Науковий вісник НЛТУ України
Scientific Bulletin of UNFU
http://nv.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/40270621
Article received 19.09.2017 р.
Article accepted 28.09.2017 р.
УДК 630*[181+6(073)]:674.047.3

ISSN 1994-7836 (print)
ISSN 2519-2477 (online)

@ ✉ Correspondence author
S. F. Gavenko
havenko@point.lviv.ua

С. Ф. Гавенко[1], О. І. Дерех[2]

[1] *Українська академія друкарства, м. Львів, Україна*
[2] *Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна*

РОЛЬ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У ПРИРОДІ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЙОГО У ВИРОБНИЦТВАХ ЛІСОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

За даними комплексного термогравіметричного та диференційного термічного аналізів проведено порівняння теплоакумуляційних властивостей сумішей солей-кристалогідратів, визначено теплові ефекти процесів, які супроводжують зворотну реакцію, що відбувається під час акумулювання сонячної енергії в геліотермічних колекторах. Останні мають високу практичну цінність для застосування в лісопромисловому комплексі. Показано фізичні властивості закордонних аналогів теплоносіїв. Проаналізовано фізичні властивості солей для використання в геліосушарках, наведено рівняння для визначення площі піків ендотермічного ефекту, а також проведено порівняння для вибору найактуальнішого компонента для включення у систему сонячних сушильних камер. Зразки аналізували в умовах зростання температури, тобто реалізовувалися зворотні процеси, які відбуваються в теплоакумулятивних пристроях. Показано залежності коливань температури зовнішнього атмосферного повітря від години дня. Наведено переваги використання пасивних сонячних систем у виробництвах лісопромислового комплексу, і проаналізовано можливості впровадження на виробництвах. За результатами власних досліджень, а також інших вчених, визначено, від чого залежить приріст фітомаси. Зазначено варіанти визначення густини сонячного випромінювання (прямого і розсіяного). Показано принципову схему геліосушарки, яку розроблено в НЛТУ України.

Ключові слова: сонячне випромінювання; солі-кристалогідрати; геліоколектори; термогравіметричний аналіз; фітомаса.

Вступ. Використання властивостей сонячного випромінювання, які формують світлові режими лісів, як і дослідження терморадіаційних режимів лісів, а також використання сонячної енергії для різних вологих матеріалів рослинного походження, на сьогодні мають важливе значення в інженерній практиці. Треба зазначити, що сушіння за допомогою енергії сонячного випромінювання не є новою концепцією (Ozarkiv & Derekh, 2016; Ozarkiv et al., 2012, 2014; Ozarkiv, Mysak & Kopynets, 2008). Політика використання відновлюваної енергії, тобто т. зв. "зеленої енергетики", постійно змінюється. Наприклад, на сьогодні Німеччина виробляє близько 18 % всієї "зеленої" електроенергії в ЄС, Італія – близько 12 %. До 2020 р. 11 % енергоспоживання буде завдяки відновлюваним (альтернативним) джерелам енергії в Європі. До 2050 р. 89 % буде становити сонячна енергія. В Євросоюзі на сьогодні 17 % становлять відновлювані джерела енергії.

Світло (сонячне випромінювання) є основним джерелом енергії, яка успішно засвоюється рослинами у вигляді хімічних зв'язків у цукрах, а ті, своєю чергою, разом із рослинною біомасою є їжею для тварин. Сонячну енергію, яку зелені рослини поглинають і використовують у процесі фотосинтезу (λ=0,40…0,71 мкм), називають фізіологічно-активною радіацією (ФАР). Варто зауважити, що в житті рослини поза якістю світлових променів велике значення має кількість світла, тобто інтенсивність освітлення, яка буває неоднаковою в різні місяці вегетаційного періоду і залежить від широти місцевості регіону.

В роботі (Ozarkiv & Derekh, 2016) детально розглянуто фактори і властивості сонячного випромінювання для України для умов природної (вільної) та примусової циркуляції нагрітого повітря. Відомо (Ozarkiv & Derekh, 2016; Ozarkiv et al., 2012, 2014; Ozarkiv, Mysak & Kopynets, 2008), що дослідження терморадіаційного режиму різних видів біогеоценозів лісу має важливе значення у формуванні світлових режимів лісу.

Це дало змогу встановити, що приріст фітомаси залежить від величини енергії сонячного випромінювання, й отримати залежність, яка дає змогу спрогнозувати величину приросту фітомаси.

Відомо (Ozarkiv & Derekh, 2016), що в ході своєї життєдіяльності ліси накопичують вуглець у вигляді фітомаси. Таким чином, ліси забезпечують тривале зберігання (депозит) вуглецю і виробляють та виділяють кисень в навколишнє середовище.

У процесі фотосинтезу паралельно з утворенням фрагментів молекул целюлози продукується однакова кількість молекул кисню. З іншого боку, кванти (фотони) сонячного випромінювання беруть участь у створенні кінцевих продуктів фотосинтезу. Це означає, що

Інформація про авторів:

Гавенко Світлана Федорівна, д-р техн. наук, академік Інженерної академії наук України, професор, завідувач кафедри поліграфічних медійних технологій і пакувань. **Email:** havenko@point.lviv.ua

Дерех Ольга Ігорівна, канд. с.-г. наук, асистент кафедри екології. **Email:** olga.ozarkiv@gmail.com

Цитування за ДСТУ: Гавенко С. Ф., Дерех О. І. Роль сонячного випромінювання у природі та використання його у виробництвах лісопромислового комплексу. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(6). С. 105–111.

Citation APA: Gavenko, S. F., & Derekh, O. I. (2017). The Role of Solar Radiation in Nature and Using it in the Manufacture of the Forest-Industrial Complex. *Scientific Bulletin of UNFU, 27*(6), 105–111. https://doi.org/10.15421/40270621

маса виробництва кисню лісом залежить від густини потоку енергії сонячного випромінювання.

