

разу (1), коли відома тривалість сушіння –  $\tau$ , та режим сушіння за рівноважною вологістю ( $W_p$ ). Однак величина рівноважної вологості змінюється протягом всього процесу сушіння, тому розрахунок за виразом (1) необхідно проводити для кожної ступені режиму окремо. Тривалість сушіння у цьому випадку визначають за сумою тривалості окремих ступеней режимів сушіння. Відхилення вологості окремих пиломатеріалів (заготовок) від середньої кінцевої вологості ( $\Delta W_k, \%$ ) залежить від інтенсивності сушіння в різних зонах сушильної камери, на що можуть впливати різні умови вологообміну матеріалу з середовищем і вологоперенесення в середині матеріалу, рівномірність розподілу швидкості циркуляції повітря та температурно-вологісного поля в сушильній камері, різна початкова вологість матеріалу. Перепад вологості по товщині матеріалу ( $\Delta W_s, \%$ ) також залежить від інтенсивності сушіння, дотримання технологічного регламенту та якості проведення кондичіонування тепловологооброблення та необхідної витримки пиломатеріалів (заготовок) після сушіння. Величина залишкових напружень висушених пиломатеріалів ( $f_s, \%$ ) залежить від дотримання технологічного регламенту протягом всього процесу сушіння, проведених проміжкових та кондичіонувальної тепловологооброблення і витримки матеріалу після сушіння.

Вплив режимних параметрів процесу сушіння на показники якості сухих пиломатеріалів (заготовок) можна визначити за функціональною залежністю, де включено також кінетичні параметри процесу сушіння, яка має такий вигляд:

$$[F] = \psi \left[ a', \beta, \frac{dW}{d\tau}, \frac{dW}{dx}, (W_{нов} - W_p), \tau, R, \vartheta, t_c \right]. \quad (5)$$

Вираз (5) доцільно представити критеріальною залежністю між масообмінним критерієм Нуссельта ( $Nu'$ ) та масообмінним критерієм Фур'є ( $Fo'$ ) і критерієм Рейнольдса ( $Re$ )

$$Nu' = A(Fo')^n(Re)^m \quad (6)$$

або

$$\frac{\beta R}{a'} = A \left( \frac{a' \tau}{R^2} \right)^n \left( \frac{\nu L}{\vartheta} \right)^m, \quad (7)$$

де:  $\nu$  – кінематична в'язкість повітря,  $\nu = f(t_c, \varphi)$ ,  $m^2/c$   $\vartheta$  – швидкість циркуляції процесу сушіння,  $m/c$ ;  $L$  – товщина прокладок у штабелі,  $m$ .

Наприклад, для процесу сушіння букових пиломатеріалів (заготовок) отримано розрахункову залежність

$$Nu' = 5,61 \cdot 10^6 (Fo')^{-0,77} Re^{-1,53} \quad (8)$$

Значення масообмінного критерію Нуссельта перебуває в межах  $Nu' = 4 \dots 16$ .

**Висновок.** Таким чином, за критеріальною залежністю (7) можна визначити комплексний вплив параметрів (режимних і кінематичних) на процес сушіння і якість висушених пиломатеріалів і заготовок.

### Література

1. Білей П.В. Сушіння за захист деревини : підручник / П.В. Білей, В.М. Павлюст. – Львів : Вид-во "Кольорове небо", 2008. – 312 с.

2. Білей П.В. Керівні технічні матеріали з технології камерного сушіння пиломатеріалів : наук.-практ. вид. / П.В. Білей, І.А. Соколовський, В.М. Павлюст, Є.П. Кунинець. – Вид. 2-ге, [перероб. та доп.]. – Ужгород : Вид-во "Карпати", 2010. – 210 с.

3. Кунинець Є.П. Закономірності впливу параметрів процесу сушіння на якість меблевих заготовок з деревини бука : дис. ... канд. техн. наук. – Львів, 2011. – 153 с.

