

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ СОНЯЧНЕ СУШІННЯ ДУБОВИХ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ

Наведено результати експериментальних досліджень сушіння дубових пиломатеріалів у модельній сонячній сушарці напівтепличного типу; розглянуто ефективність використання сонячного сушіння порівняно з атмосферним способом.

Doctorate A.I. Matskiv – USUFWT

Experimental Solar Drying of Oak Lumber

In article presented some results of experimental drying of oak lumber in small greenhouse – type dryer, the effectiveness of solar drying in direct comparison with air drying investigated.

1. Актуальність досліджень. В існуючих умовах росту цін на традиційні енергоносії особливої актуальності набуває проблема використання нетрадиційних джерел енергії. Сушіння пиломатеріалів як ключовий технологічний процес характеризується значною енергомісткістю, що спонукає до пошуку шляхів її зниження. Вже у 30-х роках у Німеччині здійснено спроби використання енергії Сонця для сушіння деревини та інших сільськогосподарських продуктів, а на початку 60-х у США започатковано активні дослідження сушіння пиломатеріалів у геліосушарках, які не втратили актуальності і до сьогоднішнього дня. Аналіз світового досвіду [1] свідчить про високу ефективність сонячних сушарок з огляду на інтенсивність процесу сушіння, можливість отримання достатньо низької кінцевої вологості матеріалу і його високу якість. При цьому доведено доцільність використання сонячної радіації не тільки в тропічних кліматичних умовах, але і у помірних широтах. У публікаціях останніх років, присвячених даній проблематиці, спостерігається тенденція до все більшого зацікавлення сушарками напівтепличного типу, як найдешевшого способу використання сонячного випромінювання. З огляду на добовий хід температур у таких сушарках, доцільно зосередити увагу на дослідженні динаміки сонячного сушіння пиломатеріалів твердих листяних порід, при цьому найбільш сприятливими умовами для проведення цих досліджень є літній період. Проведення таких експериментальних досліджень дає змогу виявити особливості процесу сонячного сушіння пиломатеріалів у наших кліматичних умовах та отримати необхідні для перевірки математичного опису процесу дані.

2. Об'єкт досліджень, методика експерименту. Згідно з поставленими завданнями, експериментальні дослідження проведено на прикладі деревини дуба черешкового (*Quercus robur* L.), загальна площа якого на території України становить 1,6 млн.га, а середній річний приріст – 2,58 м³/га [2]. З огляду на поведінку у процесах конвективного сушіння, для дубових пиломатеріалів властива схильність до розтріскування, яке відбувається внаслідок наявності значної кількості паренхимних клітин, що утворюють серцевинні промені – 28...32 % від загального об'єму деревини. При цьому з утворенням ядра судини закупорюються тилами, що блокує капілярну систему і суттєво знижує її вологопровідність. Тому процес сушіння загалом характеризується відносно

малою інтенсивністю, а температурний рівень агента сушіння лімітується, в основному, градієнтом вологості в матеріалі та явищем колапсу.

Для дослідження сонячного сушіння дубових пиломатеріалів ми створили спеціальну експериментальну установку та підібрало контрольно-вимірювальні прилади. Експериментальна установка (рис. 1) – це сушарка рамкової конструкції з інтегрованим у похилий дах сонячним колектором, подвійним застлінням 1 та тепло- і вологоізованими огороженнями 6. Під застлінням колектора розміщено абсорбер 3, виготовлений з листового алюмінію і покритий термостійкою матовою фарбою чорного кольору. Для циркуляції повітря у верхній частині абсорбера вмонтовано осьовий вентилятор 2, а у північній знімній стіні передбачено припливний і витяжний канали 4 і 5. Установка працює таким чином: повітря вентилятором подається у зону колектора, там нагрівається і проходить через штабель висушуваного матеріалу, при цьому час роботи вентилятора обмежується денними годинами.

