

PROSPECTS FOR DECARBONIZATION OF DISTRICT HEATING IN UKRAINE

Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Bashtovyi A.I.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Marii Kapnist, 2a, Kyiv, 03057, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/tpe.3.2021.6>

The purpose of the work is to determine promising areas for decarbonization of district heating in Ukraine, as well as measures necessary for their practical implementation. State of the development of bioenergy in the world and in the EU is presented, and considerable contribution of bioenergy to the production of renewable heat is emphasized. In Ukraine, the existing problems of long-term planning at the state and regional levels in the heat supply sector need to be addressed. Recommendations for solving these problems have been developed. One of them is the elaboration of the Heat Supply Strategy until 2035, built on the principle of the Energy Strategy of Ukraine, as well as the Action Plan for its implementation. It is recommended to introduce the term “efficient district heating” in the legislation of Ukraine, which corresponds to Directive 2012/27/EU on energy efficiency, and to declare the purpose of increasing the share of such systems in district heating. The role of bioenergy in the process of decarbonization of district heating of Ukraine is analyzed. It is shown that one of the ways that can significantly improve the situation in heat supply is the wide involvement of biomass and solid biofuels in this sector. For the effective implementation of this task it is necessary to launch an electronic trade system for solid biofuels (biofuel exchange), introduce competition in district heating systems, as well as perform a set of additional actions and measures. This will allow not only to stabilize the situation with heat supply in Ukraine, but also to reduce the heat tariff for end users by 15-20%.

References 11, table 2, figures 5.

Keywords: renewable energy sources, biomass, biofuel, biogas, decarbonization, district heating.

1. *Renewable Energy: a key climate solution*, IRENA
<https://www.irena.org/climatechange/Renewable-Energy-Key-climate-solution>

2. *Global bioenergy statistics 2020*, World Bioenergy Association

<http://www.worldbioenergy.org/uploads/201210%20WBA%20GBS%202020.pdf>

3. *Bioenergy in Europe*, ETIP Bioenergy, 2020

https://etipbioenergy.eu/images/ETIP_B_Factsheet_Bioenergy%20in%20Europe_rev_feb2020.pdf

4. Zheliezna T. Yevropeyskiy «zeleniy» kurs i novi mozhlyvosti dlia rozvytku vidnovliuvanoi enerhetyky [European Green Deal and new opportunities for the development of renewable energy]. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. – Vol. 43, No. 1 (2021). – P. 75-81. (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2021.9>

5. M. Leonard, J. Pisani-Ferry, J. Shapiro et al. The geopolitics of the European Green Deal. Policy Brief, 2021

<https://ecfr.eu/publication/the-geopolitics-of-the-european-green-deal/>

6. *Renewable energy statistics*. Eurostat <https://bit.ly/3ce7lrK>

7. *Policy brief: biomass for heat*, Bioenergy Europe, 2020

<https://bioenergyeurope.org/article.html/258>

8. *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)*

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>

9. *Kontseptsiiia realizatsii derzhavnoi polityky u sferi teplopostachannia. Skhvaleno rozporiadzhenniam KMU № 569-r vid 18.08.2017* [Concept of the realization of the state policy in the field of heat supply. Approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine Executive Order No. 569-r of 18.08.2017] (Ukr.) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/569-2017-%D1%80#Text>

10. *Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency*

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=en>

11. Geletukha G., Zheliezna T., Matveev Yu. et al. Dorozhnia karta rozvytku bioenerhetyky Ukrainy do 2050 roku [Roadmap for bioenergy development in Ukraine until 2050]. UABIO Position Paper No. 26 (2020).

https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/11/PP-UABIO-26-UA_26-11-2020.pdf

Отримано 15.06.2021

Received 15.06.2021

УДК 551.582.1

ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ – ФІЗИКА І ГЕОПОЛІТИКА (ОГЛЯД)

3. ЗМЕНШЕННЯ АНТРОПОГЕННИХ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

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

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03057, Україна

<https://doi.org/10.31472/tpe.3.2021.7>

В статті обговорюються політичні, економічні, інноваційні, науково-технічні і соціальні підходи та заходи до зменшення та/або нейтралізації змін клімату, а також адаптації до потепління.

В статье обсуждаются политические, экономические, инновационные, научно-технические и социальные подходы и меры к уменьшению и / или нейтрализации изменений климата, а также адаптации к потеплению.

The article discusses political, economic, innovative, scientific, technical and social approaches and measures to reduce and / or neutralize climate change, as well as adaptation to warming.

Бібл. 25, рис. 4.

Ключові слова: викиди парникових газів, глобальне потепління, ослаблення впливу клімату, енергоефективність, політика адаптації.

ВМО – всесвітня метеорологічна організація;
ВМФ – міжнародний валютний фонд;
МГЕЗК – міжурядова група експертів зі змін клімату;
МЕА – міжнародне енергетичне агентство;

НВВ – національно-визначений вклад в скорочення ПГ,
ПГ – парникові гази;
О&М – експлуатація та обслуговування.

Вступ. Попри пандемію, що охопила і вразила весь світ, зменшення негативного впливу глобального потепління та адаптація до його пагубних наслідків залишаються актуальною проблемою світового масштабу. Її вирішенням активно опікуються політики, провідні світові наукові організації і експертне середовище. Широко обговорюються політичні, економічні, інноваційні, науково-технічні і соціальні підходи та заходи до зменшення та/або нейтралізації змін клімату, а також адаптації до потепління. До вирішення проблем долучені світові організації – МГЕЗК, МЕА, ВМО та ін.

Мета роботи – оцінити стан проблеми, представити результати досліджень і заходи та інструменти їх реалізації щодо зниження викидів парникових газів або/та адаптації до їх негативного впливу, зокрема, в сфері енергетики – найбільшого продуценту викидів. Головний акцент – підвищення енергоефективності кінцевого використання енергоресурсів, зокрема поширення досвіду експлуатаційного О&М (operation and maintenance) обслуговування пасивних будівель «нуль-енергії» при їх енергозабезпеченні від ВДЕ, а також економічно-фінансові важелі впливу на зменшення технологічних викидів парникових газів.

