

## БАСОК

**Борис Іванович** –  
член-кореспондент НАН  
України, завідувач відділу  
теплофізичних основ  
енергоощадних технологій  
Інституту технічної теплофізики  
НАН України

## БАЗЄЄВ

**Євген Трифонович** –  
кандидат технічних наук,  
провідний науковий  
співробітник відділу  
теплофізичних основ  
енергоощадних технологій  
Інституту технічної теплофізики  
НАН України

## КУРАЄВА

**Ірина Володимирівна** –  
доктор геологічних наук,  
професор, завідувач відділу  
геохімії техногенних металів і  
аналітичної хімії Інституту  
геохімії, мінералогії та  
рудоутворення  
ім. М.П. Семененка НАН  
України

## АДАПТАЦІЯ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ДО ЗМІН КЛІМАТУ

*Помітний тренд підвищення глобальної температури, зафіксований з середини ХХ ст., який особливо посилюється на початку ХХІ ст., змусив наукове співтовариство розпочати активне обговорення можливих шляхів подальшого розвитку ситуації з глобальним потеплінням, її наслідків та проблем, пов'язаних з адаптацією до змін клімату. Проблема адаптації до глобального потепління стосується різних галузей економіки і сфер життєдіяльності людини, зокрема й комунальної енергетики. Тому в установах Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України створено інноваційні енергоефективні технології, орієнтовані на пом'якшення наслідків змін клімату, в тому числі й з використанням відновлюваних джерел енергії, а також розроблено обладнання для інженерних систем енергозабезпечення будівель житлово-комунальної сфери. Оптимізовано архітектурно-будівельні рішення, що дозволяє знизити обсяги використання енергоресурсів і тим самим зменшити викиди парникових газів.*

**Ключові слова:** глобальне потепління, комунальна енергетика, інновації, адаптація, енергоефективність будівель.

Наприкінці ХХ – на початку ХХІ ст. вчені почали фіксувати помітні зміни клімату на нашій планеті, зокрема підвищення глобальної температури. У квітні 2019 р. провідні фахівці Всесвітньої метеорологічної організації ООН представили звіт щодо глобального потепління, в якому зазначено, що середня температура порівняно з періодом 1850–1900 рр. зросла на 1,1 °С, а порівняно з 2011–2015 рр. – на 0,2 °С [1].

Тенденція зміни клімату повною мірою стосується й України. За останнє століття середньорічна температура повітря в Україні підвищилася більш ніж на 0,9 °С. При цьому в холодний період зростання температури повітря становить у середньому 1,35 °С, тоді як у теплий період – 1,0 °С. Починаючи з 1989 р. середня річна температура в Україні збільшилася майже на 1 °С. Спостерігається практично неперервний період потепління, впродовж якого середня температура повітря в 70 % випадків була вищою за норму.

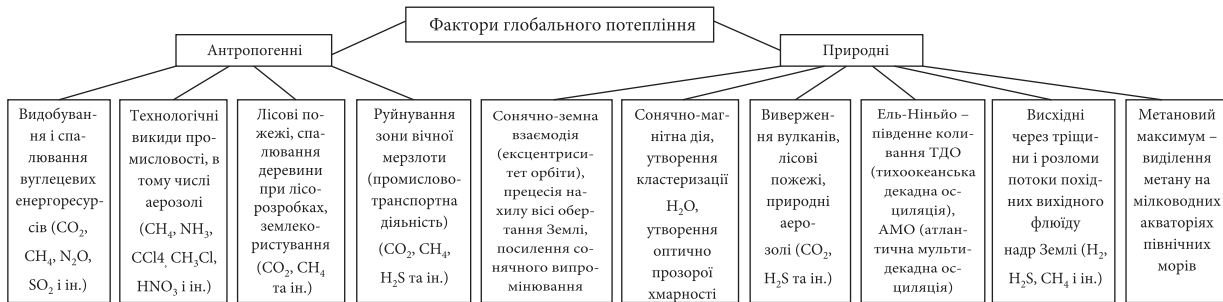


Рис. 1. Основні причини глобального потепління

Позитивна флуктуація температури повітря в період 1989–2013 рр. є найпотужнішою за всю історію інструментальних спостережень за погодою [2]. В Україні на найближчу перспективу (до 2030 р.) прогнозується підвищення середніх значень місячних температур на 0,44 °С; на середньострокову перспективу (до 2050 р.) – на 1,57 °С, на довгострокову перспективу (до 2100 р.) – на 3,15 °С [3]. Очікувані зміни температури будуть неоднорідними для різних регіонів України.

Наразі геофізичне явище глобального потепління прийнято пояснювати посиленням парникового ефекту внаслідок підвищення в атмосфері Землі концентрації так званих парникових газів – CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub> та ін. Ця проблема викликала стурбованість та спричинила гострі дискусії в науковому середовищі, а за ним – і серед політиків, оскільки глобальні зміни клімату безпосередньо впливають на умови життєдіяльності населення планети. У численних публікаціях на цю тему наводяться різні прогнози, обговорюються драматичні наслідки глобального потепління. Зрозуміло, що різні регіони планети мають різні можливості як щодо протидії наслідкам різких змін клімату, так і щодо адаптації до нових умов.

Сьогодні ніхто не заперечує факт підвищення глобальної температури, але єдиної думки про природу таких кліматичних змін поки що немає. Час від часу з'являються нові об'єкти досліджень навколишнього середовища, які впливають на клімат унаслідок природної емісії парникових газів. На рис. 1 наведено дані, узагальнені з різних літературних джерел, сто-

совно основних антропогенних і природних факторів глобального потепління.

