

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРИВАТНИХ БУДІВЕЛЬ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

INNOVATIVE APPROACHES TO THE MODERNIZATION OF PRIVATE BUILDINGS AND ENSURING THEIR ENERGY EFFICIENCY

Назаренко О.М. к.т.н., доцент, ORCID0000-0002-5116-3171, **Якімцов Ю.В.**, к.т.н., доцент ORCID 0000-0001-9960-5189, **Лозовий Ю.Є.**, магістрант ORCID 0000-0001-7693-9549 (Національний університет «Запорізька політехніка»), **Лозова Н.В.**, приватний підприємець, ORCID 0000-0001-8296-0475

Nasarenko O.M., candidate of technical sciences, associate professor, Department of construction production and project management, **Yakimtsov Y.V.**, candidate of technical sciences, associate professor department of labor protection and environment, **Lozovyi Y.E.**, Student Department of construction production and project management (National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukrain, **Lozova N.V.**, private entrepreneur

В статі констатовано, що проблема енергоефективності носить глобальний характер. Тож, країнами світу вже не перший рік здійснюються конкретні кроки щодо вирішення цієї проблеми та збереження планети. Україна цілком підтримує такі прагнення та не лишається осторонь. Наразі урядом країни розроблено багато секторальних стратегій, що містять кліматичні елементи — екологічні, енергетичні, транспортні тощо. Узгоджено й крос-секторальні стратегічні документи — Національна економічна стратегія до 2030 року, Національно визначений внесок України до Паризької кліматичної угоди (НВВ2), Національний план з енергетики та клімату (НПЕК) та ін., синхронізовані як одна з одною, так і з євроінтеграційними пріоритетами та політичними цілями. Натомість у вирішенні проблеми енергоефективності будівель опіка переважно надається промисловому сектору, приватний же (зі значною часткою у структурі енергоспоживання в країні) лишається практично поза увагою. Поточні ж витрати енергоносіїв, перевищення лімітів, здороощання ресурсів та можливе їх обмеження вимагають на термінове застосування новітніх науково-технологічних розробок в сфері енергоефективності. Світовий досвід доводить, що запровадження новітніх технологій дозволяє скоротити споживання енергії від 10 до 20%. Тож, українським домогосподарствам не варто їх ігнорувати, а, навпаки, слід деталізовано вивчити та визначитись з доцільністю їх

запровадження у вітчизняній практиці. В даній роботі на прикладі конкретного приватного будинку проведено аналіз теплоефективності будівлі. Здійснено трендовий аналіз тепературного режиму і швидкості вітру та встановлено їх вплив на обсяги споживання газу. Висвітлено результати енергетичного аудиту та термографічної зйомки частини будинку. Коротко охарактеризовано технологію ThermoTerra SmartWall та визначено доцільність її застосування українськими домогосподарствами задля забезпечення енергоефективності будівель. Обґрунтовано, що покращення теплотехнічного оснащення будинку та застосування новітньої технології ThermoTerra дозволить кожному власнику приватного будинку не тільки заощадити свої кошти, але й встояти перед викликами сьогодення. У разі застосування на практиці ряду пропозиції, це дозволить отримати економічний ефект, екологічний ефект, енергозберігаючий ефект та комфорт як для власника.

The article states that the problem of energy efficiency is global in nature. Therefore, the countries of the world have been taking concrete steps to solve this problem and save the planet for many years. Ukraine fully supports such aspirations and does not stand aside. Currently, the government of the country has developed many sectoral strategies that contain climate elements - environmental, energy, transport, etc. Cross-sectoral strategic documents have also been agreed - the National Economic Strategy until 2030, the Nationally Determined Contribution of Ukraine to the Paris Climate Agreement (NDC2), the National Energy and Climate Plan (NECP), etc. Instead, in solving the problem of energy efficiency in buildings, the industrial sector is mainly taken care of, while the private sector (with a significant share in the structure of energy consumption in the country) remains practically neglected. Current energy consumption, exceeding of limits, increase of resources and their possible limitation require urgent application of the latest scientific and technological developments in the field of energy efficiency. World experience proves that the introduction of the latest technologies can reduce energy consumption by 10 to 20%. Therefore, Ukrainian households should not ignore them, but, on the contrary, should study in detail and determine the feasibility of their introduction in domestic practice. This paper analyzes the thermal efficiency of a building on the example of a specific private house. A trend analysis of the temperature regime and wind speed was carried out and their impact on gas consumption was determined. The results of energy audit and thermographic survey of a part of the house are presented. The ThermoTerra SmartWall technology is briefly described and the feasibility of its application by Ukrainian households to ensure energy efficiency of buildings is determined. It is substantiated that the improvement of the heat engineering equipment of the house and the use of the latest ThermoTerra technology will allow each owner of a private house not only to