Розрізняють пряме (направлене) і розсіяне (дифузне) сонячне випромінювання. Направлене випромінювання безпосередньо надходить від сонячного диску, а розсіяне – надходить на земну поверхню, перетерпівши розсіювання під час проходження через земну атмосферу Землі. Співвідношення між прямою і розсіяною компонентами сонячного випромінювання залежить від висоти Сонця над горизонтом. Потік сонячного випромінювання залежить від пори року, місця розташування території району або регіону, часу доби і погоди (хмарної чи з чистим небом). Тому є практично манливим передбачити заздалегідь величину сонячної інсоляції, яка буде тривати впродовж повного часового періоду (години, доби, місяця тощо).

Реальний питомий промисловий потік сонячного випромінювання, що падає на земну поверхню за кожну годину в разі безхмарного неба впродовж дня, визначають за формулою

$$q = q_{\Sigma} \cdot m_{атм} \cdot m_{втр}\,, \qquad (1)$$

де: – сумарний (прямий і розсіяний) світловий потік, що падає на горизонтальну поверхню Землі, Вт/м^2; $m_{атм}$ – коефіцієнт, який враховує ступінь прозорості атмосфери ($m_{атм}$ = 1,0…1,1); $m_{втр}$ – коефіцієнт, який враховує втрати сонячної енергії в діяльному шарі ($m_{втр}$ = 0,85…0,98).

У разі хмарної погоди частину густини сонячного випромінювання потрібно визначати за ясного неба, а хмарність – через коефіцієнти сонячного сяяння ψ, який для середньої хмарності дорівнює 0,60…0,80 – взимку і 0,30…0,55 – влітку.

Щодо сумарної фотосинтетично-активної радіації, то її визначають за формулою (Danchuk, Kochubei, & Ozarkiv, 2015)

$$ФАР = 0{,}43 \cdot q_{пр} + 0{,}57 \cdot q_{розс.}\,, \qquad (2)$$

де: – густина прямої сонячної компоненти; – густина розсіяного сонячного випромінювання, Вт/м$^{2.}$

Треба зазначити, що у Прикарпатті розсіяне випромінювання переважає пряме сонячне випромінювання. За результатами наших досліджень встановлено, що приріст фітомаси залежить від величини енергії сонячного випромінювання.

Формування температурно-вологісних полів під впливом світлового дня. Сонячне випромінювання, проходячи через атмосферу, ослаблюється внаслідок вибіркового (селективного) поглинання та розсіювання молекулами різних газів, накопичення молекул (аерозолів), туманом, дощем тощо.

Головним чином поглинання випромінювання зумовлено присутністю в атмосфері молекул води, вуглекислого газу і озону. Гази, що формують атмосферу (кисень, азот, аргон), дають тільки слабкі смуги поглинання в інфрачервоній (ІЧ) області спектра. На практиці, здебільшого, їх вважають повністю прозорими щодо інфрачервоних променів.

Пари води є найбільш поглинальною сумішшю у складі атмосфери і змінюються в досить широких інтервалах залежно від температури, тиску, висоти, пори року і географічного розташування. Згідно з дослідженнями В.Є. Зуєва водяна пара має смуги поглинання надхідного сонячного випромінювання в діапазонах хвиль ІЧ-області спектра: 0,926…0,978; 1,095…1,165; 1,319…1,948; 1,762…1,977; 2,52…2,845; 4,24…4,40; 5,25…7,50 мкм.

Питання інтегральної прозорості атмосфери в Україні досліджено у роботах М. І. Гойси, Г. Ф. Приходько, Л. З. Проха, Л. І. Сакалі та ін.

На відміну від парів води, вуглекислий газ (CO_2) розподіляється в атмосфері, локальні (місцеві) і часові зміни вмісту вуглекислого газу в атмосфері не враховують.

Як поглинач сонячного випромінювання вуглекислий газ характеризується наявністю смуг поглинання у спектральних інтервалах ІЧ-спектра: 1,38…1,50; 1,52…1,67; 1,92…2,10; 2,64…2,87; 4,63…4,95; 5,05…5,35; 12,5…16,40 мкм.

Озон (O_3), на відміну від CO_2, розподілений в атмосфері рівномірно і розташований він у верхніх шарах атмосфери. Як поглинач сонячної радіації характерний наявністю смуг поглинання в таких спектральних інтервалах довжин хвиль: 0.60, 4.63,…, 4.95, 6.30,…, 10.60, 12.10,…, 16.40 мкм (Ozarkiv & Derekh, 2016; Ozarkiv et al., 2014).

Зміна температурно-вологісних полів формує розподілення променевої сонячної енергії після її перетворення в теплову енергію. Розподілення температури за постійного (стаціонарного) теплового режиму залежить певною мірою від вологості повітря, хмарності, швидкості вітру (останній параметр впливає на інтенсивність теплообміну за вільної конвекції в безповітряну погоду і змушеної конвекції за вітряної погоди).

На рис. 1 показано залежність коливань температури зовнішнього атмосферного повітря від години дня для липня 2012 р. (01.07.2012 р.) (табл. 1).

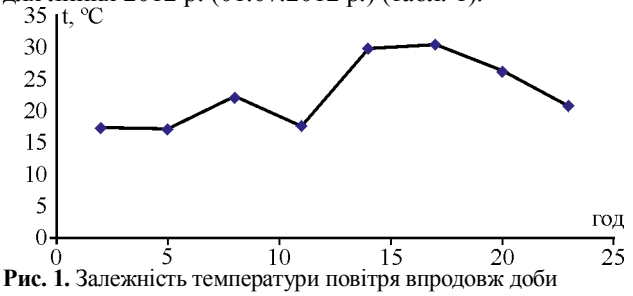

Рис. 1. Залежність температури повітря впродовж доби

Табл. 1. Показники температури впродовж доби

Год\год	2	5	8	11	14	17	20	23
t\°C	17,1	17,0	22,1	17,6	29,6	30,2	26,2	20,6

На рис. 2 показано вплив години світлового дня на відносну вологість повітря для 1 липня 2012 р., коли ХМ=0 %, тобто сонячну погоду (табл. 2).