Деякі з природних факторів було виявлено порівняно недавно, переважно за допомогою сучасних геофізичних методів досліджень. Так, фактор, пов'язаний з висхідними потоками флюїдів з надр Землі (другий у блоці праворуч на рис. 1), дає підстави визначати як ключову причину генерації парникових газів процеси глибинної дегазації Землі (ГДЗ). Такі процеси є головною рушійною силою ендегенних геологічних процесів, а наскрізні деформаційні флюїдопровідні системи (тріщини, розломи в земній корі) – основні канали ГДЗ у літосфері. Уявлення про мантіїні плюми як базові «мегатруби» дегазації, система яких контролює глобальні процеси ГДЗ, дозволяє об'єднати практично всі основні аспекти ендегенного рудоутворення, нафтогенезу і формування парникових газів на Землі [4]. Саме відновні гази (H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S), які є похідними висхідного потоку вихідного флюїду в надрах Землі, взаємодіючи з киснем силікатів мантії і гірських порід земної кори, спричиняють виділення тепла, а також ініціюють магматичні та гідротермальні процеси. При цьому частина висхідного флюїду проривається до верхніх горизонтів земної кори, а його похідні у вигляді струменів водню, гелію, метану, сірководню досягають земної поверхні і потрапляють безпосередньо в атмосферу [5].

У 2010 р. в Арктиці було проведено унікальні дослідження з вивчення причин і механізмів виникнення «метанового максимуму» в атмосфері Північної півкулі (крайній у блоці

праворуч фактор на рис. 1). Встановлені закономірності надходження в атмосферу великих обсягів метану на мілководних акваторіях арктичних морів дають підстави вважати метановий фактор одним з основних при розгляді причин глобальних змін клімату на Землі, а також пояснюють природу раніше зафіксованих аномалій [6]. Нещодавно великі обсяги метану було також виявлено в Антарктиді [7].

Відомо, що емісія парникових газів, зумовлена природними факторами, перевищує викиди парникових газів унаслідок антропогенної діяльності. Оскільки суттєво вплинути на обсяги викидів парникових газів природного походження людство поки ще не може, міжнародна спільнота широко обговорює і намагається вживати заходів, спрямованих на зниження антропогенних викидів.

Прихильники є як у антропогенної, так і у природної концепції підвищення глобальної температури. Антропогенну концепцію відстоює Міжурядова група експертів зі зміни клімату (МГЕЗК). Проте є авторитетні фахівці та провідні наукові колективи, які вважають природні фактори ключовою причиною глобального потепління. І все ж на сьогодні основною науковою і політичною базою для вивчення змін клімату залишається підхід МГЕЗК. Результати досліджень МГЕЗК з проблеми глобального потепління у 2007 р. відзначено Нобелівською премією миру.

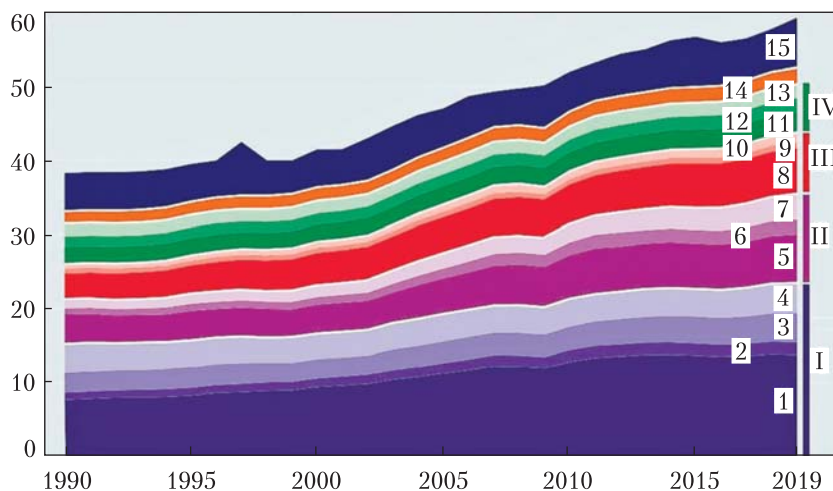
Визначальним чинником глобального потепління, за даними МГЕЗК, є антропогенний вплив, а саме: підвищення в атмосфері Землі концентрації парникових газів, насамперед головного з них —  $\text{CO}_2$ , що утворюється внаслідок спалювання викопного палива. Дійсно, концентрація вуглекислого газу в атмосфері збільшилася від  $278 \text{ млн}^{-1}$  в 1750 р. (доіндустріальний період) до  $407,8 \text{ млн}^{-1}$  у 2018 р., метану, відповідно, — від 722 до  $1869 \text{ млрд}^{-1}$ , а оксиду азоту — від 270 до  $331 \text{ млрд}^{-1}$ . У період з 1990 до 2018 р. концентрація довгоіснуючих парникових газів в атмосфері зросла на 43%, причому на  $\text{CO}_2$  припадає 81% цього збільшення [8].

Загальні викиди всіх парникових газів у 2019 р. становили 59,1 Гт в  $\text{CO}_2$ -еквіваленті.

На  $\text{CO}_2$  припадало 65% всіх світових викидів парникових газів, що пов'язано насамперед з виробництвом та використанням енергії, а викиди  $\text{CH}_4$  та  $\text{N}_2\text{O}$  пов'язані переважно з сільським господарством та природою. Світова енергетика генерує 41% викидів парникових газів, промисловість — 20%, транспорт — 14%, а сільське господарство та відходи — 15% (рис. 2) [9].

У 2019 р. викиди  $\text{CO}_2$  при використанні викопного палива досягли рекордного рівня —  $38,0 \text{ Гт}\cdot\text{CO}_2$  (діапазон  $\pm 1,9 \text{ Гт}\cdot\text{CO}_2$ ) [9]. Очікувалося, що через пандемію COVID-19 обсяг викидів  $\text{CO}_2$  у 2020 р. може скоротитися приблизно на 7% порівняно з 2019 р. [9], але зниження викидів інших парникових газів буде не таким значним.