Проблематика. Експериментально зафіксований тренд посиленого підвищення глобальної температури з

70-х років ХХ століття на думку МГЕЗК був обумовлений антропогенним впливом – зростанням концентрації в атмосфері Землі т. зв. парникових газів (CO₂, CH₄, N₂O і ін.), основним продуцентом яких є паливно-енергетичний комплекс (видобуток, транспортування і використання вуглеводневого палива). Підвищення глобальної температури на 1,1°C порівняно з 1850-1900 рр. і на 0,2°C порівняно з 2011-2015 рр. [1] та пов'язані з цим інші екстремальні природні явища планети викликали необхідність відшукувати заходи і механізми пом'якшення можливих наслідків і неминучою адаптації до поточних і очікуваних змін клімату життєдіяльності та економіки країн і регіонів. До найважливіших самітів останнього часу, що розглядали проблему глобального потепління відносяться: Паризька конференція (2015 р.), кліматичні конференції та саміти ООН: Катівіце (грудень 2018 р.), Нью-Йорк (вересень 2019 р.), Мадрид (грудень 2019 р.). На саміті 11 грудня 2020 р. ЄС ухвалив нові амбітні кліматичні цілі до 2030 року. У 2021 році (1-12 листопада) в Глазго відбудеться черговий кліматичний саміт (COP26), на якому планується затвердження ряду заходів по утриманню зростання температури в межах 1,5...2,0 °C у відповідність з цілями Паризького кліматичної угоди. Заходи сьогодення – це віртуальний міжнародний саміт з питань клімату

22-23 квітня 2021 р. за участю президентів провідних країн, а також саміт перших осіб G7 (червень 2021), на якому визначено шість пріоритетів глобального розвитку світу. Серед них четвертий – «...захистити планету, надаючи підтримку «зеленій» революції, котра направлена на утримання глобального потепління в межах 1,5 °С, і підтримка шкідливих викидів в атмосферу».

З низкою ініціатив щодо проблеми зміни клімату виступила і Україна. У Розпорядженні КМ України від 7 грудня 2016 р № 932-р. "Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року" наголошено, що одним із основних напрямків "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 проблем адаптації до змін клімату в Україні набуває особливого значення в контексті угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, оскільки у статті 365 зазначається, що співробітництво сторін охоплює питання розвитку та імплементації політики по питанням зміни клімату. 24 січня 2020 року КМ України створив міжвідомчу групу по подоланню наслідків змін клімату для охорони здоров'я. Президент України підписав Указ "Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 вересня 2020 року" Про стратегію національної безпеки України". У Стратегії враховані останні зміни ситуації в сфері національної безпеки і оборони, що пов'язано з кризовими явищами у світовій економіці, появою нових факторів, що впливають на стан міжнародної сфери безпеки, поширення хвороби COVID-19, викликані коронавірусом SARS-CoV-2, а також підвищенням небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру. Стратегія національної безпеки України є основою для розробки інших дванадцяти документів стратегічного планування, які будуть визначати шляхи та інструменти її реалізації. У числі документів означена і стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату. Тому доцільність і актуальність політики адаптації всієї економіки і населення країни є обґрунтованою [2]. В кінці 2017 р. КМ України своїм розпорядженням (від 06.12.2017 № 878-р., [3]) затвердив план заходів щодо виконання Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року, де одним із пунктів було завдання розробки стратегії екологічної

безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року. Була створена відповідна міжвідомча робоча група, котра розробила проект стратегії, а Міндовкілля винесло його на громадське обговорення. У березні 2021 року проект стратегії було обговорено експертною спільнотою, зокрема, на засіданні комітету з енергоефективності Торгово-промислової палати України. У документі наведено близько двадцяти секторів економіки (від агропромислового комплексу до сфери культурної спадщини), які вже відчувають або можливо будуть піддані впливу зміни клімату. До переліку секторів економіки включений і паливно-енергетичний комплекс (ПЕК). Всі галузі ПЕК – видобуток-транспортування і використання енергоресурсів і енергоносіїв – тісно пов'язані з кліматичними і погодними умовами. Зміна клімату може суттєво вплинути на ефективність, надійність і безпеку об'єктів ПЕК і на необхідність перегляду режимів роботи обладнання.

Результати. Основний внесок в зниження обсягу антропогенної емісії парникових газів об'єктами ПЕК (і, тим самим, пом'якшення негативного впливу зміни клімату) - це підвищення ефективності використання енергоресурсів. "Велика" енергетика (ТЕС, АЕС, ГЕС) і "мала" енергетика – комунальна теплоенергетика (ТЕЦ, районні та автономні котельні, блок-станції, когенераційні установки) необхідно модернізувати для адаптації до зміни клімату – до глобального потепління. Необхідно проаналізувати адаптаційні можливості до зміни клімату як прямих так і оборотних конденсаційних систем охолодження теплових і атомних електростанцій з оцінкою достатності необхідних водних ресурсів, доцільно обґрунтувати підвищення ефективності теплообміну в градирнях, бризкальних басейнах і водоймищах-охолоджувачах, варто запланувати спорудження додаткових теплообмінних пристроїв з урахуванням прогнозованих температурних режимів зовнішнього повітря та інших погодних і кліматичних показників. Для ГЕС адаптаційні заходи пов'язані з урахуванням можливої зміни гідроенергетичного потенціалу річок – обсягу річкових стоків і його річного ходу, льодового режиму і т. п. Все це може вплинути на експлуатацію ГЕС і створити загрозу прориву дамб, гребель. Підвищення температури повітря і зміна інших погодних показників (вітрову навантаження та обледеніння, грози, град, снігопад) можуть привести до провисання і замикання проводів ЛЕП, зниження передаваної потужності [4]. При підвищенні температури вище 35°C може статися повне припинення подачі електроенергії. Ряд заходів адаптаційного потенціалу очевидні, також деякі з них наведені в [5].

Прийдеться вносити корективи в управління в багатьох галузях економіки України, в тому числі, в комунальній енергетиці України, а саме: в теплопостачанні і кондиціонуванні в будівлях житлово-комунального сектора. Необхідно буде скорочувати терміни і параметри опалювального періоду, але в той же час необхідно збільшувати терміни і параметри кондиціонування. Таким чином, зміна клімату веде до економії енергоресурсів в опалювальний період і одночасно до збільшення витрати електроенергії (в кінцевому рахунку енергоресурсів) на кондиціонування приміщень в літній період. Особливо це буде характерно для південних областей України. Тому вкрай важливо розробити заходи щодо формування політики адаптації комунальної енергетики – визначення і обґрунтування основних напрямків вирішення ключових проблем адаптації муніципального енергозабезпечення (теплохолодозабезпечення) щодо глобального потепління з урахуванням норм і стандартів у сфері енергоефективності, громадського будівництва та реконструкції житлового фонду, муніципального енергозабезпечення з узгодженням нормативних документів з директивами Європейського Союзу щодо сфери муніципального енергозабезпечення та енергоефективності будівель. Необхідно буде змінити прикладні температурні характеристики - градусо-добу теплого і холодного періодів, удосконалювати інженерні системи та обладнання енергопостачання будівель, оптимізувати теплотехнічні характеристики огорожувальних будівельних конструкцій, зокрема при спорудженні "пасивних" будинків, будинків типу «нуль-енергії», вдосконалити архітектуру будівель тощо. Повинна бути сформована політика адаптації до зміни клімату до умов України з розробкою відповідного регуляторного документа – стратегії адаптації. [6, 7].