4. Білей П.В. Фізичні закономірності впливу параметрів середовища на процес сушіння пиломатеріалів / П.В. Білей, Н.Д. Довга, Є.П. Кунинець // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.6. – С. 105-109.

### Білей П.В., Кунинець Є.П., Комбаров А.М. Влияние режимных параметров сушки на показатели качества сухих пиломатериалов и заготовок

При помощи кинетических параметров рассмотрено влияние режимных параметров процесса сушки на показатели качества сухих пиломатериалов и заготовок. Получена критеріальна залежність, по которой можно определить влияние режимных и кинетических параметров на процесс сушки.

**Ключевые слова:** параметры, режимы, сушка, пиломатериалы, заготовки, температура, равновесная влажность, древесина, показатели качества, кинетика процесса.

### Biley P.V., Kenynets E.P., Kombarov A.M. The influence of operating drying conditions on the quality indexes of dry lumber and blanks

The influence of operating conditions of the drying process has been considered by means of kinetic parameters on the indexes of quality of lumber and blanks. Criterial dependence which can be used to determine the influence of operating and kinematic conditions on the drying process has been found.

**Keywords:** parameters, treatment, drying, lumber, blanks, temperature, equilibrium humidity, wood, indexes of quality, kinematics process.

УДК 674.048

Доц. Ю.М. Губер, канд. техн. наук; асист. Ж.Я. Гуменюк; магістр А.К. Хіноцький – НЛТУ України, м. Львів

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ВСИХАННЯ ПРОПАРЕНОЇ ДЕРЕВИНИ АКАЦІЇ

Наведено методику та результати експериментальних досліджень зміни всихання пропареної деревини акації. Отримано математичні та графічні залежності повного об'ємного всихання деревини акації від режимних параметрів процесу теплового оброблення.

**Вступ.** Пропарювання є одним із найпоширеніших в Україні методів термічного оброблення. Так, після пропарювання пиломатеріали акації, бука та дуба, спочатку сирі, втрачають 15-20 % вологості та мають середню вологість близько 50-60 %. Крім того, пропарювання дає змогу вирівняти первинну різницю вологостей пиломатеріалів, а це покращує подальше сушіння. Пропарена деревина має кращу здатність до механічного оброблення. Стан поверхні такої деревини після механічного оброблення буде кращим, оскільки волокна деревини мають меншу тенденцію до відновлення. Окремі дослідники зазначають, що термічно оброблена деревина має вищу стабільність розмірів, що пов'язано із зміною всихання та вологопоглинання.

**Мета дослідження.** Метою цих експериментальних досліджень є виявлення впливу параметрів процесу пропарювання на величину всихання деревини акації (*Robinia pseudoacacia*).

**Методика пропарювання і обґрунтування рівнів зміни факторів, які впливають на зміну всихання.** Під час проведення експериментів із визначення всихання деревини акації, яку було пропарено за різних технологічних параметрів процесу, використовували заготовки довжиною 400 мм, шириною 20 мм і товщиною 20 мм. Заготовки випилювали з дощок, отриманих із свіжорозпиленої колоди, що забезпечувало їхню високу вологість. Ці зразки нумерували для забезпечення послідовності проведення дослідів.

У камеру автоклава було поміщено по 36 експериментальних заготовок. Після завантаження зразків кришку автоклава щільно закривали і відбувався процес пропарювання за заданої температури. Експериментально задавали тривалість пропарювання та рівень температури в пропарювальній камері. За час процесу пропарювання, який тривав 192 год, періодично, починаючи з 96-ї год, через 48 годин виймали партію дослідних зразків. Після цього процес пропарювання відновлювався. Пропарювання починалося з початкового прогрівання, під час якого температура підвищувалася до запрограмованого значення, далі відбувався сам процес пропарювання за заданої температури. Після досягнення заданої тривалості пропарювання, відбувалося охолодження зразків.

