



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

## **ФУНДАМЕНТАЛЬНА ТЕПЛОФІЗИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ БУДІВЕЛЬ У КОНТЕКСТІ ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ**

**За матеріалами доповіді на засіданні  
Президії НАН України 5 квітня 2023 року**

*У доповіді проаналізовано досвід Інституту технічної теплофізики НАН України з проведення робіт за напрямом фундаментальної теплофізичної інженерії будівель і споруд з метою доведення їх до стану пасивних будівель, будівель «нуль енергії», «розумних» будівель за умови підвищення їхньої енергетичної стійкості та мінімізації викидів парникових газів. Результати цих досліджень спрямовано на вирішення актуальних і стратегічно важливих науково-технічних проблем, пов'язаних із суттєвим підвищенням енергетичної ефективності наявних, відбудованих і ново-збудованих будівель та споруд України згідно з вимогами енергетичного і кліматичного законодавства ЄС.*

Згідно з класифікацією Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), кінцеве використання енергії у світі припадає переважно на чотири сектори: промисловість, транспорт, сфера житлових, комунальних і громадських будівель та інше споживання. В табл. 1 наведено порівняння обсягів кінцевого споживання енергії в економіці України [1] станом на 1991 р. (початок становлення незалежної держави) і на 2019 р. (останній рік перед пандемією COVID-19 і широкомасштабною війною Росії проти України). Як видно з таблиці, за роки незалежності кінцеве споживання енергії зменшилося більш ніж утричі; частка споживання енергії в будівлях зросла майже вдвічі і досягла 38 % обсягу загального споживання; за обсягами використання енергії сфера будівель перевершила промисловість і стала найбільшим споживачем у країні. Тому логічно приділити основну увагу енергоощадності саме в будівлях. Це перша й головна причина необхідності пошуку рішень щодо зменшення енергоспоживання в будівлях, наприклад завдяки підвищенню їх енергоефективності.

Зазначимо, що зі зменшенням споживання енергії в будівлях знижуються й втрати у всьому ланцюгу виробництва — транспортування — розподіл енергії, де загальні втрати на енергоперетворення сягають 45 %. До відома: у світі ці втрати становлять лише 28 %, причому розподіл кінцевого споживання енергії у будівлях, промисловості, на транспорті майже однаковий — близько 29 %. До того ж підвищення ефективності енергоперетворень і кінцевого енергоспоживання — це зниження викидів шкідливих і парникових газів та зменшення забруднення довкілля. Отже, сфера будівель в Україні має найбільший потенціал підвищення енергоефективності і досягнення декарбонізації при використанні «зеленої» енергетики.

У провідних країнах світу, зокрема у Німеччині, підвищенням енергоефективності будівель системно почали займатися ще наприкінці 1970-х років, послідовно впроваджуючи прогресивне законодавство і відповідну нормативно-технічну базу, в результаті чого питоме споживання теплоти на опалення вдалося зменшити з 700 до 15 кВт·год на 1 м<sup>2</sup> опалюваної площі, тобто до рівня пасивного будинку. При цьому виходили з того, що технічні рішення із застосуванням інноваційних інженерних систем теплозабезпечення будівель, наприклад на основі використання відновлюваних джерел енергії, як правило, набагато дорожчі за заходи з енергозаощадження, зокрема за термоізоляцію фасадної оболонки. Так утвердився базовий принцип EE first, then RES — спочатку енергоефективність і лише потім відновлювані джерела енергії. Тобто насамперед потрібно термомодернізувати зовнішню оболонку будівлі, потім реконструювати внутрішньобудинкові системи енергозабезпечення і лише після цього модернізувати теплові мережі і теплову генерацію.

Повчальним є досвід Польщі, де загальнодержавну термомодернізацію будівель (ЄС виділив на цю програму \$27 млрд) проводили після реконструкції теплових мереж і генерації, в результаті чого виникла надмірна спроможність теплових магістралей до транспорту теплоти і надлишок теплової генерації.

Базу європейської політики забезпечення енергоефективності будівель становлять дві директиви — 2012/27/ЄС та 2010/31/ЄС.

В Україні середнє питоме енергоспоживання будівель становить 200–230 кВт·год на 1 м<sup>2</sup> опалюваної площі, що вдвічі більше, ніж у середньому в Європі, і втричі більше, ніж у Німеччині. На сьогодні чинний в Україні норматив (введений у дію 1 вересня 2022 р.) перебуває на межі між класами енергоефективності С і В, тобто відповідає початковому показнику будинку високої енергоефективності.

Збитки, яких зазнала Україна від війни, станом на грудень 2022 р. оцінювалися в \$136 млрд, причому йдеться лише про задокументовані збитки, тоді як велику кількість руйнувань ще офіційно не зафіксовано. Звісно, кожного дня, поки тривають воєнні дії, збитки постійно зростають. Найбільше постраждали будівлі та енергетична сфера. Пошкоджені і зруйновані будинки потрібно відновлювати, але бажано реалізовувати це на сучасній інноваційно-технологічній основі, відповідно до нових вимог енергоефективності [2, 3]. Це друга причина, чому вкрай потрібно займатися енергоефективністю будівель.