Огляд результатів проведених в установах Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України досліджень з підвищення ефективності використання енергоресурсів та зниження емісії шкідливих викидів і парникових газів, що сприяє вирішенню глобальних і регіональних проблем, пов'язаних з потеплінням клімату, наведено в роботах [6, 8].

Головні заходи і механізми адаптації до зміни клімату для комунальної енергетики мають бути розроблені для кінцевого споживача – енергозабезпечення будівель житлово-комунального сектора. Саме тут споживається до 40...45% первинних енергоресурсів і саме ця сфера ПЕК має основний потенціал енергозбереження. Спостереження за зміною кліматичних характеристик – тривалості і середньої температури опалювального

періоду, амплітуди коливань зовнішньої температури, кількості найбільш холодних днів тощо визначають плани і прогнози щодо витрат енергоресурсів, зміни потужностей теплогенеруючих установок, ступеня залучення до паливного циклу відновлюваних джерел енергії. При цьому посилюється роль адаптаційних заходів, пов'язаних з впровадженням архітектурно-будівельних інновацій – термомодернізації огорожувальних конструкцій; вибору матеріалів, що відбивають або, навпаки, поглинають сонячну радіацію; «зеленого» екранування фасадів будівель та ін. Посилюється інтерес до біоніки – розроблення механізмів адаптації до зміни клімату, створених за аналогією до живої природи. Зараз у світі з такими природоподібними технологіями пов'язують великі надії на подолання глобальної екологічної кризи. Ці технології передбачають створення інновацій на основі дублювання в техносфері ефективних процесів, що спостерігаються в живій природі (природовідтворювані технології); розроблення технологічних систем з використанням перенесення в техносферу ефективної функціональної структури поведінки речовини і енергії в біологічних системах (конвергентні технології) [9]. Одним з актуальних завдань архітектурної біоніки (архітектурний стиль, заснований на використанні в архітектурі принципів біоніки) є пошук таких архітектурно-технічних рішень, які дозволяли б використовувати екологічно чисті види енергії – енергію сонця, вітру, ґрунту, водойм, річок тощо [10, 11].

У цьому напрямі з метою ретельного дослідження інноваційних науково-технічних заходів з підвищення енергоефективності наявного житлового фонду та сучасних новобудов було розроблено проєкт і побудовано на території Інституту технічної теплофізики НАН України (вул. Булаховського, 2) унікальний експериментальний пасивний будинок типу «нуль-енергії».

Будинок має три повні поверхи (основна будова), четвертий поверх площею 70% основної забудови і п'ятий – площею 30% основної забудови, де розміщена дослідницька кліматична камера реального клімату довкілля. Перший цокольний поверх на 2/3 висоти (близько 2,0 м) заглиблено в ґрунт. Загальна опалювана площа становить 306 м², тобто це аналог котеджу для середнього класу населення. Будинок чітко зорієнтований по сторонах світу, має плоский односкатний дах на південь (рис. 1). Фасадні стіни на всіх поверхах виконано з різних комбінацій соціально доступних будівельних матеріалів (переважно екологічно безпечних), вони мають товщину 38...40 см (аналог товщини несучої фасадної стіни в півтори рядової цеглини).

Додатково на фасаді клейовим способом нанесено багатшарову теплоізоляцію з легких теплоізоляційних матеріалів загальною товщиною 33...34 см. Дах будинку утеплено шаром легкої базальтової вати загальною товщиною 50 см. Південний і північний фасади – глухі, без вікон. Вікна східного та західного фасадів подвійні, двокамерні, з формулою відповідно 4M1i-8-4M1i-8-4M1 і 4M1i-10-4M1i-10-4M1. Віконні профілі рам – п'ятикамерні.

Така конструкція стінових фасадів дозволила отримати опір теплопередачі від 10,5 до 11,4 $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{Вт}$, що в 3,3 рази вище за вимоги чинних ДБН В.2.6-33:2018. Опір теплопередачі світлопрозорих конструкцій зріс до 2,0 $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{Вт}$, що в 2,7 рази перевищує чинний норматив. Розрахункове питоме річне (місячне) теплоспоживання такого пасивного будинку – 14,8 $\text{кВт}\cdot\text{годин}/(\text{m}^2\cdot\text{рік})$ при $-1,1^\circ\text{C}$ (нормативна середня температура опалювального періоду для клімату м. Київ) та 21,8 $\text{кВт}\cdot\text{годин}/(\text{m}^2\cdot\text{рік})$ при $-10,0^\circ\text{C}$ (нормативна середня температура найхолоднішого місяця опалювального періоду (січня) для клімату м. Київ). Середня розрахункова потужність теплоспоживання опалювального періоду становить 2,6 кВт, тобто до 9...12 Вт на 1 m^2 площі, реальне теплоспоживання будинку ще менше. Зазначимо, що в ЄС, незважаючи на значно сприятливіший клімат, пасивний будинок споживає 15 $\text{кВт}\cdot\text{годин}/(\text{m}^2\cdot\text{рік})$. Експериментальні питомі тепловтрати через фасади будинку за температури довкілля -10°C становлять лише 1,2...1,8 $\text{Вт}/\text{m}^2$.

Інноваційні інженерні системи енергозабезпечення експериментального будинку.