Рис. 2. Залежність зміни відносної вологості повітря протягом доби

Табл. 2. Показники відносної вологості впродовж доби

τ_c, год	2	5	8	11	14	17	20	23
φ, %	86	77	63	49	35	34	51	71

На рис. 3. показано коливання середньомісячної температури за період квітень – жовтень 2012 р. (табл. 3).

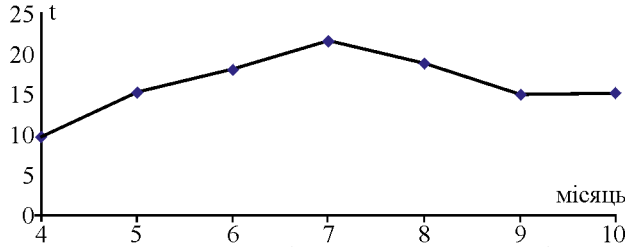

Рис. 3. Коливання середньомісячної температури за квітень – жовтень 2012 р.

Табл. 3. Показники середньомісячної температури за місяцями

t, °C	9.72	15.12	18.03	21.42	18.75	14.88	15.12
Місяць	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

На рис. 4 показано вплив відносної вологості φ на t_c, коли ХМ=const=25 % від часу доби (21 квітня 2012 р.) (табл. 4).

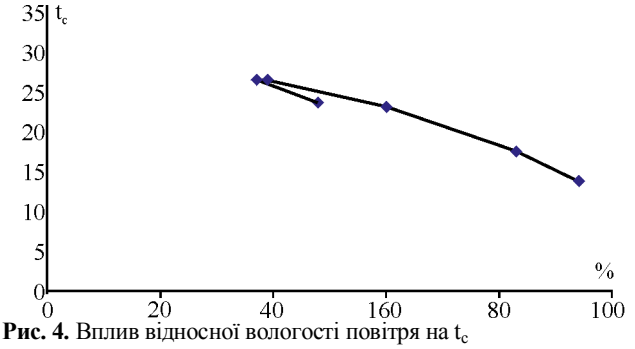

Рис. 4. Вплив відносної вологості повітря на t_c

Табл. 4. Залежність зміни температури t_c упродовж доби

Година	5	8	11	14	17	20
t_c, °C	13,7	17,5	23,0	26,4	26,5	23,5
φ, %	0,94	0,83	0,60	0,39	0,37	0,48

Використання сонячного випромінювання, як нетрадиційного й відновлюваного і дешевого джерела енергії, є чистим, досить простим й природним способом отримання всіх форм теплової енергії. Варто зазначити, що сонячне випромінювання може бути перетворене в корисну енергію внаслідок використання активних і пасивних сонячних систем. До активних сонячних (геліо-) систем відносять сонячні колектори (поглиначі надхідного сонячного випромінювання). Пасивні геліосистеми отримують з допомогою проектування будівлі, зведення яких розроблено з максимальним урахуванням місцевих кліматичних умов і де використовують відповідні технології (для нашого випадку технології сушіння) та матеріали для огородження сушильних камер, будинків тощо. Варто зазначити, що пасивні сонячні будинки, як і стаціонарні сонячні сушарки, є екологічно чистими приміщеннями, коли останні сприяють створенню енергетичної незалежності.

Треба зазначити, що в пасивній сонячній системі сама будівля виконує роль колектора сонячної енергії. Є також геліосистеми, де передбачені спеціальні елементи (колектори) для накопичення тепла, які вмонтовані безпосередньо в конструкцію самої будівлі. Таким чином, пасивні сонячні приміщення – це ідеальне місце, де щораз повніше відчувається зв'язок із природою і де багато природного світла.

Варто зазначити, що на сьогодні існує безліч варіантів геліосистем, де теплова енергія є обмеженою і залежить від конфігурації геліосистеми, її конструктивних особливостей, ступеня ясності дня, температури навколишнього зовнішнього повітря тощо.

Системи сонячного теплопостачання є одними із найнадійніших і довговічних, коли їх правильно розрахувати і використати ефективне та якісне теплове і циркуляційне обладнання. З огляду на це, великої ваги набуває проблема акумулювання теплоти сонячного випромінювання.

Треба зазначити, що для акумулювання сонячної енергії в геліоколекторі теплоносій (підігріта вода або атмосферне повітря) подають через додатково встановлений теплообмінник, що заповнений сіллю-кристалогідратом або сумішшю солей, які під дією енергії сонячного випромінювання із порошкоподібного стану, наприклад, плавляться, сприймаючи при цьому надлишкову теплоту сонячного випромінювання. Похмурої погоди або нічної пори, тобто коли немає сонячного випромінювання, сіль кристалізується, віддаючи при цьому надлишок теплоти.

У роботах (Ozarkiv & Derekh, 2016; Ozarkiv et al., 2003a, 2003b, 2012, 2014; Ozarkiv, Mysak & Kopynets, 2008; Mysak et al., 2013; Ozarkiv, Kozar & Ozarkiv, 2012, 2013) детально і ґрунтовно розглянуто сучасні геліосушильні камери, а також підібрано солі-кристалогідрати для акумулювання сонячної енергії (Ozarkiv et al., 2013; Danchuk, Kochubei & Ozarkiv, 2015; Ozarkiv & Danchuk, 2013).

Концепція використання солей-кристалогідратів у сонячних колекторах сушильних камер для деревних матеріалів (дощок, чорнових меблевих заготовок, паркетної дошки тощо) розглянуто в роботі (Ozarkiv et al., 2015).