save their money, but also to withstand the challenges of today. In the case of practical application of a number of proposals, it will allow to obtain an economic effect, environmental effect, energy-saving effect and comfort for the owner.

Ключові слова: енергоефективність, енергетичний аудит, технологія ThermoTerra, конопляний бетон, енергетичне навантаження
energy efficiency, energy audit, technology ThermoTerra, hemp concrete, energy load

Вступ. В Україні проблема енергоефективності будівель наразі стоїть дуже гостро. Війна ще більше її загострила. В умовах сьогодення майже всім власникам приватних будинків доводиться вирішувати проблему енергоефективності, через високі ціни на енергоносії та обмеження їх доступності через дії агресора.

За змістом поняття «енергоефективності» передбачає розсудливе, доцільне використання енергетичних запасів. Простіше кажучи, енергоефективність – це використання меншої кількості енергії при тому ж рівні комфорту в приміщенні та будівлі. А відповідно, чим менше енергії витрачається, тим менші суми платежів. На тлі зростання вартості енергоносіїв саме цей аргумент є головним стимулом, який спонукає людей займатися енергомодернізацією власного житла.

Натомість, від впровадження енергоефективних заходів у вигаши залишаються практично всі, адже це не лише дозволяє значно скоротити комунальні витрати для населення, а й заощадити енергоресурси та обмежити викиди парникових газів в атмосферу [1]. Тож, питання пошуку шляхів забезпечення енергоефективності будівель є нагальним питанням сьогодення, чим саме і обґрунтовується актуальність обраної тематики дослідження.

Стан питання та задачі дослідження. Забезпечення впровадження заходів з енергоефективності є одним із основних завдань уряду України. Багато уваги цьому питанню приділяється у програмних документах, на яких базується комплексна трансформація соціально-економічних відносин, що відбувається зараз у країні. Серед них Національна економічна стратегія до 2030 року [2], Національно визначений внесок України до Паризької кліматичної угоди (НВВ2) [3], Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 р. [4]. Натомість, окрім урядовців у вирішенні даного питання активну участь приймають і науковці та практики, серед яких активно проводять дослідження Назаренко О.М., Назаренко І.А., Іщенко О.С., Бесараб Т.М., Кулік М.В. [5] та ін. Однак, стрімке зростання потреби в енергоресурсах потребує на постійний пошук шляхів енергозбереження та енергоефективності, оскільки подальше збереження існуючих тенденцій росту обсягів споживання енергоресурсів може привезти до критичних змін в

економіці, подальшого зниження рівня життя населення та, як наслідок, до подальшого технологічного відставання країни від розвинених країн.

Мета – проаналізувати енергоефективність типового приватного будинку, визначити проблеми та запропонувати шляхи їх вирішення. Розглянути прогресивні зарубіжні технології з метою їх адаптації до умов приватного будівництва в Україні.

Методика досліджень. В процесі дослідження використано: метод абстрагування – при зосередженні на важливих факторах впливу на енергоефективність будівель домогосподарств; трендового аналізу – при вивченні динаміки температурного режиму, швидкості вітру та обсягів споживання газу; графічний – для забезпечення наочного подання термографічної зйомки частини будівлі; синтезу – для поєднання пов’язаних один з одним елементів в єдине ціле; узагальнення – при формуванні висновків за результатами проведеного дослідження.