Теплозабезпечення. Для опалення та гарячого водопостачання застосовано базову теплонасосну

(потужність 6 кВт) акумуляційну низькотемпературну систему, рис. 2. Як джерело низькопотенційної енергії використовується природна та/або закумульована теплота ґрунту чи води (у водозабірній свердловині). Для цього на території навколо будинку побудовано полігон ґрунтових теплообмінників різної геометрії (горизонтальні неглибокого залягання, вертикальні; трубні багатопетлеві, багатоходові, свердловинні; об'ємні насипні; типу ґрунт-вода (рідина), ґрунт-вода-вода, ґрунт-повітря). Як додаткове джерело теплоти використано сонячні теплові колектори (плоскі, трубно-вакуумні). Опалювальними приладами є теплі водяні підлоги різної геометрії укладки, в тому числі капілярна підлога [12], тепла стіна, теплий простінок, настінні фанкойли. Як резервна або пікова система опалення застосовується класична система радіаторно-конвекторного опалення на основі твердопаливного котла Viadrus, дооснащеного оригінальним автоматизованим пелетним пальником, та/або частково підлогове та настінне електроопалення. За отриманими експериментальними даними, перспективним є використання для теплопостачання енергоактивних вікон. Для аварійних випадків (за повної відсутності електроенергії) використовується модернізована деревопаливна піч «Мрія» з пасивною вільноконвективною системою канального повітряного опалення перших двох поверхів.

Електрозабезпечення. Базове електропостачання реалізується сонячними ВАРV-панелями (Building Applied Photovoltaics – накладеними на конструкцію) загальною площею 80 m^2 і номінальною потужністю 10 кВт (фотомодулі на полікристалічному кремнії та на тонких плівках з телу-риду кадмію). Фотовольтаїка



Рис. 1. Експериментальний пасивний будинок типу «нуль-енергій» Інституту технічної теплофізики (з різних ракурсів)

доповнена вітроагрегатом Fortis Montana номінальною потужністю 5 кВт та блоком свинцевокислотних акумуляторних батарей. Як резерв використовується бензинова портативна електростанція Honda потужністю 2,6 кВт. Як додаткове електроджерело планується використання ВІРВ-вікон (Building Integrated Photovoltaics), органічно і структурно вмонтованих у конструкцію.

Отже, в будинку послідовно впродовж будівництва та експлуатації реалізовано ланцюжок: базова будівля – енергоефективна будівля (фасадні стіни з термоізоляційних матеріалів) – пасивна будівля (оригінально термомодернізовані фасади) – будівля «нуль-енергії (енергонезалежна) – «розумна» будівля (постійна діагностика стану системи і моніторинг експлуатації, широке використання автоматизації процесів в інженерних системах) – енергоактивна будівля (це поки що в наших планах – надлишок електроенергії в літній період спрямовуватиметься на потреби Інституту).

Вентиляція. Базова система вентиляції є рекуперативною з додатковим догріванням вихідного з теплообмінника повітря та попереднім проходженням припливного повітря через об'ємний насипний ґрунтовий акумулятор. В іншому варіанті припливне повітря примусово проходить через трубний ґрунтовий теплообмінник і прямо надходить у приміщення. Експерименти показали, що взимку температура такого повітря не опускається нижче ніж 2°C, а влітку не перевищує 18°C, тобто система вентиляції частково виконує функцію кондиювання приміщень. Базова рекуперативна вентиляція взимку сприяє роботі системи опалення пасивного будинку, забезпечуючи до

30...35% теплонадходжень. Для звичайних будинків ця частка в середньому становить близько 10%.

Кондиювання. Базова система охолодження використовує холодний контур пасивного теплового насоса, систему теплих підлог і фанкойлів, а також окрему мініканалізаційну систему відведення конденсату. Крім того, додатково використовується система ґрунтової вентиляції.

Повітряно-тепловий захист. Розроблено систему пасивного теплового захисту всіх фасадів та даху будинку завдяки організації вільного прошарку в системі фасадного і дахового утеплення, в який ззовні через насипні об'ємні ґрунтові акумулятори (північний та південний) вільноконвективно надходить повітря, нагріваючись взимку (максимально на 8°C) і охолоджуючись влітку (на 12°C) при взаємодії із ґрунтом [13]. Назовні потік виходить у верхній частині будинку. Фактично це система обвіювання майже всього будинку повітрям з більш сприятливими, ніж параметри довкілля, температурними показниками, тобто створення спеціального зовнішньо-локального мікроклімату.

Використання власних систем тепло- і електрозабезпечення впродовж року дозволяє віднести наш експериментальний пасивний будинок до класу будівель типу «нуль-енергії», тобто енергоавтономних (і енергонезалежних) будівель, що не залучають енергію з централізованих мереж, а виробляють її власне в самій будівлі або на прилеглий до неї території з відновлюваних джерел енергії. Загалом цей будинок є характерним прикладом вдалої реалізації енергоефективних рішень автономного енергозабезпечення пасивних будівель з використанням виключно енергії довкілля, що відповідає



Рис. 2. Фото системи енергозабезпечення експериментального будинку ІТТФ, а – теплонасосної системи теплозабезпечення, б – системи автономного електрозабезпечення

сучасним трендам розвитку низьковуглецевої енергетики, а тому сприяє зменшенню викидів парникових газів.

Будинок є повномасштабним науково-дослідним і діагностично-демонстраційним стендом для дослідження теплофізичних властивостей перспективних теплоізоляційних будівельних матеріалів у реальних умовах їх експлуатації; для створення з них надійних будівельних фасадних теплоізоляційних конструкцій та інноваційних систем енерго(ресурсо)забезпечення. По суті будинок є експериментальним прототипом експлуатаційного O&M обслуговування будівель з енергозабезпеченням від ВДЕ. Це є приклад новітньої тенденції ефективного будівництва – створення будівель Triple Zero - концепції "трьох нулів" за інноваціями архітектора Вернера Зобека: 0-енергії, 0-емісії CO₂, 0-відходів, оскільки після кінця життєвого циклу всі конструкції можуть перероблятися та повторно використовуватися і при цьому не завдають шкоди навколишньому середовищу.

Зазначимо, що будинок використовується також як навчально-методична і лабораторна база для студентів теплоенергетичних спеціальностей таких закладів вищої освіти, як Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київський національний університет будівництва і архітектури, Національний університет харчових технологій, Національний університет біоресурсів і природокористування.

