичних об'єктів на навколишнє природне середовище і оптимізації мереж екологічного моніторингу наявні у роботах [23, 24].

Ще одним напрямком розвитку електроенергетики України є запровадження нової моделі ринку електричної енергії [25-27] згідно з Законом України (ЗУ) «Про ринок електричної енергії» та збільшення частки ВДЕ в об'єднаній енергетичній системі (ОЕС) України відповідно до енергетичної стратегії України на період до 2035 року та ЗУ «Про альтернативні джерела енергії» за рахунок проведення стабільної та прогнозованої політики у сфері стимулювання розвитку ВДЕ. У листопаді 2018 року Європейська Комісія представила довгострокову стратегічну концепцію зниження викидів ПГ, показавши, яким чином Європа може прокласти шлях до кліматичної нейтральності – економіки з нетто-нульовими викидами парникових газів до 2050 року. Вслід за цим в січні 2020 року Міненергодоквілля України оприлюднило проект Концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року, де для електроенергетичної галузі України задекларовано паралельні процеси модернізації, скорочення викидів парникових газів та поступове скорочення вугільної генерації.

Згідно з цією Концепцією повне заміщення вугільних теплових електростанцій (ТЕС) до 2050 року відбуватиметься за рахунок розвитку сонячної і вітрової генерації та електростанцій на біомасі у поєднанні з новими високоманевровими генеруючими потужностями на газі, технологіями акумулювання та зберігання електроенергії для балансування в енергосистемі.

В той же час високі тарифи для електростанцій з ВДЕ сьогодні не стимулюють до оптимізації витрат на встановлення та експлуатацію цих об'єктів на фоні загальносвітового тренду до зниження капітальних витрат на будівництво електростанцій з ВДЕ, що підтверджується відповідними даними сучасних досліджень [28]. Запроваджена в Україні модель відшкодування «зеленого тарифу» через механізм формування відповідної балансувальної групи стороною, відповідальною за баланс якої є ДП «Гарантований покупець», та закладені в таку модель функції слід розглядати як адаптацію відповідної італійської моделі стимулювання «зеленої» енергетики до умов українського законодавства та особливостей українських енергосистем.

З іншого боку, незважаючи на плани довести обсяг виробленої ВДЕ електроенергії в Україні понад 11% від загального обсягу виробництва електроенергії вже у 2020 році, проведений аналіз наслідків збільшення частки ВДЕ у загальній структурі генерування електроенергії в Україні в цілому носить поверхневий та фрагментарний характер. Це обумовлює необхідність розроблення нових моделей, методів та засобів визначення вимог та виконання моделювання основних факторів впливу ВДЕ на технологічні та економічні показники функціонування ОЕС України та ціни для кінцевих споживачів електричної енергії. Зокрема «зелений тариф» в ціні електричної енергії за умови збереження такої тенденції та без урахування ефекту зниження граничних цін в організованих сегментах ринку електроенергії України може сягнути 50% в кінцевій ціні для споживачів електричної енергії.

Слід також враховувати, що ВДЕ – це нерегульовані джерела виробництва електроенергії з різко нерівномірним графіком покриття навантаження. За розрахунками ДП НЕК «Укренерго» в ОЕС України вже фактично не вистачає наявних маневрових потужностей електростанцій, здатних забезпечити функціонування встановленої потужності ВДЕ. Збільшення цієї потужності ВДЕ в перспективі може навіть призводити до зменшення обсягів відпуску електричної енергії АЕС та їхнього заміщення більш маневреними ТЕС, що нівелюватиме ефект декарбонізації української енергетики. Важливо, що саме проблеми регулювання режимів в енергосистемах з підвищеною часткою ВДЕ стали основним фактором стримування розвитку сонячних (СЕС) та вітрових (ВЕС) електростанцій.

