

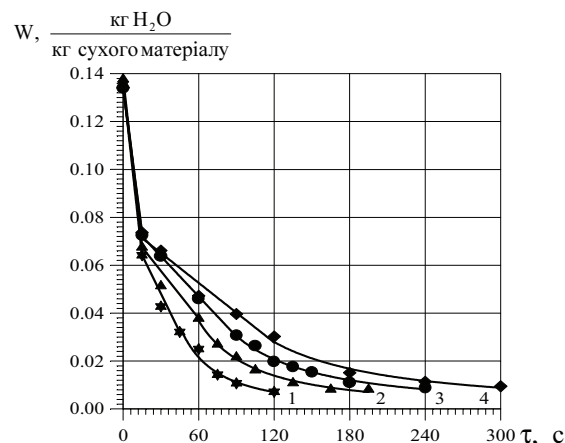


Рис. 2. Кінетика фільтраційного сушіння вугілля (фракція  $(5,0-6,0) 10^{-3} \text{ м}$ ):  
 $T=318 \text{ К}$ ;  $\Delta P_c=5886 \text{ Па}$ . Товщина шару: 1 –  $H=45 10^{-3} \text{ м}$ ; 2 –  $H=60 10^{-3} \text{ м}$ ;  
 3 –  $H=75 10^{-3} \text{ м}$ ; 4 –  $H=90 10^{-3} \text{ м}$ .

Друга відмінність полягає в тому, що має місце чітко виражений період механічного витіснення та винесення вологи, який відбувається без затрат теплової енергії.

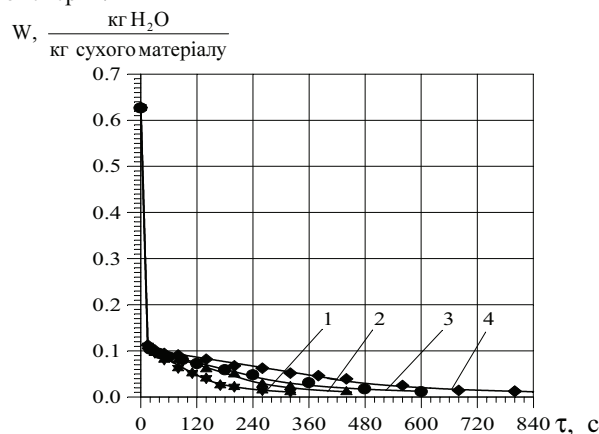


Рис. 3. Кінетика фільтраційного сушіння вугілля (фракція  $(0,63-1,25) 10^{-3} \text{ м}$ ):  
 $T=318 \text{ К}$ ;  $\Delta P_c=5886 \text{ Па}$ . Товщина шару: 1 –  $H=45 10^{-3} \text{ м}$ ; 2 –  $H=60 10^{-3} \text{ м}$ ;  
 3 –  $H=75 10^{-3} \text{ м}$ ; 4 –  $H=90 10^{-3} \text{ м}$ .

Третьою відмінністю є те, що перший умовний період є значним в часі та за кількістю випаровуваної вологи, а тривалість процесу у другому умовному періоді зменшується (рис. 1 та рис. 2, 3).

Загальна тривалість сушіння, при однаковій швидкості фільтрування теплоносія, скорочується із зменшенням розміру частин шару вугілля.

Зростання інтенсивності сушіння, зменшення загальної його тривалості, наявність періоду механічного витіснення пояснюється тим, що при одній і тій самій кількості вологого вугілля, яке припадає на одиницю площі перфорованої перегородки, із зменшенням розміру частин шару збільшується поверхня контакту фаз (поверхня сушіння), зменшуються розміри мікротріщин заповнених водою, і відповідно їх дифузійний опір, що призводить до незначного в часі другого умовного періоду.

