

## РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДЕРЕВИНИ

УДК 674.047

**В.І. Ступа**, д-р техн. наук

**П.Л. Ігнатенко**, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

*Розглянуто способи сушіння деревини, проаналізовано їх особливості та запропоновано прогресивний технологічний процес сушіння.*

#### Вступ

Сушіння матеріалів є енергоємним процесом, пов'язаним зі значною витратою палива, пари, а також електроенергії, а отже, використання високоточної автоматики дозволить значно скоротити терміни сушіння та знизити енергетичні витрати.

На підприємствах, коли планується процес, то сировинний матеріал має вигляд пиломатеріалів (дошок, брусів, заготовок), шпону (тонколистового матеріалу), трісок, стружки і волокон, а інколи круглих лісоматеріалів (деталі опор ліній електропередачі, зв'язки, будівельні деталі).

У результаті сушіння деревина з природної сировини перетворюється в промисловий матеріал, що відповідає найрізноманітнішим вимогам, які висуваються до нього в різних виробничих і побутових умовах. При зниженні вологості деревини поліпшуються її фізико-механічні й експлуатаційні властивості. Відомо, що при зміні вмісту вологи в деревних сортаментах змінюються їхні розміри і форма. У тих випадках, коли під час експлуатації виробів з деревини необхідна сталість розмірів і форми деталей, їхня вологість повинна бути заздалегідь доведена до визначеного рівня, що відповідає умовам експлуатації цих виробів, тобто до експлуатаційної вологості. Зниження вологості деревини приводить до зниження її маси та одночасного підвищення міцності. Суха деревина, на відміну від сирі, легко клеїться, добре піддається обробці. Контроль за кінцевим показником вологості є головним чинником у процесі сушки [1].

#### Постановка проблеми

Таким чином, деревину висушують з метою попередження розміро- і формозмінності деталей; запобігання псування і загнивання; збільшення питомої міцності; підвищення якості обробки і склеювання.

Вибір способу сушіння і сушильного устаткування визначається рядом факторів: породним і сортаментним складом пиломатеріалів, що висушуються, вартістю енергоносія, необхідною продуктивністю, умовами й інвестиційними можливостями споживачів. Сушильна камера з енергозберігаючими технологіями – обов'язкова умова рентабельної роботи.

Циркуляційна система сушки повинна забезпечувати необхідну швидкість і рівномірність розподілу сушильного агента по матеріалу для різних порід з метою одержання вищої якості й оптимальної тривалості процесу. Для спонукання циркуляції сушильного агента використовують осьові і, в окремих випадках при великому опорі циркуляційного тракту, відцентрові вентилятори. До цього устаткування повинні пред'являтися жорсткі вимоги щодо його надійності під час експлуатації в середовищі з підвищеною температурою і вологістю.

Поряд з традиційними конвективними сушарками певне поширення одержали вакуумні і конденсаційні сушарки.

Вакуумні сушарки доцільно використовувати для сушіння деревини твердих листяних порід великих перетинів (50 мм і більше), коли тривалість процесу є важливим чинником. При купівлі таких камер не можна забувати про великі капітальні вкладення.

Конденсаційні сушарки використовують у тих випадках, коли електроенергія як енергоносіє найбільш дешева в порівнянні з іншими видами. ККД таких сушарок найбільш високий при температурі сушильного агента до 45° С. При цих параметрах собівартість процесу невелика, зате термін сушіння значний.

Сучасні лісосушильні камери дозволяють досягти високої якості сушіння. Вони оснащені системою автоматичного керування процесом і є складним комплексом устаткування, що вимагає кваліфікованого обслуговування.

Винятково велике значення має якість сушіння деревини, без чого неможливий випуск високоякісної продукції. Низька якість сушіння, обумовлена незадовільним технічним станом сушильного устаткування і слабкою технологічною підготовкою обслуговуючого персоналу, приводить до прихованого браку – нерівномірності розподілу кінцевої вологості, що довгий час може залишатися непоміченим і позначитися тоді, коли виріб знаходиться в експлуатації.