Виклад основного матеріалу. Результати енергетичного аудиту приватної будівлі свідчать про перевищену втрату в тепловій енергії. Будинок збудований у 1991 році, стіни його товщиною в 2,5 цеглини, без утеплювачів. Великі вікна з дерев’яними рамами, двосхилий дах з неутепленим горищем, дерев’яні старі двері. Помісячне споживання газу за 2019-2021 рр. представлено в табл. 1. В даній роботі ми провели аналіз теплоефективності приватного будинку (табл.1).

Для аналізу тепловитрат в залежності від погодних умов в таблицю додано середні помісячні температури навколишнього середовища та швидкості вітру [6].

Таблиця 1

Споживання природного газу протягом 2019-2021 рр.

Місяць	Роки								
	2019			2020			2021		
	середньомісячна температура, С°	середньомісячна швидкість вітру, м/с	споживання газу, м³	середньомісячна температура, С°	середньомісячна швидкість вітру, м/с	споживання газу, м³	середньомісячна температура, С°	середньомісячна швидкість вітру, м/с	споживання газу, м³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
січень	-4,5	4,5	1010	0,8	4,7	1000	-2,5	4,6	1005
лютий	0,6	4,6	998	2,5	4,3	920	-4,7	4,7	1001
березень	5,1	4,6	750	6,5	4,9	742	2,7	5	820
квітень	7,5	4	600	6,6	5	650	6,6	4,5	640
травень	14,5	3,5	354	15	4,1	340	15,3	4	320
червень	21,6	4,1	24	21,8	3,7	23	22,7	3,9	21

продовження									
липень	25,1	3	23	25,4	3,9	24	24,3	4	24
серпень	28,2	4,2	25	27,9	4,4	25	28,2	4,2	23
вересень	17,3	3,9	23	16,8	4,1	21	17,4	4,3	25
жовтень	7,1	4,1	368	9,8	4,2	370	7,3	4,4	360
листопад	4,6	4,4	540	3,8	4,6	600	4,8	4,5	590
грудень	2,7	4,5	865	-0,6	5	945	-1,6	4,9	950
	Всього		5580	Всього		5660	Всього		5779

В графічному вигляді споживання природнього газу за 2019-2021 роки житлового будинку 120 м².



Рис. 1. Споживання газу за 2019-2021рр., м³

З приведених вище розрахунків бачимо, що споживання газу для опалення будинку складає більше 5000 м³ газу щорічно. Тобто, щоб обігріти 1 м² будинку потрібно понад 40 м³ газу.