Відомо, що ліси, окрім цього, що накопичують вуглець у вигляді фітомаси, виробляють і виділяють кисень в навколишнє середовище. У процесі фотосинтезу паралельно із утворенням фрагментів молекул целюлози продукується відповідно певна кількість молекул кисню. Це означає, що маса лісового "виробництва" кисню, як і фітомаса, лінійно залежить від енергії сонячного випромінювання, що падає на земну поверхню.

Рис. 5. Сонячні колектори на даху житлового будинку

Геліоколектори, які встановлюють на дахах будинків (рис. 5), що "збирають" сонячну енергію, перетворюються в технологічну новизну. При цьому важливим елементом сонячних обігрівачів будинку або нагрівачів в геліосушарках є теплоносій (рідина чи повітря), які ефективно поглинають теплову енергію сонячних променів з подальшою передачею її у відповідну сонячну систему. Єдине, що вимагається від теплоносія – це

ефективне поглинання теплової сонячної енергії і перенесення її до джерела споживача, термічна стабільність (нерозкладання) під час нагрівання та хімічна неагресивність.

Є низка різних теплоносіїв, які успішно використовують у промисловості та побуті. Сюди насамперед треба віднести теплоносій на основі пропиленгліколю. У чистому вигляді – це в'язка безкольорова рідина без запаху, солодкувата на смак і жирнувата на дотик.

Він є також харчовою добавкою, яку успішно використовують у косметичній і фармацевтичній галузях. Теплоносії на основі пропиленгліколю вважають екологічно безпечними і біорозкладними, які в суміші з водою не замерзають за від'ємних температур (до – 30 °С).

На українському ринку із імпортних теплоносіїв у геліосистемах найчастіше використовують Tyfocor LS (виробництво Німеччина) і теплоносій Тепро-Солар ЗОП (українська компанія "Строн"), характеристику яких наведено в табл. 5.

Табл. 5. Технічна характеристика теплоносіїв Тепро-Солар Зоп і Tyfocor LS

№	Назва показника	Тепро-Солар Зоп	Tyfocor LS
1	Густина за 20 °С, г/см^3	1,07…1,048	1,032…1,035
2	Кінематична в'язкість за t=20 °С	4,5	4,50…5,50
3	Температура початку кристалізації, °С	<-30°С	-28°С
4	Температура кипіння за атмосферного тиску, °С	>100	102…105
5	Вміст води, %	50…52	55…58
6	Корозійний вплив на метали, г/м^2 за добу: • мідь • сталь • чавун • алюміній	 0,080 0,030 0,030 0,030	 0,140 0,010 0,010 0,020

Відомо, що середньорічне сонячне випромінювання змінюється в Україні залежно від регіону в діапазоні 1070…1400 кВт/год за місяць.

Для підбору ефективних компонентів акумулювання енергії шляхом розчинення, в межах досліджень проаналізовано термодинамічні параметри. На основі даних комплексного термогравіметричного та диференційно-термічного аналізів, здійснено порівняльний аналізі теплоакумулятивних властивостей сумішей солей-кристалогідратів:

- $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (50 % мас.) + $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$ (50 % мас.) (зразок 1);
- $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (75 % мас.) + $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$ (25 % мас.) (зразок 2);
- $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (50 % мас.) + $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ (50 % мас.) (зразок 3);
- $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (75 % мас.) + $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ (25 % мас.) (зразок 4).

У виборі об'єктів брали до уваги здатність кристалогідратів в експлуатаційному інтервалі температур брати участь у процесах плавлення ⇔ кристалізація дегідратації ⇔ утворення кристалогідрату. Важливими у виборі об'єктів була їхня доступність та екологічна безпека у використанні.

Для акумулювання сонячної енергії в теплових акумуляторах носій (нагріту воду чи повітря) подають безпосередньо в опалювальну систему, а через теплообмінник, заповнений легкоплавкою сіллю чи сумішшю солей, які під дією сонячної енергії плавляться, сприймають надлишкову теплоту. За відсутності сонячного тепла сіль кристалізується, віддаючи надлишок теплоти, що дасть змогу тривалий час зберігати у системі порівняно високу температуру.

Для акумулювання тепла вибирають кристалогідрати з температурою плавлення, меншою ніж 100 °С, або суміші солей – меншою ніж 150 °С. Для дослідження вибрано такі об'єкти:

$AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (алюміній – калій сульфат додекагідрат);

$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ – (натрій тетраборат декагідрат);

$NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ – (натрій дегідрофосфат дегідрат).

В основу робочої системи закладено тепловий ефект утворення кристалогідратів різного складу, а саме:

$$AlK(SO_4)_2 + 12H_2O \leftrightarrow AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O + Q;$$

$$Na_2B_4O_7 + 10H_2O \leftrightarrow Na_2B_4O7 \cdot 10H_2O + Q;$$

$$NaH_2PO_4 + 2H_2O \leftrightarrow NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O + Q.$$

Речовини для акумулювання сонячної енергії вибирали, беручи до уваги, насамперед, їхні температури плавлення та кристалізації, можливість оборотної гідратації, а також доступність, екологічну безпечність. Зважали також і на їхню вартість.

Калій алюмінієві галуни використовують як дубильні речовини під час оброблення шкіри, для протравлення тканин перед фарбуванням, для склеювання паперу в паперовій промисловості, як кровоспинний засіб у медицині, як коагулянти під час водоочищення та очищення стічних вод.

Натрій дигідрогенфосфат застосовують як компонент мийних засобів, для пом'якшення води, під час збагачення руд, як детергент під час очищення металів, як ПАР під час виробництва цементу та буріння нафтових свердловин.

Буру у величезних обсягах застосовують для виробництва ортоборатної кислоти, як компонент флюсів для паяння та зварювання металів, вона входить до складу шихти для емалей, скла, кераміки, електролітів для осадження металів (Ni та ін.), для протравлення під час фарбування, як антисептик, консервант для оброблення шкіри, як антипірен для захисту деревини, мікрокомпонент добрив, реагент для отримання гербіцидів, інгібіторів корозії, анти- фризів, ізоляційних матеріалів і клеїв.

