

І.І. Пуховий, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0003-4915-9699  
М.А. Махров, магістр, асп., ORCID 0000-0003-0818-4433  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## СИСТЕМА ЗАХИСТУ ВІКОН ВІД СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З ОДНОЧАСНИМ ОТРИМАННЯМ ВОДИ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

*Проблеми.* Влітку вікна пропускають у приміщення велику кількість сонячної енергії, що спричинює додаткові витрати на охолодження повітря за допомогою кондиціонування. Відомо, що межею комфорту є температура 26°C. Для зниження температури використовуються кондиціонери, яким на 10 м<sup>2</sup> житла потрібно 0,3 ... 0,5 кВт електричної потужності. Дослідження стосується захоплення сонячної енергії водою та використання її для побутових водних потреб (ГВП).

*Мета дослідження.* Експериментальна перевірка запатентованих розробок та розрахунки кількості гарячої води, що отримується на добу, економії енергії та економічних показників.

*Методи реалізації.* Експерименти проводились на південному вікні кімнати, з перекачуванням води насосом та періодичним вимірюванням температури повітря та води на виході з системи ртутним термометром. Розрахунки проводились із використанням методів, розроблених авторами. Дослідження проводились протягом трьох днів листопада. Температура всередині коливалася в приміщенні від 19 до 23 ° С. Система працювала в циркуляційному режимі на резервуарі для водної батареї, розташованому під поглиначем. Ізоляція поглинача з боку кімнати була зроблена з прозорої харчової плівки.

*Результати досліджень.* Температура води досягала 45 ° С за 1,5-2 години. Споживання води посилюється завдяки ефекту термосифона, коли вода рухається знизу вгору. У ясний день весни та осені ви можете нагріти на 50-70% більше води, ніж середній за середній день місяців теплої пори року. Для приготування гарячої води з 1 м<sup>2</sup> поглинача можна отримати 45-50 кВт · год тепла за кожен місяць з березня по вересень, беручи до уваги хмарність. Підраховано економію від використання гарячої води та від зменшення споживання електроенергії в кондиціонері.

*Висновки.* Термін окупності системи, враховуючи вартість тепла для ГВП та економію електроенергії для електричного кондиціонера, становить приблизно 4-5 років. Вартість системи близька до вартості домашнього кондиціонера для приміщення з єдиним вікном, орієнтованим на південь. Щодо фактору енергозбереження, додатковою перевагою є екологічність системи порівняно з кондиціонером.

**Ключові слова:** захист від перегріву приміщень; охолодження повітря; побутове водопостачання; енергоефективність; сонячна радіація; енергозбереження; збереження навколишнього середовища.

### Вступ

Вікна влітку пропускають велику кількість сонячної енергії в приміщення. Що викликає додаткові затрати на охолодження повітря, шляхом кондиціонування. Відомо, що межею комфорту є температура 26°C. Для зниження температури використовують кондиціонери, які на 10 м<sup>2</sup> оселі, потребують 0,3...0,5 кВт електричної потужності. В пасивних будівлях, де на опалення витрачають 15-70 кВт·год/м<sup>2</sup> площі будівлі за рік, вікна роблять менших розмірів, а охолодження повітря влітку забезпечують ґрунтовими теплообмінниками, розташованими в фундаменті або поряд в ґрунті на глибині, де він має температуру біля 10°C. На кондиціонування повітря при цьому витрачається електроенергія (для вентиляторів), причому її питома витрата близька до згаданої на опалення. Остання може бути дешевшою при спалюванні, наприклад, дешевої біомаси, тощо. Основна кількість теплоти у приміщення, в теплий сезон, передається через вікна, а особливо страждають від перегрівання приміщення з вікнами на південно-західних та західних фасадах, коли Сонце опускається нижче, а атмосферне повітря вже прогріте.

З проникненням сонячних променів через скло борються різними методами. В малоповерхових будівлях перед вікнами саджають дерева, які після скидання листя, з листопада по квітень, пропускають через оголені гілки сонячне проміння, сприяючи системі опалення. При наявності заскленних буферних зон пасивних систем сонячного опалення (веранди, лоджії, огорожі стіни Тромба-Мішеля, тощо) забезпечують провітрювання для відводу теплоти в атмосферу. Є також можливість затінити засклені поверхні навісними непрозорими огорожами [1], які ще називають «маркізи». Крім того, вікна закривають ролетами

віконницями та іншими архітектурними деталями, типу дашків чи лоджій [2].