Пропарювання деревини акації здійснювали для дослідження впливу параметрів пропарювання на зміну всихання. Як фактори, які впливають на зміну цих властивостей деревини, у нашому досліді було вибрано температуру і тривалість пропарювання. Температуру пропарювання, як один із ключових факторів, фіксували на трьох рівнях (80, 100, 120 °С). Тривалість пропарювання фіксували на трьох рівнях (96, 144, 192 год), що було зумовлено зміною кольору в попередніх дослідженнях [1, 2]. Верхній рівень тривалості пропарювання було прийнято 192 год, оскільки під час експериментів колір зразків досягав максимально допустимих відтінків, що показало недоцільність подальшого пропарювання. Нижній рівень тривалості пропарювання було прийнято 96 год, оскільки під час проведення попередніх дослідів виявилось, що пропарювання з меншою тривалістю не впливає істотно на зміну властивостей деревини. Третій рівень зміни фактора тривалості пропарювання визначався як середнє значення попередніх рівнів і становив 144 год.

**Методика вимірювання всихання деревини акації та результати експериментальних досліджень.** На підготовлених заготовках проводили заміри розмірів у тангентальному та радіальному напрямках відносно волокон. Далі заготовки піддавали пропарюванню згідно з описаною вище методикою. Після цього пропарені заготовки торцювали на зразки розміром 20×20×5. Надалі ці зразки, попередньо обміряні та зважені, висушували до абсолютно сухого стану в сушильній шафі. Всихання деревини визначали за стандартною методикою [ГОСТ 16483.37-80, ГОСТ 16483.38-80, DIN 52184]. Згідно з чинним стандартом, використовують зразки чотиригранної прямокутної призми з основою розміром 20×20 та висотою вздовж волокон 30 мм. За таких розмірів достатньо складно дотриматися рівномірного розподілу вологи за об'ємом, тому використовували зразки розміром 5 мм вздовж волокон. Величину всихання пропарених зразків порівнювали із значенням всихання непропарених контрольних зразків.

За результатами вимірювання та розрахунків отримано величини повного тангентального, радіального та об'ємного всихання деревини акації, які представлено в табл. та на рис. 1-9.

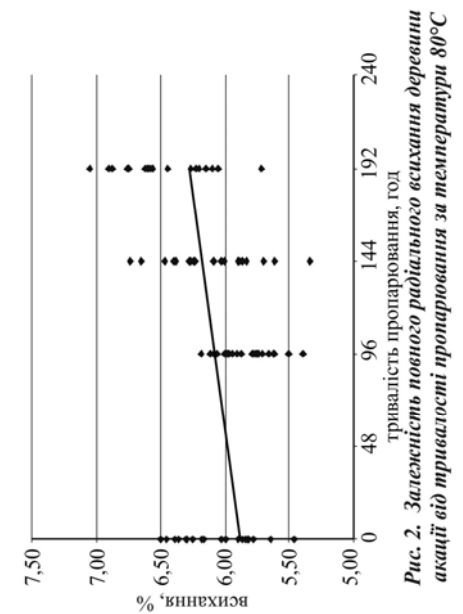


Рис. 2. Залежність повного радіального всихання деревини акації від тривалості пропарювання за температури 80°С

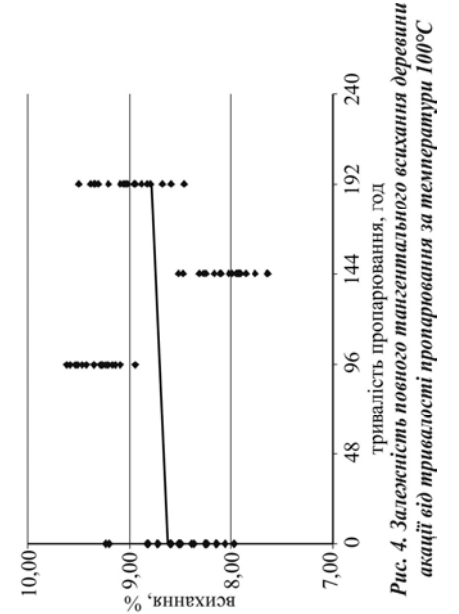


Рис. 4. Залежність повного тангентального всихання деревини акації від тривалості пропарювання за температури 100°С