У більш загальному аспекті в Інституті технічної теплофізики НАН України проведено детальні дослідження з енергоефективності всієї сфери теплопостачання населення [14, 15]. Розроблено пропозиції технологічних, організаційних і соціально-економічних інновацій, спрямованих на підвищення енергоефективності будівель, а також обладнання та інженерних систем їх енергозабезпечення, зокрема при спорудженні пасивних будинків типу «нуль-енергії». Результати цих досліджень, важливі для розроблення енергоефективно-інноваційної стратегії енергозабезпечення будівель і, як наслідок, зниження обсягів використання первинних енергоресурсів і енергомісткості економіки України, наведено в [16-18], зокрема:

- обґрунтовано нові оригінальні підходи, принципи і методи стратегічного управління технологічною модернізацією енергопостачання і підвищення енергоефективності теплозабезпечення будівель і споруд із застосуванням технологічних і організаційно-економічних інновацій, з урахуванням тренду використання відновлюваних джерел енергії та інтелектуальних систем;

- розроблено систему індикаторів та гарантій технологічної модернізації теплозабезпечення будівель та споруд, спрямованих на посилення безпеки, збереження і підвищення якості життєдіяльності людини при реалізації технологічних рішень;

- сформульовано новий науковий напрям – методологію організаційно-економічного та інноваційного забезпечення модернізації систем енергопостачання і підвищення енергоефективності будівель та споруд з урахуванням їх термомодернізації і тренду використання низьковуглецевих технологій у тріаді енергетика–економіка–екологія з метою збереження і підвищення якості життєдіяльності людини.

Суспільна значущість проведених робіт полягала в науковому обґрунтуванні інноваційного розвитку сфери енергозабезпечення населених пунктів України в умовах зміни клімату (з урахуванням тренду використання відновлюваних джерел енергії і взаємозв'язку вимог до підвищення енергоефективності, економічності, екологічності), конкурентоспроможності якої суттєво перевищуватиме нинішні показники комунальної теплоенергетики і енергозабезпечення будівель та споруд житлово-комунальної і громадської сфери.

Перспективи вирішення проблеми. Стосовно загальноекономічних підходів до заходів зі зменшення парникових викидів слід зазначити наступне. Кожна країна світу, що підписала і прийняла до виконання Паризьку угоду, на добровільній основі бере на себе зобов'язання зменшувати викиди парниковий газів, що відображується відповідним Національно визначеним внеском (НВВ) країни, затвердженим органом центральної влади (для України – КМ). Один із варіантів другого НВВ України наведено в роботі [19] за авторством фахівців ДУ «Інститут економіки та прогнозування» НАН України та за підтримки Європейського банку реконструкції та розвитку (проєкту ЄБРР «Підтримка Уряду України щодо оновлення національно-визначеного внеску»), рис. 3.

Суть трьох основних сценаріїв динаміки викидів ПГ в Україні наступна: Сценарій 1 – Базовий Сценарій базується на поточному рівні виконання діючого законодавства (прийнятого до 01.09.2019 р.), коли законодавство не реалізується, або реалізується лише частково чи зі значними затримками (наприклад, хоча досягнуто прогресу у впровадженні Планів дій з енергоефективності та ВДЕ, однак, не виконано законодавчо закріплених обов'язкових цілей, передбачених цими планами); Сценарій 2 – Референтний сценарій створений для отримання модельної оцінки своєчасного та повного впровадження всього діючого законодавства,

прийнятого до 01.09.2019 р., а також проектів нормативно-правових актів, розроблених та представлених до 01.09.2019 р.; Сценарій 3 – Сценарій кліматично нейтральної економіки передбачаєчасну імплементацію законодавства (існуючого та проектів) як і у Сценарії 2, а також додаткові інноваційні політики, заходи та технології, які відповідають глобальним зусиллям недопущення підвищення глобальної середньої температури на 1,5 °С від доіндустріального рівня. На 2050 рік важливою ціллю Сценарію 3 є скорочення викидів ПГ до рівня 1,7 т CO₂-екв. на душу населення. Комбінований сценарій був розроблений на базі основних сценаріїв з додаванням опцій сценаріїв чутливості, які сприяють мінімізації інвестиційних потреб та їх оптимізації, збільшенню частки відновлюваної енергетики, збереження довгострокової цілі кліматичної політики – досягнення вуглецево-нейтральної економіки до 2070 року, що відповідає довгостроковій цілі Паризької угоди [19].

Найбільш оптимістичний для України Сценарій 3 містить такі основні підходи:

- кардинальне збільшення податку на викиди CO₂ в усіх секторах економіки з теперішніх приблизно 0,35 євроцентів за тону CO₂ до 15,6 євро в 2030 році та 100 євро в 2050 році;
- будівництво і введення в експлуатацію усіх нових великих атомних блоків (в тому числі, блоків №3 та №4 Хмельницької АЕС); припускається можливість будівництва та введення в експлуатацію малих- та мікро-атомних блоків; можливість додатково на 5...10 років продовжити термін експлуатації існуючих блоків АЕС (додатково до існуючого або планового продо-

вження на 20 років), за умови повної безпеки; досягнення технологічно можливих показників коефіцієнта використання встановленої потужності АЕС (КВВП) на рівні 85...90%;

- можливість введення в експлуатацію додаткових 1,7 ГВт потужностей ГАЕС;
- врахування більш швидшого технологічного прогресу та більш ефективного управління енергосистемою (в тому числі, з використанням нових інтелектуальних засобів, інструментів тощо), що дозволить знизити потребу в високоманеврених балансуєчих потужностях.

Цей сценарій 3 також передбачає можливість потенційного запровадження Європейським Союзом нового спеціального вуглецевого мита (carbon border adjustment mechanism) на імпорт товарів та послуг на їх територію, в тому числі, з території України. Це викликано тим, що ЄС побоюється, що відсутність кліматичних амбіцій у його міжнародних партнерів, підірве прагнення ЄС досягти вуглецевої нейтральності до 2050 року.

Стосовно вкладу і ролі установ НАН України, що опікуються проблематикою глобального потепління, сталого розвитку та енергетичної політики, то слід зазначити, що наразі в цьому напрямку діють наступні програми НАН України: цільова програма наукових досліджень «Інтелектуальна екологічно безпечна енергетика з традиційними та відновлюваними джерелами енергії» («Нова енергетика»); цільовий міждисциплінарний проект "Науково-технічні та економіко-екологічні засади низьковуглецевого розвитку України"; цільова комплексна міждисциплінарна програма наукових досліджень з проблем сталого роз-

