

Atamanyuk V.M., Mosiuk M.I., Ivashchuk O.S., Zakharkiv O.V. The Kinetics of the Shredded Miscanthus Filtration Drying

The article presents the experimental studies results of the kinetics and dynamics of the shredded Miscanthus filtration drying and the derived curves that describe the humidity change over the time according to the drying material properties (when the drying agent temperature changes (40, 60, 80 °C), the layer height changes (40, 80, 100, 120, 140 mm), and the filtration rate of the drying agent changes (0.6, 1.14, 1.6, 2.05 mps)). The authors' research results are focused on the process of improvement of the shredded Miscanthus drying in a stationary layer.

Keywords: kinetics, dynamics, Miscanthus, filtration drying rate.

УДК 66.047.45

ФІЛЬТРАЦІЙНЕ СУШІННЯ ПИВНОЇ ДРОБИНИ – ВІДХОДІВ ПИВОВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

В.М. Атаманюк¹, А.І. Терлич², О.М. Халанія³

Наведено результати експериментального дослідження кінетики фільтраційного сушіння пивної дробини та отримано криві: зміни вологовмісту пивної дробини у процесі сушіння за зміни температури сушильного агента (45, 60, 75, 90 °C); зміни вологовмісту дробини у процесі сушіння за варіювання висоти шару (40, 80, 120, 160 мм) зміни вологовмісту пивної дробини у процесі сушіння за варіювання швидкості фільтрування сушильного агента (0,7, 1,14, 1,7, 2,1 м/с). Наведено результати досліджень, які спрямовані на вдосконалення процесу сушіння пивної дробини зі стаціонарним шаром.

Ключові слова: кінетика, швидкість сушіння, фільтраційне сушіння, вологовміст, частинки пивної дробини.

Актуальність дослідження. Виробництво пива посідає важливе місце в переробній промисловості України. Згідно із статистичними даними, виробництво пива у 2015 р. становило приблизно 2000 млн л [1]. На окремих підприємствах пивної галузі утворюється до 700 т вологої пивної дробини. У складі пивної дробини знаходиться приблизно 75 % мас. білків і 80 % мас. жиру, що містяться у солоді, саме тому вона є цінним кормом у тваринництві. Термін зберігання вологої пивної дробини становить не більше 24 год внаслідок її швидкого заброджування та пліснявіння, що обмежує її застосування у тваринництві, особливо у літній період. Однак, термін зберігання висушеної пивної дробини становить приблизно 6 місяців, що значно розширює можливості її використання. Пивну дробину також використовують для виготовлення біогазу, суху та брикетовану або гранульовану – як паливо, а також дедалі більшої популярності набуває її використання у випічці хліба з висівками. Тому експериментальні дослідження ефективних методів висушування пивної дробини має актуальне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблему висушування пивної дробини висвітлено у багатьох наукових роботах, зокрема автори [2] пропонують багатостадійний метод її зневоднення, який охоплює механічне зневоднення

шляхом пресування з наступним тепловим сушінням до 10 % мас. вологи. Однак під час механічного зневоднення частина цінних продуктів втрачається разом із рідиною, а спресовану масу перед сушінням потрібно подрібнювати. Окрім цього, така технологія потребує дорогого і громіздкого обладнання, а також додаткових виробничих площ. У роботі [3] автори пропонують висушувати пивну дробину у дві стадії, спочатку в пневматичній спіральній сушарці з наступним досушуванням у сушарці з віброкиплячим шаром. Така технологія також має низку недоліків, зокрема сушіння у пневматичній сушарці характеризується низькими коефіцієнтами тепло- і масовіддачі внаслідок малих значень відносно швидкості "тепловий агент-вологий матеріал", незначний степінь насичення вологою теплового агента за великих значень його витрат, потреба встановлення очисного обладнання, а також потреба додаткового сушильного обладнання – сушарки з віброкиплячим шаром. Автори [4] пропонують для попереднього зневоднення пивної дробини використовувати механічні стрічкові фільтрпреси, разом із цим автор зазначає, що кінцева вологість такого продукту становить 50-55 % мас., а у разі двостадійності процесу – додатково можна видалити ще 10-15 % мас. вологи. Запропонований метод зневоднення пивної дробини не дає змоги отримати кінцевої вологості 10 % мас. і потребує додаткового теплового сушіння, а обладнання для механічного видалення вологи є громіздким та складним в обслуговуванні. У технічній літературі запропоновано й інші методи висушування пивної дробини з використанням струмів надвисокої частоти та інфрачервоного випромінювання, однак такі методи характеризуються високими енергетичними затратами та складністю і дороговизною технологічного обладнання, і у промисловому виробництві широкого застосування не набули.