Для багатоповерхових сучасних будівель зовнішні засоби, типу тентів чи ролет мало підходять через складність обслуговування. Світловідбиваючі плівки досить дорогі, зменшують рівень освітлення, складні для монтажу та демонтажу.

Перераховані вище методи захисту від сонячних променів абсолютно не використовують корисно сонячну енергію, що падає на зашклену поверхню. Але є розробка [3] вчених з Гарварда, в якій пропонується на віконне скло накладати пластину із силіконового каучуку, в якому виконані канали малого перерізу для проходження води, яка після нагрівання може бути використана для ГВП. Дана задумка є раціональним рішенням корисного використання енергії сонячного випромінювання, але її виконання, на жаль, не дає змоги отримати достатню кількість води для її побутового використання.

На сьогодні існує немало схем підігріву води для забезпечення можливості її постачання для цілей ГВП. Досить розповсюдженими в плані практичного застосування є сонячні колектори та геліосистеми. Наприклад, системи фотоелектричного гарячого водопостачання (геліосистеми): використовують електричну енергію, що виробляється фотоелектричними панелями, для безпосереднього нагріву води ГВП та опалення [4]. Останні можуть працювати майже увесь рік (за умов достатньої сонячної активності) та складаються із фотоелектричних модулів, бойлера та контролера. Швидко монтуються, легкі в інтеграції до наявної системи ГВП, майже не вимагають обслуговування та можуть робити в автономному режимі. Сонячні колектори, поділяються на два основних типи: плоскі та вакуумні [5]. Плоский – є пристроєм, в металевій рамі якого знаходиться абсорбер із селективним покриттям та припаяними до нього трубками, через які циркулює вода. Вакуумний, у свою чергу, за конструкцією нагадує термос – всередині кожної трубки, є трубка меншого діаметру, а вакуум між ними відіграє роль теплоізолятора. Вакуумні більш ефективно нагрівають воду взимку та при похмурих днях (в порівнянні із плоскими ККД вище на 20%), а плоскі краще себе проявляють в теплий період, коли є значна кількість ясних днів (в ясну погоду його ККД вищий від вакуумного на 10%). Обидві системи розміщують на дахах будівель, для забезпечення максимального контакту із сонячним випромінюванням та зменшення використання «ефективної» площі, яка є в наявності.

Незважаючи на те, наскільки добре себе зарекомендували описані вище системи підігріву води за допомогою сонячного випромінювання, вони не вирішують ніяким чином задачі по запобіганню перегріванню приміщень, на будівлях яких встановлені. Тому було прийнято рішення об'єднати ці дві задачі: запобіганню перегріванню приміщень в теплий період року та нагрівання води для цілей ГВП – в одній системі.

Нами отримані два патенти України на корисну модель, в яких запропоновано використання для охолодження вікон теплообмінника-абсорбера з різних матеріалів, в тому числі, із полікарбонату, який має сотову структуру каналів прямокутного перерізу для пропускання води. В корисній моделі [6] встановлюють бак-акумулятор води, розміщений біля нижньої частини огорожі, воду до якого подають насосом. Абсорбер з'єднується із вхідним та вихідним колекторами. Кріплення абсорбера реалізовано у вигляді вертикально або горизонтально рухомих пластин, які закріплюють із внутрішньої сторони приміщення біля зашкленних отворів на певній відстані від них.

Полегшення монтажу/демонтажу абсорбера біля скла відбувається, у зв'язку із низькою вагою елементів системи та наявністю вільного доступу до місця встановлення в будь-який час. Вертикальні або горизонтальні рухомі частини абсорбера, виконують обертовими, а приєднання циркуляційної лінії суміщають з осями обертання. При необхідності пропускання всього світла, частини абсорбера можна відхилити до стелі, в сторони, при малій ширині вікон та повертати навколо осі, що проходить через середину ширини абсорбера (при великій ширині вікон).