Кальцій хлорид, дигідрат, застосовують для отримання кальцію, осушення газів і рідин, для пришвидшення твердіння бетону. Водний розчин – холодоагент, антифриз, засіб проти зледеніння злітних смуг та залізничних рейок, засіб проти замерзання вугілля та руди, лікарський засіб у разі кровотеч та алергічних захворювань.

Калій бромід застосовують як седативний засіб у медицині, як компонент під час травлення в гравірувальній справі, для виготовлення фотоемульсій. Монокристали використовують для отримання призм ІЧ-спектроскопії, порошкоподібний KBr слугує матрицею для зняття ІЧ-спектрів твердих речовин.

Результати дослідження. Результати проведених експериментальних досліджень, які опубліковано детально в наших роботах (Mysak et al., 2013; Ozarkiv et al., 2003a), свідчать, що $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ характеризується найбільшим значенням теплового ефекту, процесу виділення кристалізаційної води, тому цей зразок рекомендовано для використання у сумішах з метою акумулювання тепла в різних сонячних системах (табл. 6).

Табл. 6. Результати термогравіметричного аналізу сполук солей-кристалогідратів

Сполука	Температурний інтервал, t °C	Експериментальна втрата маси, m %	Теоретична втрата маси, m %	Молекулярна маса, г/моль
$AlK(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$	20-100 100-123 123-200	3,79 23,21 11,05	3,80 22,80 11,39	474
$NaH_2PO_4 + 2H_2O$	20 -130	9,50	11,00	156
$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	20-200	18,70	18,90	381

Термограми зразків сумішей солей-кристалогідратів наведено на рис. 1-4. На рис. 5 представлено термограму кристалогідрату $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$, який є одним із компонентів досліджених теплоакумулятивних композицій.

Термогравіметричні криві (TG), які присутні на рис. 1-4, показують втрату маси зразків у процесі їхнього нагрівання; диференційні термогравіметричні криві (DTG) відповідають залежності швидкості втрати маси зразків від температури; кривим диференційного термічного аналізу (DTA) відповідає різниця температур між зразком і еталоном за відповідної температури.

Результати термічного аналізу кристалогідратів $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ та $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$, які входять до складу зразків 3 і 4, наведено в роботі (Ozarkiv & Derekh, 2016). За даними термічного дослідження, сполуку $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ було рекомендовано як базовий компонент теплоакумулятивної субстанції у сонячних енергетичних системах. Саме цей кристалогідрат присутній у всіх досліджених зразках теплоакумулятивних композицій.

Поява ендотермічного ефекту на кривих DTA зразків 1 і 2 (див. рис. 6 і 7) в області температур 20-100 °C, який супроводжується незначною втратою маси, відповідає перебігу низки процесів – плавленню кристалогідрату $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ та початку дегідратації $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$ з відщепленням однієї молекули води. Інтенсивна втрата маси зразків 1 і 2 в області температур 100-125 °C, яка супроводжується появою значного ендотермічного ефекту на кривих DTA з максимумом за температури 125°C (зразок 1) та 117 °C (зразок 2), відповідає повній дегідратації кристалогідрату $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$ з відщепленням шести молекул кристалізаційно зв'язаної води (див. рис. 6) та глибокій дегідратації кристалогідрату $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ із втратою семи молекул води.

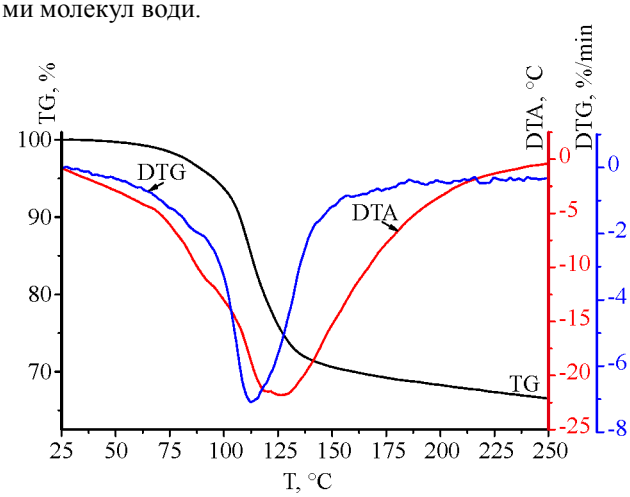

Рис. 6. Термограма зразка 1

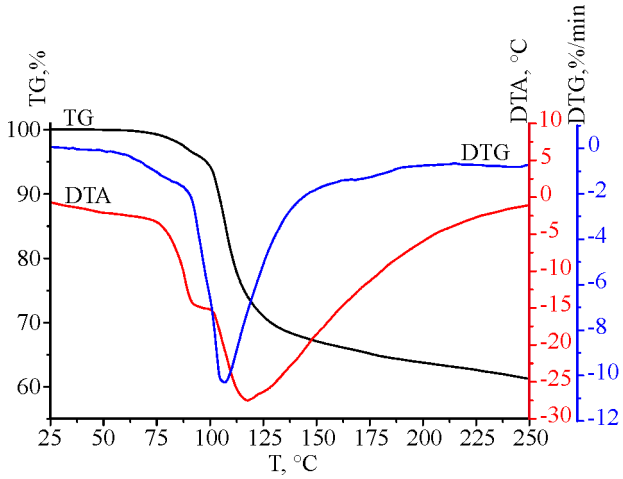

Рис. 7. Термограма зразка 2

Появу ендотермічного ефекту на кривих DTA зразків 3 і 4 (рис. 8 і 9) в області температур 20-100 °C можна пов'язати з перебігом низки складних процесів – плавленням компонентів, які входять до складу зразків 3 і 4 (Ozarkiv et al., 2012), та дегідратацією кристалогідрату $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ з відщепленням однієї молекули води.