Зростання рівномірності структури шару, при зменшенні розміру частин, незважаючи на високу початкову вологість, зумовлює інтенсивне механічне витіснення, а потім винесення вологи. Із наведених результатів досліджень видно, що процес сушіння вугілля у щільному шарі згідно з кінетичними, технологічними і економічними показниками стає ефективнішим із зменшенням фракційного складу. Однак, для повної оцінки обезводнення вугілля, необхідно врахувати і гідродинаміку процесу, що, в кінцевому результаті, дозволить обґрунтовано розробити технологію сушіння. Потрібно мати на увазі, що гідродинаміка та кінетика сушіння полідисперсного шару вугілля буде дещо відрізнятися від гідродинаміки та кінетики обезводнення окремих фракцій, що враховано, виходячи із результатів досліджень як окремих фракцій, так і загальної фракції.

### Література

1. Муштаев В.И. Сушка дисперсных материалов. – М.: Химия, 1988. – 352 с.
2. Ханьк Я.Н. Фильтрационная сушка плоских проницаемых материалов. – Диссертация доктора техн. наук – Львов. – 1992. – 401 с.

УДК 674.047

Аспір. А.І. Мацьків<sup>1</sup> – УкрДЛТУ

### ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

Розглянуто можливість застосування енергії сонячного випромінювання для сушіння деревини, проведено аналіз літературних джерел і конструкцій геліосушарок.

Doctorate A.I. Matskiv – USUFWT

### About use solar energy for drying timber

In article the possibilities of use energy of solar radiation for timber drying, parsed references and solar kiln design have been considered.

Сушіння деревини є найбільш енергомістким процесом деревообробки. Тому особливо перспективними є дослідження, спрямовані на пошуки нових енергоощадних способів сушіння, одним з яких є сушіння деревини з використанням сонячної енергії.

До перших спроб використання енергії сонячного випромінювання для сушіння деревини слід віднести дослідження К. Швальбе і Ю. Бартельса

<sup>1</sup> Наук. керівник: доц. І.М. Озарків, канд. техн. наук – УкрДЛТУ

[1] (Німеччина, 1933 р.). За період з квітня по липень було висушено ялинові і соснові круглі лісоматеріали діаметром 26 см до вологості 14...15 % в геліосушарці і до 23...29 % під навісом. Е. Альтенкірх [2] описує геліосушарку, в якій бокові стіни були заповнені дешевим сорбентом. У дослідженнях, проведених у 1937 р., було висушено торф, сільськогосподарські продукти і пиломатеріали. Автор зазначає, що взимку пиломатеріали були висушені до 15 % в сушарці і до 22 % під відкритим навісом, а влітку кінцева вологість сягала нижче 10 %.

Активні дослідження з використання сонячної енергії для сушіння деревини були розпочаті в 60-х роках в США. Зокрема, К. Джонсон [3] описує геліосушарку, в якій привід вентилятора для циркуляції повітря здійснювався від вітряка. У цій сушарці було висушено пиломатеріали вишні товщиною 25 мм від вологості 16 до 8 % і дуба тієї ж товщини від 60 до 6 % протягом 52 днів у теплий період року.

Цей досвід став поштовхом у проведенні широкого спектру досліджень як у тропічних, так і в помірних широтах. Від того часу було побудовано близько 300 геліосушарок різних конструкцій у різних кліматичних умовах, частина яких залишилась діючою до теперішніх днів. Варто відзначити значний внесок Медісонської лабораторії лісових продуктів у розв'язанні проблеми використання енергії сонця в процесі сушіння деревини (Е. Венгер, В. Сімпсон та ін.) [4-6].

Щодо сонячного сушіння пиломатеріалів в європейських умовах, то в Оксфорді (Англія, 1977 р.) [7] було побудовано геліосушарку, в якій дубові пиломатеріали товщиною 50 мм висушувались від вологості 70 % до 12 % протягом 5-ти місяців, а попередньо атмосферно висушені такі ж пиломатеріали висихали від вологості 32 % до 15 % за 9 тижнів.