В [7] абсорбер виготовляють з прозорого матеріалу, за ним встановлюють прозору теплоізоляцію, а бак-акумулятор розміщують вище вікон для забезпечення вільної конвекції. Відстань між верхівкою абсорбера і прозорою верхівкою вікна вибирають близькою розміру тіні від перекриття над вікном при найбільшій висоті Сонця, причому для збільшення висоти тіні використовують непрозорий дашок над вікном. Абсорбер з прозорою теплоізоляцією встановлюють на весь теплий період, коли потрібен захист від перегрівання приміщення. Світло проходить через прозорі абсорбер і теплоізоляцію (наприклад, два шари поліетиленової плівки або додатковий лист полікарбонату), та відкриту верхню частину вікна. Період використання системи в північній півкулі Землі з травня по жовтень (в інші місяці, в деяких місцевостях, для ГВП система малоефективна через високу хмарність). Абсорбер можна взимку не знімати для зменшення теплових втрат через вікна. При цьому воду зливають або залишають, якщо приміщення постійно опалюється.

**Мета та завдання.** Задачею даної роботи є експериментальне дослідження охолоджуваного водою абсорбера; моделювання гідравлічного опору конструкції абсорбера; розрахунки отриманої за день кількості гарячої води, економії енергії та економічних показників.

**Дослідження інноваційної системи захисту від перегрівання приміщень влітку з отриманням води для ГВП**

Дослідний абсорбер (Рис.1) виконаний із сотового полікарбонату і має площу 0,33725 м<sup>2</sup>. Висота і ширина абсорбера, відповідно, 950 мм і 355 мм. Абсорбер обладнаний двома гідравлічними колекторами.

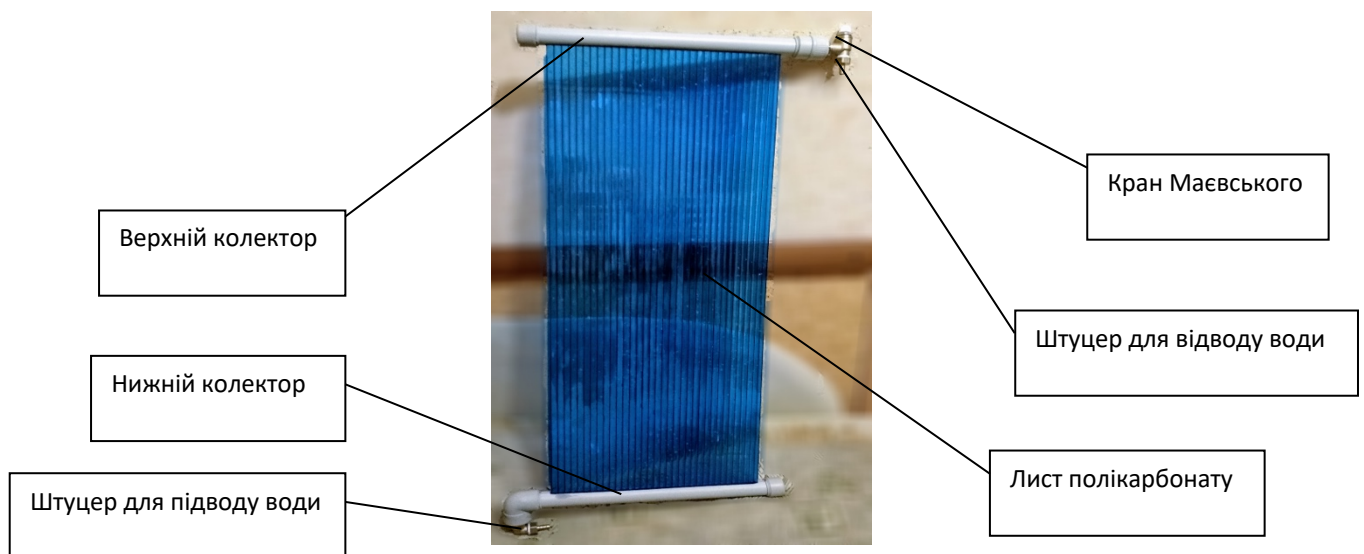


Рисунок 1 – Абсорбер з приєднаними до нього колекторами

Розрахунки показують, що з нього можливо отримати близько 100 Вт теплоти і нагріти за 5 годин інсоляції 15...20 кг води від 20 до 40...50°C. В офісах цієї води достатньо для миття рук 10 співробітникам, а в житлових будинках води буде достатньо для миття посуду і душу для одного жителя.