Слід віддати належне законодавчій і виконавчій владі України — останнім часом у країні створено потужну базу для послідовної реалізації політики енергоефективності. Зокрема,

**Таблиця 1. Загальне кінцеве споживання енергії в Україні за секторами у 1990 і 2019 рр.**

Сектор економіки	1991		2019	
	ТДж <sup>1</sup>	%	ТДж	%
Промисловість	3312	52,4	675	32,5
Транспорт	997	15,8	420	20,2
Сфера будівель	1332	21,0	788	37,9
Інша діяльність	685	10,8	196	9,4
Разом	6326	100	2079	100
Населення, млн	51,9		42,2 <sup>2</sup>	
ВВП на душу населення <sup>3</sup>	3624		3225	

<sup>1</sup> 1 ТДж = 10<sup>12</sup> Дж, <sup>2</sup> без АР Крим, <sup>3</sup> в дол. США на 2010 р.

діють такі базові закони України, як «Про енергетичну ефективність будівель», «Про Фонд енергоефективності», «Про енергетичну ефективність», «Про запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб'єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації», «Про внесення змін до деяких законів України щодо усунення бар'єрів для масштабної термомодернізації будівель», а також постанова Кабінету Міністрів України від 23 грудня 2021 р. № 1460 про впровадження системи енергетичного менеджменту. Наразі в цій сфері реалізується Національна економічна стратегія на період до 2030 р. та два Національні плани дій до 2030 р.: з енергоефективності та зі збільшення кількості будівель з близьким до нульового споживанням енергії. В останньому, зокрема, передбачено такі амбітні цілі:

- скорочення до 2025 р. кінцевого споживання енергії в питомих показниках і в абсолютних значеннях у житловому секторі і в громадських будівлях щороку на 1 %;

- після 31 грудня 2025 р. громадські будівлі, а після 31 грудня 2027 р. будівлі всіх категорій (житлові, громадські, комерційні) при введенні їх в експлуатацію мають відповідати вимогам до будівель з близьким до нульового споживанням енергії.

Вже під час війни було розроблено і в серпні 2022 р. винесено на громадське обговорення низку проєктів з реалізації ефективної політики підвищення енергоефективності будівель, таких як: Довгострокова стратегія термомо-

дернізації до 2050 р. та операційний план заходів з виконання завдань першого періоду «Перший середньостроковий план термомодернізації будівель до 2027 р.» цієї стратегії; Державна цільова програма підтримки термомодернізації до 2030 р. (концепція); Державна цільова програма стимулювання енергетичної модернізації систем централізованого теплопостачання до 2030 р. Наразі всі ці документи перебувають на фінальній стадії затвердження. Головною агенцією країни, що опікується цією проблематикою, є Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, зокрема його агентства: Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України та Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України.

Прогнозні оцінки інвестицій, необхідних для виконання стратегії, за видами будівель і ступенем їх термомодернізації (клас енергоефективності С чи NZEB, тобто майже нульове споживання енергії) наведено в табл. 2 [4]. За найбільш песимістичними прогнозами кількість робочих місць, що будуть створені під час реалізації цієї стратегії, становитиме від 40 до 90 тис. Заплановані заходи з реновації будівель забезпечать економію витрат на оплату комунальних послуг у житловому секторі від \$0,7 до 1,6 млрд на рік.

З 24 лютого минулого року США надали Україні \$15,5 млрд бюджетної підтримки, тому фінансування програми відновлення почнеться вже цього року\*. Так, Міністерство фінансів США підтвердило виділення \$1,5 млрд на швидке відновлення і додатково ще \$800 млн на енергетичне відновлення. Одним із ключових партнерів у відновленні є Світовий банк, з яким у сфері енергетики започатковано проєкт Repower на \$500 млн. Уже підписано угоду на \$200 млн для відновлення української енергетики та систем теплопостачання міст. У сфері транспортної інфраструктури започатковано

**Таблиця 2. Обсяги фінансування масштабної термомодернізації будівель України до 2050 р.**

Типи будівель	Інвестиції, млрд євро	
	До класу С	До рівня NZEB
Багатоквартирні житлові	44,5	59,1
Індивідуальні житлові	85,9	109,9
Громадські	12,3	16,1
Інші (не промислові)	18,5	24,6
Загалом	161,2	209,7

\*Відновлення України почнеться вже цього року: Шмигаль назвав необхідну суму для відповідних проєктів. *УНН*. 18 квітня 2023.

<https://bit.ly/3MYeGhR>

проект ReLink з бюджетом \$585 млн, а для відновлення лікарень — проект Heal Ukraine з обсягом фінансування \$368 млн. Є домовленість про спеціальну програму відновлення України та отримання від Міжнародного банку реконструкції та розвитку до \$6 млрд додаткового фінансування. Німеччина має намір виділити додаткові 3,1 млрд євро, Франція планує надати 2 млрд євро в межах довгострокового фінансування. Данія створює спеціальний фонд для підтримки України в розмірі 1 млрд євро. Швейцарія виділяє 1,8 млрд франків на найближчі роки. Україна отримала підтвердження нової програми МВФ, яка є частиною довгострокової підтримки, на загальну суму \$115 млрд. Ці кошти забезпечать стабільність української економіки та фінансової системи. А Японія робить внесок на \$23 млн для покриття воєнних ризиків при інвестиціях в Україну. Наразі Кабмін України визначив 6 міст (Бородянка і Мощун у Київській області, Тростянець у Сумській, Посад-Покровське в Херсонській, Циркуни в Харківській та Ягідне в Чернігівській) для проведення експерименту з повної відбудови за принципом build back better (відбудувати краще, ніж було).