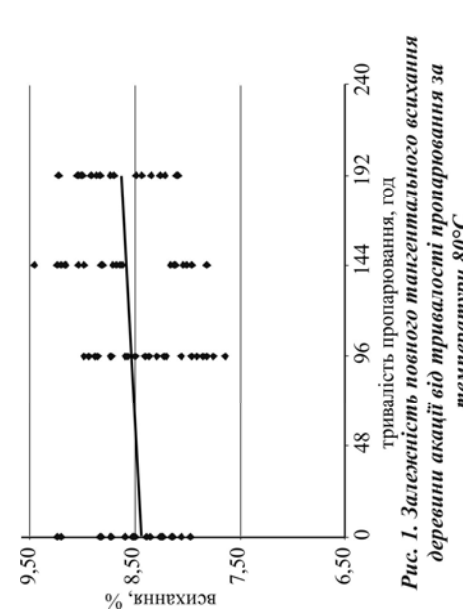


Рис. 1. Залежність повного радіального всихання деревини акації від тривалості пропарювання за температури 80°С

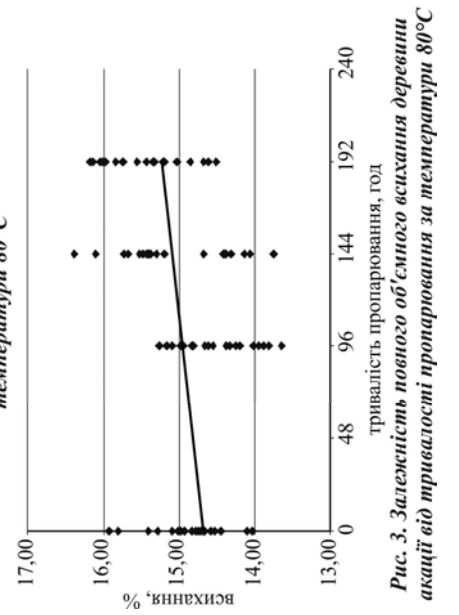


Рис. 3. Залежність повного об'ємного всихання деревини акації від тривалості пропарювання за температури 80°С

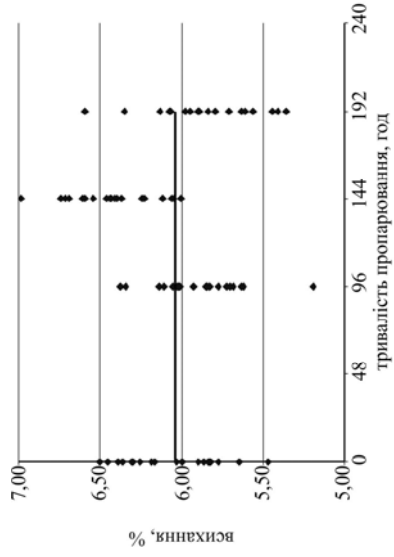


Рис. 5. Залежність повного радіального всихання деревини акації від тривалості пропарювання за температури 100°C

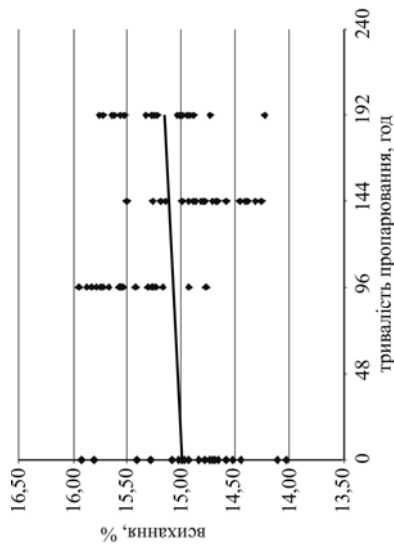


Рис. 6. Залежність повного радіального всихання деревини акації від тривалості пропарювання за температури 100°C