Згідно з останніми статистичними даними [10], попит на первинну енергію у 2020 р. знизився майже на 4%, глобальні викиди  $\text{CO}_2$ , пов'язані з енергетикою, — на 5,8% (від  $33,4 \text{ Гт}$  у 2019 р. до  $31,5 \text{ Гт}$  у 2020 р.), що є найбільшим річним зниженням з часів Другої світової війни. І хоча минулорічне скорочення викидів  $\text{CO}_2$  в абсолютних величинах (майже на 2 Гт) не має прецедентів в історії людства (воно еквівалентне річному рівню викидів усього Євросоюзу), концентрація парникових газів в атмосфері продовжує зростати впродовж останнього часу за попередніми незмінними темпами. Так, на станції моніторингу атмосфери в Мауна-Лоа на Гавайях у лютому 2021 р. було зафіксовано середньомісячну концентрацію  $\text{CO}_2$  на рівні  $416,75 \text{ млн}^{-1}$ , що на 0,6%, більше, ніж в аналогічний період 2020 р., а середньомісячна концентрація метану в грудні 2020 р. становила  $1892,3 \text{ млрд}^{-1}$ , що на 0,9% вище, ніж у грудні 2019 р. [11]. Така сама ситуація спостерігається і щодо концентрації  $\text{N}_2\text{O}$  — зростання на 0,4% у листопаді 2020 р. порівняно з листопадом 2019 р. ( $333,6$  і  $332,3 \text{ млрд}^{-1}$  відповідно) [11]. За даними іншої ключової станції вимірювання забруднення повітря, розташованої на мисі Грим у Тасманії, збільшення концентрації  $\text{CO}_2$  у вересні 2020 р. порівняно з аналогічним періодом 2019 р. становило 0,55% ( $410,8$  і  $408,58 \text{ млн}^{-1}$  відповідно) [12].



**Рис. 2.** Світові викиди парникових газів за галузями економіки в перерахунку на CO<sub>2</sub>-еквівалент. **Блок I. Енергетика:** 1 – виробництво електроенергії і тепла; 2 – інші процеси перетворення енергії; 3 – неконтрольовані та необраховані викиди; 4 – в будівлях та інших секторах. **Блок II. Промисловість:** 5 – використання енергії; 6 – мінеральна продукція; 7 – інші промислові процеси. **Блок III. Транспорт:** 8 – автомобільний; 9 – неавтодорожній; 10 – міжнародний. **Блок IV. Сільське господарство:** 11 – с/г землекористування; 12 – процеси кишкової ферментації у с/г тварин; 13 – інше; 14 – відходи; 15 – зміни в землекористуванні [9]

На міжнародних самітах фахівці постійно обговорюють механізми пом'якшення можливих негативних наслідків зміни клімату та реалізацію заходів з адаптації до таких змін різних сфер життєдіяльності та економік країн і регіонів. З низкою ініціатив виступила й Україна. Так, у розпорядженні Кабінету Міністрів 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 з основних напрямів «реалізації Концепції є адаптація до зміни клімату, підвищення опірності та зниження ризиків, пов'язаних із зміною клімату». Така адаптація здійснюється завдяки розробленню і реалізації середньострокової стратегії адаптації до зміни клімату в Україні на період до 2030 року, скоординованої зі стратегіями і планами розвитку секторів економіки та регіональними стратегіями розвитку. Наразі в суспільстві активно обговорюється проект «Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року», який було оприлюднено на сайті Міндовкілля України.

Важливість питань адаптації до зміни клімату в Україні набуває особливого значення в

контексті Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, оскільки у ст. 365 цього документа зазначено, що співробітництво сторін охоплює питання розвитку та імплементації політики з питань зміни клімату.

Отже, спочатку наведемо визначення терміна «адаптація» стосовно проблеми зміни клімату. Адаптація – це процес пристосування до існуючого або очікуваного клімату і його впливів. В антропогенних системах метою адаптації є зменшення шкоди, запобігання їй або використання сприятливих можливостей [3]. Адаптація до глобальної зміни клімату і глобального потепління – це пристосовність природних або антропогенних систем у відповідь на реальні або очікувані кліматичні зміни, яка дозволяє зменшити власну вразливість і використовувати сприятливі умови.

Можна запропонувати й інше визначення: стратегія адаптації до зміни клімату – це розроблення таких заходів та механізмів їх реалізації, які дозволяють технічно й економічно обґрунтованим способом з урахуванням сучасного і прогнозованого стану економіки виключити або послабити негативний вплив зміни клімату на рівень і якість життєдіяль-

ності населення та економіки України. Політика адаптації щодо зміни клімату передбачає проведення комплексних міждисциплінарних досліджень з розробленням необхідних технологічних (на рівні 5-го і 6-го технологічних укладів розвитку) інновацій: від визначення і уточнення причин зміни клімату, можливих загроз та наслідків цих змін до розроблення заходів, спрямованих на унеможливлення або послаблення негативного впливу змін чи пристосування до них галузей економіки та життєдіяльності населення.

Адаптація до глобального потепління в економіці стосується передусім агропромислового комплексу як гаранта продовольчої безпеки та головного експортера продукції, а також енергетичного сектору України, зокрема комунальної енергетики. Зміна клімату приводить до зміни температурних характеристик — градусо-діб теплого і холодного періодів, витрати енергоресурсів на опалення і кондиціонування житлово-комунального сектору тощо.

Мета стратегії адаптації до зміни клімату для комунальної енергетики полягає в забезпеченні такого стану муніципального енергопостачання (теплопостачання і кондиціонування), який гарантує комфортне і надійне поточне та перспективне теплохолодопостачання технічно і економічно обґрунтованим способом з одночасним дотриманням вимог до охорони навколишнього середовища.

Предметні дослідження в комунальній енергетиці щодо впливу зміни клімату на теплопостачання і кондиціонування приміщень активізувалися після початку широкого обговорення проблеми глобального потепління наприкінці 90-х — на початку 2000-х років, особливо після прийняття Кіотського протоколу в 1997 р.

Для житлово-комунального господарства і комунальної теплоенергетики важливо знати, як найближчими роками може змінитися попит на теплопостачання у зв'язку з глобальним потеплінням. За даними спостережень оцінено параметри низькочастотної мінливості середньої за опалювальний період температури повітря на півдні України і відповідну зміну енерговитрат на теплопостачання для потреб

населення, проаналізовано зміни середньомісячних температур по регіонах України з 1961 по 1991 р., визначено їх тренди з жовтня по квітень і розраховано енерговитрати на опалення будівель [13–15].