Результати наукової і інноваційно-технічної діяльності Інституту технічної теплофізики (ІТТФ) НАН України впродовж останніх 15 років акцентують на ще одній причині важливості та актуальності енергоефективності будівель. Адже будівля — це повноцінний енергетичний об'єкт, причому довготривалого життєвого циклу (мінімум 50 років, в середньому до 100 років), що не властиво іншому енергетичному устаткуванню. До того ж це кінцевий споживач — далі майже вся заведена в будівлю енергія вивільняється в довкілля, нагріваючи його і породжуючи відомі проблеми глобального потепління. Будівля є елементом розосереджених, автономних чи індивідуальних енергосистем мікрокліматизації. Вона не лише виступає як енергоспоживач, а й може бути потенційним регулятором ОЕС, енерговиробником (будівлі типу «нуль енергії») і енергоакумулятором. Будівля — це мікрооб'єкт енергетичної безпеки, енергостійкості і підвищеної

живучості в екстремальних умовах. Окремо слід зазначити, що житлові будівлі є важливим елементом соціальної політики країни.

Фундаментальні дослідження ІТТФ НАН України у сфері будівель стосуються таких наукових проблем, як теплова і аеродинамічна взаємодія будівель та їхніх груп з довкіллям; дослідження інсоляції і її впливу на будівлю [5]; тепломасообмін у пористих середовищах [6], зокрема в теплоізоляційних та будівельних матеріалах [7]; теплообмін, аеро(гідро)динаміка і нестійкість потоку теплоносіїв [8]; процеси акумулювання енергії; розроблення інноваційних технологій та інженерних систем енергозабезпечення і створення мікроклімату [9, 10]; дослідження будівельної теплофізики спеціальних споруд; вплив будівель на глобальне потепління клімату [11]. Результати цих досліджень відображено в численних статтях та узагальнено в 15 монографіях, більшість з яких видрукувано у видавництві «Наукова думка».

Отримані результати з часом дозволили сформулювати новий науковий напрям — фундаментальну теплофізичну інженерію будівель.

Сучасна фундаментальна теплофізична інженерія будівель — це сфера діяльності науковців, інженерів, технологів і енергоменеджерів, яка комплексно поєднує дослідження з фізики, математики, хімії, а також економіки та екології з метою розроблення інноваційних енергоефективних рішень для кінцевого споживання і дисипації енергії в будівлях. Цей напрям пов'язаний із ширшим колом енергетичних проблем і, безумовно, їх ефективних рішень в епоху глобальних фінансових, економічних, екологічних та енергетичних криз, часто зумовлених невгамовним прагненням невпинно зростаючого населення світу до подекуди невиправдано і необґрунтовано завищеного рівня комфорту життя, особливо в багатих розвинених країнах. Енергетика стала не лише кровоносною системою економіки, а й основною базою зростання (або незростання) рівня комфорту людей, насамперед так званого «золотого» мільярду населення Землі.

Серед отриманих в ІТТФ НАН України фундаментальних результатів слід відзначити такі:

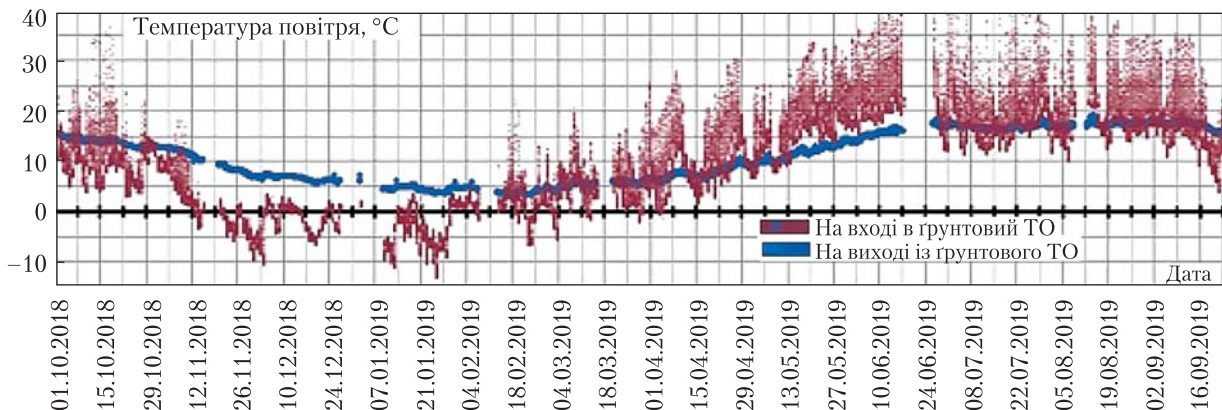


Рис. 1. Динаміка зміни температури повітря в ґрунтовому теплообміннику системи вентиляції впродовж року

- у розрахункових дослідженнях показано, що для клімату м. Київ на фасади будівель південної орієнтації завдяки інсоляції додатково надходить до 30 % теплоти, необхідної для опалення [6];

- розрахункові локальні коефіцієнти тепловіддачі фасадної стіни відрізняються від рекомендованих для інженерних розрахунків усереднених показників ДСТУ, тому для проектування систем опалення пасивних будівель необхідно використовувати комерційні комп'ютерні пакети розрахунку дисипативних тепловтрат;

- застосування клейового утеплення на основі теплоізоляційних матеріалів з високою паропровідністю дозволяє уникнути появи зон конденсації парів води і підвищує ресурс експлуатації будівлі;

- утеплення фасадів будівлі зменшує розтягувальні напруження зовнішньої поверхні фасадної стіни, зумовлені градієнтом температури і вологості, і збільшує стискальні напруження внутрішньої поверхні, запобігаючи тим самим виникненню мікротріщин, що підвищує ресурс експлуатації будівлі [12];

- збільшення відстані між стеклами в склопакеті вікна приводить до появи вихорів та інших збурень потоку, які впливають на термічний опір конструкції [13, 14];

