

УДК 620.1.052

В.М. Борисов, інженер, Нац. лісотехн. ун-т
України, м. Львів

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КЛІМАТИЧНОЇ КАМЕРИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕРЕВИНИ

В.М. Борисов. Особливості структури та конструкції кліматичної камери для дослідження деревини. Проаналізовано вимоги до матеріалів і конструкції кліматичної камери для досягнення оптимальних техніко-економічних характеристик. Обрано принципи роботи для окремих вузлів та запропоновано нову структуру для таких камер.

Ключові слова: кліматична камера, температура, вологість, термоізоляція, масляний затвор.

В. М. Борисов. Особенности структуры и конструкции климатической камеры для исследования древесины. Проанализированы требования к материалам и конструкции климатической камеры для достижения оптимальных технико-экономических характеристик. Выбраны принципы работы для отдельных узлов и предложена новая структура для таких камер.

Ключевые слова: климатическая камера, температура, влажность, термоизоляция, масляный затвор.

V.M. Borisov. Features of the structure and design of the climate chamber for the study of wood. The requirements for materials and design of the climatic chamber for optimum technical and economic characteristics are analyzed. The operating principles for individual units are selected a new structure for such cameras is proposed.

Keywords: climate chamber, temperature, humidity, thermal insulation, oil seal.

Впровадження нових матеріалів, отриманих на основі деревини, пошук найощадливіших технологій її оброблення передбачають можливість порівняння властивостей різних виробів та матеріалів у широкому спектрі кліматичних умов їх використання. Кліматичні камери (КК) дозволяють, з одного боку, створювати за стислий проміжок часу, необхідний для випробувань — в середньому 180...480 год, найрізноманітніші умови для досліджуваних матеріалів в межах однієї лабораторії [1]. З другого боку, КК дають можливість використати для дослідження стаціонарні вимірювальні прилади, більш точні та дешевші за мобільні.

Вибір оптимальних параметрів КК необхідний не тільки для одержання коректних даних дослідження властивостей деревини, але і для обґрунтованого розв'язання низки технологічних завдань з термічного оброблення деревини.

Деревина відноситься до найбільш чутливих до кліматичних умов конструктивних матеріалів зі специфічною структурою, і це відображається на вимогах до характеристик камер, у яких проводяться її випробування. Виділення особливостей режимів роботи КК, доцільних конструкційних рішень, найбільш відповідних для випробувань деревини, є необхідним кроком для створення оптимальної за можливостями та витратами камери, як у виробництві, так і в період її використання.

На ринку широко представлені різноманітні конструкції КК. Їх класифікують за різними ознаками в залежності від призначення, розмірів, а також таких функціональних можливостей, як герметизація робочого простору (РП), можливість зміни тиску, рівня і якості освітленості, наявності агресивних середовищ, можливості та способу нагріву, охолодження, зволоження або осушення [2].

Кліматичні камери для дослідження деревини (ККДД) не виділяються окремою групою серед технічних засобів для лабораторних досліджень, як, наприклад, виділені камери для тер-

моудару, вирощування рослин тощо. Разом з тим існує зв'язок властивостей деревини з конструктивними особливостями вузлів, оптимальними для ККДД. Врахування цих особливостей впливає на коректність проведення досліджень, повноту та достовірність отриманих результатів.

Незалежно від різноманітності конструкцій та призначень, кліматичні камери складаються з основних структурних елементів, до яких відносять: корпус, двері з віконцем або без нього, вентилятор продуву, контур циркуляції повітря (КЦП) з термоелементами нагріву (ТЕН), елементи охолодження зволоження та осушення, давачі температури та вологості, систему керування, прилади освітлення РП, шлюз для прокладення кабеля управління приладами [1]. Кожен з перелічених елементів по-своєму впливає на експлуатаційні параметри камери і пристосованість її до випробувань деревини.

Переважній більшості завдань досліджень фізико-механічних, акустичних, електричних властивостей деревини відповідає негерметична камера з одним об'ємом РП, в якому можуть підтримуватися задані кліматичні параметри середовища. Окрім випадків дослідження процесів термохімічної переробки деревини температурний діапазон ККДД може бути значно звужений відносно більшості типів камер і обмежений зверху на рівні 105 °С. Це обмеження дає можливість використання малопотужних ТЕНів і значного зменшення енергоспоживання.