Систему експериментально перевірено на протязі трьох ясний днів (м. Київ; 7,8 та 9 листопада; температура повітря в доквіллі 10,5 °C у середньому; подвійне застеклення вікна). На вікні, орієнтованому на Південь встановлений абсорбер, обладнаний нижнім і верхнім колекторами та циркуляційною лінією з насосом від омивача скла автомобіля. Насос можна живити електроенергією від сонячної панелі, площею 0,2 – 0,4 м<sup>2</sup>. Сонячне випромінювання змінюється дуже повільно протягом місяця, і оскільки, дослідження проводилися три дні підряд, то було прийнято допущення, що сонячна радіація стала в цей період.

При заповненні абсорбера водою, за допомогою подачі насосом, витрата складала 460 мл/хв. Та, при організації замкнутого циркуляційного контуру через посудину, розміщену нижче абсорбера, витрата зросла до 730 мл/хв, за рахунок природної циркуляції викликаної термосифонним ефектом під час сонячного освітлення поверхні абсорберу.

Температура в приміщенні коливалася від 19 до 23 °C. Встановлене ущільнення простору між склом та абсорбером для попередження доступу повітря та ізоляція бака-акумулятора. Система працювала у циркуляційному режимі на бак-акумулятор розташований під абсорбером. Ізоляція абсорбера зі сторони кімнати була виконана з прозорої харчової плівки. Періодично фіксувалися температури повітря в кімнаті та температури води на виході із системи (Рис. 2).

Видно, що при застосуванні ізоляції, можливо досягти вищої температури води на виході із системи на 5...7 °C (або навіть 10 °C – за умови хорошої ізоляції). Встановлення певного шару ізоляції абсорбера зі сторони приміщення запобігає підігріванню повітря в приміщенні, що сприяє підтриманню комфортної температури.

Вдалося підігріти воду від 20 °C до 43 °C за півтори години. Аналізуючи варіанти покращення теплоізоляції можливо досягти температури води на виході, вище 50 °C.

**Комп'ютерне моделювання гідравлічного опору експериментального абсорбера із гідравлічними колекторами.**

В [8] запропоновано організувати природну циркуляцію шляхом розміщення бака-акумулятора над вікном. В умовах приміщення існують проблеми з організацією достатнього напору через обмеження висоти розташування бака – вона тим більша, чим вищий гідравлічний опір абсорбера.

За допомогою САПР SolidWorks проведено дослідження гідравлічних втрат при використанні полікарбонату в якості абсорбера сонячного випромінювання. Змінювалася конструкція верхнього та нижнього гідравлічних колекторів. Геометричні розміри експериментального абсорбера стали – висота і ширина абсорбера, відповідно, 950 мм і 355 мм.