Надалі роботи з визначення, оцінювання наслідків глобального потепління і його впливу на характеристики опалювального періоду було розширено і поглиблено. У дослідженнях [2, 16–19] визначено температурні характеристики і динаміку змін опалювального періоду за 1900–2013 рр. та в окремі періоди цього діапазону і показано помітне скорочення тривалості опалювального періоду. Наведено також короткий аналіз попередніх публікацій зі зміни кліматичних характеристик опалювального періоду з використанням даних, що мають значення для методичного підходу до дослідження закономірностей зміни параметрів опалювального періоду [2]. Простежено вплив клімату на людину і соціально-економічні системи, зокрема розглянуто зміни клімату у зв'язку з глобальним потеплінням та їх вплив на ефективність діяльності в різних сферах економіки України до 2050 р. [20, 21]. Проведено оцінку зміни тривалості опалювального періоду, можливостей розвитку сонячної та вітрової енергетики [16–21]. Результати цих досліджень можуть стати підґрунтям для подальшого розвитку робіт з адаптації комунального енергопостачання до змін клімату.

Доцільно прийняти середньо- і довгострокові дорожні карти, що передбачають розроблення програм [22], реалізація яких стосовно теплоенергетики має бути спрямована на:

- 1) зниження антропогенної емісії парникових газів;
- 2) збереження та поліпшення якості природних екосистем;
- 3) адаптацію життєдіяльності населення і секторів економіки.

Основний обсяг антропогенної емісії парникових газів (близько 70–80% [23]) припадає на паливно-енергетичний комплекс. Він генерується переважно при спалюванні вуглеводневого палива у «великій» енергетиці (теплоелектростанції) і в комунальній теплоенер-

гетиці (теплоелектроцентралі, районні та автономні котельні). Щодо цього енергетичного сектору економіки напрями зниження обсягів викидів парникових газів є такими:

1) підвищення енергоефективності використання енергоресурсів шляхом:

– вдосконалення організаційно-економічних механізмів управління об'єктами паливно-енергетичного комплексу;

– впровадження енергоефективно-орієнтованих інноваційних технологій у всьому технологічному ланцюжку – від видобутку до кінцевого використання енергоресурсів;

2) оптимізація процесів спалювання вуглеводневого палива з поліпшеними екологічними показниками (низькоемісійне екологічно чисте спалювання);

3) використання економічно і екологічно виправданим способом відновлюваних джерел енергії – так звана низьковуглецева енергетика, а також намагання досягти вуглецево-нейтральної енергетики.

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 [24, 25].

Головні заходи і механізми адаптації до зміни клімату для комунальної енергетики мають бути розроблені для кінцевого споживача – енергозабезпечення будівель житлово-комунального сектору. 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 матері-

алів, 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) [26]. 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, водою, річок тощо [27, 28].

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 м<sup>2</sup>, тобто це аналог котеджу для середнього класу населення. Будинок чітко зорієнтований по сторонах світу, має плоский односкатний дах на південь (рис. 3). Фасадні стіни на всіх поверхах виконано з різних комбінацій соціально доступних будівельних матеріалів (переважно екологіч-



**Рис. 3.** Загальний вигляд експериментального пасивного будинку «нуль-енергії» Інституту технічної теплофізики НАН України

но безпечних), вони мають товщину 38–40 см (аналог товщини несучої фасадної стіни в півтори рядової цеглини).

Додатково на фасаді клейовим способом нанесено багатошарову 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  $4M_1i-8-4M_1i-8-4M_1$  і  $4M_1i-10-4M_1i-10-4M_1$ . Віконні профілі рам — п'ятикамерні.

Така конструкція стінових фасадів дозволила отримати опір теплопередачі від 10,5 до 11,4  $m^2 \cdot K / Wt$ , що в 3,3 раза вище за вимоги чинних ДБН В.2.6-33:2018. Опір теплопередачі світлопрозорих конструкцій зріс до 2,0  $m^2 \cdot K / Wt$ , що в 2,7 раза перевищує чинний норматив.

Розрахункове питоме річне теплоспоживання такого пасивного будинку — 14,8  $kWh / (m^2 \cdot рік)$  при  $-1,1^\circ C$  (нормативна середня температура опалювального періоду для клімату м. Київ) та 21,8  $kWh / (m^2 \cdot рік)$  при  $-10,0^\circ C$  (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  $kWh / (m^2 \cdot рік)$ . Експериментальні питомі тепловтрати через фасади будинку за температури довкілля  $-10^\circ C$  становлять лише 1,2–1,8  $Wt / m^2$ .

**Інноваційні інженерні системи енергозабезпечення експериментального будинку. Теплозабезпечення.** Для опалення та гарячого водопостачання застосовано базову теплоносну (потужність 6 кВт) акумуляційну низькотемпературну систему. 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 [29], 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 каналного повітряного опалення перших двох поверхів.

*Електрозабезпечення.* Базове електропостачання реалізується сонячними BAPV-панелями (Building Applied Photovoltaics — накладеними на конструкцію) загальною площею 80 м<sup>2</sup> і номінальною потужністю 10 кВт (фотомодулі на полікристалічному кремнії та на тонких плівках з телуриду кадмію). Фотовольтаїка 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 BIPV-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 °С, а влітку не перевищує 18 °С, тобто система вентиляції частково виконує функцію кондиціонування 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 %.

*Кондиціонування.* 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 °С) і охолоджуючись влітку (на 12 °С) при взаємодії із ґрунтом [30]. Назовні потік виходить у верхній частині будинку. Фактично це система обвіювання майже всього будинку повітрям з більш сприятливими, ніж параметри доквілля, 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 доквілля, що відповідає сучасним трендам розвитку низьковуглецевої енергетики і сприяє зменшенню викидів парникових газів.

Будинок є повномасштабним науково-дослідним і діагностично-демонстраційним стендом для дослідження теплофізичних властивостей перспективних теплоізоляційних буді-



вельних матеріалів у реальних умовах їх експлуатації; для створення надійних будівельних фасадних теплоізоляційних конструкцій з них та інноваційних систем енерго(ресурсо)забезпечення. 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 тепlopостачання населення [31, 32]. 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 [33, 34], 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.

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

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

- 1) поглиблення та розширення теорії теплообміну в пористих конструкціях будівель, зокрема з урахуванням у тепловому балансі будівель пасивного внеску енергії сонячного випромінювання;

- 2) поглиблення і розширення теорії теплообміну в ґрунтових масивах при використанні для енергопостачання будівель геотермальної енергії верхніх шарів ґрунту;

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

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

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

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

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

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

Європейський парламент 13 вересня 2016 р. прийняв Стратегію ЄС у сфері опалення та охолодження (EU Strategy on heating and cooling, COM(2016)), основними пріоритетами якої визначено підвищення енергоефективності і декарбонізації наявних і новоспоруджуваних будівель у всіх галузях економіки [35]. Тому одним з основних напрямів діяльності Енергетичного союзу є розроблення та безальтернативне впровадження середньо- і довгострокових програм щодо реформування неефективних систем опалення (охолодження), що сприятиме зменшенню використання викопних енергоносіїв та зниженню імпортозалежності країн Євросоюзу [28].