Поточна похибка прогнозування відпуску електричної енергії СЕС та ВЕС, яка сьогодні знаходиться на рівні 35%, приводить до додаткових суттєвих витрат на врегулювання небалансів, що залежать від ціни на балансувальному ринку, а також обумовлює потреби ОЕС України в обсягах додаткових регулюючих потужностей. Тому одним з швидких та відносно дешевих шляхів зменшення негативних наслідків, пов'язаних зі зростанням частки «зеленої» енергетики, є підвищення точності та стабільності результатів прогнозування обсягів відпуску електроенергії станціями, що працюють з ВДЕ. Вочевидь, вирішення пов'язаних з ВДЕ проблем потребує розв'язання низки організаційних, технологічних та наукових задач.

До **організаційних задач** слід віднести впровадження аукціонів на ліцензії щодо встановлення нових потужностей ВДЕ та запровадження фінансової відповідальності за створювані ними небаланси, започаткування роботи ринку допоміжних послуг, запровадження механізмів стимулювання ГЕС/ГАЕС, удосконалення механізмів застосування обмежень відпуску електричної енергії ВДЕ, розвиток балансувального ринку, підвищення відповідальності за небаланси інших учасників ринку, у тому числі постачальників електроенергії.

Технологічні задачі пов'язані в основному з впровадженням в ОЕС України високо маневрових генераторів з низьким рівнем викидів вуглецю для потреб регулювання режимів, зокрема і газопоршневих генераторів та накопичувачів електричної енергії з розширеними функціями регулювання, запровадження систем керування навантаженням в енергосистемі, підвищення рівня спостережуваності навантаження ВДЕ по кожному об'єкту у реальному часі для забезпечення диспетчерського управління за рахунок організації каналів зв'язку з ВДЕ, інтеграція до ENTSO-E та розвиток електричних мереж, реалізація технічної політики розвитку системи передачі та розподілу шляхом запровадження сучасних принципів побудови електричних мереж відповідно до концепції Smart grid [29], а також об'єднання ринків електричної енергії для підвищення міждержавної конкуренції [30, 31].

До наукових та науково-практичних задач слід віднести розробку методів та засобів для підвищення точності прогнозу обсягів відпуску електроенергії станціями з ВДЕ [32], розробку методів та засобів аналізу складових впливу збільшеної частки ВДЕ у структурі виробництва електроенергії на процеси ціноутворення в сегментах ринку електроенергії України, розробку сучасних методів оптимізації встановлення накопичувачів електричної енергії з функціями регулювання та методів керування попитом в ОЕС України [33].

Сучасні дослідження з прогнозу розвитку енергетики та характеру динаміки емісії парникових газів вказують, що в найближчі десятиліття будуть проявлятися такі тенденції як [34]: стабілізація національного питомого енергоспоживання на душу населення на рівні, який в основному визначається клімато-географічними факторами країни; 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, що спостерігається вже більше ста років (перехід від вугілля до нафти, газу і останнім часом – до збільшення обсягів поновлюваних енергоресурсів). Це призводить до зниження темпів зростання антропогенного впливу на кліматичну систему, а тому слід очікувати дуже поміркованих змін складу атмосфери і клімату планети [34]. Ще одним відомим стратегічним завданням, що пов'язане зі зниженням небезпеки глобального потепління, є всебічне збереження механізму регуляції хімічного стану атмосфери природними екосистемами, зокрема таким найважливішим природним регулятором концентрації CO₂ в атмосфері як Світовий океан, що є глобальним резервуаром стоку вуглецю.

Трендам розвитку світової енергетики притаманні й напрямки розвитку енергетики України. Енергоефективність, нарешті, визначено як головний драйвер в енергетичній політиці країни і в комунальній енергетиці зокрема [35, 36].