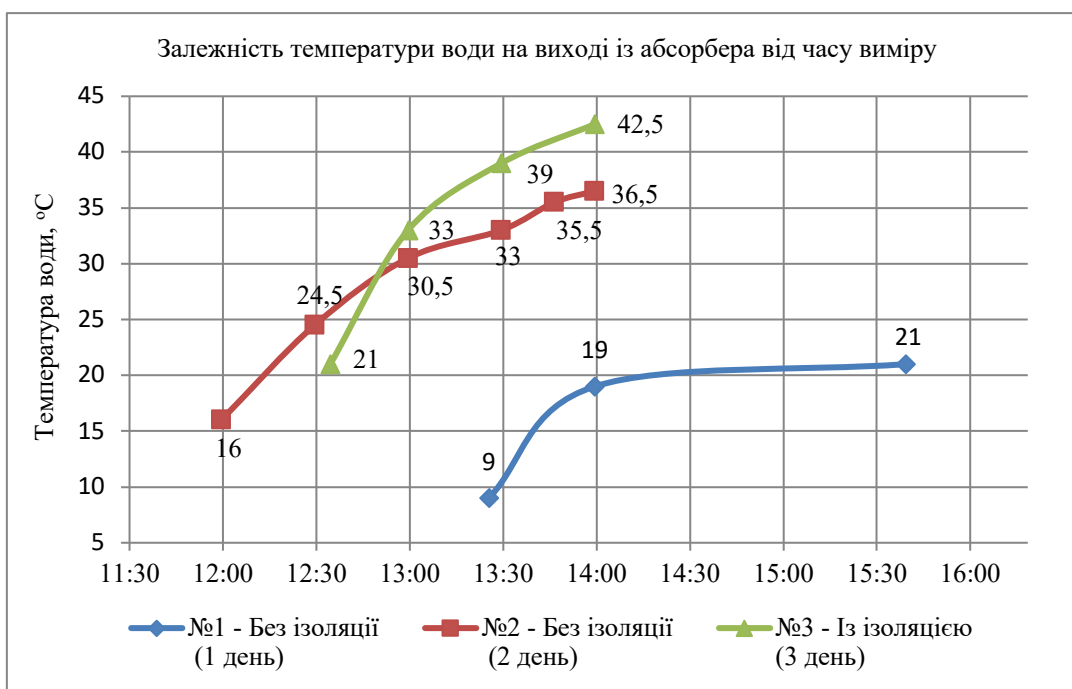


Рисунок 2 – Температура води на виході з абсорбера в залежності від часу

Метою дослідження було визначити величину гідравлічних втрат в системі, її залежність від розміру та типу колекторів і пошуком їх оптимальних параметрів, при яких досягається мінімальна втрата тиску. Для цього в САПР були створені моделі системи з колекторами різних розмірів та форм перерізу.

Для дослідження змодельовані гідравлічні колектори круглого перерізу із внутрішніми діаметрами 20, 28 та 36 мм, квадратного перерізу із внутрішніми розмірами 20x20 мм, 28x28мм та прямокутного перерізу із внутрішніми розмірами 28x10 мм (ширина відповідає товщині абсорбера). Також, була задана температура води 20 °С та витрата 560 мл/хв, що відповідає характеристикам реальної системи.

Результати дослідження гідравлічних втрат системи при застосуванні гідравлічних колекторів круглого перерізу наведені в табл.1.

Таблиця 1– Гідравлічні втрати в експериментальному прототипі з колекторами круглого перерізу

Діаметр колектора, мм	20	28	36
Гідравлічні втрати, Па	9465	10369	11701

Як видно з наведених даних, мінімальні втрати тиску досягаються при застосуванні колектору круглого перерізу найменшого діаметру, що дозволяє зменшити, як місцеві гідравлічні втрати, так і лінійні втрати. В порівнянні з базовим варіантом (внутрішній діаметр 28 мм) круглий колектор внутрішнім діаметром 20 мм забезпечує гідравлічні втрати, величина яких зменшується майже на 1 кПа. Використання колекторів більшого діаметру призводить до збільшення гідравлічних втрат та вартості системи в цілому, тому є недоцільним.

Дослідження моделі з колекторами квадратного та прямокутного перерізу показали незначні відмінності по гідравлічним втратам: 9516 Па – для колектору внутрішнього перерізу 28x28 мм, 9742 Па – для колектору перерізу 20x20 мм та 9851 Па – для колектору прямокутного перерізу 28x10 мм. Таким чином зміна розмірів колектору прямокутного перерізу значно не впливає на величину гідравлічних втрат в системі.

Отже, оптимальне значення гідравлічних втрат досягається при використанні колекторів круглого перерізу з мінімальним діаметром.

#### **Розрахунки кількості води, яку можна отримати за день використання системи.**

Було розглянуто ясний та середньостатистичний день, кожного місяця, з врахуванням можливої хмарності. Для ясного дня взяті значення енергії, що падає на вертикальний фасад. Для випадку можливого затінення фасаду наведена кількість енергії, що поступила на певну годину дня. Зауважимо, що після 12-ї години отримуємо майже стільки ж енергії, як і до 12 години (табл.2)

Таблиця 2– Миттєва інтенсивність сонячного випромінювання I, Вт/м<sup>2</sup> та максимальна кількість енергії Е<sub>м</sub>, Вт·год/м<sup>2</sup>·день, що падає на вертикальний фасад при безхмарному небі (широта 49 град.)

Година дня Місяць року	I, Вт/м <sup>2</sup>				Е <sub>м</sub> , Вт·год/м <sup>2</sup> ·день
	8	10	12	3 12 до 18	Всього за день
Червень	242	793	1664	1884	3313
Липень, Травень	240	840	1792	1792	3573
Серпень, Квітень	252	1027	2175	2175	4351
Вересень, Березень	274	1220	2007	2007	5213

Нами проведені розрахунки із урахуванням Е<sub>м</sub> та хмарності за перевіреною методикою [9, 10] при нагріванні води з 15 до 45 °С та ККД колектора 0,5 (Рис. 3). ККД колектора може досягати 0,6 в літні місяці і 0,4 у весняні та осінні місяці.