### Методи і результати

Класифікація способів сушіння ґрунтується на особливостях передачі тепла матеріалу, що висушується, і за цією ознакою можна виділити наступні види сушіння: конвективне, кондуктивне, радіаційне, електричне [2, 3]. Практична мета всіх видів сушіння – це зведення до мінімуму коливань кінцевої вологості деревини. Вибір способу сушіння, устаткування й організація процесу залежать від безлічі факторів як технологічного, так і місцевого значення.

У табл.1 приведені види і способи сушіння.

Таблиця 1

Види та способи сушіння деревини

Вид сушіння	Сушильні агенти	Спосіб сушіння	Основні особливості процесів
1	2	3	4
Конвективно-атмосферне	Повітря	На корені	Сушіння з використанням несущої сили крони живого дерева
	Повітря	Атмосферна	Сушіння на відкритих складах чи під навісами
Конвективно-теплове	Повітря, тепловий газ, водяна пара та їхні суміші	Газопарова	Сушіння в нагрітому газовому середовищі при атмосферному тиску
		Ротаційна	Газопарове сушіння з додатковим використанням відцентрового ефекту
	Рідини	Вакуумна	Газопарове сушіння при тиску середовища нижче атмосферного
		У рідинах	Сушіння з використанням нагрітих рідких сушильних агентів

1	2	3	4
Кондуктивне	Повітря	Кондуктивне	Сушіння з передачею тепла матеріалу за допомогою теплопровідності під час контакту з нагрітими поверхнями
Радіаційне	Повітря	Радіаційне	Сушіння передачею тепла матеріалу випромінюванням
Електричне	Повітря	Діелектричне	Сушіння в електромагнітному полі ТВЧ чи СВЧ з передачею тепла матеріалу за рахунок діелектричних втрат
Електричне	Повітря	Індукційне	Сушіння в електромагнітному полі промислової частоти з передачею тепла матеріалу від розташовуваних всередині штабелю феромагнітних шляхів, що нагрівають індуктивними струмами

Основні фактори з цілим рядом конкретних показників наступні:

- вимоги до якості й обсягів матеріалів, що висушуються;
- забезпечення енергоносіями;
- склад комплектації устаткування;
- умови розміщення сушильних камер;
- фінансові можливості підприємства;
- забезпечення кадрами й ін.

### Сушіння в рідинах

У даному випадку сушильним агентом служать гідрофобні і гідрофільні рідини.

Зневоднювання в гідрофобних рідинах, оліях, розплавлених металах, сірці по своєму механізму схоже на конвективне сушіння при високотемпературному режимі. Тому всі негативні наслідки – зниження міцності деревини, великі внутрішні напруження, характерні для високотемпературного режиму сушіння, присутні і тут.

### Конденсаційний спосіб сушіння

За принципом дії конденсаційний спосіб відноситься до замкнутого циклу, тобто сушильний агент робить циркуляцію по камері без викиду в атмосферу і, відповідно, без підживлення свіжим повітрям. Повітря, насичене вологою відібраної з деревини, змочує холодну поверхню і вихолоджується до температури нижче крапки роси. Частина вологи, що міститься в повітрі, конденсується, а теплота, виділена при цьому, використовується для підігріву сушильного агента. Як охолоджувач використовується фреон.

Теоретично конденсаційний сушильний цикл з холодильником, що відіграє роль теплового насоса, характеризується нульовою витратою тепла на випар вологи. Витрати електроенергії тут йдуть на прогрів матеріалу і тепловтрати, а також на привод компресора і вентиляторів. Для компенсації теплових втрат агрегат забезпечується додатковим калорифером із зовнішнім електроживленням [1].

За даними закордонних фірм Hildebrand, Brunner, Vanicek енергоспоживання конденсаційних сушарок складає 0,25...0,5 кВт\*/год на 1 кг випаровуваної води в залежності від вологості матеріалу, збільшуючись при її зниженні. Це приблизно в два рази менше витрати енергії в звичайних збірно-металевих камерах періодичної дії.