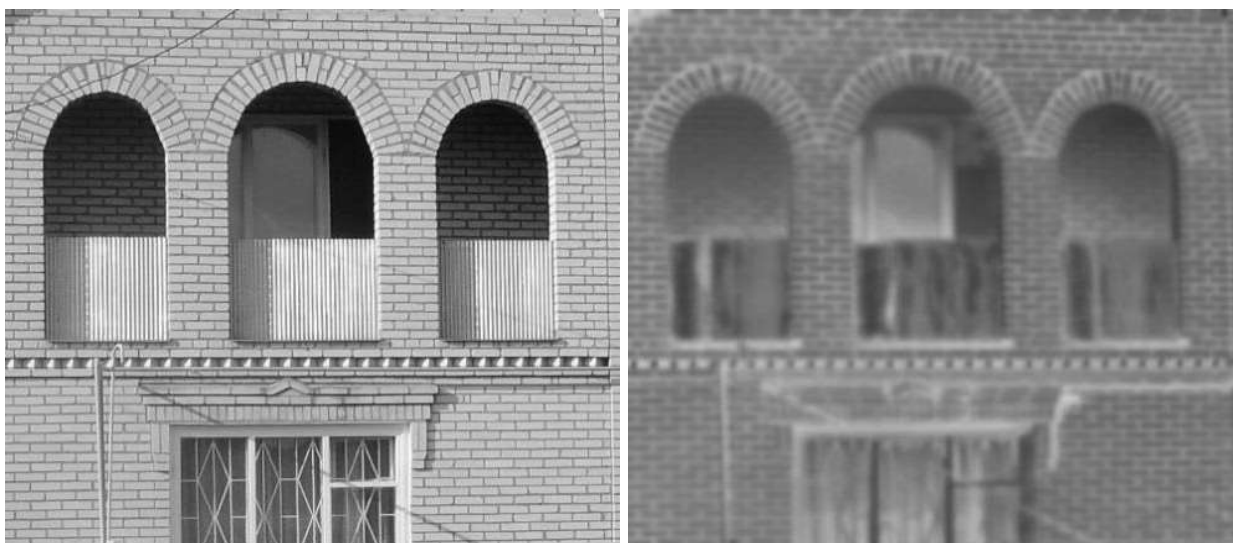


Рис. 2. Термографічна зйомка частини приватного будинку

Головними причинами тепловтрат – є низька якість будівельних конструкцій (стін, вікон, горищних перекриттів). Через них відбувається витік тепла в навколишнє середовище. Застаріла система опалення, неякісний газ, що постачається до споживача ведуть домогосподарства в прірву.

Тому для покращення теплоефективності приватного будинку вважаємо доцільним:

1. Здійснення стандартних процедур (утеплення стін, заміна вікон). Досліджено, що через стіни відбувається втрата від 25 до 40 % тепла, тому для підвищення енергоефективності приватного будинку, необхідно зовні встановлювати шар утеплення – це зміщує точку промерзання і знижує тепловтрати.

Матеріали, які можуть застосовуватися для облицювання:

1. Мінераловатні - базальтова або кам'яна вата, шлаковата або скловата.
2. Полістирольні - полістирол або пінопласт.

Оскільки у досліджуваного будинку дерев'яні старі вікна, то обов'язковим вважаємо встановлення металопластикових енергозберігаючих вікон, що дозволить мінімізувати повітрообмін між приміщенням і зовнішнім середовищем та скоротити, пов'язані з ним тепловтрати на 15 – 20%. При цьому важливо вибрати якісний склопакет і правильно його встановити, щоб уникнути втрат тепла, викликаних неправильним монтажем [7].

2. Модернізація системи теплогенерації має передбачати застосування новітньої ізраїльської системи ThermoTerra SmartWall «Активна ізоляція», яка за технічною характеристикою є персоналізованим кондиціонером зі збалансованою температурою, вологістю та якістю повітря. В основі розробки лежить ідея, яка отримала грант від Міністерства національної інфраструктури Ізраїлю [8].

Система ThermoTerra складається з трьох основних компонентів:

1. Резервуар для зберігання – спеціальний поглинаючий матеріал, упакований всередині стіни з повітряними каналами, призначеними для максимального потоку повітря.

2. Система вентиляторів, повітроводів і заслінок.

3. ActiveMemBrain, що складається з розумних датчиків IoT, контролера, алгоритмів і хмарних обчислень.

Використовуючи спеціальні матеріали, які можуть поглинати велику кількість води, ThermoTerra використовує коливання вологості, щоб «зарядити» ізоляційний матеріал, роблячи його більш сухим взимку або більш вологим влітку, а потім пропускати повітря через нього [9].

Дана інновація використовує невідповідність між сухим і вологим повітрям, зберігаючи «сухість» або «вологість» у гігроскопічному матеріалі. Коли навколишнє повітря сухіше або вологіше, ніж гігроскопічний матеріал, різниця потенційних енергій між вологою в повітрі та матеріалом може бути використана як спосіб транспортування тепла від матеріалу до повітря і навпаки. Одним із способів використання цієї енергії є опалення та

охолодження будівлі, усереднення добових або сезонних змін температури та вологості. Наприклад, велике сховище адсорбуючого матеріалу можна висушити під час спеки влітку та дати йому повторно адсорбувати воду в холодні зимові місяці, таким чином отримуючи тепло, яке можна використовувати для опалення будинку.

Система ThermoTerra SmartWall дозволяє контролювати потік вхідного повітря, щоб вибірково підбирати правильні умови вологості та активувати систему для обігріву чи охолодження саме тоді, коли це необхідно.

У спекотний день технологія ThermoTerra приносить тепле та сухе повітря в будинок. Воно зберігається всередині ізоляції стін будівлі — конопляний бетон, силікагель або утеплювач з деревної вати особливо добре вбирають вологу. Коли повітря згодом випаровується, воно поглинає енергію та охолоджує будівлю.

Коли температура нижча, надходить холодне та вологе повітря; поглинаючись, технологія нагріває повітря, обігріваючи будинок чи офіс.