- використання для рекуперативної вентиляції каналного ґрунтового теплообмінника приводить до того, що повітря на виході з ньо-

го має температуру впродовж року в діапазоні від +2 °С до +18 °С за відповідних вхідних температур у межах від -18 °С взимку до +37 °С влітку (рис. 1). Така геотермальна вентиляція взимку сприяє роботі системи опалення, а влітку — системи кондиціонування. Більш того, на основі природної теплоти ґрунту змодельовано і реалізовано за допомогою насипних ґрунтових теплообмінників теплову повітряну завісу для фасадів і даху будівлі [15, 16];

- визначено оптимальну геометрію положення віконної конструкції по товщині віконної пройми. Показано доцільність встановлення додаткового теплоізоляційного коробу між віконною конструкцією і віконною проїмою фасадної стіни [6];

- використання в опалювальному пристрої як робочого тіла CO<sub>2</sub> і оригінальної системи оребрення дозволяє істотно інтенсифікувати вільноконвективний теплообмін у вертикальному шарі між таким конвектором і внутрішньою поверхнею фасадної стіни;

- проведено моделювання теплопередачі в інноваційних розробках різноманітних теплих «водяних» підлог [17];

- проведено енергетичний моніторинг будівель та їх інженерних систем за допомогою мобільної вимірювальної лабораторії й ліцензійних програм ENSI (Норвегія) та AUDYTOR OZC (Польща);

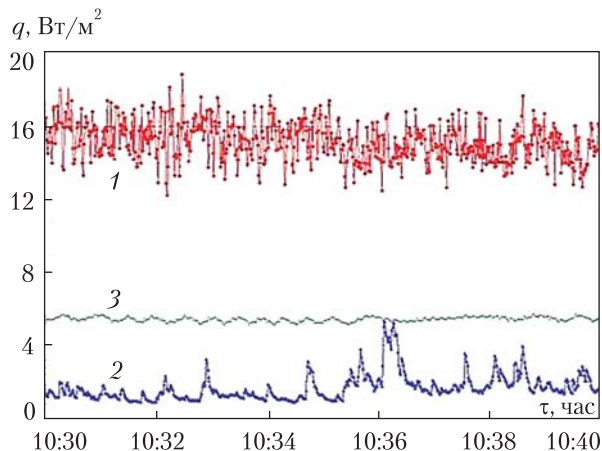
- із застосуванням чисельного моделювання проведено аналіз температурного стану підваль-



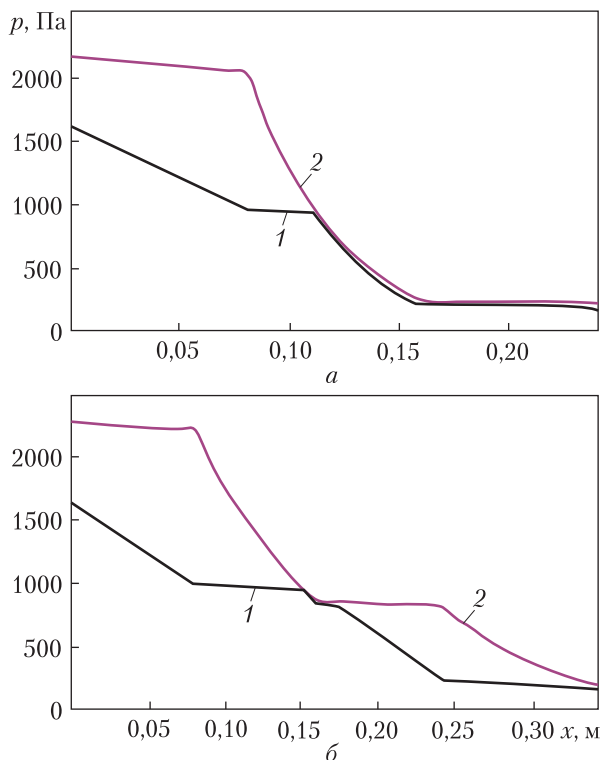
них приміщень будинків, визначено рівні теплових втрат через ці приміщення, оцінено їх вплив на загальні обсяги теплових втрат будівлі.

На рис. 2 наведено типові дані для питомого теплового потоку через фасадну бетонну сендвіч-панель адміністративного корпусу ІТТФ НАН України, утеплену шаром екструзійного пінополістиролу завтовшки 10 см. Коливання теплового потоку на внутрішній поверхні стіни всередині приміщення (крива 1) і зовні фасаду в доквіллі (крива 2), а також у зоні між несучою фасадною стіною і утеплювачем (крива 3) зумовлені насамперед динамікою локальної швидкості повітряного потоку і температури доквіллі. Вимірювання проводили з періодичністю одне значення в 1 с. Клеєві фасадні утеплення є мінівентильованими повітряними вільноконвективними фасадами, а тому сприяють зменшенню кількості вологи як у стіновій конструкції, так і в утеплювачі. Вони можуть бути керованими завдяки змінненню витрат повітря у вертикальному пласкому каналі (зазор 8–15 мм — товщина мостиків клею) між несучим фасадом і внутрішньою поверхнею приклеєного утеплювача.