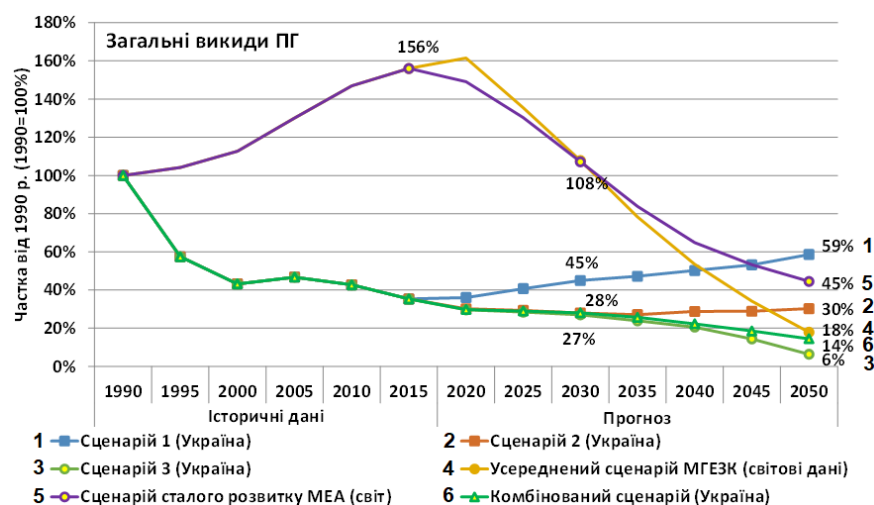


Рис. 3. Прогноз викидів парникових газів (ПГ) України та світу в залежності від сценаріїв розвитку (Україна) та передбачень світових інституцій (МЕА, МГЕЗК)

витуку та раціонального природокористування в умовах глобальних змін навколишнього середовища на 2020-2024 роки; цільова програма наукових досліджень «Критичні та стратегічні мінеральні ресурси України за умов глобалізації та змін клімату».

На останніх загальних зборах НАН України озвучено [20] започаткування Державної цільової науково-технічної програми комплексних досліджень клімату (України). Ймовірно, є сенс ініціювати в порядок денний також розробку та реалізацію міждисциплінарної програми НАН України з проблематики підвищення енергоефективності економіки України, адже в світовому вимірі за даними МЕА вклад підвищення енергоефективності, як і широке застосування ВДЕ (рис. 4.), складає майже третину ефекту зменшення викидів ПГ в 2050 р. [21]. Основний внесок в зменшення ПГ в енергетиці світу дають використання ВДЕ (за їх рахунок в 2050 році зменшення викидів становить 9 Гтн, 35% від всього обсягу зменшення в 26 Гтн) та зростання енергоефективності. (8 Гтн, 31%). Згідно реалізації сценарію сталого розвитку світ досягне вуглецевонейтральної енергетики приблизно в 2070 р., а зростання глобальної температури при цьому не перевищуватиме діапазон 1,5...1,65 °С.

Загалом слід зазначити, що останнім часом МЕА доволі активно проводить моделювання трендів розвитку світової енергетики, включаючи динаміку викидів ПГ, до певної міри доповнюючи результати МГЕЗМ і, можливо, навіть конкуруючи з ними [21-23]. Загалом розглядаються чотири основні сценарії:

1. Сценарій державної (до WEO-2019 - нової) політики (STEPS) базується на сьогоднішніх політичних намірах і цілях, це по суті стабілізація викидів ПГ до 2050 р. на основі добровільних НВВ країн.

2. Сценарій відкладеного відновлення (DRS) економіки після пандемії. В 2020 році світовий попит на енергію знизився на 5%, викиди CO₂, пов'язані з енергетикою, на 7%, а інвестиції в енергетику – на 18%. Передбачуване падіння попиту на нафту на 8% і використання вугілля на 7% різко контрастує з невеликим збільшенням частки поновлюваних джерел енергії. Зниження попиту на природний газ складає близько 3%, в той час як світовий попит на електроенергію, схоже, скоротився на відносно скромні 2% за рік. Зниження на 2,4 Гт повертає річні викиди CO₂ до рівня десятирічної давності. Глобальний попит на енергію відновиться до докризового рівня на початку 2023 року. Однак це відбудеться не раніше 2025 року в разі більш затяжної пандемії і більш глибокого економічного спаду [24].

3. В сценарії сталого розвитку (SDS) різке зростання політики та інвестицій в екологічно чисту енергію ставить енергетичну систему на шлях повного досягнення цілей стійкої енергетики. SDS описує велику трансформацію глобальної енергетичної системи, швидке зростання технологій підвищення енергоефективності та використання сонячної енергії і енергії вітру, збільшення обсягів уловлювання, використання і зберігання водню і вуглецю, а також новий імпульс ядерної енергетики.

4. Сценарій «Чистий нуль викидів до 2050 року» (NZE2050) розширює аналіз SDS і продовжує його до 2070 р. Дедалі більше країн і компаній мають на меті досягти нульового рівня викидів, як правило, до середини століття. Все це досягається в SDS, що дозволяє встановити глобальні викиди до нуля до 2070 року. NZE2050 включає моделювання МЕА того, що буде потрібно в наступні десять років, щоб забезпечити досягнення глобального нуля викидів до 2050 року.

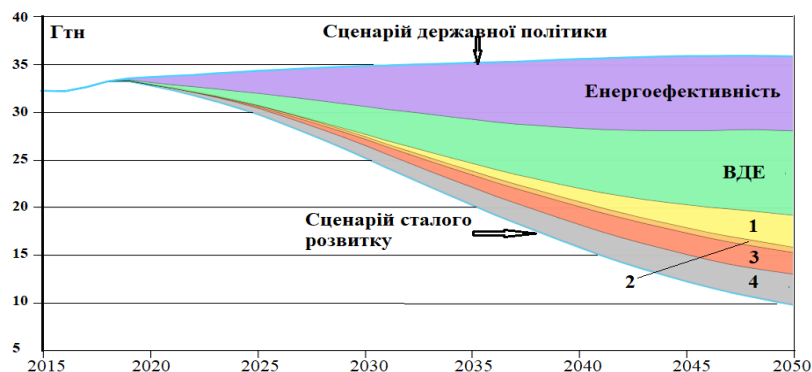


Рис. 4. Зниження викидів CO₂ світової енергетики, сценарій сталого розвитку в порівнянні зі сценарієм державної політики, 1 – заміна виду палива або мікс-палива, 2 – атомна енергетика, 3 – уловлювання, використання і зберігання вуглецю, 4 – інші

Висновки. Очевидно, що запланований на листопад цього року черговий глобальний кліматичний саміт в м. Глазго внесе конкретні і більш дієві та рішучі (ніж добровільний національно-визначений внесок) корективи в заходи по зменшенню техногенних викидів ПГ. Можливо це будуть спроби фінансово-інвестиційного спрямування та адміністрування, адже в нещодавньому звіті [25] виконавчий директор МЕА Фатих Біроль заявив, що «У всьому світі не бракує грошей, але вони не знаходять свого шляху туди, де вони найбільше потрібні. Уряди повинні надати міжнародним державним фінансовим установам сильний стратегічний мандат для фінансування переходів на чисту енергію в країнах, що розвиваються».