Таким чином, незважаючи на існуючу серед фахівців неоднозначність висновків про природу глобального потепління і оцінок значущості ролей антропогенного та природного факторів в зміні клімату, ступеня небезпеки таких змін, відсутність узгодженої позиції щодо прийняття та виконання рішень, визначених кліматичними самітами, 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 заходи, що вживаються для його запобігання, сприяють розробці нових енергетичних технологій, заснованих на відновлюваних джерелах енергії»* [37]. Все це обумовлює стрімкий розвиток та впровадження сучасних енергетичних технологій, заснованих на відновлювальних джерелах енергії.

Остання доповідь вчених МГЕЗК показує, що планета, швидше за все, «потеплішає» на 2,9-3,4 °C [38], і тому необхідно докласти всіх зусиль, щоб утримати підвищення глобального потепління на рівні 1,5 °C до 2100 року. Для цього слід значно скоротити шкідливі викиди. В цьому випадку наслідки будуть не настільки згубними, як за умов підвищення температури на 2 °C.

Висновки і рекомендації. В Україні, зокрема, в закладах НАН України, розроблено інноваційні енергоефективні технології використання енергоресурсів, а також сформульовано організаційно-економічні заходи і механізми для управління зниженням енергоємності економіки. Спираючись на досягнуте, вкрай необхідно розробляти заходи адаптації до можливих природних змін, зумовлених потеплінням клімату. Для цього повинна бути сформульована, прийнята і реалізована концепція, стратегія і програма адаптації економіки України (загальнодержавна і регіональні) до зміни клімату. Тобто повинна бути сформована політика адаптації до зміни клімату – глобального потепління – до умов України.

Обґрунтуванням дій до цього є Розпорядження Кабінету Міністрів (КМ) України від 7 грудня 2016 р. № 932-р “Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року”. В 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 розроблення і реалізації середньострокової стратегії адаптації до зміни клімату України на період до 2030 року, скоординованої із стратегіями і планами розвитку секторів економіки та регіональними стратегіями розвитку. Важливість питань адаптації до змін клімату в Україні набуває особливого значення в контексті Угоди 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. 24 січня 2020 року КМ України створив

міжвідомчу групу по подоланню наслідків змін клімату для охорони здоров'я громадян. Тому доцільність і актуальність політики адаптації всієї економіки і населення країни є обґрунтованими.

Стратегія адаптації до зміни клімату – це розробка таких заходів і механізмів, які дають змогу технічно і економічно обґрунтованим способом, з урахуванням сучасного і прогнозованого стану економіки, виключити або послабити негативні наслідки зміни клімату на рівень і якість життя населення та економіки України. Наприклад, для комунальної енергетики метою стратегії адаптації до зміни клімату буде забезпечення такого стану муніципального енергопостачання (електро-, теплопостачання і кондиціонування), яке гарантує якісне, комфортне та надійне поточне і перспективне теплохолодопостачання технічно і економічно обґрунтованим способом при дотриманні вимог охорони навколишнього середовища.

Бажано також коротко відобразити вказані підходи до зменшення негативного впливу глобального потепління при можливому корегуванні нової енергетичної стратегії України до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [39] та внести запропоновані заходи до її дорожньої карти виконання другого етапу (2021-2025 рр.).

Фрагментарно статтю підготовлено в межах виконання окремих проектів цільової програми наукових досліджень НАН України «Інтелектуальна екологічно безпечна енергетика з традиційними та відновлюваними джерелами енергії» та Цільового міждисциплінарного проекту НАН України «Науково-технічні та економіко-екологічні засади низьковуглецевого розвитку України».