### **Атмосферне сушіння**

Атмосферне сушіння є найбільш дешевим способом. Воно не вимагає таких капітальних витрат, як камерне, але для нього необхідний великий запас матеріалу.

Відомо, що атмосферно висушена деревина може експлуатуватися багато сторіч, якщо її повторно незволожувати.

Основним недоліком атмосферного сушіння є те, що процес некерований: у районах з підвищеною вологістю повітря підвищується ймовірність поразки пиломатеріалів грибками, а на півдні – розтріскуванням.

Згідно з правилами, атмосферне сушіння проводиться в штабелях, що укладаються на спеціальних складах. Стан сушильного агента – нестабільний, на нього впливають кліматичні умови, час року і доби. У результаті взаємодії повітря з деревиною, що висихає, на складах створюється своєрідний мікроклімат: повітря має знижену температуру, підвищену вологість і невелику швидкість циркуляції. Тому процес атмосферного сушіння тривалий. Деревина висушується до вологості 12...20% залежно від кліматичних умов, породи і товщини матеріалу.

Існують способи інтенсифікації процесу, а саме: застосування більш розрідженого укладання, розміщення штабелів відповідно до напрямку пануючих вітрів, використання примусової циркуляції повітря за допомогою вентиляторів. Прискорення процесу, з одного боку, сильно знижує можливість появи хімічних і прокладочних фарбувань, синяв і гнилі, але з іншого боку, сприяє зниженню відносної вологості повітря, що призводить до збільшення залишкових напружень. Прискорене атмосферне сушіння дозволяє довести матеріал до вологості 20...30% за час, що складає від 1/2 до 1/4 тривалості процесу при звичайному атмосферному сушінні.

### **Камерне й атмосферно-камерне сушіння**

Камерне сушіння пиломатеріалу – основний промисловий спосіб зневоднювання деревини, що реалізується у відповідних приміщеннях-камерах.

Звичайно під камерним розуміють конвективно-тепловий вид сушіння, здійснюваний у конвективних камерах різних конструкцій.

Сушильні камери можуть мати будівельні чи металеві огороження; бути стаціонарними чи пересувними; здійснювати безупинне чи періодичне сушіння матеріалу.

Камерне сушіння на деревообробних і меблевих підприємствах стало інтенсивно розвиватися в 1930 р. І дотепер на багатьох підприємствах експлуатуються камери застарілих конструкцій – безвентиляторні з підвальним приміщенням, що працюють за принципом природної циркуляції повітря, типу Грум-Гржимайло, Некар та ін.

Вибір категорії режиму здійснюється відповідно до потреби в сухому матеріалі, тому що тривалості процесу при м'якому і форсованому режимах відрізняються більш ніж у два рази, а також від призначення матеріалу, оскільки підвищення рівня температури висушування веде до втрати міцності деревини.

Переміщення повітря в камерах здійснюється за допомогою осьових чи відцентрових вентиляторів. Значення швидкості циркуляції повітря по штабелю в сучасних камерах коливаються від 1,0 до 5,0 м/с залежно від породи деревини.

Переваги камерного сушіння в порівнянні з атмосферним – це менша тривалість, можливість керування процесом.

У зв'язку з особливостями розвитку внутрішніх напружень у деревині найбільш небезпечним є початковий період сушіння до середньої вологості матеріалу 30%. Тому режими камерного сушіння побудовані так, щоб перша ступінь, а по тривалості вона займає близько 40...45% усього терміну сушіння, була найбільш "волога". Це значить, що ступінь насиченості повітря створюється тут високий, та вимагає великих енерговитрат. При атмосферному підсушуванні по матеріалу циркулює вологе повітря низької температури, тобто створюється мікроклімат, досить безпечний для стану деревини.

Для пиломатеріалів твердих листяних порід підсушування бажано проводити в спеціальних низькотемпературних камерах при температурі до 40 °С. У цьому випадку процес підсушування керований, тривалість його в 5...8 разів менше, ніж при атмосферному підсушуванні, значно менше і ступінь нерівномірності просихання.