А. Шнайдер [8] повідомляє, що за період з травня по вересень 1978 р. в умовах гірської Баварії (Німеччина) було проведено дослідне сушіння ялинових брусів перетином 40×40 мм. При атмосферному сушінні кінцева вологість становила 15,9, 16,7 і 19,5 %, а в сушарці відповідно – 7,1, 9,4 і 7,7 %.

У Чехословаччині [9] в 1979 р. для сушіння дубових пиломатеріалів товщиною 50 мм було використано систему зовнішніх сонячних колекторів. Матеріал від початкової вологості 64 % до кінцевої 20 % висихав за 43 дні, а при атмосферному сушінні за цей же період – тільки до 33 %. Коло Варшави (Польща, 1981 р.) [10] було побудовано дві геліосушарки, в яких соснові пиломатеріали від вологості 15 % до 8,4 % було висушено за 7 днів.

Дослідження, проведені І. М. Озарківим [11] (УкрДЛТУ), довели доцільність використання геліосушарок для сушіння деревини хвойних порід в кліматичних умовах України. Зокрема, тривалість сушіння умовного матеріалу до транспортної вологості влітку не перевищувала 10 діб, а взимку – 16 діб.

За конструктивними особливостями геліосушарки можна поділити на дві групи:

- тепличного типу (рис. 1) – це сушарки рамної конструкції, стіни і дах у яких виконані з прозорого матеріалу зі вбудованими в них колекторами, вирізняються простотою конструкції експлуатації, але мають значні тепловтрати;

- сушарки з добре ізолюваною сушильною камерою і окремо встановленими сонячними колекторами (рис. 2), складної конструкції, дорогі в експлуатації, мають незначні тепловтрати.

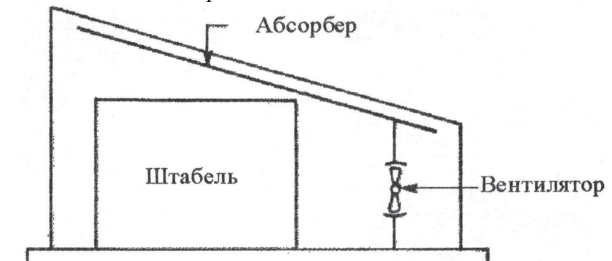


Рис. 1. Загальний вигляд геліосушарки тепличного типу

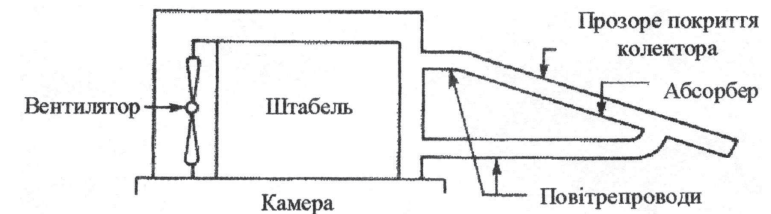


Рис. 2. Загальний вигляд геліосушарки з зовнішніми колекторами

На основі аналізу результатів використання сонячної енергії в процесі сушіння деревини і конструкцій геліосушарок можна сформулювати такі переваги і недоліки сонячного сушіння (табл. 1).

Табл. 1. Переваги і недоліки сонячного сушіння деревини

| Переваги                                                                                                                                        | Недоліки                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Використання необмеженого відновлювального і екологічно чистого джерела енергії.                                                             | 1. Залежність від кліматичних і погодних умов.                                                                                                    |
| 2. Менша тривалість процесу сушіння (в 1,5-3 рази) і можливість отримання значно нижчої кінцевої вологості порівняно з атмосферним сушінням.    | 2. Відносно низькі температури сушіння (30...40 °С) і, як наслідок, у 1,5-3 рази повільніше сушіння порівняно з сушінням у конвективних сушарках. |
| 3. Капіталовкладення порівняно з конвективними камерними сушарками є меншими на 60...80 %.                                                      | 3. Додаткове використання електроенергії для створення циркуляції повітря.                                                                        |
| 4. Значно вища якість висушеного матеріалу порівняно з атмосферним сушінням, що досягається за рахунок ведення контрольованого процесу сушіння. | 4. Додаткове використання енергії для систем САР                                                                                                  |
| 5. Простота у виготовленні й експлуатації.                                                                                                      |                                                                                                                                                   |