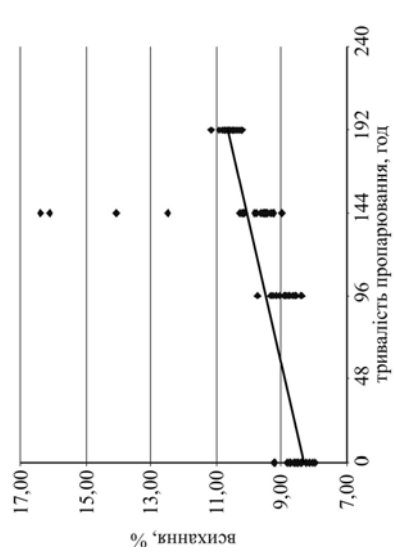


Рис. 7. Залежність повного тангентального всихання деревини акації від тривалості пропарювання за температури 120°C

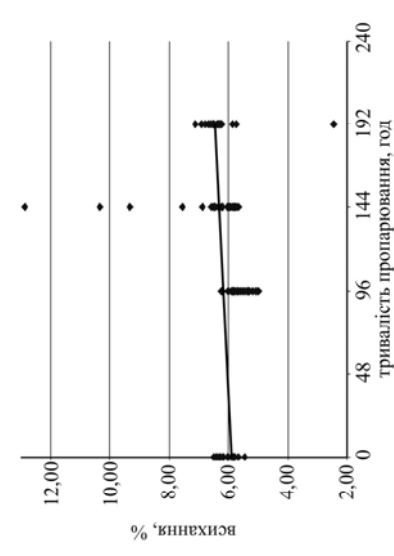


Рис. 8. Залежність повного радіального всихання деревини акації від тривалості пропарювання за температури 120°C

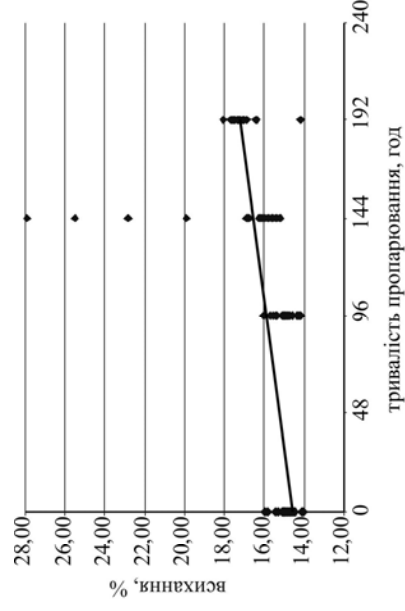


Рис. 9. Залежність повного об'ємного всихання деревини акації від тривалості пропарювання за температури 120°C

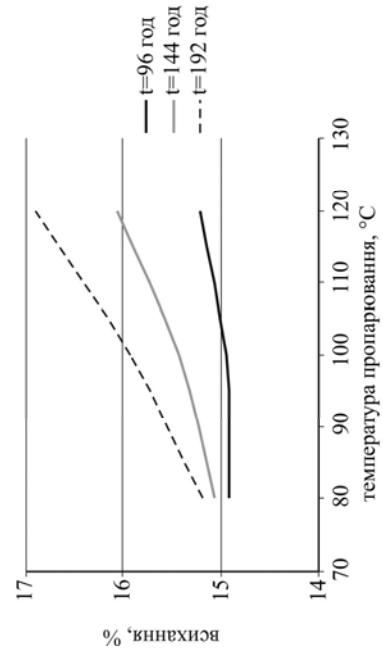


Рис. 10. Залежність значень всихання від температури пропарювання за різної тривалості процесу