#### **Ротаційний спосіб сушіння**

Цей спосіб являє собою механічне зневоднювання деревини в полі відцентрових сил. Здійснюється він у спеціальних карусельних сушарках, причому найкращий ефект досягається при розміщенні штабеля чи пиломатеріалів навіть круглого сортаменту по діаметру обертової платформи. При цьому вектор відцентрової сили збігається з віссю деревного сортаменту, і зневоднювання відбувається уздовж волокон. Природно, що таким способом можна видалити з деревини тільки вільну воду. Вологість свіжої деревини при цьому знижується до 40...45% за невеликий проміжок часу – 10...20 хв. Пиломатеріали початковою вологістю 30...35% і нижче зневоднюванню з використанням відцентрового ефекту не піддаються.

Ротаційне сушіння, таким чином, може замінити першу, найбільш енергоємну і тривалу, ступінь камерного сушіння. Техніко-економічні розрахунки показали, що сполучення карусельного і камерного сушіння забезпечує 1,5-2-кратне скорочення енерговитрат і зниження собівартості сушіння на 25-30%.

Недоліком ротаційного способу є громіздкість конструкцій, складність у виконанні обертової платформи, балансування вантажу. Тому такі сушарки не одержали поширення [1].

#### **Вакуумний спосіб сушіння**

Використання зниженого тиску середовища для зневоднювання деревини викликано бажанням прискорити процес за рахунок використання додаткових резервів сушіння – не тільки градієнтів температури і вологості, але і градієнта тиску.

Матеріал, що висушується, поміщають у спеціальний автоклав чи герметичну камеру, де створюється розрідження повітря. Оскільки температура кипіння води у вакуумі нижче, ніж при атмосферному тиску, то, створюючи вакуум глибиною 0,9 кг/см<sup>2</sup>, температуру сушильного агента знижують до 40...45°C. У такий спосіб можна вести інтенсивний і, разом з тим, низькотемпературний процес сушіння при повному збереженні природних властивостей деревини.

Безпосередньо вакуумний спосіб сушіння не забезпечує необхідну експлуатаційну вологість матеріалу і застосовується тільки для сушіння пиломатеріалів до транспортної вологості, тобто до  $W_K = 22\%$ . Сполучення ж даного способу з кондуктивним, конвективним чи діелектричним дозволяє досягти необхідної кінцевої вологості при скороченні тривалості процесу в 2...10 разів.

Вакуумно-кондуктивний спосіб сушіння здійснюється при постійному протягом процесу вакуумі і контактному нагріванні деревини плитами, розміщеними усередині штабеля замість прокладок. За даними закордонних фірм Hildebrand, Citomak такий спосіб скорочує тривалість процесу в 3 рази в порівнянні з камерним сушінням нормальними режимами. Але він має ряд істотних недоліків: велика трудомісткість вантажно-розвантажувальних робіт; значна нерівномірність і розподіли кінцевої вологості по товщині матеріалу і, відповідно, великі внутрішні напруження; мала місткість камер. У силу цих недоліків вакуумно-кондуктивні камери не одержали широкого застосування в промисловості.

Вакуумно-конвективний спосіб сушіння може здійснюватися при циклічному нагріванні і вакуумуванні, тобто зі скиданням тиску, а також при постійному вакуумі.

У першому випадку матеріал спочатку прогрівають, а потім піддають вакууму. У деревині, нагрітій до температури кипіння води, відбувається википання вільної води з порожнин кліток за рахунок акумульованої теплоти. Пара, що утворилася, видаляється

з матеріалу під дією надлишкового тиску. Після припинення пароутворення, тобто охолодження деревини, її знову нагрівають, і цикл багаторазово повторюють до досягнення необхідної кінцевої вологості. Тривалість циклів і їхні параметри залежать від породи, товщини і вологості матеріалу. Такий спосіб дає скорочення тривалості процесу в 4...5 разів у порівнянні з конвективним способом при високій якості сушіння.