Щоб уникнути впливу природної нерівномірності структури деревини передбачається використання в дослідженнях так званих "малих чистих зразків", в межах яких нерівномірністю можна знехтувати. У більшості випадків стандартні зразки мають переріз 20x20 мм і довжину від 10 до 300 мм (ГОСТ 16483.2...). Об'єм і розміри РП є одними із визначальних параметрів КК. Як показав досвід випробувань, прилади, необхідні для акустичних, електричних, теплових, реологічних, багатьох механічних випробувань "малих чистих зразків", можливо розмістити в об'ємі, значно меншому за розміри РП більшості КК. Придатність малих за розмірами КК для досліджень зразків деревини робить доцільним використання принципів роботи і конструкцій приладів, відмінних від використовуваних у традиційних камерах.

Корпус КК виконує функції ізоляції, що обмежує простір, у якому створені кліматичні умови, а також конструктивно об'єднує структурні елементи. Як матеріал для корпусу традиційно використовують нержавіючу сталь, сталь з хімічним або порошковим покриттям. Малі розміри ККДД вже за рахунок масштабування дозволяють суттєво зменшити витрати на вартісні матеріали конструкції та знизити енергоспоживання на виконання основних функцій КК — підтримання заданої температури та вологості. Але, як показують розрахунки, не меншого ефекту економії з одночасним покращенням характеристик можливо досягнути шляхом використання дешевших матеріалів. Можливості такої заміни ґрунтуються на зниженні механічних навантажень на корпус внаслідок значного зменшення габаритів камери. За умови відсутності агресивних середовищ, до яких деревина доволі чутлива, стійкий метал корпусу можна замінити на дешевші матеріали, що мають до того ж значно меншу за метал теплопровідність. Аналіз умов роботи різних елементів ККДД розкриває широкий діапазон вимог до матеріалів конструкції. Вибір або оцінка використаних у КК матеріалів — важливий етап визначення придатності камери для проведення запланованих випробувань.

В РП відбуваються зміни температури та вологості у широкому діапазоні. Тому від матеріалів конструкцій, що обмежують РП, вимагається стійкість до змін цих параметрів. Крім того, для багатократного встановлення зразків, вимірювальних приладів, допоміжних пристроїв, їх кріплення у потрібних положеннях, поверхня РП має бути стійкою до стирання, твердою та не гігроскопічною. Використання сталі з відповідним захисним покриттям дозволяє використати магнітний спосіб кріплення до будь-якої грані РП без пошкодження її поверхні. Смоли, які деревина виділяє за підвищених температур, є джерелом забруднення КК. Тому матеріал РП повинен мати гладку поверхню, яка сприяє проведенню очищення.

Найбільші за величиною та швидкістю зміни температур і вологості відбуваються не в робочому просторі, а в КЦП, де проходить підготовка повітря до заданої кондиції. В місцях зволоження чи осушення, нагріву чи охолодження можливі значні перерегулювання та суттєві від-

хилення від усереднених значень, що відповідають параметрам повітря у РП. Але дія екстремальних значень кліматичних параметрів в КЦП має місцевий характер. Це необхідно враховувати для коректного вибору конструкційних матеріалів, що відповідають основним вимогам до матеріалів для виробництва елементів ККДД (табл. 1).

Таблиця 1

Вимоги до матеріалів ККДД

Вимоги	Робочий простір	Канали циркуляції	1-й шар теплоізоляції	2-й шар теплоізоляції	Зовнішній корпус
Твердість та гладкість поверхні	<u>Метал з покриттям, кераміка, металокераміка, терморезистивні пластмаси</u>	<u>Кераміка, метал терморезистивні негорючі пластмаси, гіпсокартон просочений лаком</u>	терморезистивні пластмаси, ДВП, ДСП, <u>гіпсокартон просочений лаком</u>	Деревина, <u>ДВП, ДСП</u>	<u>ДСП, деревина</u>
Термо- та вологостійкість					
Циклічні зміни температур					
Циклічні зміни вологості					
Непроникливість для повітря					
Вологоізоляційні властивості					
Теплоізоляційні властивості					
Достатня механічна міцність					

Для забезпечення меншої вартості камери доцільно виконати КЦП у вигляді набору модулів за функціональним призначенням. Такий підхід значно розширює асортимент вибору за рахунок спрощення вимог до використаних в окремому модулі матеріалів. У модулі нагріву повітря, наприклад, можуть бути використані кераміка та метал, найбільш стійкі в умовах високих температур, а в модулі зволоження будуть добре працювати скло, кераміка та пластмаси, а от метали у вологому середовищі схильні до корозії, це обмежує їх використання у цьому вузлі.