Проблему фільтраційного сушіння досліджено у багатьох наукових роботах, зокрема у [5] наведено теоретичні та експериментальні дослідження сушіння різних сортів пшениці. Автор наводить експериментальні дані щодо кінетики фільтраційного сушіння зерна пшениці, динаміки та швидкості її сушіння. Разом із цим, структурна будова зерна пшениці істотно відрізняється від структурної будови пивної дробини як за внутрішньою будовою і формою частинок, так і за початковим вологовмістом. Тому результати, отримані у роботі [5], використати для прогнозування процесу фільтраційного сушіння пивної дробини – неможливо внаслідок великих розбіжностей між експериментальними і теоретично розрахованими значеннями. У роботі [6] автор досліджує фільтраційне сушіння сировинних матеріалів виготовлення шлакового гравію, а у роботі [7] – сушіння подрібненої енергетичної верби. У цих роботах наведено експериментальні та теоретичні дослідження гідродинаміки і кінетики фільтраційного сушіння, а також вплив температури та швидкості фільтрування теплового агента крізь стаціонарний шар вологого матеріалу різної висоти. Однак отримані дані в цих роботах є індивідуальними для кожного досліджуваного матеріалу, а їх використання для інших об'єктів без проведення додаткових експериментальних досліджень є неможливе.

Матеріали та методика дослідження. Об'єктом досліджень вибрано пивну дробину "Kumpel' Group", що має такі характеристики: насипна маса у воло-

¹ проф. В.М. Атаманюк, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

² магістрант А.І. Терлич – НУ "Львівська політехніка";

³ студ. О.М. Халанія – НУ "Львівська політехніка"

гому стані залежно від кінцевого вологовмісту становить 156,8-418 кг/м³; початковий вологовміст – 4,2 кгH₂O / кг сух.мат. середньозважений розмір часточок дробини – 2,03 мм.

Експериментальні дослідження проводили за методикою та установці, яку наведено у [8]. Досліджували вплив температури теплового агента t , швидкості фільтрування v_0 та висоти шару матеріалу h на процес фільтраційного сушіння.

Мета роботи – експериментальне дослідження кінетики фільтраційного сушіння відходів виготовлення пива – пивної дробини – для використання отриманого продукту як корму тваринам або виготовлення паливних гранул та визначення раціональних режимів фільтраційного сушіння пивної дробини.

Результати дослідження. Досліджували вплив температури теплового агента t , швидкості фільтрування v_0 та висоти шару матеріалу h на процес фільтраційного сушіння. Відомо, що фільтраційне сушіння має зональний характер, тому під час експерименту досліджували вплив висоти шару пивної дробини на кінетику фільтраційного сушіння в діапазоні висот від 40 до 160 мм. З аналізу рис. 1 можна зробити висновок, що за постійної швидкості фільтрування теплового агента крізь шар вологого матеріалу різної висоти тангенс кута нахилу прямолінійних ділянок кінетичних кривих до осі абсцис залежить від висоти шару дробини і зі зростанням висоти шару тангенс кута зменшується, це можна пояснити тим, що з ростом висоти шару зростає шлях переміщення зони масообміну в напрямку до перфорованої перегородки.

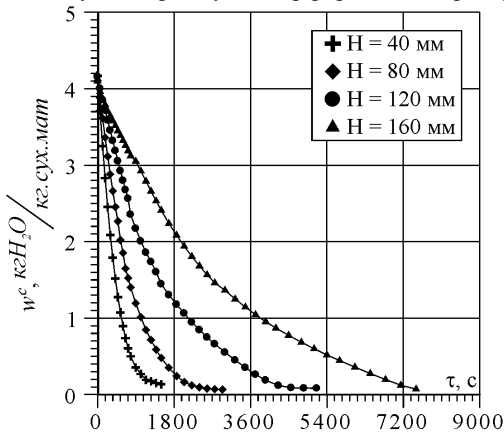


Рис. 1. Зміна вологовмісту шару пивної дробини в часі за різної висоти шару дробини ($t=75^\circ\text{C}$, $v_0=1,7$ м/с)

Враховуючи те, що одним із визначальних параметрів, який значною мірою впливає на кінетику процесу фільтраційного сушіння, є температура теплового агента, досліджено її вплив на процес у діапазоні температур від 45 до 95°C. Вибір температур саме такого діапазону зумовлений термолабільністю досліджуваного матеріалу. Відомо, що на перебіг процесу фільтраційного сушіння має вплив температура теплового агента, бо саме вона і визначає коефіцієнти внутрішньої дифузії та відповідно інтенсивність вологоперенесення. Результати експериментальних досліджень наведено на рис. 2.