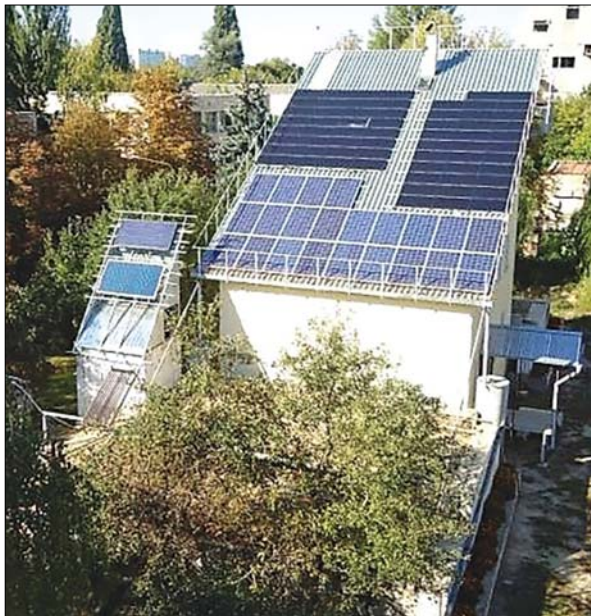
Загалом утеплення є необхідною умовою термомодернізації. Достатньою умовою є створення належного вологісного режиму стінової конструкції. Результати моделювання вологісного режиму фасадної конструкції з шаром утеплення та без нього наведено на рис. 3. Там розглянуто реальну тришарову (а у варіанті утеплення — чотиришарову) конструкцію фасадної стіни: стінка — 8 см бетону, далі 8 см мінеральної вати, потім знову стінка 8 см бетону, потім 10 см утеплювача (мінвата),  $t_{\text{внутр}} = +20^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{зовн}} = -15^\circ\text{C}$ . Для заданих температур у приміщенні і в доквіллі в неутепленій фасадній стіні при  $x \geq 11$  см відбувається конденсація парів води з повітря (криві 1 і 2 збігаються), а при  $x \geq 13$  см температура стає мінусовою, тобто можливе замерзання крапельної вологи, а отже, льодоутворення, поява і розширення мікротріщин та втрата міцності. За наявності утеплення при  $x \approx 16$  см також є невеличка зона конденсації, однак у ній  $t \approx 5^\circ\text{C}$ , а тому лід не утворюється.



**Рис. 2.** Динаміка в часі питомого теплового потоку  $q$  через фасадну стінову конструкцію північної орієнтації, утеплену пінополістиролом: 1 — на внутрішній поверхні стіни всередині приміщення; 2 — зовні фасаду в доквіллі; 3 — в зоні між фасадною стіною і утеплювачем



**Рис. 3.** Розподіл тиску парів води за товщиною  $x$  бетонної сендвіч-панелі фасаду адмінкорпусу ІТТФ НАН України без шару утеплення (а) та з шаром утеплення (б): 1 — парціальний тиск; 2 — тиск насичення за відповідної температури



**Рис. 4.** Вид зверху на експериментальний пасивний будинок типу «нуль енергії» ІТТФ НАН України. На даху зліва — теплові сонячні колектори, справа — електричні PV-панелі

Теоретичне моделювання теплофізичних процесів здійснювали на основі аналітичних розрахунків та за допомогою комерційних комп'ютерних пакетів, а також розробленої оригінальної програми, основаної на методі контрольного об'єму. Для розв'язання отриманої цим методом системи лінійних алгебраїчних рівнянь застосовували алгоритм SIMPLE (для тривимірних задач) і матричної прогонки (для двовимірних задач).

Експериментально-вимірювальна база ІТТФ НАН України складається з комплексу стендів з теплонасосних технологій; полігону ґрунтових теплообмінників; комплексу різноваріантних енергоефективних віконних конструкцій; полігону фасадних утеплень із різних термоізоляційних матеріалів; полігону теплих «водяних» підлог і стін; метеостанцій і піранометрів для вимірювання інсоляції; розроблених датчиків і портативних систем цілодобового автоматизованого моніторингу теплофізичних параметрів об'єктів. Створено й успішно експлуатуються 4 оригінальні індиві-

дуальні теплові пункти для основних корпусів інституту.

Для дослідження інноваційних науково-технічних заходів з підвищення енергоефективності будівель розроблено, побудовано на території ІТТФ НАН України й експлуатується унікальний експериментальний будинок пасивного типу (рис. 4) як повномасштабний науково-дослідний стенд фундаментальної теплофізичної інженерії для вивчення теплофізичних властивостей перспективних теплоізоляційних будівельних матеріалів у реальних умовах їх експлуатації; будівельних фасадних конструкцій із них та розроблених в ІТТФ НАН України інноваційних систем енерго(ресурсо)забезпечення. Загальна опалювана площа будинку становить  $306 \text{ м}^2$ , тобто це аналог котеджу для середнього класу населення.

Будинок та його автоматизовані інженерні системи автономного енергозабезпечення обладнано численними датчиками (температури, теплового потоку, вологості, тиску, лічильниками енергії тощо) та системою неперервних автоматизованих діагностичних вимірювань і архівування параметрів стану (середня скважність вимірювань — раз на 10 хв). Моніторинг експлуатації будинку впродовж 7 років показав, що експериментальні питомі тепловтрати через стінові фасади будинку за температури довілля  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  становлять лише  $1,2\text{--}1,8 \text{ Вт/м}^2$ , а опір теплопередачі стінових фасадних конструкцій зріс до  $11,5 \text{ м}^2\cdot\text{K/Вт}$ , що втричі вище за чинні вимоги ДБН В.2.6-33:2021. Опір теплопередачі світлопрозорих конструкцій підвищився до  $2,0 \text{ м}^2\cdot\text{K/Вт}$ , що в 2,2 раза перевищує чинний норматив.