РП та КЦП, що знаходяться в центральній частині КК, відокремлюються від оточуючого середовища для забезпечення незалежних, постійних та однакових в усьому об'ємі робочої зони кліматичних параметрів. Таке відокремлення має виконувати дві основні функції: максимального зменшення теплопередачі та обміну вологою між РП і середовищем. Завдання, пов'язані з цими функціями, як правило, вирішуються спільними засобами. Навіть цілком герметична камера з недостатньою теплоізоляцією не може забезпечити рівномірність не тільки поля температури, але і рівномірність вологості у РП через процеси конденсації.

Переважна більшість досліджень деревини проводиться за нормального атмосферного тиску і не потребує використання герметизованих камер, що мають значно вищу вартість. Тому у подальшому викладенні розглядаються негерметичні КК.

Тепло- і вологоізоляцію у КК забезпечують конструктивні елементи, що розташовані між РП з КЦП та оточуючим середовищем і утворюють корпус камери. Від матеріалів зовнішньої поверхні корпусу камери вимагається достатня механічна міцність, безпечність, естетичність, крім того, для покращення характеристик камери, — тепло- та волого-ізоляційні властивості, а також забезпечення щільності з'єднань конструктивних елементів. Рівень температур та вологості на поверхні камери не сильно вирізняються від кімнатних і тому вибір матеріалів для зовнішнього оформлення камери найбільш широкий: замість металу зовнішня поверхня КК може бути виконана навіть з деревини, меблевої ДСП тощо.

Рівномірність температурного поля камери забезпечується шаром теплоізоляції. Найдешевшим з теплоізолюючих матеріалів є повітря. Воно має незначну теплопровідність, суттєву тільки у тонких прошарках. Зі збільшенням товщини ізоляційного шару ця складова теплового потоку зменшується, але зростає передача тепла конвекцією. Для умов застосування в КК оптимальним для використання буде прошарок у декілька сантиметрів [4].

Повітря — це прозорий матеріал, який добре передає тепло випромінюванням. Зі зменшенням КК, відносна площа поверхні на одиницю об'єму зростає, що, відповідно до закону Стефана-Больцмана, пов'язано з відносним зростанням потоку випромінювання. Щоб запобігти значним втратам тепла в малих камерах доцільно застосовувати двошарову повітряну ізоляцію з перегородкою із непрозорого для теплових променів, а краще дзеркального, матеріалу. Різниця температур твердих поверхонь у двошаровій ізоляції, що обмежують прошарок повітря, зменшується, що внаслідок нелінійної залежності енергії випромінювання від температури у значній мірі зменшує випромінювання. Така перегородка значно зменшує теплопередачу і конвекційним способом.

Для зміни кожного з двох регульованих параметрів повітря у КЦП передбачено по два модулі, в яких значення параметра збільшується або зменшується. Для кожного параметра одночасно може виконуватись тільки одна операція. Для деревини актуальна можливість досягнення екстремальних значень кліматичних параметрів. Так, для висушування зразків до абсолютно сухого стану і досліджень їх властивостей необхідно досягти найменшої вологості повітря, а для досягнення рівномірного розподілу вологості зразка, що містить вільну вологу, необхідно припинити процес випаровування, тобто забезпечити максимально можливу за даної температури вологість. Ці умови накладають специфічні обмеження на структуру ККДД.

Зміни кліматичних параметрів у КК взаємопов'язані між собою: підвищення температури зменшує вологість повітря і навпаки. А випаровування води не тільки підвищує вологість, але і знижує температуру. Враховуючи залежності між змінами вологості та температури досягнення екстремальних значень кліматичних параметрів можливе тільки за певного порядку проходження повітря через модулі КЦП, за якого одна операція підсилює дію іншої (табл. 2). Кожна операція для одних режимів роботи використовується першочергово, а для інших — у другу чергу. Забезпечення зміни порядку проходження повітря через чотири модулі ускладнює конструкцію КК.

Таблиця 2

Режими використання вузлів модулів чотири- та п'ятимодульної ККДД

Кліматичні. умови		Черговість оптимального використання вузлів чотиримодульної структури				Використання вузлів п'ятимодульної структури				
						1	2	3	4	5
температура	вологість	Нагрів	Охолодження	Зволоження	Осушення	Нагрів 1	Зволоження	Охолодження	Осушення	Нагрів 2
Низька	Низька		1		2			+	+	
Висока	Низька	2			1				+	+
Низька	Висока		2	1			+	+		
Висока	Висока	1		2		+	+			

Проведений аналіз режимів роботи КК, розмірів та вартості модулів КЦП дозволили знайти альтернативне рішення, що полягає у використанні в КЦП п'яти модулів. Найпростіший та найдешевший з модулів — нагрівання повітря, пропонується встановити двічі: на початку та в кінці КЦП. У таблиці 2 вказані режими використання модулів для досягнення екстремальних значень кліматичних умов у п'ятимодульній структурі.