На недавніх (в першій половині 2021 року) кліматичних самітах лідерів економічно розвинених країн пропонуються досить радикальні заходи по зниженню викидів парникових газів, а саме:

1. Країни Євросоюзу та Європарламент прийняли новий кліматичний закон, щодо основних положень якого:

- ЄС знижує викиди парникових газів до 2030 року на 55% (до рівня 1990 року);

- Європа позиціонує себе як перший кліматично нейтральний континент до 2050 року.

2. Підсумок саміту з питань клімату (22-23 квітня 2021 року) в США за участю сорока лідерів світу:

- знизити викиди парникових газів до 2030 року на 55% (до рівня 1990 року);

- США поставили мету - створити економіку з нульовими викидами парникових газів до 2050 року.

ЛІТЕРАТУРА

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

2. *Указ Президента України «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 вересня 2020 року "Про Стратегію національної безпеки України"», № 392/2020 від 14 вересня 2020 року.* <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020#Text>

3. *Про затвердження плану заходів щодо виконання Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року. Розпорядження КМ України, № 878р від 06.12.2017.* <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/878-2017-%D1%80#Text>

4. *Бабак В.П.* Моніторинг об'єктів теплоенергетики з використанням безпілотних літальних апаратів. Промышленная теплотехника. 2017. Т. 39, № 2, С. 25-30.

5. *Доповідь про науково-методичні засади для розробки стратегії адаптації до зміни клімату в РФ (в області компетенції Росгідромету).* Санкт-Петербург; Саратов: Амір, 2020 - 120 с.

6. *Басок Б. І., Базєєв Є. Т., Дубовський С.В.* Про проблему адаптації комунальної енергетики до глобального потепління (огляд) // Теплофізика та теплоенергетика. 2020. Т.42. №2. – С. 48-59. DOI: <https://doi.org/10.31472/tpe.2.2020.5>

7. *Басок Б.І., Базєєв Є.Т.* Глобальне потепління: проблеми, дискусії та прогнози. Світогляд. – 2020. – т. 86, №6. – С. 12-23.

8. *Кириленко О.В., Басок Б.І., Базєєв Є.Т., Білов І.В.* Енергетика України та реалії глобального потепління. Технічна електродинаміка. 2020. №3. С. 52–61. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.03.052>

9. *Трубецкой К.Н., Захаров В.М., Гальченко Ю.П.* Природоподобные и конвергентные технологии при освоении минеральных ресурсов литосферы. Вестник РАН. 2020. Т. 90. № 6. С. 560–566. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1019331620030065>

10. *Лебедев Ю.С. и др.* Архитектурная бионика. Москва: Стройиздат, 1990. 269 с.

11. *Aldersey-Williams H.* Zoomorphic: New Animal Architecture. Collins Design, 2003.

12. *Долінський А.А., Басок Б.І., Недбайло О.М., Божко І.К., Ткаченко М.В., Засецький І.Г.* Патент України на корисну модель № 104468. Теплообмінник типу капілярна тепла підлога.

13. *Басок Б.І., Новіцька М.П., Кужель Л.М., Божко І.К., Недбайло О.М., Ткаченко М.В., Гончарук С.М.* Патент України на корисну модель № 88791. Спосіб забезпечення повітряно-теплової завіси тепловою грунту.

14. *Патон Б.Є., Долінський А.А., Гець 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. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2014.09.029>

15. *Басок Б.І., Новосельцев О.В., Дубовський С.В., Базєєв Є.Т.* Модернізація систем теплозабезпечення населених пунктів України. Теплофізика. Енергоефективність. Енергоекономіка. Екологія. Київ: Калита, 2018. 406 с.

16. *Організаційно-економічні механізми модернізації теплоенергетики України.* За ред. Б.І. Баска. Київ: Калита, 2015.

17. *Басок Б.И., Базеев Е.Т.* Инновационные технологии для зданий – приоритет повышения энергоэффективности в Украине. Теплофізика та теплоенергетика. 2017. Т. 39. № 4. С. 61–67. DOI: <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2017.09>

18. Фіалко Н.М., Тимченко М.П., Халатов А.А., Шеренковський Ю.В. Інтелектуальні енергетичні системи теплозабезпечення будівель. Зб. наук. праць. Серія «Теорія і практика будівництва». Вісник «Львівська політехніка». 2016. №844. С.203-209.

19. *Support to the Government of Ukraine on Updating its Nationally Determined Contribution (NDC). Report 3/ Modeling Report.* Kyiv. 2020. 137 p.

20. Осадчий В.І. Кліматична програма України як основа цілісної екологічної політики держави в умовах зміни клімату. Вісн. НАН України, 2021, № 6. – С. 81-84. doi: <https://doi.org/10.15407/visn2021.06.081>

21. *World Energy Outlook – 2019.* WEO-2019. IEA. - 810 p.

22. *World Energy Outlook – 2020.* WEO-2020. IEA. <https://www.iea.org/news/world-energy-outlook-2020-shows-how-the-response-to-the-covid-crisis-can-reshape-the-future-of-energy>.

23. *World-Energy-Model.* <https://www.iea.org/reports/world-energy-model>.

24. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020?mode=overview>.

25. *Financing Clean Energy Transitions in Emerging and Developing Economies.* IEA. World Energy Investment 2021 Special Report. June 2021. - 237 p.

GLOBAL WARMING – PHYSICS AND GEOPOLITICS (Review)

3. Reduction of anthropogenic greenhouse gas emissions

Basok B.I., Bazejev Ye.T.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, . Marii Kapnist str., 2a, Kyiv, 03057, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/tpe.3.2021.7>

Introduction. Despite the global pandemic, reducing the negative effects of global warming and adapting to its devastating effects remains a pressing global problem. Its solution is actively taken care of by politicians, the world's leading scientific organizations and the expert community.

Problems. Political, economic, innovative, scientific, technical and social approaches and measures to reduce and/or neutralize climate change and adapt to warming are widely discussed. World organizations - IPCC, IEA, WMO, etc. are involved in solving the problems.