Також необхідно зазначити, що використання дорогих матеріалів (особливо геліотермічних колекторів) оправдане тільки для районів з високим рівнем інсоляції та при високому рівні цін на традиційні енергоносії.

Таким чином, огляд літературних джерел показує, що проблема успішного використання сонячної радіації в кліматичних умовах України до кінця не розв'язана і вимагає подальших досліджень, зокрема, для твердолистяних порід, що важко висихають.

### Література

1. Schwalbe C. G., Bartels J. Die Trocknung von Rundhölzer// Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. – 1934. – Bd.75. – S. 1-19.
2. Altenkirch E. Trocknungsanlage mit Ausnutzung der Sonnenenergie// VDI- Zeitschrift. – 1938. – Bd.82. – S. 1347.
3. Johnson C. L. Wind-powered solar-heated lumber dryer// Southern Lumberman. – 1961, № 203. – P. 41-44.
4. Wengert E. M. Improvements in solar kiln design// Research Note FPL-0212. – Madison, WI. – 1971. – 10 p.
5. Wengert E. M., Oliveira L. C. Solar-heated, lumber dry kiln designs. – Blacksburg, VA: Department of Forest Products, 1980. – 72 p.
6. Simpson W. T., Tschemitz J. L. Performance of a solar/ wood energy kiln in tropical latitudes// Forest products journal. – 1989, № 1. – P. 23-30.
7. Plumptre R. A., Jayanetti D. L. Solar heated timber drying kilns. – Oxford: TRADA Technology Ltd., 1996. – 24 p.
8. Schneider A., Engelhardt F., Wagner L. Vergleichende Untersuchungen über die Freilufttrocknung und Solartrocknung von Schnittholz unter mitteleuropäischen Wetterverhältnissen// Holz als Roh- und Werkstoff. – 1979, № 37. – S. 427-433.
9. Koberle M. Trocknen von Schnittholz mittels kombinierten Heizung unter Verwendung von Sonnenenergie// Holzindustrie. – 1982, № 2. – S. 42-43.
10. Popovska E. O suszeniu solarnym drewna// Przemysł Drzewny. – 1982, № 11. – S. 16-18.
11. Озарків І. М., Басальга Е. В. Применение нетрадиционного вида энергии для сушки древесины// Wood business. – 1997, № 4. – С. 21-22.

УДК 674.047

Доц. І.М. Озарків, канд. техн. наук;  
доц. М.С. Кобринич, канд. фіз.-мат. наук – УкрДЛТУ

### АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

Наведені основні властивості сонячного випромінювання як екологічно чистого джерела енергії для сушіння деревини.

*Doc. I. M. Ozarkiv, doc. M. S. Kobrynovich – USUFWT*

#### The qualities of solar radiation analysis in technological processes of wood drying

The main qualities of solar radiation as ecological source of energy for wood drying are showed.

Традиційні методи отримання технічних видів теплової енергії, що базуються на використанні вугілля, нафти і газу, вже не відповідають сучасним вимогам науково-технічного прогресу. Крім того, вичерпання запасів цих видів палива і джерел енергії в Україні викликає необхідність пошуку екологічно чистих джерел теплової енергії. У свою чергу, відпуск цін на енергоносії відкриває дуже перспективний напрям використання сонячної енергії як в

технології сушіння деревини, так і в сушильних установках, що використовують даний вид енергії. У зв'язку з цим розв'язання науково-технічної проблеми перетворення світлової енергії в теплову з метою подальшого використання для сушіння пилопродукції має важливе науково-практичне значення.