1. Огляд аналітичних робіт міжнародних енергетичних організацій щодо стану та сценаріїв розвитку світової енергетичної сфери з прогнозом інвестування в енергоефективність. Київ: НЕК «Укренерго», 2018. 95 с.
URL: https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/06/2.-rozvyt_svit_energet_sfery.pdf (дата звернення: 05.03.2019).
2. Global warming of 1.5 °C. IPCC Special report. 2018.
URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf (дата звернення: 05.03.2019).
3. Сорохтин О. Г. Эволюция климата Земли и происхождение ледовых эпох. *Вестник РАН*. 2006. Т. 76. № 8. С. 699-706.
4. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики. *Успехи физических наук*. 2000. Т. 170. № 4. С. 419-445.
5. Волощук В., Срипник М. Глобальний парниковий ефект і кліматичні умови України. *Вісник АН України*. 1993. № 9. С. 43-46.
6. Бойченко С.Г. Напівемпіричні моделі та сценарії глобальних і регіональних змін клімату. К.: Наукова думка, 2008. 309 с.
7. Волощук В.М., Бойченко С.Г., Степаненко С.М., Бортник С.Ю., Шищенко П.Г. Глобальне потепління і клімат України: Регіональні екологічні та соціально-економічні аспекти. К.: ВПЦ Київський університет, 2002. 116 с.
8. Шевчук В.Я., Малишева Н.Р., Ковальчук Т.Т., Мансурова І.Г. Політика енергоефективного розвитку і зміни клімату. К.: ЦП «Компринт», 2014. 218 с.
9. Ліпінський В.М. Глобальна зміна клімату та її відгук в динаміці клімату України. Міжн. конференція *Інвестиції та зміна клімату: можливості для України*. 10-12 липня, Київ, 2002. С. 177-185.
10. Підвищення стійкості до зміни клімату сільськогосподарського сектору Півдня України. Сентендре, Угорщина. *Regional environmental center*. Жовтень 2015. 73 с.
11. Організаційно-економічні механізми модернізації теплоенергетики України. К.: Видавничий дім "Калита", 2015. 338 с.
12. 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.
13. Басок Б.І., Новосельцев О.В., Дубовський С.В., Базєєв Є.Т. Модернізація систем теплозабезпечення населених пунктів України (теплофізика, енергоефективність, енергоекономіка, екологія). К.: Видавничий дім "Калита", 2018. 406 с.
14. Карп І.Н., Никитин Е.Е. Пути решения проблем коммунальной энергетики. *Жилищно-коммунальное хозяйство Украины*. 2011. № 6. С. 16-22.
15. Басок Б.И., Базеев Е.Т. Инновационные технологии для зданий – приоритет повышения энергоэффективности в Украине. *Промышленная теплотехника*. 2017. Т. 39. № 4. С. 61-67.
16. Сигал И.Я., Смихула А.В., Марасин А.В., Лавренцов Е.М. Снижение выбросов оксида азота до европейских норм и повышение теплотехнических показателей существующих котлов. Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики. К.: ИПЦ «АЛКОН» НАН Украины, 2017. 222 с.
17. 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.
18. 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.