Властивості деревини впливають не тільки на оптимальну структуру камери, але й на конструкцію окремих модулів. Як правило, для зволоження повітря в КК використовують парогенератор, за допомогою якого в КЦП вводять пару киплячої в окремому резервуарі води. Такий спосіб зволоження пов'язаний з перепадом температури пари зі 100 °С до температури дослідження. У малогабаритній камері з коротким КЦП такий процес пов'язаний з конденсацією води в повітрі та на поверхні КЦП, РП та зразків, що недопустимо. Розпорошування води в КЦП приводить до таких самих наслідків. Звільнення повітря від краплинок вологи вимагає

застосування додаткових засобів і збільшення габаритів камери. Крім того, гаряча пара швидко піднімає температуру малогабаритної камери, що навіть за задовільної роботи системи регулювання збільшує коливання температури у КК.

Для зменшення коливань та нерівномірності кліматичних умов в малогабаритній камері доцільно використати спосіб зволоження з вільної поверхні води, температура якої вища за температуру середовища на гігromетричну різницю. Тоді пара, утворена над поверхнею рідини, отримує задану температуру середовища і не викликає небажаних змін температури в КК. Розрахунки показують, що за обмежених габаритів шаруватої конструкції модуля зволоження, можливо досягнення значної поверхні випаровування і цілком достатньої ефективності такого способу зволоження для малогабаритної камери. Щоб процес зволоження можливо було швидко припинити, важливо, щоб вода не знаходилась у модулі постійно. Вона має подаватися в КЦП (включенням насоса, наприклад), і випаровуватись тільки під час протікання через модуль, а після досягнення потрібного рівня вологості, має видалятися (стікати) з КЦП. Остання умова необхідна для досягнення швидкодії та запобігання значному перерегулюванню у системі регулювання вологості.

Традиційно процес осушення повітря КК виконується методом охолодження повітря і конденсації вологи за допомогою холодильної установки з фреоновим компресором. Такий спосіб звільнення середовища ККДД від вологи вимагає наступного підвищення температури повітря до заданого рівня. На кожному колі циркуляції повітря спочатку охолоджується, а потім нагрівається. Такий процес спричиняє не тільки підвищені витрати енергії, але і створює в КЦП великі перепади температур, вимагає додаткової теплоізоляції модулів, призводить до росту нерівномірності температур РП, вимагає значного збільшення довжини КЦП, яке визначається часом, необхідним для значного нагрівання та охолодження, а також швидкістю руху повітря у відповідних модулях.

Для ККДД можна рекомендувати інший спосіб, заснований на поглинанні вологи гігроскопічною неагресивною речовиною. Такою речовиною може виступати силікагель. У вигляді невеликих крупинок він має значну поверхню сорбції і ефективно поглинає вологу з повітря. Цей процес супроводжується виділенням теплової енергії, але її кількість є мінімальною. Для проведення регенерації гігроскопічних властивостей силікагелю модуль осушення може складатися з двох змінних секцій, поки одна використовується у КЦП, друга відключається від цього контура на проведення відновлення. Такий спосіб осушення повітря відзначається економічністю та компактністю конструкції.

Для охолодження повітря в системі регулювання температури КК використовується ще один холодильник з компресором та випаровувачем. Альтернативну та значно компактнішу конструкцію можна виконати з використанням елементів Пельтьє. Використання цих елементів особливо зручне за рахунок більшої швидкодії та можливості реверсування.

Найменших змін при застосуванні у ККДД потребує модуль нагріву повітря. В умовах малогабаритної камери за малої відстані між вузлами для забезпечення рівномірності поля температур РП зростає значення нагріву інфрачервоним випромінюванням окремих елементів за межами модуля. Тому навколо термоелектроелемента доцільно встановити поглинаючий випромінювання екран, який охолоджується повітрям, що протікає у контурі.

В малогабаритній камері з добре виконаною термоізоляцією достатньо виділення потужності від невеликого двигуна вентилятора КЦП, щоб суттєво підвищити температуру РП. Потужність, що виділяється у двигуні такого вентилятора, може суттєво звузити діапазон можливого регулювання температур ККДД. Щоб уникнути таких обмежень сам двигун вентилятора малої камери доцільно встановити за межами КЦП і забезпечити умови його достатнього охолодження. Для передачі рушійного моменту від двигуна до вентилятора можна застосувати магнітну муфту, яка може передавати рух через цілісну перегородку з немагнітного матеріалу стінки ККДД. Таке рішення, що не порушує цілісність оболонки КЦП, доцільно застосувати також і в інших КК, для ізоляції двигуна від несприятливих умов.