Під час проведення дослідного сушіння пиломатеріалів визначається біжуча і пошарова вологість дослідних зразків за відомим ваговим методом [3]. Поряд з цим, для порівняння з атмосферним сушінням фіксується добовий хід температури і відносної вологості повітря у сушарці і ззовні її для порівняння з часто атмосферним повітрям. Для цього виготовлено два психрометри. Як давачі в них використано термометри опору, сигнал від яких подається на вторинний прилад КСМ-2 і фіксується на діаграмній стрічці. З метою вимірювання температурного поля у висушуваному матеріалі, як давачі, використано ХК-термопари та вторинний самопишучий прилад КСП-2. Одночасно з сушінням у сонячній сушарці здійснюється контроль біжучої вологості пиломатеріалів ідентичних характеристик при атмосферному сушінні.

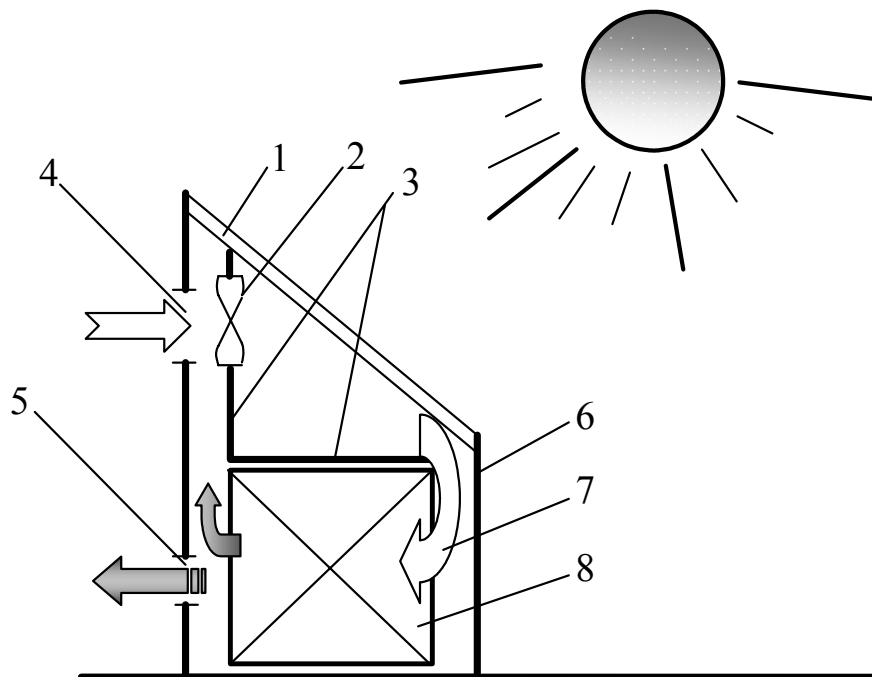


Рис. 1. Принципова схема сонячної сушарки напівтепличного типу:

1 – прозоре покриття; 2 – циркуляційний вентилятор; 3 – абсорбер;
4 і 5 – відповідно канали для припливу свіжого і викиду відпрацьованого повітря;
6 – непрозорі огороження; 7 – циркулююче повітря; 8 – штабель

3. Результати досліджень і їх обговорення. Весь комплекс експериментальних досліджень проводився в три етапи, під час яких висушувалось дослідні зразки, випилані з ядрових дошок тангентального розміщення завдовжки 1000 мм та завширшки 300 мм. На першому етапі (у період з 4 червня по 25 липня 2002 року) проведено дослідні сушіння дубових пиломатеріалів товщиною 25 мм, на другому етапі (з 7 серпня по 10 вересня 2002 року) – 32 мм, а на третьому у період (з 24 травня по 28 серпня 2003 року) – товщиною 50 мм. У табл. 1 наведено результати сонячного і атмосферного сушіння дубових пиломатеріалів.

Табл. 1. Результати дослідних сушінь дубових пиломатеріалів

Спосіб сушіння	Товщина, мм	Середня вологість дослідних зразків		Тривалість сушіння τ , дні
		початкова W_p , %	кінцева W_k , %	
У сонячній сушарці	25	72,7	10,3	51
	32	76,1	19,1	34
	50	73	10,1	96
Атмосферний	25	75,7	19,3	51
	32	74,4	32,6	34
	50	71,5	37,7	96