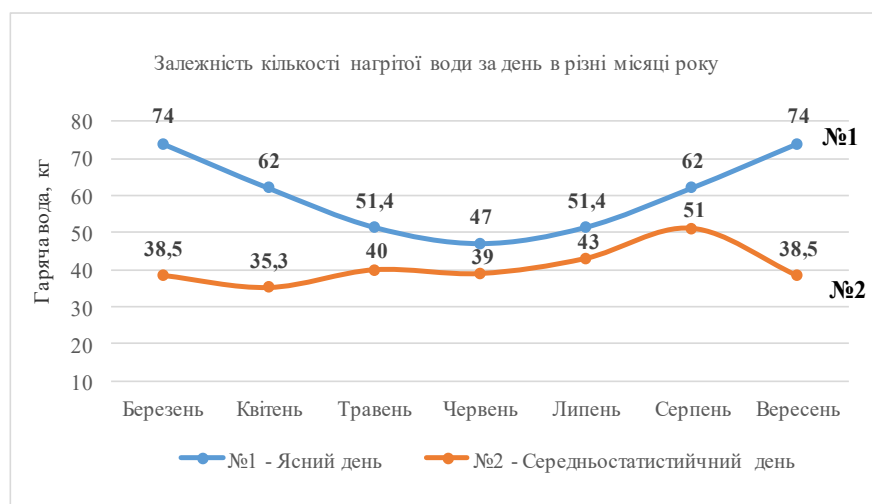


Рисунок 3 – Залежність кількості нагрітої води за день в різні місяці року.

Як видно з рис. 3, в літні місяці продуктивність по гарячій воді в ясний і середньо-статистичний день майже однакова, але весною і восени спостерігається велика розбіжність результатів.

При врахуванні хмарності кількість води (отриманої енергії) різко зростає в серпні за рахунок малої хмарності та висоти положення Сонця. Високі значення маси нагрітої води в ясні дні березня, вересня і сусідніх місяців пояснюються падінням сонячних променів під кутами до вертикальних вікон, близькими до 90 градусів.

При площі абсорбера біля 4 м<sup>2</sup> (вікно 2x2м – типове вікно) за день можна отримати біля 120-250 кг води в середньо-статистичний день. Воду, нагріту біля вікон, можна використовувати для цілей ГВП або для басейну. Крім того, за кожний місяць, з травня по вересень буде збережено на 1 м<sup>2</sup> – 5...50 кВт·год енергії, або в середньому 250 кВт·год за сезон. На 4 м<sup>2</sup> – біля 100 кВт·год (в середньому, за той же період, з травня по вересень). Орієнтовна еквівалентна вартість даної кількості енергії, що не спожита електричним нагріванням води (станом на 2020 р.), приблизно дорівнює 80 євро.

З точки зору захисту приміщення від перегрівання, слід розглянути кількість енергії, що не поступила в приміщення завдяки її поглинання водою. Для цього розрахуємо кількість води з травня по вересень з урахуванням хмарності та теплоємності води, через різницю температур (45-15) градусів, знайдемо кількість акумульованої енергії. Результати розрахунку показують, що за всі згадані місяці на 1 м<sup>2</sup> вікна нагрівається близько 6300 кг води, і в електричному кондиціонері не витрачається біля 75 кВт·год електроенергії при холодильному коефіцієнті  $e = 3$  і 55 кВт·год при  $e = 4$ .

Відповідно, найменша економія електроенергії при площі вікна 4 м<sup>2</sup> складе близько 200 кВт·год, або 400 грн (≈16 євро). Загальна економія на вікно складе ≈ 100 євро за сезон. Вартість виготовлення абсорбера з полікарбонату на 1 м<sup>2</sup> складає ≈ 150 євро, а при площі 4 м<sup>2</sup> система коштуватиме біля 550 євро, що приблизно дорівнює вартості кондиціонера, але при цьому вона витратиме в 40-50 разів менше електричної енергії на роботу.

Система може окупитися уже за 4-5 років при використанні теплоти в корисних цілях. При цьому, внаслідок зниження витрат електроенергії, зменшуються викиди парникових газів в атмосферу.