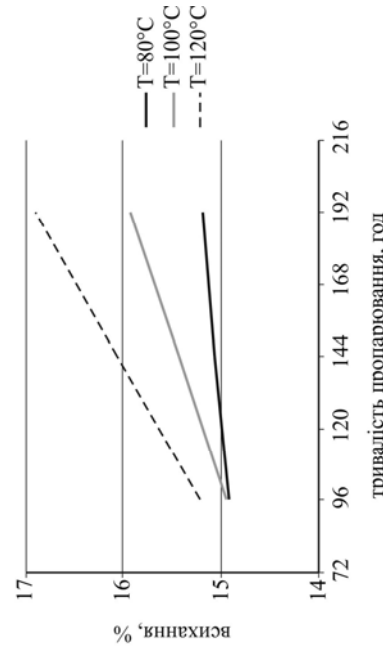


Рис. 11. Залежність значень всихання від тривалості пропарювання за різної температури процесу

Табл. Результати розрахунку повного об'ємного всихання зразків деревини акації

№ зразка	Повне об'ємне всихання, %									контрольний зразок
	температура 80°C			температура 100°C			температура 120°C			
	тривалість, год			тривалість, год			тривалість, год			
	96	144	192	96	144	192	96	144	192	
1	14,20	14,37	15,55	15,24	15,26	14,23	14,79	15,61	18,05	15,81
2	14,66	14,42	15,19	14,92	14,41	15,64	15,51	15,93	17,65	15,93
3	14,33	14,41	15,43	14,77	14,67	14,99	15,69	15,18	17,56	15,41
4	13,94	14,13	15,33	15,72	15,18	15,28	14,99	15,43	17,19	14,68
5	14,37	14,06	15,75	15,26	14,93	15,32	15,99	15,61	17,24	14,83
6	13,88	13,74	16,04	15,87	14,99	15,01	15,40	15,37	17,00	15,02
7	13,81	14,31	15,84	15,75	15,51	14,89	15,10	16,71	17,44	15,09
8	14,02	15,52	15,75	15,83	15,14	15,04	15,35	15,81	16,83	14,93
9	13,65	15,43	16,01	15,58	14,81	14,92	14,89	16,04	17,31	14,78
10	14,37	15,48	15,97	15,94	14,66	15,22	14,96	15,55	17,61	14,84
11	14,56	15,42	16,14	15,54	14,70	15,27	14,83	15,25	17,07	14,52
12	14,25	15,73	15,74	15,31	14,79	14,99	14,28	15,75	17,00	14,99
13	14,61	15,19	16,18	15,17	14,45	14,73	14,94	19,89	16,99	14,11
14	14,94	14,67	14,51	15,27	14,31	15,53	14,14	22,82	16,87	14,58
15	14,83	15,30	15,34	15,42	14,58	14,95	14,33	27,87	16,42	14,44
16	15,17	15,38	14,60	15,79	14,39	15,57	14,68	25,50	17,49	14,74
17	15,25	15,68	15,02	15,56	14,26	15,25	14,77	16,84	17,18	15,28
18	15,27	16,39	15,21	15,54	14,89	15,62	14,56	16,09	17,28	14,96
19	14,81	16,10	14,86	15,67	14,78	15,72	14,23	16,18	16,34	14,71
20	14,98	15,39	14,67	15,56	14,87	15,75	14,60	16,27	17,19	14,03
Середнє	14,49	15,06	15,46	15,49	14,78	15,20	14,90	17,49	17,19	14,88

За результатами оброблення експериментальних даних отримано рівняння з визначення повного об'ємного всихання деревини акації  $\beta_{\max}$ , %:

$$\beta_{\max} = 19,27 - 0,09 \cdot T - 0,02 \cdot \tau + 0,0003 \cdot T^2 - 0,000022 \cdot \tau^2 + 0,00036 \cdot T \cdot \tau,$$

де:  $T$  – температура пропарювання, °C;  $\tau$  – тривалість пропарювання, год.