Питоме річне теплоспоживання такого пасивного будинку становить  $14,8 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2\cdot\text{рік}$  за температури довілля взимку  $-1,1 \text{ }^\circ\text{C}$  (нормативна середня температура опалювального періоду для клімату м. Київ). Значимо, що в ЄС при більш сприятливому кліматі пасивний будинок споживає  $15 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2\cdot\text{рік}$ . Для опалення та гарячого водопостачання використовується теплонасосна ( $6 \text{ кВт}$ ) акумуляційна низькотемпературна система

(рис. 5). Джерелом низькопотенційної енергії слугує природна та/або закумульована тепло-та ґрунту чи води (у водозабірній свердловині). Для цього на території біля будинку збудовано полігон ґрунтових теплообмінників різної геометрії (горизонтальні неглибокого залягання, вертикальні; трубні багатопетльові, багатোধодові, свердловинні; об'ємні насипні; типу ґрунт-вода (рідина), ґрунт-вода-вода, ґрунт-повітря). Як додаткове джерело теплоти використовуються сонячні теплові колектори (плоскі, трубно-вакуумні). Опалювальними приладами є теплі водяні підлоги різної геометрії укладки, зокрема капілярна підлога, тепла стіна, теплий простінок, підлогові та настінні фанкойли. Електропостачання забезпечується сонячними BAPV-панелями загальною площею 80 м<sup>2</sup> і номінальною потужністю 10 кВт (фотомодулі на полікристалічному кремнії та на тонких плівках з телуриду кадмію). Фотовольтаїку доповнює вітроагрегат Fortis Montana потужністю 5 кВт та блок гелевих акумуляторних батарей.

У будинку є кліматична камера реального клімату, яка дозволяє впродовж року проводити діагностику стану вікон, будівельних і теплоізоляційних матеріалів, конструкцій з них.

Кінцева практична мета проведених досліджень двоєдина: 1) сприяння і науково-технічний супровід програми відновлення зруйнованої війною інфраструктури країни; 2) розроблення підходів та інновацій для створення «розумних» будинків і «розумних» міст — цифровізація сфери будівель, адже в середньому пересічна сучасна людина 90 % часу проводить у будівлях. Сьогодні з'явилася нова наука — домотика, наука про злиття середовища життєдіяльності людини з досягненнями інформаційних технологій, про інтелектуальне керування елементами комфорту локального навколишнього простору перебування людини.

Як приклад на рис. 6 наведено схему устрою типового «розумного» будинку [18]. Привертають увагу блоки незалежного енергоживлення (обведені червоним) — паливний елемент, power-bank відповідної ємності і потужності та електромобіль з двонаправленою лінією



**Рис. 5.** Фрагмент теплонасосної системи теплозабезпечення будинку на основі теплоти ґрунту

підключення: для зарядки і для живлення будинку від батареї авто в разі аварійної ситуації. Така система автономного енергозабезпечення підвищує стійкість і живучість будівлі в кризових ситуаціях. Кінцевою метою архітекторів та будівельників є створення «розумних» міських мікрорайонів і цілих міст, таких як, наприклад, місто Фудзісава (Японія). Цей проєкт розпочався ще в 2010 р. під патронатом фірми Panasonic і досі поступово та послідовно розбудовується.

У найближчій перспективі ІТТФ НАН України має на меті виконати такі роботи:

- розробити концептуальні підходи до визначення індикаторів енергоефективності будівель з урахуванням не лише теплоспоживання, а й кондиціонування, електроспоживання, параметрів клімату та особливостей функціонального призначення споруди;

- встановити поточні і перспективні показники будівлі з майже нульовим споживанням енергії для умов України;

- спільно з галузевими науковими установами під егідою Мінінфраструктури України розробити й впровадити вітчизняну (або адаптувати ефективну закордонну) єдину по країні розрахункову комп'ютерну програму енергоаудиту будівель (житлових, громадських, комерційних, муніципальних, бюджетної сфери тощо) та інженерних систем їх ресурсо-