19. Долінський А.А., Басок Б.І., Базєєв Є.Т., Піроженко І.А. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації. К.: Наукова думка, 2007. 827 с.
20. Мацевитий 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.
21. 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.
22. 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.
23. Shkitsa L.E., Yatsyshyn T.M., Popov A.A., Artemchuk V.A. The development of mathematical tools for ecological safe of atmosphere on the drilling well area. *Нефтяное хозяйство*. 2013. No 11. Pp. 136-140.
24. Popov O., Yatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V., Taraduda D., Sobyna V., Sokolov D., Dement M., Yatsyshyn T., Matvieieva I. Analysis of Possible Causes of NPP Emergencies to Minimize Risk of Their Occurrence. *Nuclear and Radiation Safety*. 2019. No 1 (81). P.p.75-80. DOI: [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.1\(81\).13](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.1(81).13)
25. Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В., Іванов Г.А. Імітаційна модель ринку електричної енергії «на добу наперед» з неявним урахуванням мережевих обмежень енергетичних систем. *Технічна електродинаміка*. 2019. № 5. С. 60-67. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.05.060>
26. Ivanov H., Blinov I. Parus Ye. Simulation Model of New Electricity Market in Ukraine. IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). Kyiv, 17-19 April 2019. Pp. 339-34. DOI: <https://doi.org/10.1109/ESS.2019.8764184>
27. Zhuikov V., Pichkalov I., Boyko I., Blinov I. Price formation in the energy markets of Ukraine. IEEE 35th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2015). Kyiv, 21-24 April 2015. Pp. 553-556. DOI: <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2015.7146953>
28. Renewable power generation costs in 2018. International Renewable Energy Agency (IRENA). 2019. 88 p. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf (дата звернення: 05.03.2019).
29. Базюк Т.М., Блінов І.В., Буткевич О.Ф., Гончаренко І.С., Денисюк С.П., Жуйков В.Я., Кириленко О.В., Лук'яненко Л.М., Миколаєць Д.А., Осипенко К.С., Павловський В.В., Рибіна О.Б., Стелюк А.О., Танкевич С.Є., Трач І.В. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими. К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.
30. Blinov I.V. New approach to congestion management for decentralized market coupling using net export curves. CIGRE Session 46. Session papers and proceedings. Paris. 2016. No C5-105. 7 p.
31. Блінов І.В., Парус Є.В. Врахування мережевих обмежень та мінімізація різниці цін між ринками електроенергії. *Технічна електродинаміка*. 2015. № 5. С. 81-88.
32. Блінов І.В., Мірошник В.О., Шиманюк П.В. Короткостроковий інтервальний прогноз сумарного відпуску електроенергії виробниками з відновлювальних джерел енергії. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2019. Вип. 54. С. 5-12. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2019.54.005>
33. Буткевич О.Ф., Юнєєва Н.Т., Гурєєва Т.М. До питання про розміщення накопичувачів енергії в ОЕС України. *Технічна електродинаміка*. 2019. № 6. С. 59-64. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.06.059>
34. 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.
35. Нова енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358> (дата звернення: 05.03.2019).
36. 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.
37. Миронов Н. Меры и вызовы глобальной энергетической безопасности. *Мировая энергетика*. 2007. № 4. С. 50-51.
38. WMO Provisional Statement of the State of the Climate 2019. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10108 (дата звернення: 05.03.2019).
39. Геєць В.М., Кириленко О.В., Басок Б.І., Базєєв Є.Т. Енергетична стратегія: прогнози і реалії (огляд). *Nauka innov*. 2020. Т. 16. № 1(91). С.03-16. DOI: <https://doi.org/10.15407/scin15.05.003> .

УДК 621.31:551.58

ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ І РЕАЛІЇ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕННЯ

А.В. Кириленко¹, академик НАН України, Б.И. Басок², член-кор. НАН України, Е.Т. Базєєв², канд. техн. наук, І.В. Блінов¹, докт. техн. наук

¹ Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна,

e-mail: ied1@ied.org.ua

² Інститут технічної теплофізики НАН України,
ул. Булаховського, 2, Київ, 03164, Україна,

e-mail: basok@itf.kiev.ua.

Освітлені результати досліджень еволюції мирового енергопотребления, проведен обзор антропогенных и солнечно-земных факторов влияния на глобальное потепление. Исследован тренд повышения с середины XX века глобальной приземной температуры – одного из показателей климатической системы нашей планеты. Дано объяснение усиления парникового эффекта как следствие повышения концентрации в атмосфере Земли парниковых газов. Наряду с антропогенной концепцией глобального потепления рассматривается и естественная концепция, в которой считается, что все же определяющими факторами повышения приземной температуры являются

природные, связанные с космогенноциклическими процессами, с солнечно-земным взаимодействием (вращение Земли вокруг Солнца, прецессия оси вращения Земли, циклы солнечной активности и др.). Показано, что есть и подходы, которые меняют местами причины и последствия потепления, а именно: изменение атмосферной концентрации диоксида углерода это следствие глобальных изменений температуры на планете, а не их причина. Прогрев мирового океана приводит к уменьшению растворимости CO₂ в воде и выброса его избытка в атмосферу. Приведено авторское видение трендов развития электроэнергетики и возобновляемых источников энергии в Украине в ближайшие десятилетия. В частности, предложен ряд организационных, технологических и научно-инновационных задач, связанных с нерегулируемым использованием возобновляемых источников энергии. Библ. 39, рис. 3.