Як видно з табл. 1, початкова вологість дослідних зразків весняно-літнього розпилювання у кожному досліді перебувала в межах 70...80 %, що є нормальним явищем, враховуючи природну анізотропію деревини, місце розташування у колоді та умови росту конкретно взятого дерева. Різниця у значеннях кінцевої вологості матеріалу висушеного атмосферним способом і у сушарці, не враховуючи фактора часу, зростає зі збільшенням його товщини і становить 9, 13,5 і 18,4 % відповідно для товщин 25, 32 і 50 мм. На кривих сушіння протягом перших днів спостерігається постійна швидкість сушіння, у період якої вологість матеріалу знижується на 15...20 % (рис. 2). При цьому суттєвого впливу температури на швидкість сушіння пиломатеріалів у цей період не виявлено, а криві сушіння атмосферним способом у загальному характеризуються більшим кутом нахилу, ніж у сушарці. Тобто, процес сушіння у періоді постійної швидкості при атмосферному способі є інтенсивнішим, ніж у сонячній сушарці. Це пояснюється тим, що відносна вологість зовнішнього повітря на початку сушіння сягає значно нижчих значень, ніж у сушарці, тому його рівноважна вологість була нижчою і поверхневі шари при атмосферному сушінні висихали швидше, що відображається на загальній інтенсивності процесу у перший період. Поряд з цим імовірною причиною інтенсивнішого атмосферного сушіння пиломатеріалів є швидкість вітру, яка набувала значно вищих значень впродовж всієї доби, ніж швидкість циркуляції повітря у сушарці, що становила 2,5...3 м/с і обмежувалась лише денними годинами.

Варто відзначити, що значний вплив на швидкість атмосферного сушіння має спосіб укладання пиломатеріалів у штабель. Під час проведення наших досліджень не формувалось повногабаритного штабеля, тому дослідні криві атмосферного сушіння пиломатеріалів варто трактувати як такі, що характеризують висихання матеріалу у крайніх рядах повногабаритного штабеля. У періоді спадаючої швидкості сушіння спостерігається залежність швидкості висихання

від добового ходу температури, оскільки процес сушіння більшою мірою лімітується вологопровідністю, яка, у свою чергу, є функцією температури. Тому внаслідок вищих температур повітря у сушарці кут нахилу кривих сонячного сушіння збільшується, а атмосферного – зменшується, що виражається в характерному перетинанні кривих та їх поступовому розходженні.