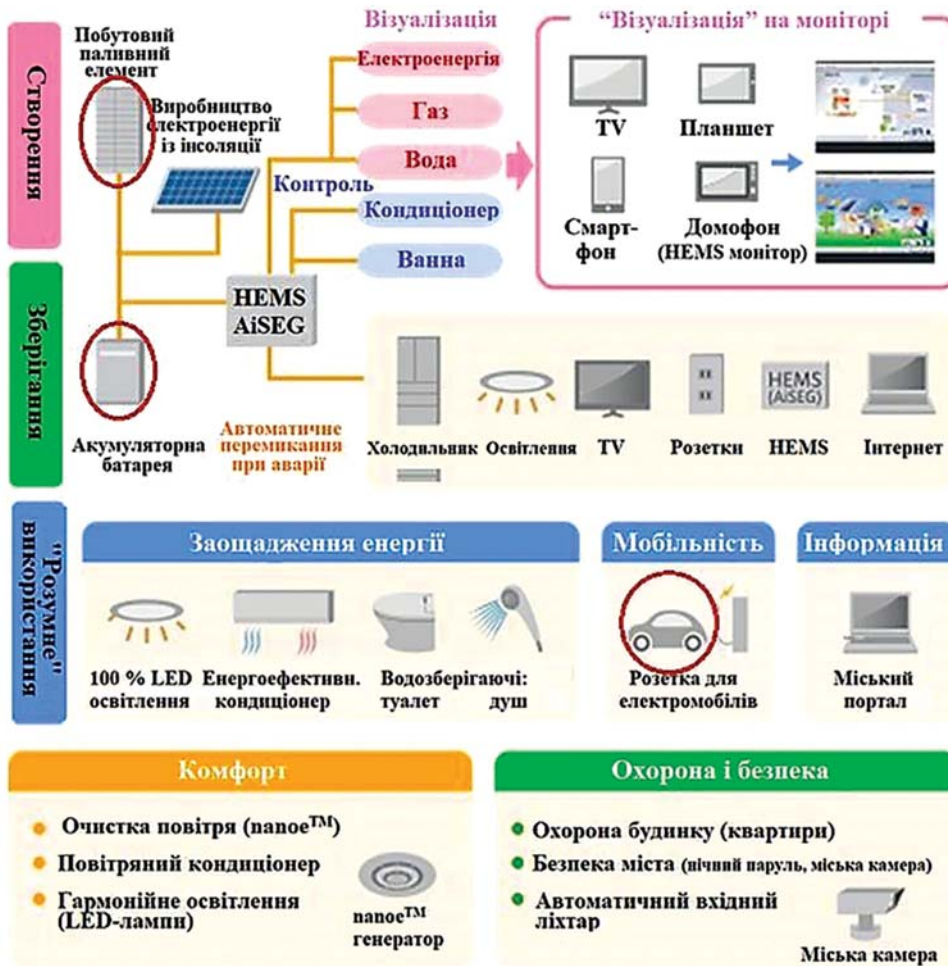


Рис. 6. Компонування елементів «розумного» будинку з незалежним та симбіотичним керуванням енергією в Fuji-sawa Sustainable Smart Town

BEEMS, HEMS – Building (Home) Energy Management System (домашня енергетична обслуговуюча система)  
 AiSEG (домашній інтернет речей (IoT))  
 LED - Light-emitting diode – світлодіодна лампа

(енерго)забезпечення; розробити пропозиції щодо головної організації-утримувача з функціями постійної підтримки програми та її оперативного оновлення з урахуванням поточного стану енергоефективності;

- спільно з галузевими науковими установами розробити і впровадити загальнодержавну розрахункову комп'ютерну програму моніторингу та діагностики енергоефективності будівель;

- провести теоретичні та експериментальні дослідження перспективних інноваційних продуктів: вакуумних стінових сендвіч-панелей; вакуумних склопакетів; теплоventильованих вікон; BIPV-фасадів і BIPV-вікон; вікон з

наноаерогелевим наповнювачем. Оптимізація тепловтрат через віконні світлопрозорі конструкції є надзвичайно важливим завданням, адже вікна — це найслабша ланка фасадів, на них припадають найбільші питомі (на одиницю площі) втрати теплоти.

Крім того, вкрай важливою є освітня і провітницька робота. Результати досліджень установ Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України стали об'єктом уваги Мініенерго та Мініфраструктури України. Впровадження інноваційних технологій комунального енергозабезпечення, особливо відновленої після війни інфраструктури, потребує підготовки (перепідготовки, підвищен-

ня кваліфікації) відповідних кадрів. В Інституті розроблено 120-годинний дистанційний лекційний курс з теплофізичної інженерії. До його викладання можна залучити фахівців з інших інститутів Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України, а об'єднавчою інституцією може стати Комітет з енергоефективності при Торгово-промисловій палаті України (або УСПП України чи Комітет Держенергоефективності України). Основу занять становитиме ознайомлення з експериментальними стендами і технологічними установками, новітніми інноваційними напрацюваннями, а також світовими досягненнями фундаментальної енергетичної інженерії. Курс

розрахований на широке коло слухачів, охочих підвищити свою кваліфікацію з енергетики і енергоефективності, зокрема держслужбовців обласних і районних адміністрацій, викладачів енергетичних спеціальностей у закладах вищої освіти, представників енергетичного бізнесу тощо. Заклади вищої освіти також мають удосконалити роботу з підготовки фахівців за спеціальностями «енергоефективність», «енергоефективність будівель», «енергоаудит», «енергомоніторинг», «енергоменеджмент». А вся наукова сфера країни повинна постійно пропагувати енергоощадний стиль життя кожного громадянина і суспільства в цілому як доміную стійкого розвитку.

## REFERENCES

## [СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Energy Statistics Data Browser. IEA, 2022. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=UKRAINE&fuel=Energy%20consumption&indicator=TFCShareBySector>
2. Kyrylenko O.V., Snezhkin Y.F., Basok B.I., Bazyeev Y.T. Ukraine's energy: probable scenarios of recovery and development. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2022. (9): 22–37. <https://doi.org/10.15407/visn2022.09.022>  
[Кириленко О.В., Снежкін Ю.Ф., Басок Б.І., Базєєв Є.Т. Енергетика України: ймовірні сценарії відновлення та розвитку. *Вісник НАН України.* 2022. № 9. С. 22–37.]
3. Kyrylenko O.V., Snezhkin Y.F., Basok B.I., Bazyeev Y.T. Energy, science and engineering: current state and development challenges. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2023. (4): 3–20. <https://doi.org/10.15407/visn2023.04.003>  
[Кириленко О.В., Снежкін Ю.Ф., Басок Б.І., Базєєв Є.Т. Енергетика, наука та інженерія: сучасний стан і виклики розвитку. *Вісник НАН України.* 2023. № 4. С. 3–20.]
4. Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine. <https://www.slideshare.net/rstofficial/ltrs10082022pdf>  
[Міністерство розвитку громад та територій України. Офіс підтримки реформ. Презентація Довгострокової стратегії термомодернізації до 2050 року.]
5. Basok B.I., Nakorchevsky A.I. *Teplofizika vliyaniya solnechnogo izlucheniya na zdaniya (Thermal physics of the influence of solar radiation on buildings)*. Kyiv: Naukova Dumka, 2016.  
[Басок Б.І., Накорчевский А.И. *Теплофизика влияния солнечного излучения на здания.* Київ: Наукова думка, 2016.]
6. Basok B., Davydenko B., Koshlak H., Novikov V. Free Convection and Heat Transfer in Porous Ground Massif during Ground Heat Exchanger Operation. *Materials.* 2022. **15**(14): 4843. <https://doi.org/10.3390/ma15144843>
7. Basok B., Davydenko B., Pavlenko A.M. Numerical network modeling of heat and moisture transfer through capillary porous building materials. *Materials.* 2021. **14**(8): 1819. <https://doi.org/10.3390/ma14081819>
8. Avramenko A.O., Basok B.I., Davydenko B.V. *Termohydrodynamichna nestiykist u teplovykh protsesakh (Thermohydrodynamic instability in thermal processes)*. Kyiv: Naukova Dumka, 2022.  
[Авраменко А.О., Басок Б.І., Давиденко Б.В. *Термогідродинамічна нестійкість у теплових процесах.* Київ: Наукова думка, 2022.]
9. Karp I.M., Nikitin E.E., Basok B.I. et al. *Stan ta shlyakhy rozvytku system tsentralizovanoho teplopostachannya v Ukraini (The state and ways of development of centralized heat supply systems in Ukraine)*. Vol. 2. Kyiv: Naukova Dumka, 2022.  
[Карп І.М., Нікітін Є.Є., Басок Б.І. та ін. *Стан та шляхи розвитку систем централізованого теплопостачання в Україні.* Т. 2. Київ: Наукова думка, 2022.]