Ключевые слова: глобальное потепление, изменение климата, парниковый газ, энергоэффективность, мировой энергетический баланс, возобновляемые источники энергии.

POWER INDUSTRY OF UKRAINE AND REALITIES OF THE GLOBAL WARMING

O.V. Kyrylenko¹, B.I. Basok², Ye.T. Bazejev², I.V. Blinov¹

¹ Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine,

Peremogy av, 56, Kyiv, 03057, Ukraine,

e-mail: ied1@ied.org.ua

² The Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine,

Bulakhovskoho, 2, Kyiv, 03164, Ukraine,

e-mail: basok@ittf.kiev.ua

The results of studies of the evolution of global energy consumption are highlighted, anthropogenic and solar-terrestrial factors of influence on global warming are reviewed. Since the mid-twentieth century, the trend of increasing global surface temperature, one of the indicators of the climate system of our planet, has been investigated. An explanation of the greenhouse effect enhancement is given, as a result of an increase in the concentration of greenhouse gases in the Earth's atmosphere. Along with the anthropogenic concept of global warming, a natural concept is also considered, in which it is believed that the determining factors of increasing surface temperature are natural, associated with cosmogenic cyclical processes, with solar-terrestrial interaction (Earth's rotation around the Sun, precession of the Earth's rotation axis, solar activity cycles and etc.). It is shown that there are approaches that interchange the causes and effects of warming, namely: changes in the atmospheric concentration of carbon dioxide - this is a consequence of global temperature changes on the planet, and not their cause. The warming of the oceans leads to a decrease in the solubility of CO₂ in water and the release of its excess into the atmosphere. The author's vision of trends forecasts the development of the electric power industry and renewable energy sources in Ukraine in the coming decades are given. In particular, a list of organizational, technological, and scientific-innovative problems associated with the unregulated use of renewable energy sources have been proposed. References 39, Figures 3.

Keywords: global warming, climate change, greenhouse gas, energy efficiency, global energy balance, renewable energy