На міжнародному рівні пропонується обговорити та затвердити Кліматичну стратегію, яка б визначила основні напрями роботи щодо

управління викидами парникових газів та діяльності у сфері адаптації до зміни клімату [36]. В Україні також потрібен більш системний підхід до формування ефективної політики протидії змінам клімату та адаптації до них.

**Висновки.** З огляду на зазначене потрібно внести корективи в систему управління багатьох галузей економіки України, зокрема комунальної енергетики, насамперед теплопостачання будівель і кондиціонування приміщень житлово-комунального сектору. Тому вкрай важливо розробити заходи щодо формування політики адаптації комунальної енергетики — визначити і обґрунтувати основні напрями вирішення ключових проблем адаптації муніципального енергозабезпечення (теплохолодозабезпечення) до 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 муніципального енергозабезпечення та енергоефективності будівель. Потрібно також змінити прикладні температурні характеристики, передусім кількість градусо-днів та терміни теплового і холодного періодів, удосконалити інженерні системи та обладнання енергопостачання будівель, оптимізувати теплотехнічні характеристики огорожувальних будівельних конструкцій, зокрема при спорудженні пасивних будинків, будинків типу «нуль-енергії», «зелених» будинків, екологічних будинків, поліпшити архітектуру будівель тощо.

Слід сформувати політику адаптації до зміни клімату в умовах України, розробити відповідний регуляторний документ — стратегію адаптації комунального енергозабезпечення до зміни клімату і контролю за її реалізацією. Основні принципи такої стратегії схематично наведено на рис. 4.

Положення стратегії адаптації до зміни клімату муніципального енергопостачання мають містити:

- цілі стратегії адаптації до глобального потепління;

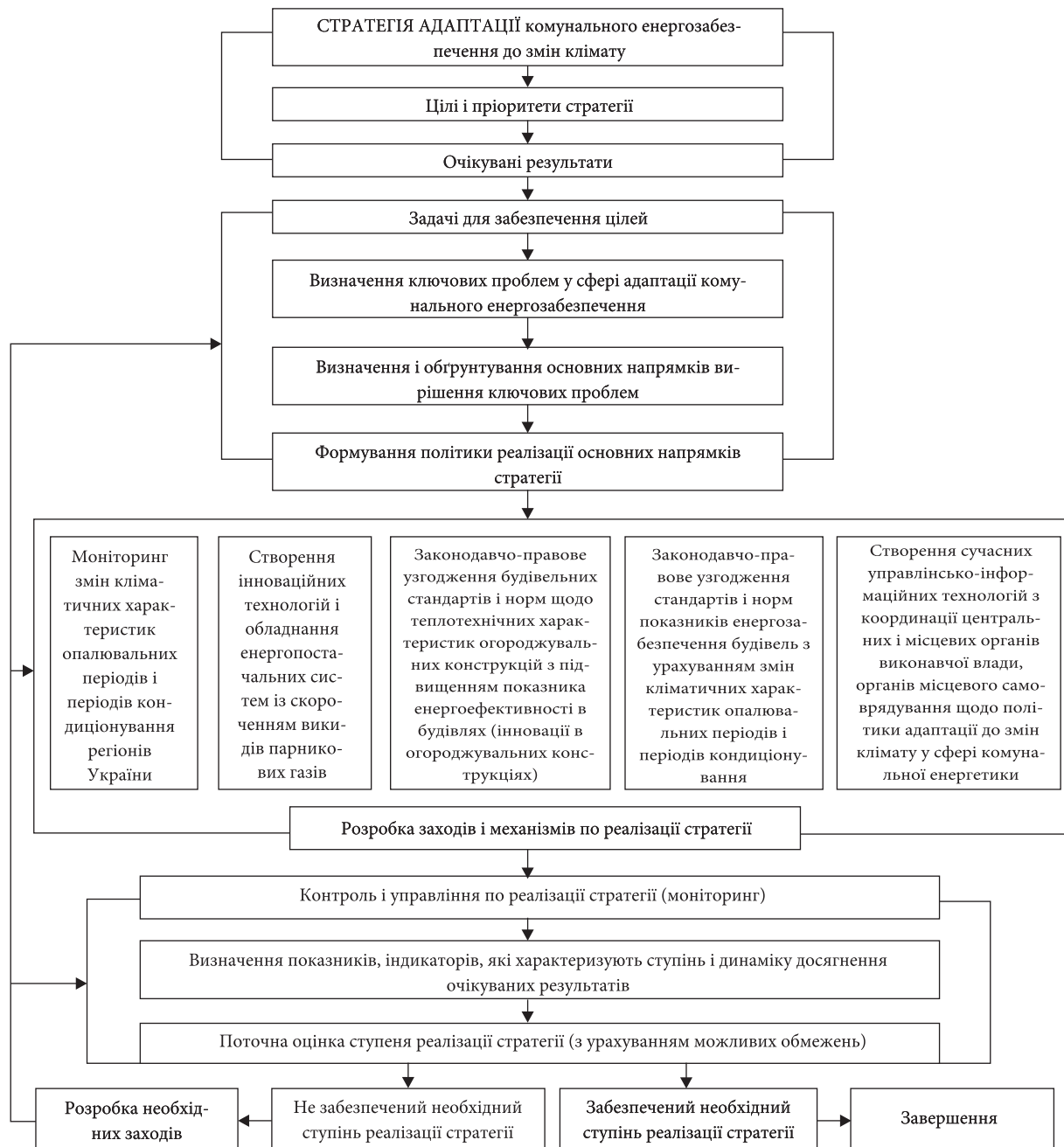


Рис. 4. Блок-схема стратегії адаптації комунальної енергетики до зміни клімату

- характеристики умов і визначення факторів-загроз глобального потепління для комунального енергопостачання (теплопостачання і кондиціонування);

- визначення показників, індикаторів, їх порогових значень, вихід за межі яких створює загрозу для комунального енергопостачання;

- принципи забезпечення адаптації до глобального потепління;
- завдання з розроблення заходів і механізмів, які виключають або послаблюють вплив негативних умов і факторів, спричинених глобальним потеплінням;
- вимоги до організації моніторингу як оперативного-аналітичної і діагностичної системи управління адаптаційними заходами і механізмами для усунення можливих відхилень від порогових значень показників, що створюють загрозу для муніципального енергопостачання.