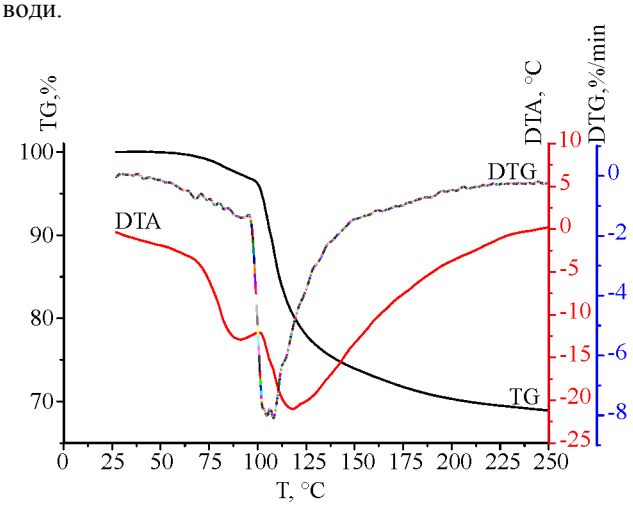

Рис. 8. Термограма зразка 3

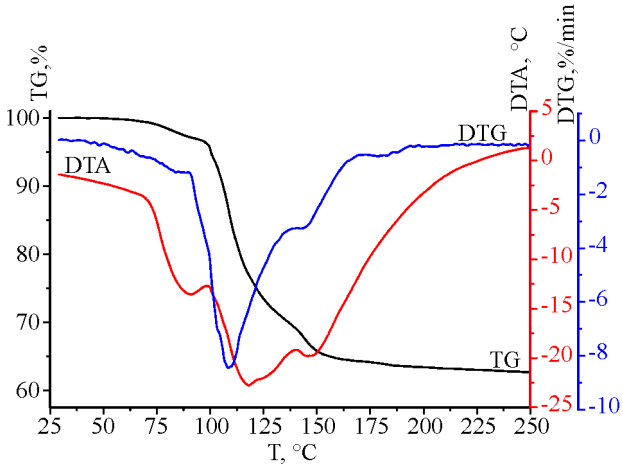

Рис. 9. Термограма зразка 4

Інтенсивна втрата маси зразків 3 і 4 в області температур 100-125 °C, яка супроводжується появою ендотермічного ефекту на кривій DTA з максимумом за температури 117 °C, відповідає повній дегідратації кристалогідрату $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ та глибокій дегідратації $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ з відщепленням семи молекул кристалізаційно зв'язаної води (рис. 10).

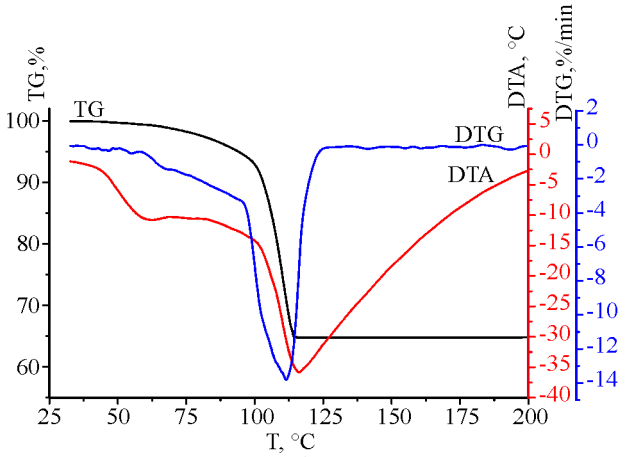

Рис. 10. Термограма кристалогідрату $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$

На рис. 11 наведено порівняння кривих DTA зразків теплоакумуляційних композицій. У табл. 7 наведено результати кількісного оброблення кривих DTA зразків сумішей кристалогідратів із знайденими величинами теплових ефектів, які супроводжують процеси плавлення та дегідратації компонентів, що входять до їхнього складу.

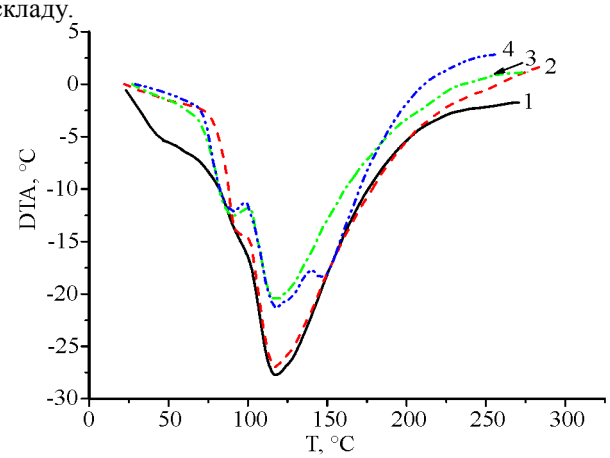

Рис. 11. Криві DTA зразків 1-4

Табл. 7. Результати оброблення кривих DTA зразків 1-4

Зразок	S, К·с	ΔH, Дж/г
Зразок 1	10578	1213
Зразок 2	10139	1163
Зразок 3	8955	1027
Зразок 4	9291	1065

Площі піків на кривих DTA розраховували за рівнянням

$$S = \int_{t_1}^{t_2} \Delta T \cdot d\tau \,, \qquad (3)$$

де: τ – час; ΔT – різниця температур між еталоном та зразком у певний момент часу, яку вимірювали за довжиною ординати кривої DTA.

Теплові ефекти, які супроводжують процеси плавлення та дегідратації компонентів, які входять до складу сумішей солей-кристалогідратів, визначали за рівнянням

$$\Delta H = K \cdot S / m \,, \qquad (4)$$

де: m – маса зразка; K – коефіцієнт теплообміну дериватографа (калібрувальний коефіцієнт).