Goal. Assess the state of the problem, present the results of research and measures and tools for their implementation to reduce greenhouse gas emissions and/or adapt to their negative impact, in particular, in the energy sector - the largest producer of emissions. The main emphasis is on improving the energy efficiency of energy end-use, in particular, disseminating the experience of operational O&M (operation and maintenance) maintenance of passive buildings "zero-energy" in their energy supply from RES, as well as economic and financial leverage to reduce greenhouse gas emissions.

Materials and methods. Authoritative recent literature sources with analysis of approaches, measures and tools to reduce greenhouse gas emissions are used. Weather-dependent (climatic) maintenance of the diagnostic-demonstration passive house of the "zero-energy" type with continuous system monitoring of parameters of engineering systems and building constructions and meteorological environment is organized.

Results. Experience has been gained in the development and use of innovative energy-efficient technologies for energy supply of a demonstration passive house with O&M service by means of monitoring weather indicators and adaptation measures to climate change.

Conclusions. The accumulated experience in the development of innovative energy efficient energy supply technologies and adaptation measures to climate change in O&M maintenance of zero-energy ITTF building of the NAS of Ukraine can be used in energy, in particular in

municipal energy, and for the development of low-carbon energy. The use of approaches related to the taxation of excessive greenhouse gas emissions, or taking into account the decarbonization of the economy of production of goods and services in export-import operations, will also help reduce global warming.

References 25, figures 4.

Keywords: greenhouse gas emissions, global warming, climate change mitigation, energy efficiency, adaptation policy.

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

2. *Decree of the President of Ukraine "On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine of September 14, 2020 "On the National Security Strategy of Ukraine"*, № 392/2020 of September 14, 2020. (in Ukrainian). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020#Text>.

3. *On approval of the action plan for the implementation of the Concept for the implementation of state policy in the field of climate change for the period up to 2030.* Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine, № 878 dated 06.12.2017. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/878-2017-%D1%80#Text>. in Ukrainian).

4. *Babak V.P.* [Monitoring of thermal power facilities using unmanned aerial vehicles. Industrial heat engineering]. 2017. V.39, №2. P. 25-30. (in Ukrainian).

5. *Report on scientific and methodological principles for developing a strategy for adaptation to climate change in (within the competence of Roshydromet).* St. Petersburg; Saratov: Amir, 2020 - 120 p. (in Russian).

6. *Basok B.I., Bazejev Ye.T., Dubovsky S.V.* [On the problem of adaptation of communal energy to global warming (review)]. Thermophysics and Thermal Power Engineering. 2020. 42(2): 48–59. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.31472/tpe.2.2020.5>.

7. *Basok B.I., Bazejev E.T.* [Global warming: problems, discussions and forecasts. Svitogliad]. – 2020. – V. 86, №6. – P. 12-23. (in Ukrainian).

8. *Kyrylenko O.V., Basok B.I., Bazejev Ye.T., Blinov I.V.* [Power industry of Ukraine and realities of the global warming]. Tekhnichna Elektrodynamika. 2020. (3): 52-61. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.03.052>.

9. *Trubetskoi K.N., Zakharov V.N., Galchenko Y.P.* Naturelike and Convergent Technologies for Developing Lithosphere Mineral Resources. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2020. 90(3): 332–337. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.1134/S1019331620030065>.

10. *Lebedev Yu.S., Rabinovich V.I., Polozhai E.D.* et al. Architectural bionics (Arkhitekturnaya bionika). Moscow: Stroyizdat, 1990. (in Russian).

11. *Aldersey-Williams H.* Zoomorphic: New Animal Architecture. Collins Design, 2003.
12. *Dolinsky A.A., Basok B.I., Nedbaylo O.M., Bozhko I.K., Tkachenko M.V., Zasetsky I.G.* Patent of Ukraine No. 104468. Heat exchanger of type capillary heated floor. (in Ukrainian).
13. *Basok B.I., Novitska M.P., Kuzhel L.M., Bozhko I.K., Nedbaylo O.M., Tkachenko M.V., Goncharuk S.M.* Patent of Ukraine No. 88791. Method of providing an air-thermal curtain with ground warmth. (in Ukrainian).
14. *Paton B.E., Dolinsky A.A., Heyets V.M., Kukhar V.P., Basok B.I., Bazyeev E.T., Podolets R.Z.* [Target reference points of the National Strategy for Heating Supplies of Settlements of Ukraine]. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2014. (9): 29–47. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2014.09.029>.
15. *Basok B.I., Novoseltsev O.V., Dubovsky S.V., Baseyev E.T.* [Modernization of district heating systems of settlements of Ukraine. Thermal Physics. Energy. Efficiency. Energy Economy]. Ecology. Kyiv: Kalita, 2018. (in Ukrainian).
16. *Basok B.I.* (ed) [Organizational and economic mechanisms of modernization of heat energy of Ukraine] Kyiv: Kalita, 2015. (in Ukrainian).
17. *Basok B.I., Bazyeev E.T.* [Priority of Increase of Energy Efficiency in Ukraine. Thermophysics and Thermal Power Engineering]. 2017. 39(4): 61-67. DOI: <https://doi.org/10.31472/ihe.4.2017.09>. (in Ukrainian).
18. *Fialko N.M., Timchenko M.P., Khalatov A.A., Sherenkovsky Y.V.* [Intelligent energy heating systems for buildings]. Coll. Science. wash. Series "Theory and practice of construction". Bulletin of Lviv Polytechnic. 2016. №844. C.203-209. (in Ukrainian).
19. *Support to the Government of Ukraine on Updating its Nationally Determined Contribution (NDC). Report 3/ Modeling Report.* Kyiv. 2020. 137 p.
20. *Osadchy V.I.* Climate program of Ukraine as a basis of integral ecological policy of the state in the conditions of climate change. Herald NAS of Ukraine, 2021, № 6. P. 81-84. (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.15407/visn2021.06.081>.
21. *World Energy Outlook – 2019.* IEA. - 810 p.
22. *World Energy Outlook – 2020.* WEO-2020. IEA. <https://www.iea.org/news/world-energy-outlook-2020-shows-how-the-response-to-the-covid-crisis-can-reshape-the-future-of-energy>.
23. *World-Energy-Model.* <https://www.iea.org/reports/world-energy-model>.
24. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020?mode=overview>.
25. *Financing Clean Energy Transitions in Emerging and Developing Economies.* IEA. World Energy Investment 2021 Special Report. June 2021. - 237 p.

Отримано 18.07.2021

Received 18.07.2021