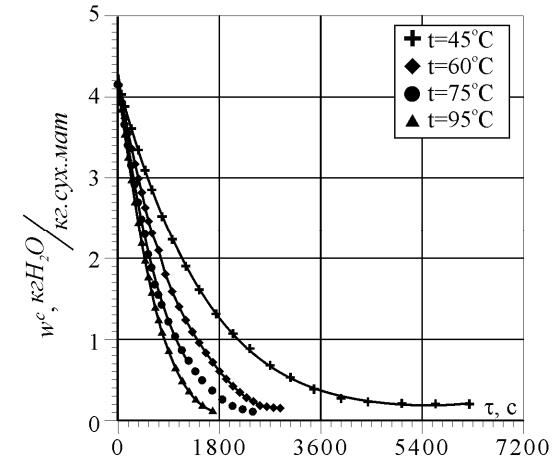


Рис. 2. Зміна вологовмісту шару пивної дробини в часі за різної температури теплового агента ($H=80$ мм, $v_0=1,7$ м/с)

Згідно з даними рис. 2, з ростом температури інтенсивність видалення вологи зростає, про що свідчить скорочення часу сушіння та зростання кута нахилу прямолінійних ділянок кінетичних кривих до осі абсцис. Це можна пояснити зростанням сушильного потенціалу теплового агента, а також тим, що коефіцієнт внутрішньої дифузії вологи із частинок дробини в тепловий агент також зростає. На процес фільтраційного сушіння має вплив і швидкість фільтрування теплового агента, бо саме від його швидкості залежить товщина теплового і дифузійного пограничного шару та відповідно значення коефіцієнтів тепло- і масообміну. На рис. 3 наведено експериментальні дослідження впливу швидкості фільтрування теплового агента крізь стаціонарний шар пивної дробини на кінетику її сушіння.

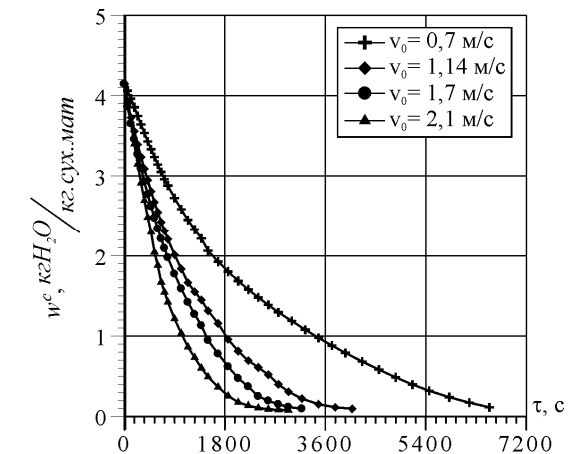


Рис. 3. Зміна вологовмісту шару пивної дробини в часі за різної швидкості фільтрування теплового агента ($t=75^\circ\text{C}$, $H=80$ мм)

Згідно з даними рис. 3, збільшення швидкості фільтрування теплового агента від 0,7 до 2,1 м/с скорочує час сушіння дробини у 2,5 раза. Це можна пояснити тим, що зростання швидкості фільтрування теплового агента приводить до зростання коефіцієнтів тепловіддачі від теплового агента до частинок дробини, і відповідно коефіцієнтів масовіддачі, разом із цим, частинки швидше прогріваються і відповідно зростає коефіцієнт внутрішньої дифузії. Окрім цього, за одиницю часу в шар вологої дробини вноситься більше теплоти, що сприяє видаленню більшої кількості вологи. Ці чотири складники і приводять до скорочення часу висушування дробини. Проте зростання швидкості понад 1,7 м/с є недоцільним внаслідок неповного насичення теплового агента вологою та зростанням непродуктивних втрат теплової енергії.