При розробленні принципів і методів реалізації політики адаптації комунальної енергетики до змін клімату необхідно взяти до уваги пропозиції Національного інституту стратегічних досліджень [37].

Реалізація стратегії адаптації комунальної енергетики до змін клімату сприятиме економії та раціональному використанню паливно-енергетичних і матеріальних ресурсів, зниженню витрат на енергопостачання житлово-комунального сектору, впровадженню інноваційних архітектурних, інженерно-будівельних рішень, підвищенню комфортності і рівня життя населення, а також зменшенню залежності країни від імпорту паливно-енергетичних ресурсів, а тому зміцнюватиме енергетичну безпеку країни.

Перші кроки в напрямі створення рамкової стратегії адаптації всієї країни до глобального потепління вже заплановано [38]. Зокрема, 24 січня 2020 р. Кабінет Міністрів України створив міжвідомчу групу з подолання наслідків зміни клімату. Мета її діяльності — захист здоров'я та добробуту громадян від ризиків і наслідків зміни клімату. В рамках Паризької угоди разом з усім світом Україна напруцюватиме заходи і механізми, спрямовані на зниження рівня викидів.

Зазначимо також, що згадані вище заходи зі зменшення обсягів викидів парникових газів, що продукуються технологіями паливно-енергетичного комплексу, підтримує більшість представників науково-технічної спільноти і політикуму. Однак не всі вважають продуктивним такий підхід до вирішення кліматичної проблеми, коли все зводиться тільки до скорочення викидів парникових газів. Більш того, його характеризують як вузький і контрпродуктивний [39]. У пошуку шляхів зменшення антропогенного впливу на навколишнє середовище вказують на «необхідність і ефективність системного підходу, що передбачає пріоритет інституційних, структурних і технологічних перетворень у суспільстві та економіці. Аналізується проблема взаємозв'язку природничо-наукового та соціогуманітарного знання і методів вивчення проблеми глобальних і регіональних змін клімату та їх соціально-економічних наслідків» [39]. Як методологічну та інструментальну основу досліджень пропонується використовувати теорію ризику і моделювання.

Сьогодні фізичні і геополітичні аспекти глобального потепління стали однією з найактуальніших трансдисциплінарних проблем сучасного світу [40]. Вкрай необхідно розвивати і вдосконалювати наукові, технологічні та організаційні (наприклад, стратегічний енергоменеджмент) основи адаптації життєдіяльності до наявних та очікуваних змін клімату.

*Стаття написана в рамках виконання цільової програми наукових досліджень НАН України «Інтелектуальна екологічно безпечна енергетика з традиційними та відновлюваними джерелами енергії» та цільового міждисциплінарного проєкту НАН України «Науково-технічні та економіко-екологічні засади низьковуглецевого розвитку України».*

## REFERENCES

## [СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. WMO Provisional Statement of the State of the Climate 2019. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10108](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10108)
2. Lyalko V.I., Elistratova L.O., Apostolov O.A. Changes of parameters of the heating period on the territory of Ukraine as a result of global warming. *Dopov. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2016. (11): 61–69. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2016.11.061>  
[Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Апостолов О.А. Зміна параметрів опалювального періоду на території України в результаті глобального потепління. *Доповіді НАН України*. 2016. № 11. С. 61–69.]
3. Increasing the climate resilience of the agricultural sector of the South of Ukraine. Hungary, Szentendre. Regional environmental center, 2015 (in Ukrainian). <http://documents.rec.org/publications/ClimateResilienceUkraine.pdf>  
[Підвищення стійкості до зміни клімату сільськогосподарського сектору Півдня України. Угорщина, Сентендре. Regional environmental center. 2015. 73 с.]
4. Shestopalov V.M., Lukin A.E., Zgonnik V.A., Makarenko A.N., Larin N.V., Boguslavsky V.M. *Essays on the degassing of the Earth (Narysy dehzatsii Zemli)*. Kyiv, 2018. (in Ukrainian).  
[Шестопалов В.М., Лукін А.Е., Згонник В.А., Макаренко А.Н., Ларін М.В., Богуславський В.М. *Нариси дегазації Землі*. Київ, 2018. 632 с.]
5. Nikolaev A.V. Problems of geotomography. In: *Problems of Geotomography (Problemy geotomografii)*. Moscow: Nauka, 1997. P. 4–38 (in Russian).  
[Николаев А.В. Проблемы геотомографии. В кн.: *Проблемы геотомографии*. Москва: Наука, 1997. С. 4–38.]
6. Sergienko V.I. Speech at the general meeting of the RAS (transcript). *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2011. **81**(5): 476. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1019331611050212>  
[Сергиенко В.И. Выступления участников Общего собрания Российской академии наук. *Вестник РАН*. 2011. Т. 81, № 10. С. 893.]
7. An underwater methane leak is taking place near Antarctica. *Gismeteo*. 27.07.2020. (in Russian). <https://www.gismeteo.ua/news/klimat/33935-vozle-antarktidy-proishodit-podvodnaya-utechka-metana/>  
[Возле Антарктиды происходит подводная утечка метана. *Gismeteo.Новости*. 27.07.2020.]
8. Isotopes confirm the dominant role of fossil fuel combustion in increasing levels of atmospheric carbon dioxide. *WMO Greenhouse Gas Bulletin*. 2019. No. 15, November 25.  
[Бюллетень ВМО по парниковым газам. 2019. №15/25 ноября.]
9. Emissions Gap Report 2020. UN Environment Programme. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>
10. Global Energy Outlook: CO<sub>2</sub> Emissions in 2020. Paris: IEA, 2021. <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020>
11. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
12. McGrath M. Climate change: Covid pandemic has little impact on rise in CO<sub>2</sub>. *BBC News*. 23 November 2020. <https://www.bbc.com/news/science-environment-55018581>
13. Anisimov O.A. Impact of anthropogenic climate change on heating and air conditioning of buildings. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 1999. (6): 10–17. (in Russian).  
[Анисимов О.А. Влияние антропогенного изменения климата на обогрев и кондиционирование зданий. *Метеорология и гидрология*. 1999. № 6. С. 10–17.]
14. Degtarev A.Kh., Degtareva L.N. Assessment of changes in energy consumption for heat supply in connection with interannual temperature variability in the south of Ukraine. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2008. (11): 53–56 (in Russian).  
[Дегтерев А.Х., Дегтерева Л.Н. Оценка изменения энергозатрат на теплоснабжение в связи с межгодовой изменчивостью температур на юге Украины. *Метеорология и гидрология*. 2008. № 11. С. 53–56.]
15. Degtarev A.Kh., Degtareva L.N. Assessment of the influence of seasonal temperature changes on energy consumption in Ukraine during the heating season. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2002. (12): 58–61 (in Russian).  
[Дегтерев А.Х., Дегтерева Л.Н. Оценка влияния сезонных изменений температуры на энергопотребление Украины в отопительный период. *Метеорология и гидрология*. 2002. № 12. С. 58–61.]
16. Lyalko V.I. (ed) *Greenhouse effect and climate change in Ukraine: assessments and consequences*. Kyiv: Naukova Dumka, 2015. (in Ukrainian).  
[Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки. За ред. В.І. Лялька. Київ: Наук. думка, 2015. 284 с.]