Температурну залежність коефіцієнта теплообміну визначали в попередніх дослідженнях за теплотами плавлення чистих речовин – біфенілу, гександіової кислоти та срібла нітрату:

$$K = 0{,}094 - 3{,}5 \cdot 10^{-4} \cdot T + 5{,}1 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 \,. \qquad (5)$$

У табл. 7 наведено величини теплових ефектів зразків сумішей солей – кристалогідратів, віднесених до температури 373 К, якій відповідає значення коефіцієнта теплообміну K = 0,0344 Дж/(К·с).

Із наведених даних зразок 1 відзначається найбільшим значенням теплового ефекту і може бути рекомендованим як найбільш ефективна сольова суміш для виготовлення теплоакумулятивної субстанції в сонячних енергетичних системах.

В НЛТУ України було розроблено і впроваджено у виробництво сонячні сушильні камери (рис. 12), на які було отримано патенти України, як і на сонячні колектори. Технічна характеристика, конструкційна схема, режими сонячного випромінювання подані в роботах.

Висновки. Із трьох досліджених сольових сумішей зразок 1 можна рекомендувати як найефективнішу теплоакумуляційну композицію для використання в сонячних сушильних камерах. Тепловий ефект плавлення кристалогідрату $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, який входить до складу цього зразка, істотно підсилюється низькотемпературним теплоакумуляційним тепловим ефектом глибокої дегідратації кристалогідрату $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$, який міститься в зразку 1.

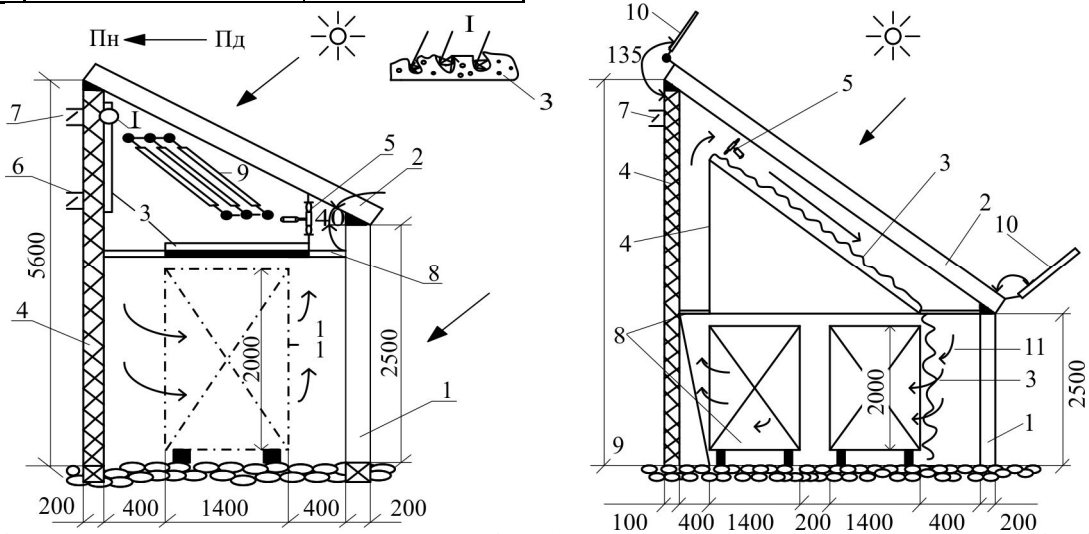

Рис. 12. Геліосушарки НЛТУ України: 1) передня прозора стінка; 2) верхня передня стінка (огородження); 3) плоскі геліоколектори-акумулятори; 4) задня теплоізольована стінка; 5) електромотор; 6) притічний канал; 7) витяжний канал; 8) екран; 9) батарея трубних сонячних колекторів; 10) рефлектори (відбивачі) сонячної енергії; 11) повітряний канал

Автори розробили 4 типи геліосушарок для сушіння пиломатеріалів до транспортної вологості, тобто 25…30 %. Тривалість сушіння, порівняно з хвойними породами, для берези – в 1,4 раза більша, дуба – у 3…3,5 раза.

Перелік використаних джерел

Danchuk, M. I., Kochubei, V. V., & Ozarkiv, I. M. (2015). *Patent na korysnu model* №100676. Kompozytsiia solei-krystalohidrativ dlia akumuliuvannia tepla. – №u 2014 13727. Zaiavl. 22.12.2014; Zareiestr. v Derzhreiestri patentiv Ukrainy 10.08.2015. Biul.№15.

Mysak, Y. S., Ozarkiv, I. M., Adamovskyi, M. H. et al. (2013). Netradytsiini dzherela enerhii: teoriia i praktyka. Lviv: NVF "Ukrainski tekhnolohii". 356 p. [in Ukrainian].

Ozarkiv, I. M., & Danchuk, M. I. (2013). Issledovanie teploakumuliatcionnykh svoistv solei-kristalogidratov v geliosushilnykh ustanovkakh. *Materaly XIII Mezhdunarod. nauch.-tekhn. konf. "Aktualnie problemy lesnogo kompleksa. Les-2013"*, vol. 36, (pp. 84–86). Briansk, 1 may – 1 june 2013. [in Russian].

Ozarkiv, I. M., & Derekh, O.I. (2016). Naukovi zasady promene-konvektyvnoho teploobminu v protsesi svitlovoho rezhymu lisu. *Naukovi pratsi lisivnychoi akademii nauk Ukrainy, 14*, 72–78. [in Ukrainian].

Ozarkiv, I. M., Adamovskyi, M. H., Maksymiv, V. M., et al. (2014). *Lisovyrobnychyi kompleks: ekolohichni aspekty*. Lviv: Zukc. 264 p. [in Ukrainian].