Отримані результати під час експериментальних досліджень кінетики фільтраційного сушіння є важливими, оскільки керуючись отриманими даними, маємо змогу вибрати оптимальні параметри, за яких сушіння дробини є ефективним. З цією метою у табл. наведено розрахунки затрат теплової енергії для висушування пивної дробини за різних висот шару вологого матеріалу, швидкості фільтрування теплового агента і температури до кінцевого вологовмісту $0,08 \div 0,11 \text{ кгH}_2\text{O} / \text{кг сух.мат.}$

Табл. Розрахунок енергетичних затрат на фільтраційне сушіння пивної дробини

$h, \text{ м}$	$T, \text{ К}$	$v_0, \text{ м/с}$	$M = \rho \cdot v_0 \cdot S$	$GH_2O, \text{ кг}$	$\tau_k, \text{ с}$	$Q_1, \text{ кДж}$	$Q_2, \frac{\text{кДж}}{\text{кг H}_2\text{O}}$
0,04	348	1,7	0,014369	0,10844	1500	1337,383	12383,17
0,08	348	1,7	0,014369	0,21597	2940	2621,270	12137,20
0,12	348	1,7	0,014369	0,31282	5160	4600,597	14199,37
0,16	348	1,7	0,014369	0,43759	7500	6686,914	15478,97
0,08	318	1,7	0,014369	0,21597	6240	2528,869	11709,35
0,08	333	1,7	0,014369	0,21597	2880	1867,473	8646,91
0,08	348	1,7	0,014369	0,21597	2940	2621,270	12137,20
0,08	368	1,7	0,014369	0,21597	1680	2042,548	9457,56
0,08	348	0,7	0,006053	0,21597	6900	2591,661	12000,10
0,08	348	1,14	0,010405	0,21597	3180	2053,172	9506,75
0,08	348	1,7	0,014369	0,21597	2940	2621,270	12137,20
0,08	348	2,1	0,017736	0,21597	2760	3037,531	14064,59

Умовні позначення: h – висота шару пивної дробини; T – температура сушильного агента; w^c – вологовміст матеріалу, розрахований на масу сухого матеріалу; v_0 – фіктивна швидкість фільтрування теплового агента; M – масова витрата теплового агента; S – площа поперечного перерізу контейнера; τ , τ_k – поточний і кінцевий час сушіння; GH_2O – маса вологи, яка випаровується за час сушіння τ_k ; Q_1 – затрати теплової енергії на висушування шару пивної дробини до вологовмісту $0,08 \div 0,11 \text{ кгH}_2\text{O} / \text{кг сух.мат.}$; Q_2 – затрати теплової енергії на видалення 1 кг води.

Висновки. Згідно з даними таблиці, найнижчі затрати теплової енергії під час фільтраційного сушіння пивної дробини від початкового вологовмісту $4.2 \text{ кгH}_2\text{O} / \text{кг сух.мат.}$ до кінцевого вологовмісту будуть за висоти шару $h = 0,08 \text{ м}$, швидкості фільтрування теплового агента $v_0 = 1,7 \text{ м/с}$ і його температури $t = 60^\circ \text{C}$ та становитимуть $Q_2 = 8646,907 \text{ кДж} / \text{кг H}_2\text{O}$. Щоби зменшити затрати

теплової енергії, можна попередньо механічно видалити частину вологи за допомогою механічних пресів, але це потребує встановлення додаткового обладнання та наявності вільних виробничих площ. Разом із цим, враховуючи те, що під час фільтраційного сушіння пивної дробини використовують низькотемпературний тепловий агент (60°C), доцільно використовувати вторинні джерела енергії, які на підприємствах з виготовлення пива є в достатній кількості і на цей час їх використання є непродуктивним.