1. Review of analytical work of international energy organizations on the state and scenarios of development of the world energy sector with the forecast of investment in energy efficiency. Kyiv: NEC Ukrenerg, 2018. 95 p.
URL: https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/06/2.-rozvyt_svit_energet_sfery.pdf (accessed: 05.03.2019). (Ukr)
2. Global warming of 1.5 °C. IPCC Special report. 2018.
URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf. (accessed: 05.03.2019).
3. Sorokhtin O. G. The evolution of the Earth's climate and the origin of the ice eras. *Vestnik RAN*. 2006. Vol. 76. No 8. Pp. 699-706. (Rus)
4. Monin A.S., Shishkov Yu.A. Climate as a problem of physics. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 2000. Vol. 170. No 4. Pp. 419-445. (Rus)
5. Voloshchuk V., Srypnyk M. Global greenhouse effect and climatic conditions of Ukraine. *Visnyk AS Ukrainy*. 1993. No 9. Pp. 43-46. (Ukr)
6. Boychenko S. G. Semiempirical models and scenarios of global and regional climate changes. Kyiv: Naukova dumka, 2008. 309 p. (Ukr)
7. Voloshchuk V. M., Boychenko S. G., Stepanenko S. M., Bortnik S. Yu., Shishchenko P. G. Global warming and climate in Ukraine: Regional environmental and socio-economic aspects. Kyiv: PPC Kiev University, 2002. 116 p. (Ukr)
8. Shevchuk V.Ya., Malysheva N.R., Kovalchuk T.T., Mansurova I.G. Energy efficiency and climate change policy. Kyiv: Comprint CPU. 2014. 218 p. (Ukr)
9. Lipinsky V.M. Global climate change and its recall in Ukraine's climate dynamics. International conference. *Investments and Climate Change: Opportunities for Ukraine*. Kyiv, 10-12 July, 2002. Pp. 177-185. (Ukr)
10. Increasing resilience to climate change in the agricultural sector of the South of Ukraine. Szentendre, Hungary. *Regional environmental center*. October 2015. 73 p. (Ukr)
11. Organizational and economic mechanisms for modernization of the heat power industry of Ukraine. Kyiv: Publishing House Kalita, 2015. 338 p. (Ukr)
12. Paton B.E., Dolinsky A.A., Heyets V.M. Kukhar V.P., Basok B.I., Bazejev E.T., Podolets R.Z. Priorities of the national heat supply strategy of settlements of Ukraine. *Visnyk NAS of Ukraine*. 2014. No 9. Pp. 29-47. (Ukr)
13. Basok B.I., Novoseltsev A.V., Dubovsky S.V., Bazejev E.T. Modernization of heat supply systems of settlements of Ukraine (thermophysics, energy efficiency, energy economy, ecology). Kyiv: Publishing House Kalita, 2018. 406 p. (Ukr)
14. Karp I.N., Nikitin E.E. Ways to solve the problems of municipal energy. *Zhilyshchno-kommunalnoe khozyajstvo Ukrainy*. 2011. No 6. Pp. 16-22. (Rus)
15. Basok B.I., Bazejev E.T. Innovative technologies for buildings - a priority of improving energy efficiency in Ukraine. *Promyshlennaya teplotekhnika*. 2017. Vol. 39. No 4. Pp. 61-67. (Rus)