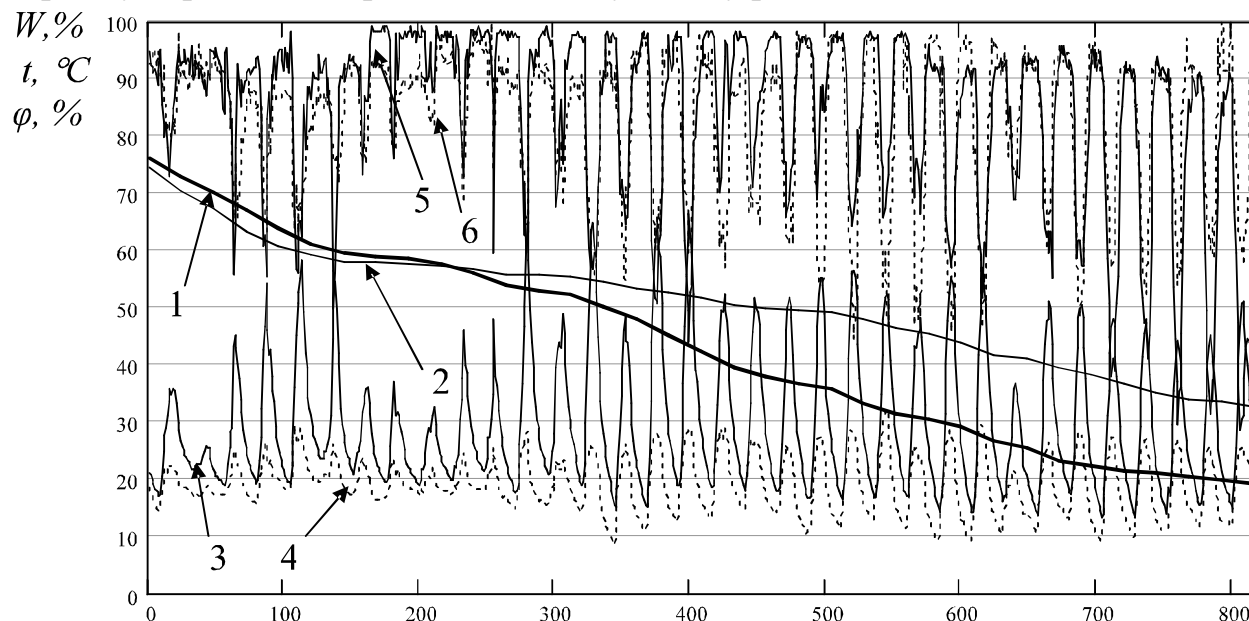


Рис. 2. Дослідне сушіння дубових пиломатеріалів (32×300 мм):

1,2 – вологість деревини W відповідно при сушінні в сонячній сушарці і атмосферним способом; 3,4 – відповідно температура повітря t в сушарці і зовнішнього повітря; 5,6 – відносна вологість повітря ϕ відповідно в сушарці і зовнішнього повітря

Аналізуючи хід температури і відносної вологості зовнішнього повітря та у сушарці можна виявити певну нерегулярність в їх співвідношенні для періоду постійної швидкості сушіння. Так, у більшості випадків за температури повітря у сушарці у 1,5...2 рази вищій від зовнішнього середовища середовища, відносна вологість повітря не сягала критично низьких значень та була вищою або рівною зовнішній. Цей факт є позитивним явищем, яке дозволяє певною мірою контролювати вологість середовища шляхом повітрообміну з оточуючим середовищем. Із фізичної точки зору це пояснюється тим, що значна частина тепла витрачається на прогрівання вологого матеріалу з відносно високою теплоємністю та нагрівання повітря з високим вологовмістом. При зменшенні вологовмісту матеріалу та із зростаючим повітрообміном досягаються значно вищі температури повітря та досить низькі значення відносної вологості повітря, що, у свою чергу, дає змогу суттєво інтенсифікувати процес.

Для умовного порівняння параметрів середовища під час проведення дослідів розіб'ємо процес кожного дослідного сушіння на два періоди з переходом у момент досягнення середньої вологості матеріалу 30 % у сонячній сушарці. Як видно з табл. 2, максимальні температури сушіння при проведенні всіх трьох дослідів у середньому у 2 рази вищі, ніж температури зовнішнього середовища, а тривалість критично високих температур (50...60 °C) не перевищує 2...3 годин (рис. 2). Важливою характеристикою процесу є середня температура, яка для другого періоду була на 3,4...4,0 °C вища, ніж у

першому, що загалом дає змогу інтенсифікувати процес сушіння за принципом режимного підвищення температури при висиханні матеріалу.

Табл. 2. Порівняння параметрів середовища при сонячному та атмосферному сушінні

Товщина, мм	Спосіб сушіння	Період	Температура, °C			Відносна вологість, %	
			Максимальна	Мінімальна	Середня	Мінімальна	Середня
25	У сонячній сушарці	1	57,4	9,8	28,1	55	86
		2	63,0	12,6	31,5	28	78
	Атмосферний	1	35,0	8,4	20,2	43	83
		2	34,4	10,5	21,9	44	82
32	У сонячній сушарці	1	66,5	15,2	30,4	43	88
		2	57,1	13,2	34,4	28	75
	Атмосферний	1	32,2	8,7	19,5	43	84
		2	29,6	9,1	17,9	45	79
50	У сонячній сушарці	1	65,0	9,0	28,7	29	85
		2	68,0	9,0	32,5	21	71
	Атмосферний	1	33,0	8,0	19,2	44	83
		2	33,0	8,7	20,0	30	82

Такий хід температур тісно пов'язаний з регулярністю повітрообміну сушарки з навколишнім середовищем, тому у другому періоді при інтенсивному повітрообміні відносна вологість повітря сягає майже вдвоє нижчих значень, ніж у першому. Середнє значення відносної вологості повітря у сушарці для першого періоду було на 3,4...4 % вищим, а для другого на 4,2...10,6 % нижчим від ступеня насичення зовнішнього повітря, а мінімальна вологість у другому періоді сягала 21.28 %, тобто була приблизно у два рази нижча, ніж у першому періоді сушіння. Це свідчить про зниження відносної вологості повітря зі всиханням матеріалу і є необхідною умовою досягнення потрібної кінцевої вологості матеріалу. При вимірюванні температури деревини виявлено, що різниця температур поверхневого та центрального шарів не перевищує 1...2 °C, що є характерним для низькотемпературних процесів конвективного сушіння пиломатеріалів. Тому, враховуючи точність вимірюваних приладів (0,5 °C показу і 1 °C запису), вимірювану температуру можна трактувати як інтегральну.