Література

1. Державна служба статистики України: статистична інформація. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.ukrstat.gov.ua>.
2. Патент РФ № 2215426, Спосіб переробки відходів пивоваренного виробництва / А.Д. Рекало, А.В. Иванов. Оpubліковано 10.11.2003 г.
3. Патент РФ № 2258877, Спосіб сушки дисперсних матеріалів / В.П. Леденёв, П.Г. Чорбачиди, В.В. Кононенко, А.П. Ковалевский, А.П. Рысин, В.А. Поляков; Общество с ограниченной ответственностью "Фирма "Этна" (RU); опубл. 20.08.05, Бюл. № 23. – 2005 г.
4. Свідерська О.І. Сучасні методи й обладнання для зневоднення пивної дробини механічним шляхом / О.І. Свідерська, В.Л. Яровий // Харчова промисловість : наук. зб. Національного університету харчових технологій. – К. : Вид-во НУ ХТ. – 2010. – № 9. – С. 141-143.
5. Матківська І.Я. Механізм і кінетичні особливості фільтраційного сушіння зерна пшениці : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.14.06 – "Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика" / Ірина Ярославівна Матківська. – Львів, 2015. – 20 с.
6. Барна І.Р. Гідродинаміка і тепломасообмін під час фільтраційного сушіння сировинних матеріалів шлакового графіто : автореф. дис. на здобуття канд. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.08 – "Процеси та обладнання хімічної технології" / Ірина Романівна Барна. – Львів, 2013. – 22 с.
7. Мосюк М.І. Гідродинаміка і тепло масообмін під час сушіння подрібненої "енергетичної" верби в стаціонарному шарі : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.08 – "Процеси та обладнання хімічної технології" / Микола Іванович Мосюк. – Львів, 2012. – 22 с.
8. Атаманюк В.М. Наукові основи фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів : монографія / В.М. Атаманюк, Я.М. Гумницький. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2013. – 276 с.
9. Кривенюк М. Пивна дробина в годівлі тварин / М. Кривенюк // Аграрний сектор України : зб. наук. праць. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.agro.ua.net>.
10. Азизі Д.М. Использование пивной дробини для повышения пищевой ценности пряничных изделий / Д.М. Азизі, Н.В. Богомолова, Л.Л. Медведева, Е.П. Новикова // Федеральний і регіональний аспекти державної політики в області здорового харчування : тез. Міжнарод. симпозіума. – Кемерово, 2002. – С. 49-50.
11. Валентас К.Дж. Пищевая инженерия справочник с примерами расчетов : пер. с англ. / К.Дж. Валентас, Э. Ротштейн, Р.П. Сингх; под ред. А.Л. Ишевского. – СПб. : Изд-во "Професия", 2004. – С. 160-202.
12. Гинсбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов / А.С. Гинсбург. – М. : Изд-во "Пищ. пром-сть", 1973. – 528 с.

Надійшла до редакції 14.11.2016 р.

Атаманюк В.М., Терлич А.И., Халания О.М. Фильтрационная сушка пивной дробини – отходов пиварного производства

Приведены результаты экспериментального исследования кинетики фильтрационно-го сушки пивной дробини и получены кривые: изменения влагосодержания пивной дробини в процессе сушки при варьировании температуры сушильного агента (45, 60, 75, 90°C), изменения влагосодержания дробини в процессе сушки при варьировании высоты слоя (40, 80, 120, 160 мм); изменения влагосодержания пивной дробини в процессе сушки при варьировании скорости фильтрования сушильного агента (0,7, 1,14,

1,7, 2,1 м/с). Приведены результаты исследований, направленные на совершенствование процесса сушки пивной дробины со стационарным слоем.

Ключевые слова: кинетика, скорость сушки, фильтрационная сушка, влагосодержание, частицы пивной дробины.

Atamanyuk V.M., Terlych A.I., Khalaniya O.M. Filtration Drying of Brewers Grains – Brewing Industry Waste

The article presents the experimental study of the kinetics of filtration drying of brewers grains and curves are obtained concerning changes in moisture content in the brewers grains drying by varying the temperature of the drying agent (45, 60, 75, 90 °C); changes in the moisture content of grains drying by varying the layer's height (40, 80, 120, 160 mm); changes in moisture content in the brewers grains drying by varying the speed of filtering a drying agent (0.7, 1.14, 1.7, 2.1 m/s). The results of the research are aimed at improving the drying process of brewers grains with the stationary layer.

Keywords: kinetics, the rate of drying, filtration drying, moisture content, particles of brewers grains.

УДК 674.[214+422]

ДИНАМІКА ФОРМОСТІЙКОСТІ ПОРОЖНИСТИХ КЛЕЄНИХ БРУСІВ ДЛЯ СТОЛЯРНИХ ВИРОБІВ

А.Г. Безкоровайний¹, В.О. Маєвський², Є.М. Миськів³

Охарактеризовано методику проведення експериментального дослідження формостійкості порожнистих клеєних брусів для столярних виробів за умови впливу змінних температурно-вологісних полів упродовж тривалого часу. Проаналізовано показники формостійкості порожнистих клеєних брусів, зокрема їхні відхилення від прямолінійності (у площині), площинності та паралельності та величину зміни лінійних розмірів за товщиною та шириною і показано, що ці показники відповідають встановленим нормативним вимогам. Це свідчить про придатність використання таких брусів для виготовлення столярних виробів за показниками формостійкості.

Ключові слова: порожнистий клеєний брус, формостійкість, змінні температурно-вологісні поля, кліматична камера, прямолінійність, площинність, паралельність.