17. Khodakov V.E., Sokolova O.N. *Natural and climatic factors and socio-economic systems (Prirodno-klimaticheskiye faktory i sotsial'no-ekonomicheskkiye sistemy)*. Kherson, 2016. P. 567–601 (in Russian).  
[Ходаков В.Е., Соколова Н.А. *Природно-климатические факторы и социально-экономические системы*. Херсон, 2016. С. 567–601.]
18. Stepanenko S.M., Pol'ovyi A.M., Loboda N.S., Khokhlov V.M., Ermolenko N.S. *On climate change and its impact on the economy of Ukraine (Pro klimatychni zminy ta yikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrainy)*. Odesa, 2015. (in Ukrainian).  
[Степаненко С.М., Польовий А.М., Лобода Н.С., Хохлов В.М., Єрмоленко Н.С. Про кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України. Одеса: ТЕС, 2015. 518 с.]
19. Degterev A.Kh. Climate change in Crimea over the past decades. *Voprosy Bezopasnosti*. 2020. (2): 1–6. DOI: <https://doi.org/10.25136/2409-7543.2020.2.32821>.  
[Дегтерев А.Х. Изменение климата Крыма за последние десятилетия. *Вопросы безопасности*. 2020. № 2. С. 1–6.]
20. Boychenko S. *Semi-empirical models and scenarios of global and regional climate change (Napivempirychni modeli ta stsennarii hlobalnykh i rehionalnykh zmin klimatu)*. Kyiv: Naukova Dumka, 2008. (in Ukrainian)  
[Бойченко С.Г. Напівемпіричні моделі та сценарії глобальних і регіональних змін клімату. Київ: Наук. думка, 2008. 310 с.]
21. What Ukraine should do about climate change: summary of the Energy of Change forum-2018. *Mistosite*. 14.09.2018. <https://mistosite.org.ua/articles/shcho-robyty-ukraini-zi-zminamy-klimatu-konspekt-forumu-enerhiia-zmin-2018>  
[Що робити Україні зі змінами клімату: конспект форуму «Енергія Змін - 2018». *Mistosite*. 14.09.2018.]
22. Priorities of Ukraine's policy to prevent global warming in the post-Kyoto period. Analytical report. The National Institute for Strategic Studies. 04.10.2011. (in Ukrainian) <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/prioriteti-politiki-ukraini-schodo-poperedzhennya-globalnogo>  
[Пріоритети політики України щодо попередження глобального потепління у посткіотський період. Аналітична записка Національного інституту стратегічних досліджень. 2011.]
23. Ukraine and the policy of combating climate change: the economic aspect. Analytical report. Kyiv, 2016. (in Ukrainian)  
[Україна і політика протидії зміні клімату: економічний аспект. Аналітична доповідь. За заг. ред. В.Р. Сіденка і О.О. Веклич. Київ: Заповіт, 2016. 208 с.]
24. Kyrylenko O.V., Basok B.I., Bazeyev Ye.T., Blinov I.V. Power industry of Ukraine and realities of the global warming. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2020. (3): 52-61. DOI: <https://doi.org/10.15407/techne2020.03.052>  
[Кириленко О.В., Басок Б.І., Базєєв Є.Т., Блінов І.В. Енергетика України та реалії глобального потепління. *Технічна електродинаміка*. 2020. № 3. С. 52–61.]
25. Basok B.I., Bazeyev Ye.T. On the problem of adaptation of communal energy to global warming (review). *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. 2020. 42(2): 48–59. DOI: <https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2020.5>  
[Басок Б.І., Базєєв Є.Т. Про проблему адаптації комунальної енергетики до глобального потепління (огляд). *Теплофізика та теплоенергетика*. 2020. Т. 42, № 2. С. 48–59.]
26. 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. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1019331620030065>  
[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.]
27. Lebedev Yu.S., Rabinovich V.I., Polozhai E.D. et al. *Architectural bionics (Arkhitekturnaya bionika)*. Moscow: Stroyizdat, 1990. (in Russian).  
[Лебедев Ю.С. и др. *Архитектурная бионика*. Москва: Стройиздат, 1990. 269 с.]
28. Aldersey-Williams H. *Zoomorphic: New Animal Architecture*. Collins Design, 2003.
29. Patent of Ukraine No. 104468. Dolinsky A.A., Basok B.I., Nedbaylo O.M., Bozhko I.K., Tkachenko M.V., Zasetsky I.G. Heat exchanger of type capillary heated floor.  
[Патент України на корисну модель № 104468. Долінський А.А., Басок Б.І., Недбайло О.М., Божко І.К., Ткаченко М.В., Засецький І.Г. Теплообмінник типу капілярна тепла підлога.]
30. Patent of Ukraine No. 88791. Basok B.I., Novitska M.P., Kuzhel L.M., Bozhko I.K., Nedbaylo O.M., Tkachenko M.V., Goncharuk S.M. Method of providing an air-thermal curtain with ground warmth.  
[Патент України на корисну модель № 88791. Басок Б.І., Новіцька М.П., Кужель Л.М., Божко І.К., Недбайло О.М., Ткаченко М.В., Гончарук С.М. Спосіб забезпечення повітряно-теплової завіси теплою ґрунту.]