Сушіння при постійному неглибокому вакуумі  $0,2 \text{ кг/см}^2$  і одночасному конвективному нагріванні дає також гарну якість. Тривалість процесу при цьому не зменшується, а відповідає конвективному сушінню. Собівартість сушіння в 3 рази нижче за рахунок використання теплоти конденсації випаровуваної води і застосування низьких температур сушильного агента.

Вакуумно-конвективний спосіб сушіння останнім часом стає усе більш популярним. На думку авторів, він є найбільш перспективним серед способів, спрямованих на прискорення процесу сушіння [2].

При вакуумно-діелектричному способі сушіння нагрів матеріалу до  $45...50^\circ\text{C}$  здійснюється за рахунок енергії високочастотного електромагнітного поля чи при постійному вакуумі. Деревина знаходиться в середовищі майже чистої пари малого тиску, завдяки чому процес відбувається при малому перепаді вологості по товщині сортamentів і незначних внутрішніх напружень. Тривалість сушіння в цьому випадку зменшується в 10-12 разів. Однак вакуумно-діелектричний спосіб не позбавлений істотних недоліків. По-перше, вартість сушіння при такому способі досить велика через дорожнечу і складність устаткування, а також через великі енерговитрати. По-друге, з досвіду експлуатації вакуумно-діелектричних камер СПВД впливає, що поки не вдалося досягти гарної якості сушіння: матеріал через нерівномірність електромагнітного поля має дуже великий розкид кінцевої вологості.

#### Технологічний процес сушіння деревини

На підприємствах використовується трьохступеневий камерний режим сушіння пиломатеріалів листяних порід (таблиця 2), хвойних (таблиця 3) та модрина (таблиця 4).

Таблиця 2

Трьохступеневий камерний режим сушіння пиломатеріалів листяних порід

Порода	Категорії режиму	Товщина пиломатеріалів, мм							
		До 22	від 22 до 32	від 32 до 40	від 40 до 50	від 50 до 60	від 60 до 70	від 70 до 75	від 75 до 100
Береза, вільха	н	3-д	4-Г	4-В	5-В	6-Б	7-Б	8-Б	9-Б
	ж	2-Д	3-Г	3-В	4-В	—	—	—	—
Осика, липа, тополя	н	3-Г	3-Б	4-Б	5-В	6-В	7-В	8-В	9-В
	ж	2-Г	2-Б	3-Б	4-Б				—
Бук, клен	н	3-В	4-В	5-В	5-Б	6-Б	7-А'	8-Б	—
	ж	2-Г	3-Б	4-В				—	—
Дуб	н	5-Г	6-В	6-Б	7-Б	8-Б	9-В	10-Б	—
	ж	3-Г	4-В	5-В	—	—		—	—
Горіх	н	5-В	5-Б	6-Г	6-Б	7-В	8-Б	9-В	—
Граб, ясен	н	6-В	6-А	7-Б	8-Б	8-Б	9-В	10-В	—

Індекс режиму	Вологість деревини	Номер режиму і параметри повітря																	
		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		t	Df	t	Df	t	Df	t	Df	t	Df	t	Df	t	Df	t	Df	T	Df
	>30	82	3	75	3	69	3	63	2	57	2	52	2						
A	30...20	87	6	80	6	73	6	67	5	61	54	55	4						
	<20	108	27	100	26	91	24	83	22	77	21	70	20						
	>30	82	4	75	4	69	4	63	3	57	3	52	3	47	2	42	2	38	2
B	30...20	87	8	80	8	73	7	67	6	61	6	55	5	50	5	45	4	41	4
	<20	108	29	100	28	91	25	83	23	77	22	70	21	62	18	57	17	52	16
	>30	82	6	75	5	69	5	63	4	57	4	52	4	47	3	42	3	38	3
B	30...20	87	10	80	9	73	8	67	7	61	7	55	7	50	6	45	5	41	5
	<20	108	31	100	29	91	26	83	24	77	23	70	22	62	19	57	18	52	17
	>30	82	8	75	7	69	6	63	5	57	5	52	5	47	4	42	4	38	4
Г	30...20	87	12	80	11	73	10	67	9	61	9	55	8	50	7	45	6	51	6
	<20	108	33	100	31	91	28	83	26	77	25	70	23	62	21	57	20	52	18
	>30	82	10	75	9	69	8	63	7	57	6	52	6						
Д	30...20	87	14	80	13	73	12	67	11	61	10	55	9						
	<20	108	35	100	33	91	30	83	27	77	26	70	24						