Із залежностей, представлених на рис. 10-11 видно, що із підвищення температури та тривалості пропарювання значення повного всихання деревини акації збільшуються. Однак істотне збільшення спостерігаємо лише за температури 120 °C.

**Висновки.** За результатами експериментальних досліджень встановлено:

1. Із підвищенням температури та тривалості процесу пропарювання всихання деревини акації збільшується.
2. Пропарювання за температури 80-100 °C істотно не впливає на величину всихання. Видимі зміни спостерігаємо за температури 120 °C, що, імовірно, зумовлено хімічними змінами в структурі деревини.
3. Величина всихання починає збільшуватися після 144 год процесу пропарювання за температури 120 °C.
4. За допомогою рівняння можна визначити повне всихання деревини акації залежно від режимних параметрів процесу пропарювання.

5. Отримане рівняння дає можливість прогнозувати значення повного всихання деревини акації, яка пройшла термічне оброблення паром за температури 80-120 °C.

### Література

1. Губер Ю.М. Експериментальні дослідження зміну кольору деревини в процесі пропарювання / Ю.М. Губер, Ж.Я. Гуменюк // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.9. – С. 98-105.
2. Губер Ю.М. Закономірності зміни фізико-механічних властивостей деревини акації в процесі пропарювання / Ю.М. Губер, Ж.Я. Гуменюк, В.В. Стародуб // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.3. – С. 106-114.

### Губер Ю.М., Гуменюк Ж.Я., Хиноцький А.К. Экспериментальные исследования изменения усушки пропаренной древесины акации

Приведены методика и результаты экспериментальных исследований изменения усушки пропаренной древесины акации. Получены математические и графические зависимости полной объемной усушки древесины акации от режимных параметров процесса тепловой обработки.

### Huber Yu.M., Humenyuk Zh.Ya., Hinotskiy A.K. Experimental investigation of shrinkage changes of the steamed acacia wood

Methods and results of experimental investigation of the shrinkage changes of the steamed acacia wood are given. Mathematical and graphic dependence of full volume shrinkage of acacia wood on regime parameters of the heating process are received.

УДК 674.053:621 Аспір. А.Б. Пилип'як<sup>1</sup>; доц. Л.Ф. Дзюба<sup>2</sup>, канд. техн. наук; проф. І.Т. Ребезнюк, д-р техн. наук

### НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВУЗЬКИХ ПИЛОК СТРІЧКОПИЛКОВИХ ВЕРСТАТІВ

Виконано аналіз робіт, у яких досліджено складники та чинники, що позначаються на працездатності стрічкових пилок. Визначено напрями дослідження щодо підвищення працездатності вузьких пилок стрічкопилкових верстатів.

**Ключові слова:** стрічкова пила, працездатність, чинники, міцність полотна пилки, напруження у пилці.

Вузькі стрічкові пилки широко використовують на сучасних деревообробних підприємствах для розпилювання колод на дошки та бруси. На верстаті стрічкову пилку встановлюють на два пилкових шківів і натягують. Натягування зумовлене тим, що потрібно забезпечити: певну жорсткість і стійкість пилки, протидіяти збіганню пилки зі шківів та передати колове зусилля, яке дорівнює головному складникові сили опору різанню. Жорсткість і стійкість пилки та протидію збіганню пилки зі шківів забезпечують за порівняно малих сил натягу. Силу натягу стрічкової пилки обґрунтовують, виходячи переважно з передавання колового зусилля [1-3].

Під час експлуатування стрічкова пила досить часто втрачає свою працездатність. Працездатність вузької стрічкової пилки – це такий стан пил-

<sup>1</sup> НЛТУ України, м. Львів;

<sup>2</sup> Львівський ДУ безпеки життєдіяльності