Постановка проблеми та актуальність досліджень. Позитивні характеристики клеєних брусів для столярних виробів, зокрема екологічність та естетичність, а також їх міцнісні показники, свідчать про перспективність цього конструкційного матеріалу. Однак висока вартість клеєних брусів для столярних виробів є однією з основних причин їхнього обмеженого попиту. Прагнення зменшити вартість клеєних брусів для столярних виробів спонукає їх виробників до пошуку таких дієвих шляхів, реалізація яких забезпечить реальну економічну ефективність. До таких шляхів традиційно відносять зменшення витрат деревини і клейових матеріалів та зменшення енерго- і трудовитрат. Зменшення витрат деревини, як найбільш вагомий показник у собівартості клеєних брусів для столярних виробів, можна досягнути різними технологічними заходами, зокрема використанням нових конструкцій таких брусів – порожнистих клеєних брусів [1, 2], у яких замість однієї або кількох ламелей (ділянок) доцільно використати довгомірні рейки (кускові відходи).

¹ пров. інж. А.Г. Безкоровайний – НЛТУ України, м. Львів;

² проф. В.О. Маєвський, д-р техн. наук – НЛТУ України, м. Львів;

³ ст. викл. Є.М. Миськів – НЛТУ України, м. Львів

Питання збереження формостійкості порожнистих клеєних брусів для столярних виробів є недостатньо вивченим і вимагає ґрунтовнішого як теоретичного, так і експериментального дослідження, оскільки наявність порожнини у брусі в окремих випадках може бути причиною порушення його формостійкості.

Об'єкт дослідження – порожнистий клеєний брус з деревини сосни для виготовлення столярних виробів.

Предмет дослідження – формостійкість порожнистого клеєного бруса з деревини сосни для виготовлення столярних виробів за умови впливу змінних температурно-вологісних полів впродовж тривалого часу.

Метою роботи є експериментальне дослідження формостійкості порожнистих клеєних брусів з деревини сосни для виготовлення столярних виробів за умови впливу змінних температурно-вологісних полів упродовж тривалого часу.

Методика проведення експериментального дослідження. Для виготовлення експериментальних взірців порожнистих клеєних брусів для столярних виробів використано пиломатеріали та довгомірні рейки (кускові відходи) деревини сосни. Процес виготовлення експериментальних взірців здійснено з дотриманням таких основних вимог: деревина без істотних неоднорідностей структури; напрям волокон деревини – радіальний; вологість деревини $10^{\pm 2}$ %; різниця вологості деревини двох сусідніх ламелей, склеєних між собою, – не більше 1 %; температура приміщення, у якому зберігали та виготовляли взірці – $20^{\pm 2}$ °C; шорсткість поверхні заготовок під час склеювання – не більше 63 мкм для параметра шорсткості R_m ; технологічна витримка після склеювання – не менше 12 год. Для склеювання експериментальних взірців на гладку фугу використано однокомпонентний полівінілацетатний клей фірми Kleiberit марки Klebit 303 (категорія D3 за DIN/EN 204), який відповідає вимогам щодо міцності, тепло- і водостійкості з'єднання та безпечності для здоров'я людини.

Детальний опис технологічного процесу виготовлення експериментальних взірців порожнистих клеєних брусів для столярних виробів наведено у [1].

Активні експериментальні дослідження впливу змінних температурно-вологісних полів на формостійкість порожнистих клеєних брусів для столярних виробів проводили упродовж місяця. Для виявлення динаміки зміни формостійкості порожнистих клеєних брусів здійснили контрольні заміри перед початком активних експериментальних досліджень, у ході їх виконання та через рік після їх завершення. Під час експерименту за допомогою спеціально розробленої кліматичної камери створювали такі умови, які відповідають умовам кухонної кімнати. Кожного дня циклічно змінювали температуру і відносну вологість повітря до потрібного значення. При цьому враховано, що під час приготування їжі впродовж у середньому 4...5-ти годин на добу, спостерігається зміна температури повітря від 18 до 25 °C і відносної вологості повітря від 50 до 90 %, які негативно впливають на деревину і можуть спричинити її розбухання та всихання, а як наслідок, деформацію порожнистих клеєних брусів.

Кліматична камера (рис. 1) складається із корпусу, виготовленого з полівінілхлоридної плити товщиною 5 мм. У корпусі камери для забезпечення заданої відносної вологості середовища встановлено зволожувач повітря Elbee