16. Sigal I.Ya., Smikhula A.V., Marasin A.V., Lavrentsov E.M. Reducing nitrogen oxide emissions to European standards and increasing the heat and energy performance of existing boilers. Problems of ecology and operation of energy facilities. Kyiv: IPTS ALKON NAS of Ukraine, 2017. 222 p. (Rus)
17. Sigal A.I., Paderno D.Yu., Pavlyuk N.Yu., Safyants A.S., Bykoriz E.I., Plashikhin S.V. Reducing natural gas consumption and reducing emissions of harmful substances from combustion products in municipal heating. *Teplofizyka ta teploenergetyka*. 2019. Vol. 41. No 2. Pp. 54-63. (Ukr)
18. Kobzar S.G., Khalatov A.A. Study of the efficiency of reducing nitrogen oxides when using the advanced method of three-stage coal combustion using coal as a post-combustion fuel. *Promyslova teplotekhnika*. 2017. Vol. 39. No 5. Pp. 91-96. (Ukr)
19. Basok B.I., Basok B.I., Bazeyev E.T., Pirozhenko I.A. Municipal power system in Ukraine: state, problems and ways of modernization. Kyiv: Naukova dumka, 2007. 827 p. (Ukr)
20. Matsevity Yu.M., Shubenko A.L., Kanilo P.M., Solovey V.V. Energy, ecology and global warming. *Dopovidi NAS of Ukraine*. 2016. No 12. Pp. 102-108. (Rus)
21. Soroka B.S. Wet burning is a modern direction of environmentally friendly burning of fuel and a solution to the problem of sustainable development of energy. *Alternatyvna energetika i ekologiya*. 2018. No 25-30 (273-278). Pp. 97-117. (Rus)
22. Volchin I.A., Gaponich L.S. Carbon dioxide emissions from Ukrainian coal-fired thermal power plants *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohiy*. 2018. Vol. 24. No 6. Pp. 131-142. (Ukr)
23. Shkitsa L.E., Yatsyshyn T.M., Popov A.A., Artemchuk V.A. The development of mathematical tools for ecological safe of atmosphere on the drilling well area. *Neftyanoe khozyaystvo*. 2013. No 11. Pp. 136-140.
24. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V., Taraduda D., Sobyna V., Sokolov D., Dement M., Yatsyshyn T., Matvieieva I. Analysis of possible causes of NPP emergencies to minimize risk of their occurrence. *Nuclear and radiation safety*. 2019. No 1 (81). Pp. 75-80. DOI: [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.1\(81\).13](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.1(81).13)
25. Kyrylenko O.V., Blinov I.V., Parus E.V., Ivanov G.A. Simulation model of the day-ahead electricity market with implicit consideration of network limitations of energy systems. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2019. No 5. Pp. 60-67. (Ukr) DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2019.05.060>
26. Ivanov H., Blinov I. Parus Ye. Simulation Model of New Electricity Market in Ukraine. IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS): Kyiv, 17-19 April 2019, Pp. 339-34. DOI: <https://doi.org/10.1109/ESS.2019.8764184>
27. Zhuikov V., Pichkalov I., Boyko I., Blinov I. Price formation in the energy markets of Ukraine. IEEE 35th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2015). Kyiv, 21-24 April 2015. Pp. 553-556. DOI: <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2015.7146953>
28. Renewable power generation costs in 2018. International Renewable Energy Agency (IRENA). 2019. C. 88. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf (accessed: 05.03.2019).
29. Baziuk T.M., Blinov I.V., Butkevych O.F., Honcharenko I.S., Denysiuk S.P., Zhuikov V.Ia., Kyrylenko O.V., Lukianenko L.M., Mykolalets D.A., Osypenko K.S., Pavlovskiy V.V., Rybina O.B., Steliuk A.O., Tankevych S.Ie., Trach I.V. Intelligent power systems: elements and modes. Kyiv: Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine, 2016. 400 p. (Ukr)
30. Blinov I.V. New approach to congestion management for decentralized market coupling using net export curves. CIGRE Session 46. Session papers and proceedings. Paris. 2016. No C5-105. 7 p.
31. Blinov I.V., Parus E.V. Congestion management and minimization of price difference between coupled electricity markets. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2015. No 5. Pp. 81-88. (Ukr)
32. Blinov I.V., Miroshnyk V.O., Shimanyuk P.V. Short-term interval forecast of the total supply of electricity by producers from renewable energy sources. *Pratsi Instytutu Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy*. 2019. Issue 54. Pp. 5-12. (Ukr)
33. Butkevich O.F., Yuneeva N.T., Gureeva T.M. On the issue of placement of energy storage in the Ukrainian UES. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2019. No 6. Pp. 59-64. (Ukr) DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2019.06.059>
34. Klimenko V.V. The experience of genetic predictions of the world energy: can we foresee the distant future. *Doklady Akademii nauk. Energetika*. 2014. Vol. 458. No 4. Pp. 415-418. (Rus)
35. New Energy Strategy of Ukraine until 2035: Security, Energy Efficiency, Competitiveness URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358> (Ukr).
36. Kulyk M.M., Horbulin V.P., Kyrylenko O.V. Conceptual approaches to the development of energy of Ukraine (analytical materials). Kyiv: Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2017. 78 p. (Ukr).
37. Mironov N. Measures and challenges of global energy security. *Mirovaya energetika*. 2007. No 4. Pp. 50-51. (Rus)
38. WMO Provisional Statement of the State of the Climate 2019. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10108 (Accessed: 05.03.2019).
39. Geyets, V.M., Kyrylenko, O.V., Basok, B.I., Baseyev Ye.T. Energy Strategy: Projections (Review). *Sci. innov.* 2020. Vol. 16. № 1(91). P. 3-14. (Ukr) DOI: <https://doi.org/10.15407/scine15.05.003>.

Надійшла 23.03.2020
Остаточний варіант 17.04.2020