Використання Сонця як джерела теплового випромінювання вимагає знання його основних кутових, енергетичних і спектральних характеристик, а також ступінь їх зміни на поверхні опроміненого об'єкта теплової обробки (нагрівання або сушіння).

Відомо [1, 2], що спектр випромінювання Сонця за межами земної атмосфери приблизно співпадає зі спектром випромінювання абсолютно чорного тіла при  $T=6000\text{ K}$ , а енергетична густина опромінення складає  $6.2 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$ . До поверхні Землі від Сонця через атмосферу доходить випромінювання із довжинами хвиль  $\lambda=0.30 \dots 3.0 \text{ мкм}$  із смугами поглинання, що викликаються наявністю в атмосфері водяної пари, вуглекислого газу і озону. Зокрема, як поглинач сонячного випромінювання, водяна пара характерна наявністю смуг поглинання в діапазонах довжин хвиль:  $0.494 \dots 0.5114$ ;  $0.542 \dots 0.5478$ ;  $0.567 \dots 0.578$ ;  $0.586 \dots 0.606$ ;  $0.628 \dots 0.7304$ ;  $0.826 \dots 0.978$ ;  $1.095 \dots 1.165$ ;  $1.319 \dots 1.948$ ;  $1.762 \dots 1.977$ ;  $2.52 \dots 2.845$ ;  $4.24 \dots 4.40$ ;  $5.25 \dots 7.5 \text{ мкм}$  [3]. При цьому в межах самої смуги поглинання коефіцієнт поглинання характеризується великою нерівномірністю.

Вуглекислий газ, на відміну від водяної пари, характеризується більш рівномірним розсіюванням випромінювання в атмосфері і смуги поглинання припадають на довжини хвиль  $1.38 \dots 1.50$ ;  $1.52 \dots 1.67$ ;  $1.92 \dots 2.10$ ;  $2.64 \dots 2.87$ ;  $4.63 \dots 4.95$ ;  $5.05 \dots 5.35$ ;  $12.5 \dots 16.40 \text{ мкм}$ . Озон в атмосфері розподілений дуже нерівномірно і як поглинач сонячної радіації характерний наявністю смуг поглинання в таких спектральних інтервалах довжин хвиль:  $0.60$ ,  $4.63$ , ...,  $4.95$ ,  $6.30$ , ...,  $10.60$ ,  $12.10$ , ...,  $16.40 \text{ мкм}$ .

У приземних шарах атмосфери випромінювання Сонця еквівалентне випромінюванню абсолютно чорного тіла з температурою  $5600\text{ K}$ . Сонячна постійна, що представляє собою густину сонячного потоку енергії сонячного випромінювання за межами земної атмосфери на середній віддалі від Землі до Сонця, дорівнює  $1.353 \text{ кВт/м}^2$ .

Енергетична освітленість, що створюється Сонцем на площині, перпендикулярній до напрямку Сонця, поза земною атмосферою становить  $1.36 \text{ кВт/м}^2$  (в перигеї –  $1.407 \text{ кВт/м}^2$ , а в апогеї –  $1.316 \text{ кВт/м}^2$ ). На поверхні Землі освітленість перебуває в межах  $0.616, \dots, 0.913 \text{ кВт/м}^2$ .

Для Землі як об'єкта опромінення характерні дві складові випромінювання: відбитий променевий потік і власне випромінювання. Значення коефіцієнта відбивання змінюється в широкому діапазоні ( $0.10 \dots 0.80$ ), що пояснюється відповідними метеоумовами і різними умовами освітлення ділянок земної поверхні. У міру віддалення від Землі коефіцієнт відбивання стає все більш інтегральним (усередненим для всього диску Землі) і приймає значення, що дорівнює  $0.398$ . Потрібно зазначити, що власне випромінювання Землі припадає на інтервал хвиль  $3 \dots 4 \text{ мкм}$ .