Таблиця 3

Трьохступеневий камерний режим сушіння пиломатеріалів хвойних порід — сосни і кедра (по РТМ)

Вологість деревини, %		Номер режиму для пиломатеріалів товщиною, мм							
		1	2	3	4	5	6	7	9
		до 22	23 і 25	26 і 32	33 і 40	41 і 50	51 і 60	61 і 75	76 і 100
Нормальний режим (Н)									
>35	T і Dt, eC	83 і 9	79 і 7	79 і 6	75 і 5	73 і 5	71 і 4	64 і 3	55 і 2
35 ... 25	t і Dt, eC	88 і 14	84 і 12	84 і 12	80 і 10	77 і 9	75 і 8	68 і 7	58 і 5
<25	t і Dt, eC	110 і 36	105 і 33	105 і 32	100 і 30	96 і 27	85 і 24	85 і 24	75 і 22
Жорсткий режим (Ж)									
>35	T і Dt, eC	94 і 11	92 і 10	92 і 8	90 і 7	87 і 6	83 і 5	73 і 4	—
35 ... 25	t і Dt, eC	99 і 16	97 і 15	97 і 13	95 і 12	92 і 11	88 і 10	78 і 9	—
<25	t і Dt, eC	125 і 42	123 і 41	123 і 39	120 і 37	115 і 36	110 і 32	98 і 29	—