10. Basok B.I., Novoseltsev O.V., Dubovskiy S.V., Bazyeev Y.T. *Teplozabezpechennya naselenykh punktiv. Enerhoefektyvnist', innovatsiyi, enerhomenedzhment (Heat supply of settlements. Energy efficiency, innovations, energy management)*. Kyiv: Naukova Dumka, 2020.  
[Басок Б.І., Новосельцев О.В., Дубовський С.В., Базєєв Є.Т. *Теплозабезпечення населених пунктів. Енергоефективність, інновації, енергоменеджмент*. Київ: Наукова думка, 2020.]
11. Basok B.I., Bazyeev Y.T., Dubovskiy S.V. *Enerhetyka ta hlobal'ne poteplinnya (Energy and global warming)*. Kyiv: Naukova Dumka, 2021.  
[Басок Б.І., Базєєв Є.Т., Дубовський С.В. *Енергетика та глобальне потепління*. Київ: Наукова думка. 2021.]
12. Basok B.I., Davydenko B.V., Koshlak H.V., Lysenko O.M. Influence of the heat insulation layer on the thermally stressed condition of the facade wall. *Production Engineering Archives*. 2022. **28**(2): 123–131. <https://doi.org/10.30657/pea.2022.28.14>
13. Basok B., Davydenko B., Novikov V. et al. Evaluation of Heat Transfer Rates through Transparent Dividing Structures. *Energies*. 2022. **15**(13): 4910. <https://doi.org/10.3390/en15134910>
14. Basok B.I., Davydenko B.V., Kuzhel L.M. et al. *Teploperedacha cherez vikonni konstruktsiyi (Heat transfer through window structures)*. Kyiv: Naukova Dumka, 2022.  
[Басок Б.І., Давиденко Б.В., Кужель Л.М. та ін. *Теплопередача через віконні конструкції*. Київ: Наукова думка, 2022.]
15. Basok B., Bozhko I., Novitska M., Nedbailo A., Tkachenko M. Numerical modeling and experimental studies of the operational parameters of the earth-to-air heat exchanger of the geothermal ventilation system. *Rocznik Ochrona Środowiska*. 2021. **23**: 42–64. <https://doi.org/10.54740/ros.2021.003>
16. Basok B., Pavlenko A., Bozhko I. et al. Analysis of the Energy Efficiency of the Earth-To-Air Heat Exchanger. *Rocznik Ochrona Środowiska*. 2022. **24**: 202–213. <https://doi.org/10.54740/ros.2022.015>
17. Nedbailo O., Basok B., Bozhko I., Novitska M. Energy Saving through Automation of the Lightweight Floor Heating System. *Civil Engineering and Architecture*. 2023. **11**(2): 930–938. <https://doi.org/10.13189/cea.2023.110229>
18. Bringing energy to life. Fujisawa Sustainable Smart Town. 2023. [https://fujisawasst.com/EN/wp\\_en/wp-content/themes/fujisawa\\_sst/pdf/FSST-ConceptBook.pdf](https://fujisawasst.com/EN/wp_en/wp-content/themes/fujisawa_sst/pdf/FSST-ConceptBook.pdf)

Boris I. Basok

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

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

#### FUNDAMENTAL THERMOPHYSICAL ENGINEERING OF BUILDINGS IN THE CONTEXT OF RECOVERY OF UKRAINE

According to the materials of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, April 5, 2023

The report analyzes the experience of the Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine in conducting the works in the area of fundamental thermophysical engineering of buildings and structures with the aim of bringing them to the state of passive buildings, “zero energy” buildings, “smart” buildings providing that their energy sustainability is increased and greenhouse gas emissions are minimized. The results of these studies are aimed at solving urgent and strategically important scientific and technical problems related to a significant increase in the energy efficiency of existing, reconstructed and newly constructed buildings and structures of Ukraine in accordance with the requirements of the EU energy and climate legislation.

**Cite this article:** Basok B.I. Fundamental thermophysical engineering of buildings in the context of recovery of Ukraine. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2023. (6): 62–72. <https://doi.org/10.15407/visn2023.06.062>