Зменшенню некерованого виділення потужності в КЦП сприяє застосування освітлювання РП світлодіодами. Для освітлення невеликого РП вистачає декілька світлодіодів з сумарною потужністю нагріву в межах 100 мВт.

Показник вологості деревини є одним з основних параметрів, що характеризують стан зразка. Часто досягнення заданого рівня вологості є сигналом для початку інших вимірювань. Загально визнаним як зразковий є ваговий метод визначення вологості зразка. За цим методом вологість визначається за вагою зразка у поточному та абсолютно сухому стані. Для визначення ваги в стандарті описана процедура, що зводиться до вилучення зразка з камери та зважування. Такий процес є тривалим, незручним, а для багатьох досліджень через зміну кліматичних умов — неприпустимим. Специфічна особливість ККДД полягає у забезпеченні можливості зважування зразка без вилучення його з камери. Один із способів досягнення такої можливості — спорядження ККДД масляним затвором [4].

Враховуючи повільність процесів тепломасоперенесення в деревині, надзвичайно цінною є можливість реєстрації змін кліматичних параметрів під час досліджень. Такі можливості забезпечуються мікроконтролерними регуляторами. Розвиток мікропроцесорної техніки дозволяє спорядити регулятори навіть невеликої камери каналом зв'язку з ПК, на якому програмними засобами реалізувати широкі сервісні можливості [5].

Використання результатів проведеного аналізу дає змогу створити ефективні спеціалізовані кліматичні камери для дослідження деревини, краще пристосовані до випробувань зразків цього матеріалу, економічні у використанні та дешеві у виготовленні.

Література

1. Кулик, А.С. Диагностирование технического состояния датчика влажности в климатической камере / А.С. Кулик, В.В. Нарожный, А.Н. Таран // Автомобил. транспорт. — Харьков: ХНАДУ, 2008. — Вып. 22. — С. 137 — 140.
2. Комплектация лабораторий [Электронный ресурс] / ООО “Компания “Химснабжение”. — Харьков, 2012. — <http://www.chimsnab.com.ua/page/1161/>. — 16.04.2012.
3. Хошев, Ю.М. Дачные бани и печи / Ю.М. Хошев. — М.: Книга и бизнес, 2008. — 640 с.
4. Пат. 37894 Україна. Масляний затвор для зважування зрізця в кліматичній камері / Борисов В.М.; заявник і патентовласник Нац. лісотехніч. ун-т України // Бюл. — 2008. — № 23.
5. РЕГМИК/Продукция/Датчики/Влажности/ДВТ [Электронный ресурс] / НПФ “РЕГМИК” — Чернігів, 2013. http://regmik.com/sensor_hum.html. — 06.02.13.

References

1. Kulik, A.S. Diagnostirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya datchika vlazhnosti v klimaticheskoy kamere [Diagnosing the technical condition of the humidity sensor in a climate chamber] / A.S. Kulik, V.V. Narozhnyy, A.N. Taran, // Avtomobil. transport [Road Transport], Kharkov, 2008, iss. 22. — pp. 137 — 140
2. Komplektatsiya laboratoriy [Laboratory equipment] [Electronic resource] / Ltd. “Company Khimsnabzhenie” — Available at: <http://www.chimsnab.com.ua/page/1161/>. — 16.04.2012.
3. Hoshev Yu.M. Dachnye bani i pechi [Country house baths and ovens] / Yu.M. Hoshev, Moscow, — 2008, ISBN 978-5-212-01061-0. — 640 p.
4. Pat. 37894 Ukraina, MPK G01G 21/00, Maslianyi zatvor dlia zvazhuvannya vzirtsia v klimatichnii kamerei [Oil seal for weighing samples in a climate chamber] / Borysov V.M.; zaiavnyk i patentovlasnyk Nats. lisotekhnich. un-t Ukrainy // Bull. — 2008. — # 23. — № u 2008 09588, appl. 22.07.2008, publ. 22.07.08, Bull. № 23.
5. REGMYK/Produktsiya/Datchiki/Vlazhnosti/DVT [REGMIK / Products / Sensors / Humidity Detectors / DVT]: [Electronic resource] / NPF “REGMIK”: http://regmik.com/sensor_hum.html. — 06.02.13.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. політехн. ун-ту Максимов М.В.

Надійшла до редакції 7 травня 2013 р.