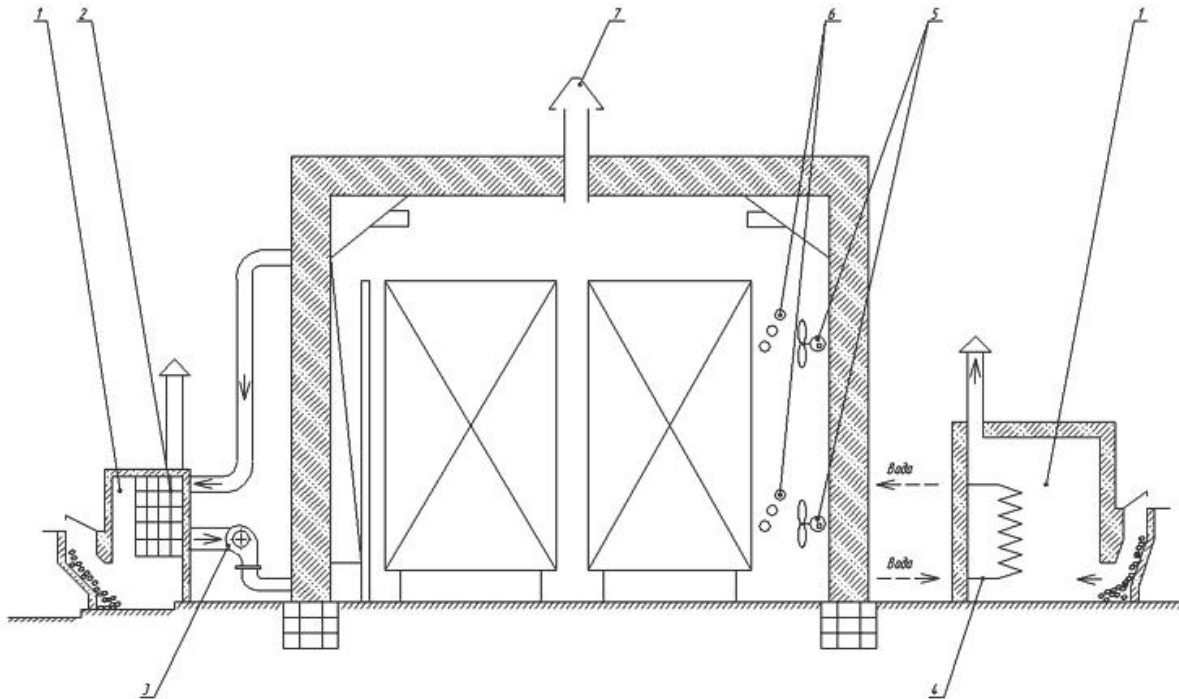
Таблиця 4

Трьохступеневий камерний режим сушіння пиломатеріалів листяних порід з деревини модрина (по РТМ)

Вологість деревини, %	Параметри	Номер режиму для пиломатеріалів товщиною, мм						
		Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Л7
		до 22	23 і 25	26 і 22	33 і 40	41 и 50	51 і 60	61 і 75
Нормальний режим (Н)								
>35	T і Dt, eC	70 і 9	70 і 8	70 і 6	65 і 5	60 і 4	80 і 3	60 і 2
35 ... 25	t і Dt, eC	75 і 15	75 і 15	75 і 15	70 і 10	65 і 9	65 і 7	65 і 5
<25	t і Dt, eC	80 і 25	80 і 25	80 і 25	75 і 20	70 і 19	70 і 18	70 і 15
Жорсткий режим (Ж)								
>35	T і Dt, eC	90 і 9	90 і 7	82 і 4	75 і 4	75 і 8	72 і 2	70 і 2
35 ... 25	t і Dt, eC	98 і 12	96 і 11	87 і 8	80 і 8	80 і 6	78 і 5	76 і 4
>25	t і Dt, eC	112 і 32	110 і 30	108 і 29	100 і 28	100 і 26	95 і 20	90 і 18

Принцип трьохступеневого режиму сушки полягає в тому, що на кожному етапі збільшується температура повітря по мірі зниження вологості в деревині до певної величини, при якій процес сушки переводиться на наступну ступінь з більшою температурою і психометричною різницею.

Нагрів та утримання потрібної температури в сушильній камері здійснюється на основі трьох теплогенераторів, які працюють на основі спалювання дров, що призводить до нагрівання труб, по яких рухається повітря за допомогою відцентрового вентилятора. Нагріте повітря подається в сушильну камеру (див. рис. 1).



1 – котел; 2 – труби з повітрям; 3 – відцентровий вентилятор; 4 – труби з водою;  
5 – вентилятор; 6 – радіатори з гарячою водою; 7 – витяжка

Рис. 1. Технологічна схема процесу сушіння

Другий теплогенератор працює на основі водяного котла та двох радіаторів, які обдуваються вентиляторами. Ці два теплогенератори застосовуються для грубого регулювання температури, а для більш точного регулювання використовують третій – електрокалорифер. Для регулювання вологості в сушильній камері використовують витяжки.

### Висновки

Вибір способу сушіння і сушильного устаткування визначається рядом факторів: породним і сортаментним складом пиломатеріалів, що висушуються, вартістю енергоносія, необхідною продуктивністю, умовами й інвестиційними можливостями споживачів. Сушильна камера з енергозберігаючими технологіями – обов’язкова умова рентабельної роботи.

Велике значення має якісне сушіння деревини, без чого неможливий випуск високоякісної продукції. Низька якість сушіння, обумовлена незадовільним технічним станом сушильного устаткування і слабкою технологічною підготовкою обслуговуючого персоналу, призводить до прихованого браку – нерівномірності розподілу кінцевої вологості, що довгий час може залишатися непоміченим і позначитися тоді, коли виріб знаходиться в експлуатації.

### Список використаних джерел

1. Кречетов И. В. Сушка и защита древесины / Кречетов И. В. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 372с.
2. Богданов Е.С. Справочник по сушке древесины / Богданов Е.С., Козлов В.А., Пейч Н.Н. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 191с.
3. Технічна документація NT1621 компанії Holtek Semiconductor Incorporated. – Taiwan, 2001. – 118с.