31. Paton B.E., Dolinsky A.A., Heyets V.M., Kukhar V.P., Basok B.I., Bazyeyev 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. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2014.09.029>  
[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.]
32. Basok B.I., Novoseltsev O.V., Dubovsky S.V., Bazyeyev E.T. *Modernization of district heating systems of settlements of Ukraine. Thermal Physics. Energy. Efficiency. Energy Economy. Ecology.* Kyiv: Kalita, 2018. (in Ukrainian).  
[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.]
33. Basok B.I. (ed) *Organizational and economic mechanisms of modernization of heat energy of Ukraine (Orhanizatsiino-ekonomichni mekhanizmy modernizatsii teploenerhetyky Ukrainy).* Kyiv: Kalita, 2015. (in Ukrainian).  
[Організаційно-економічні механізми модернізації теплоенергетики України. За ред. Б.І. Баска. Київ: Калита, 2015.]
34. Basok B.I., Bazyeyev 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>  
[Басок Б.І., Базєєв Є.Т. Инновационные технологии для зданий — приоритет повышения энергоэффективности в Украине. *Пром. теплотехника.* 2017. Т. 39. № 4. С. 61–67.]
35. EU strategy on heating and cooling. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52016DC0051>
36. The main provisions of energy strategies and programs of the European Union for the development of energy in the formation of a pan-European electricity market. Ministry of Energy and Coal of Ukraine. Kyiv, 2017. (in Ukrainian).  
[Основні положення енергетичних стратегій та програм Європейського Союзу щодо розвитку енергетичної сфери в умовах формування загальноєвропейського ринку електроенергії. Міненерговугілля України. Київ. 2017. 93 с.]
37. Adaptation to climate change in Ukraine: problems and prospects. Analytical report. The National Institute for Strategic Studies. 2016. (in Ukrainian) <http://old2.niss.gov.ua/articles/2223/>  
[Адаптація до змін клімату в Україні: проблеми і перспективи. Аналітична записка Національного інституту стратегічних досліджень. 2016.]
38. The Ministry of Environment forecasts climate change in Ukraine for 2030, 2050 and 2100. *Dzerkalo tyzhnia.* 04.08.2020. <https://zn.ua/POLITICS/minprirody-sprohnoziruuet-izmenenija-klimata-v-ukraine-na-2030-2050-i-2100-hody.html>  
[Мінприроди спрогнозує зміни клімату в Україні на 2030, 2050 і 2100 роки. *Дзеркало тижня.* 04.08.2020.]
39. Danilov-Danil'yan V.I., Kattsov V.M., Porfiriev B.N. The Problem of Climate Change: The Field of Convergence and Interaction between Natural Sciences and the Sociohumanities. *Herald of the Russian Academy of Sciences.* 2020. **90**(5): 577–587. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1019331620050123>  
[Данилов-Данильян В.И., Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Проблема климатических изменений – поле сближения и взаимодействия естественных и социогуманитарных наук. *Вестник РАН.* 2020. Т. 90, № 10. С. 914–925.]
40. Basok B.I., Bazyeyev Ye.T., Kurayeva I.V. Global Warming — physics and geopolitics (Review). 1. Anthropogenic and natural concepts of climate change *Thermophysics and Thermal Power Engineering.* 2021. **43** (1): 38–50. DOI: <https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2021.5>  
[Басок Б.І., Базєєв Є.Т., Кураєва І.В. Глобальне потепління — фізика і геополітика (огляд). 1. Антропогенна та природна концепції змін клімату. *Теплофізика та теплоенергетика.* 2021. Т. 43, № 1. С. 38–50.]

*Boris I. Basok*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8935-4248>

*Yevgeniy T. Bazyeev*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4292-1505>

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Iryna V. Kuraieva*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>

Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy and ore formation  
of the National Academy of sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

#### ADAPTATION OF MUNICIPAL HEAT ENERGY TO CLIMATE CHANGE

The instrumentally recorded trend of global temperature growth since the middle of the twentieth century due to rising greenhouse gases in the Earth's atmosphere (mainly CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) has exacerbated the problems of adaptation to climate change in various sectors of the economy and human life. **Problems.** Adaptation to global warming also applies to communal energy. Climate change necessitates a review of both heating and air conditioning in housing and communal services. It is necessary to develop measures and mechanisms, the implementation of which will guarantee economically justified comfortable and reliable heat and cold supply of buildings and structures during climate change. **Purpose.** Development of measures and mechanisms adapted to climate change in the application of engineering systems for energy supply of energy efficient buildings, mainly with the use of renewable energy sources. **Materials and methods.** Analytical and experimental studies of heat transfer and monitoring of thermal regimes in the enclosing structures of buildings were carried out with the development of innovative energy-efficient engineering systems of energy supply demonstration, passive house type "zero-energy" (total area of four-storey building - 306 m<sup>2</sup>) using modern computers. means of diagnostics of indicators of thermal characteristics of enclosing designs and engineering systems. **Results.** Experimental developments of innovative energy-efficient technologies and equipment of energy supply systems of buildings were performed and their architectural and construction designs were optimized, which allowed to reduce energy use (taking into account their full production life cycle) and, as a result, reduce greenhouse gas emissions. In order to expand and deepen the theory and practice of improving the energy efficiency of buildings in the near future, the scientific priority and subject of basic and applied research have been identified. **Conclusions.** Developed adaptive to climate change innovative energy efficient technologies and equipment of engineering systems of energy supply of buildings using renewable energy sources and modern architectural and construction solutions can be used in the practice of energy supply of buildings of housing and communal services.

**Keywords:** global warming, municipal energy, innovations, adaptation, energy efficiency of buildings.