#### **Висновки**

1. Експериментально перевірений корисний ефект системи захисту приміщень від перегрівання через вікна з одночасним отриманням гарячої води для ГВП.
2. Витрата води через абсорбер, в порівнянні з продуктивністю насоса, зростає за рахунок термосифонного ефекту.
3. За даними моделювання, циркуляційний контур експериментального прототипу системи має гідравлічний опір, близько 10 кПа.
4. Мінімальна прозора теплоізоляція абсорбера підвищує температуру води на виході із системи, від 36 до 42 °С.
5. В ясні дні весни та осені можна нагріти на 50-70% води більше, ніж в середньому за середньостатистичний день місяця.
6. Для ГВП з 1 м<sup>2</sup> абсорбера можна отримати 45-50 кВт·год теплоти за кожен місяць з березня по вересень.
7. Насос споживає біля 15 Вт електроенергії, яку можна отримати при використанні фотоелектричної панелі, площею 0,2 – 0,4 м<sup>2</sup>.
8. Строк окупності системи, із врахуванням вартості теплоти на ГВП і електроенергії для електричного кондиціонера, складає  $\approx$  4-5 років.

#### **Список використаної літератури**

1. Інтернет-ресурс «OKNA». Стаття «Вікна: захист від сонця».  
URL: <https://okna.ua/ua/library/vikna-zakhyst-vid-sontsya> (дата звернення: 20.03.2021).
2. Інтернет-ресурс «SUNNY». Стаття «Захист на вікно від сонця: що краще вибрати?».  
URL: <https://sunny-tm.com/uk/blog-headlines/articles/zashchita-na-okno-ot-solnca-cto-luchshe-vybrat> (дата звернення: 21.03.2021).
3. Benjamin D.Hattona, Ian Wheeldon, Matthew J.Hancock, Mathias Kolle, Joanna Aizenberg, Donald E.Ingber «An artificial vasculature for adaptive thermal control of windows». – Solar Energy Materials and Solar Cells Volume 117, October 2013, Pages 429-436.
4. Інтернет-ресурс «Atmosfera». Стаття «Фотоелектричне гаряче водопостачання».  
URL: <https://www.atmosfera.ua/uk/rishennya/sistemi-fotoelektrichnogo-garyachogo-vodopostachannya/> (дата звернення: 22.03.2021).
5. Інтернет-ресурс «Solensy». Стаття «Сонячний водонагрів».  
URL: <https://solensy.com.ua/solar-water-heating/> (дата звернення: 22.03.2021).
6. Пуховий І.І., Махров М.А. Спосіб захисту від перегрівання і використання пасивної системи сонячного опалення та вікон для гарячого водопостачання влітку, Пат. України на к. м. № 118236. Опубліковано: 25.07.2017, МПК: F24J 2/42.
7. Пуховий І.І., Махров М.А. Спосіб захисту від перегрівання і використання вікон для гарячого водопостачання влітку, Пат. України на к. м. № 135091. Опубліковано: 10.06.2019, МПК: F24S 20/00, F24D 17/00, F25B 35/00.
8. Пуховий І.І., Махров М.А. Система захисту від перегрівання приміщень влітку через вікна та вітражі пасивних систем сонячного опалення. Тези XVI Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» м. Київ, 24-27 квітня 2018 року – «Політехніка».- 2018. – Т.1. - с.200.
9. Пуховий І.І., Новаківський Є.В. Енергія, отримана від сонячного випромінювання в різних кліматично-географічних зонах України з урахуванням хмарності та її залежність від орієнтації сонячних колекторів // Відновлювальна енергетика. – 2006. - № 4. – с. 28 – 36.
10. Пуховий І.І., Новаківський Є.В. Коефіцієнти орієнтації сонячних колекторів по відношенню до південного напрямку в залежності від орієнтації для умов України. Наукові вісті НТУУ КПІ.- 2012.- № 1.- с. 15-21.

**I. Puhoviy**, Dr. Eng. Sc., Prof., **ORCID** 0000-0003-4915-9699

**M. Makhrov**, Msc, PhD. Student, **ORCID** 0000-0003-0818-4433

**National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**

## **SOLAR RADIATION PROTECTION SYSTEM WITH SIMULTANEOUS HOT WATER SUPPLY**

**Problems.** Windows in the summer let through a large amount of solar energy into the room, which causes an additional cost of cooling the air by conditioning. It is known that the limit of comfort is the temperature of 26 °С. To reduce the temperature, use air conditioners, which are required 0,3...0,5 kW of electrical power for 10 m<sup>2</sup>



of housing. The study deals with the capture of solar energy by water and its use for domestic water purposes (DHW).