У процесі досліджень проводились регулярні спостереження за якістю матеріалу і було виявлено, що незважаючи на вологоізоляцію торцевих зрізів двома шарами масляної фарби, при атмосферному сушінні на торцях пиломатеріалів товщиною 32 і 50 мм виникають тріщини, які переважно переходять на пласті. Однак при сонячному сушінні спостерігаються тільки незначні торцеві тріщини, які абсолютно не знижують якості матеріалу. При цьому у всіх випадках тріщин на пластах матеріалу не виявлено. Така картина пояснюється надто інтенсивним атмосферним сушінням у періоді постійної швидкості, на відміну від дещо сповільненого сушіння у сонячній сушарці за приблизно рівних значень відносної вологості повітря та вдвоє вищої температури сонячного сушіння, що, у свою чергу, зумовлює виникнення менших градієнтів вологості та напружень поверхневого розтягу. Поряд з цим при со-

нячному сушінні на пиломатеріалах виявлено специфічні плями, появу яких можна пояснити, по-перше, конденсацією води на поверхні матеріалу при щоденному нагріванні, коли температура деревини є нижчою температури мокрого термометра; при цьому фарбуючі дубильні речовини розчиняються водою і виносяться на поверхню. По-друге, окислення хімічно активних дубильних речовин на пластах і кромках виражається у специфічних концентричних колах на поверхні матеріалу. І нарешті, температура як один з фундаментальних чинників інтенсифікує процеси окислення і дифузії забарвлюючих речовин на поверхні матеріалу, оскільки критичною щодо зміни природного кольору деревини дуба є температура 24...27 °C [4].

Варто відзначити, що виявлені плями в жодному разі не знижують якості висушеного матеріалу, оскільки мають тільки поверхневий характер, що в будь-якому випадку усувається під час вторинної механічної обробки.

4. Висновки. Із аналізу результатів проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. загальний час сушіння дубових пиломатеріалів у сонячній сушарці в наших кліматичних умовах є значно коротший, ніж при атмосферному сушінні;
2. при сонячному сушінні можливо досягти значно нижчої кінцевої вологості матеріалу, ніж при атмосферному;
3. хід параметрів середовища при сонячному сушінні принципово відображає хід режимних параметрів при камерному сушінні – ріст температури та зниження відносної вологості повітря при висиханні матеріалу;
4. при сонячному сушінні практично відсутнє розтріскування матеріалу на відміну від мало керованого атмосферного способу;
5. виявлені поверхневі плями не знижують якості матеріалу порівняно з атмосферним способом та сушінням у конвективних сушарках;
6. отримані результати експериментальних досліджень є коректними і можуть бути використані для перевірки адекватності математичних моделей процесу сонячного сушіння пиломатеріалів.

Література

1. **Мацьків А.І.** Використання сонячної енергії для сушіння деревини// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип. 12.5. – С. 115-118.
2. **Гвоздяк Р.И., Гордиенко М.И., Гойчук А.Ф.** Дуб черешчатый в Украине. – К.: Наук. думка, 1993. – 222 с.
3. **Руководящие** технические материалы по технологии камерной сушки древесины. Архангельськ, 1985. – 143 с.
4. **Rech H., Hansmann C., Pokorny M.** The colour of wood from white oak// Forschung-Verwertung. – 2000, № 1. – S. 13-15.

УДК 674.815

Доц. Ю.І. Грицюк, канд. техн. наук – УкрДЛТУ

РОЗРАХУНОК ПРОДУКТИВНОСТІ РОБОТИ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО РОЗКРІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

Пропонується методика визначення продуктивності роботи розкрійного обладнання, яка базується на врахуванні показників ефективності отриманого оптималь-