Автоматична система контролю «підбирає» найвищі піки вологості та зберігає ці умови на моменти, коли це необхідно. Таким чином, система може забезпечити зміну температури на 15 градусів і більше, для обігріву та охолодження.

Система також може зберігати сухість або вологу протягом тривалого часу без витоків. Використовуваний матеріал може зберігати в 30 разів більше енергії, ніж може зберігатися в тепловій масі бетону за тієї ж ваги.

Зміна відносної вологості навколишнього повітря заряджає термохімічний запас енергії, який в подальшому може бути використаний для опалення та охолодження будівель, а також домашнього застосування.

Найпростіша форма термохімічного накопичення може бути описана такою парою реакцій:



де робочий матеріал АВ нагрівається, поки А і В не розділяються.

Коли необхідне тепло, А і В рекомбінуються в екзотермічному процесі, щоб отримати АВ і тепло.

У даному випадку сприйматомо природний адсорбуючий матеріал як А, а водяну пару в повітрі - як В.

Енергія поглинання — це тепло випаровування плюс енергія зв'язку, яка для основного адсорбуючого матеріалу становить близько 3500 кДж/кг.

Таким чином, один літр води, що змінює стан, може вивільнити або поглинути приблизно 1 кВт/год енергії [9].

Продукт, що розробляється, виглядає та поводить як звичайний утеплювач і може бути інтегрований у збірні стіни або ізоляційні панелі.

ThermoTerra SmartWall (рис. 3) є доповненням до збірних стін житлових і комерційних будівель. Стіна виготовлена з конопляного бетону компанією Bottz Grope, яка працює з матеріалом Tradica та методом напилення.

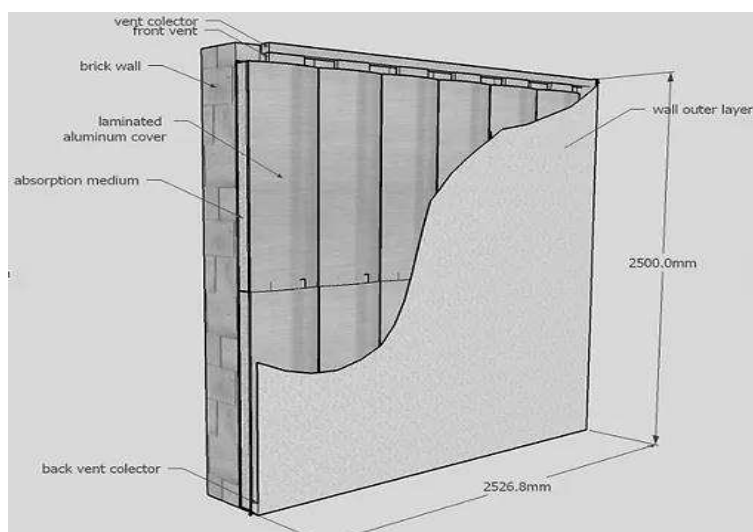


Рис. 3. ThermoTerra SmartWall []

Пасивна частина — це набір спеціальних повітряних каналів, вбудованих у стіну перед розпиленням конопляно-вапняної суміші.

Активною частиною є регульована повітродувка, яка максимізує природну здатність конопляного бетону поглинати та випускати вологу. Внутрішні повітряні канали значно збільшують площу поверхні для масообміну, тому за кілька годин стіна може поглинути або випустити вологу, на що в іншому випадку знадобилися б місяці. Активна частина контролює, коли і з якою інтенсивністю відбуватиметься масообмін [8].

Продукт покращує самопочуття, знижуючи витрати енергії. SmartWall створює персоналізований клімат із збалансованою температурою, вологістю та якістю повітря. Він зменшує витрати на опалення та охолодження до 50% завдяки використанню HumidityPower для збирання та зберігання енергії. SmartWall можна інтегрувати в багато різних будівельних методів і матеріалів, а також підлаштовувати під різні архітектурні вимоги.

ThermoTerra – це структура з повітроводів і трубопроводів, яку потрібно інтегрувати в нову стіну. У існуючих будівлях до стін можна додати новий фасад із вбудованою ізоляцією та повітроводами. Це може займати кілька сантиметрів, проте вплив на навколишнє середовище та фінансова економія є значними.