**The goal of the research.** Experimental verification of patented developments and calculations of hot water quantity obtained per day, energy savings and economic indicators.

**Methods of implementation.** Experiments were conducted on the south window of the room, with water pumping by a pump and periodic measurement of air and water temperatures at the outlet of the system by mercury thermometer. The calculations were performed using the methods developed by the authors. The studies were conducted within three days of November. The temperature inside ranged a room from 19 to 23 °C. The system was operated in circulating mode on a water battery tank located below the absorber. Isolation of the absorber from the side of the room was made of a transparent food film.

**Research results.** Water temperature reached 45 °C per 1,5-2 hours. Water consumption is enhanced by the thermosiphon effect when water moves from the bottom up. On a clear day of spring and autumn, you can heat for 50-70 % more water than the average for the average day of months of the warm season. For preparing DHW with 1 m<sup>2</sup> of absorber, it is possible to get 45-50 kW·h of heat for each month from March to September, taking into account cloudiness. The savings from the use of hot water and from reducing the consumption of electricity in the air conditioner are calculated.

**Conclusions.** The payback period of the system, taking into account the cost of the heat for DHW and electricity savings for an electric air conditioner, is approximately 4-5 years. The cost of the system is close to the cost of a home air conditioner, for a premise with a single window oriented south. To the energy-saving factor, an additional advantage is the environmental friendliness of the system compared to the air conditioner.

**Keywords:** protection against overheating of premises; cooling of air; domestic water supply; energy efficiency; solar radiation; energy saving; conservation of the environment.

#### REFERENCES

1. Web-source «OKNA.ua». Article «Windows: Sun protection». URL: <https://okna.ua/ua/library/vikna-zakhyst-vid-sontsya> (refresh date: 20.03.2021).
2. Web-source «SUNNY». Article «Sun protection on the window: what is better to choose?». URL: <https://sunny-tm.com/uk/blog-headlines/articles/zashchita-na-okno-ot-solnca-chto-luchshe-vybrat> (refresh date: 21.03.2021).
3. Benjamin D.Hattona, Ian Wheeldon, Matthew J.Hancock, Mathias Kolle, Joanna Aizenberg, Donald E.Ingber «An artificial vasculature for adaptive thermal control of windows». – Solar Energy Materials and Solar Cells Volume 117, October 2013, pp. 429-436.
4. Web-source «Atmosfera». Article «Photoelectric hot water supply». URL: <https://www.atmosfera.ua/uk/rishennya/sistemi-fotoelektrichnogo-garyachogo-vodopostachannya/> (refresh date: 22.03.2021).
5. Web-source «Solency». Article «Solar water heating». URL: <https://solensy.com.ua/solar-water-heating/> (refresh date: 22.03.2021).
6. Puhoviy I., Makhrov M. Method of protection against overheating and use of passive solar heating system and windows for hot water supply in summer, Stalemate. Of Ukraine on k. M. № 118236. Published: 25.07.2017, IPC: F24J 2/42.
7. Puhoviy I., Makhrov M. Method of protection against overheating and use of windows for hot water supply in summer, Stalemate. Of Ukraine on k. M. № 135091. Published: 10.06.2019, IPC: F24S 20/00, F24D 17/00, F25B 35/00.
8. Puhoviy I., Makhrov M. System of protection against overheating of rooms in the summer through windows and stained-glass windows of passive systems of solar heating. Abstracts of the XVI International Scientific and Practical Conference of Postgraduates, Undergraduates and Students "Modern Problems of Scientific Support of Energy" Kyiv, April 2018 – «Polytechnic». -2018. – T.1. – 200 p.
9. Puhoviy I., Novakivsky E. Energy obtained from solar radiation in different climatic and geographical zones of Ukraine, taking into account cloudiness and its dependence on the orientation of solar collectors // Renewable energy. – 2006. - № 4. – pp. 28 – 36 p.
10. Puhoviy I., Novakivsky E. Orientation coefficients of solar collectors in relation to the southern direction depending on the orientation for the conditions of Ukraine. Scientific news of NTUU KPI. -2012.- №1.- pp. 15-21.

Надійшла 22.11.2020  
Received 22.11.2020