Ozarkiv, I. M., Bilei, P. V., Ozarkiv, S. I., & Humeniuk, Zh. Ya. (2003a). *Dekl. patent* №61462 A Ukraina, MPK 7F26B19/∞. Heliosusharka dlia pylomaterialiv. № 25030214; Zaiavl. 7.02.2003; Zatv. 20.08.2003; Opubl. 17.11.2003.

Ozarkiv, I. M., Bilei, P. V., Ozarkiv, V. Ya., & Humeniuk, Zh. Ya. (2003b). *Dekl. patent* №61463 A Ukraina, MPK 7F26B 3/28. Soniachna sushylna kamera. №20030215; Zaiav. 7.02.2003; Zatv. 15.08.2003; Opubl. 17.11.2003

Ozarkiv, I. M., Danchuk, M. I., Derekh, O. I., & Kobrynovych, M. S. (2015). Kontseptsiia vykorystannia solei-krystalohidrativ v soniachnykh kolektorakh sushylnykh kamer. *Naukovi pratsi lisivnychoi akademii nauk, 13*, 231–236. [in Ukrainian].

Ozarkiv, I. M., Kozar, V. S., & Ozarkiv, O. I. (2012). *Patent na korysnu model* №72819 UA Ukraina, MPK (2012.01) F 26B3/00. Systema akumuliuvannia temperaturnykh poliv v heliosusharkakh teplychnoho typu. № u 2012 02693; Zaiav. 6.03.2012; Zatv. 27.08.2012, Biul. № 16

Ozarkiv, I. M., Kozar, V. S., & Ozarkiv, O. I. (2013). *Patent na korysnu model* №76882 UA Ukraina, MPK F 26B3/28 (2006/01); F24j2/06 (2006.01). Heliotermichnyi kolektor dlia enerhetychnoi systemy soniachnoi susharky. №U2012 09475; Zaiav. 03.05.2012; Zatv. 25.01.2013; Opubl. 25.01.2013, Biul. №2.

Ozarkiv, I. M., Mysak, Y. S., Krynytskyi, H.T., et al. (2012). *Zastosuvannia soniachnoi enerhii u zhytlovomu hospodarstvi ta derevoobrobtsi*. Lviv: NVF "Ukrainski tekhnolohii". 338 p. [in Ukrainian].

Ozarkiv, I. M., Mysak, Y.,S., & Kopynets, Z. P. (2008). *Vykorystannia soniachnoi enerhii u promyslovosti*. Lviv: NVF "Ukrainski tekhnolohii". 276 p. [in Ukrainian].

Ozarkiv, I. M., Sokolovskyi, I. A., Danchuk, M. I., Kozar, V. S., & Derekh, O. I. (2013). *Patent Ukrainy na korysnu model* №90395 Soniachnyi kolektor. №u2013 14899; Zaiav.19.12.2013. Opubl. 26.05.2014. Biul. №10.

С. Ф. Гавенко[1], О. И. Дерех[2]

[1]Украинская академия книгопечатания, г. Львов, Украина
[2]Национальный лесотехнический университет Украины, г. Львов, Украина

РОЛЬ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРИРОДЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕГО В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

По данным комплексного термогравиметрического и дифференциального термического анализа проведено сравнение теплоаккумулирующих свойств смесей солей-кристаллогидратов, определены тепловые эффекты процессов, сопровождающих обратную реакцию, которая имеет место при аккумулировании солнечной энергии в гелиотермических коллекторах. Последние имеют высокую практическую ценность для применения в лесопромышленном комплексе. Показаны физические свойства зарубежных аналогов теплоносителей. Проанализированы физические свойства солей для использования в гелиосушарках, указано уравнение для определения площади пиков эндотермического эффекта, а также проведено сравнение для выбора актуального компонента для включения в систему солнечных сушильных камер. Образцы анализировали в условиях роста температуры, то есть реализовывались обратные процессы, которые имеют место в теплоаккумулятивных устройствах. Показаны зависимости колебаний температуры наружного атмосферного воздуха от часа дня. Приведены преимущества использования пассивных солнечных систем в производствах лесопромышленного комплекса, и проанализированы возможности внедрения на производствах. По результатам собственных исследований, а также других ученых, определено, от чего зависит прирост фитомассы. Указаны варианты определения плотности солнечного излучения (прямого и рассеянного). Показана принципиальная схема гелиосушарки, разработанной в НЛТУ Украины.

Ключевые слова: солнечное излучение; соли-кристаллогидраты; гелиоколлекторы; термогравиметрический анализ; фитомасса.

S. F. Gavenko[1], O. I. Derekh[2]

[1]Ukrainian Academy of Printing, Lviv, Ukraine
[2]Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

THE ROLE OF SOLAR RADIATION IN NATURE AND USING IT IN THE MANUFACTURE OF THE FOREST-INDUSTRIAL COMPLEX

According to the complex thermogravimetric and differential thermal analysis, a comparison was made between the heat-storage properties of mixtures of salts-crystalline hydrates, the thermal effects of processes that accompany the reciprocal reaction that occurs when solar energy is accumulated in gelio-thermal collectors. The latter have a high practical value for use in the forest-industrial complex. Physical properties of foreign analogues of heat carriers are shown. The physical properties of salts for use in gel dryers have been analyzed, the equation for determining the peak area of the endothermic effect is given, and a comparison has been made to select the most relevant component for the inclusion of solar drying cells in the system. The samples were analyzed in conditions of temperature increase, that is, the reverse processes taking place in heat-storage devices were realized. Dependences of the fluctuations of temperature of external atmospheric air from hour of day are shown. The advantages of using passive solar systems in the forest-industry complexes are presented, and the possibilities of introduction on production are analyzed. Due to own research, as well as other scientists, determines what determines the growth of phytomass. The options for determining the density of solar radiation (direct and scattered) are specified. The principal scheme of the solar-dryer developed in the NLTI of Ukraine is shown.

Keywords: solar radiation; salt-crystal hydrates; solar collectors; thermogravimetric analysis; phytomass.