Розумний вентилятор, вставлений у стіну, керований алгоритмами, переміщує гаряче чи холодне повітря за потреби. Це єдина частина системи, яка вимагає електроенергії.

Досліджуючи природні коливання вологості, виявлено, що можна підвищити температуру у будівлі з 12 градусів за Цельсієм (53,6 за

Фаренгейтом) до 26 градусів (78,8 F). Постійно пропускаючи повітря через свою систему, ThermoTerra згладжує піки та спади так, що цикли температури та вологості є меншими, що створює комфортніше середовище [9].

Висновки та рекомендації. Таким чином, за результатами проведеного дослідження обґрунтовано, що запровадження на практиці запропонованих заходів із забезпечення енергоефективності приватного будинку, дозволить скоротити тепловтрати більш ніж на 50%. На конкретному прикладі доведено, що застосування новітньої ізраїльської технології ThermoTerra SmartWall надасть можливість відмовитися від газового опалення та досягти комфортного теплового режиму в будівлі завдяки поєднанню температури та вологості. Традиційні системи опалення та охолодження часто використовуються лише для впливу на температуру, іноді за рахунок погіршення умов вологості. Запропонована ж технологія може впливати на температуру та вологість одночасно. Таким чином, температурні умови максимально наближаються до бажаної зони комфорту.

Запровадження на практиці поданих пропозицій щодо забезпечення енергоефективності будівель дозволить приватним домогосподарствам вирішити теплоенергетичні проблеми сьогодення.

1. Енергоефективність. Як скористатися новими можливостями? URL: <https://www.hospodari.com/resources/153334>

Energy efficiency. How to take advantage of new opportunities? Retrieved from: <https://www.hospodari.com/resources/153334> [in Ukrainian].

2. Про затвердження Національної економічної стратегії до 2030 року. Постанова КМУ від 03.03.2021 р. №179. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-nacionalnoyi-eko-a179>

On approval of the National Economic Strategy until 2030. Resolution of the CMU dated 03.03.2021 No. 179. Retrieved from: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-nacionalnoyi-eko-a179> [in Ukrainian].

3. Національно визначений внесок України до Паризької кліматичної угоди. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/news/33080.html>

Ukraine's nationally determined contribution to the Paris Climate Agreement. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. Retrieved from: <https://mepr.gov.ua/news/33080.html> [in Ukrainian].

4. Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 р. Розпорядження КМУ від 29.12.2021 р. №1803-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-%D1%80#Text>

National energy efficiency action plan for the period up to 2030. Decree of the CMU of December 29, 2021 No. 1803. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-%D1%80#Text> [in Ukrainian].

5. Моделювання стратегічних пріоритетів при термомодернізації промислових будівель / Назаренко О.М., Назаренко І.А., Іщенко О.С., Бесараб Т.М., Кулік М.В.//«Системні технології». – 2021. – №6. – с. 175 – 182.

Modeling of strategic priorities during thermal modernization of industrial buildings / Nazarenko O.M., Nazarenko I.A., Ishchenko O.S., Besarab T.M., Kulik M.V. // "System technologies". – 2021. – No. 6. - with. 175 - 182.

6. Кліматичні дані Meteonorm. URL: <https://meteonorm.com/en/>

Climatic data Meteranorm. Access mode: <https://meteonorm.com/en/>

7. Енергоефективність будинку: як її підвищити і що для цього потрібно – Електрон.дан. URL: <https://eenergy.com.ua/korysni-porady/energoefektyvnist-budynku-yak-yipidvyshhyty/>

Energy efficiency of the house: how to increase it and what is need for this. – El. Data. Retrieved from : <https://eenergy.com.ua/korysni-porady/energoefektyvnist-budynku-yak-yipidvyshhyty/> [in Ukrainian].

8. ThermoTerra. Summary of innovation Електрон. дан. URL: <https://www.thermoterra.com/zero-energy-building>

9. New technology can heat and cool your house using nothing but air - Електрон. дан. URL: <https://www.israel21c.org/new-technology-can-heat-and-cool-your-house-using-nothing-but-air/>