

**Література**

1. Кшивецький Б.Я. Анализ прочности и долговечности термопластических клеевых соединений / Б.Я. Кшивецький // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. тр. – Брянск (РФ) : Изд-во БГИТА. – 2003. – Вып. 7. – С. 119-121.
2. Кшивецький Б.Я. До питання міцності і довговічності клейових з'єднань / Б.Я. Кшивецький, Б.В. Прокопович // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2001. – Вип. 11.1. – С. 113-115.
3. Кшивецький Б.Я. О долговечности клеевых соединений в деревообработке / Б.В. Прокопович, О.П. Гупало // Актуальные проблемы лесного комплекса : сб. науч. тр. – Брянск (РФ) : Изд-во БГИТА. – 2001. – Вып. 4. – С. 61-64.
4. Патент на винахід № 98515 Україна, МПК G01N 33/46, G01L 1/26. Спосіб прогнозування міцності та довговічності з'єднань деревини клеями на основі полівінілацетату / Б.Я. Кшивецький, П.А. Бехта (Україна); Заявл. 25.05.2010; Опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10.
5. Кшивецький Б.Я. Дослідження міцності з'єднань деревини сосни клеями на основі полівінілацетату за дії природних факторів / Б.Я. Кшивецький // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2007. – Вип. 17.3. – С. 110-112.
6. Патент на корисну модель № 45134 Україна, МПК B23V 21/00. Спосіб прогнозування довговічності клейових з'єднань деревини дуба клеями на основі полівінілацетату / Б.Я. Кшивецький, П.А. Бехта (Україна); Заявл. 29.05.2009; Опубл. 26.10.2009, Бюл. № 5.
7. Кшивецький Б.Я. Прогнозування довговічності клейових з'єднань деревини клеями на основі полівінілацетату / Б.Я. Кшивецький, П.А. Бехта // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во НЛТУ України. – 2009. – Вип. 35. – С. 84-89.
8. Кшивецький Б.Я. Прогнозування довговічності термопластичних клейових з'єднань деревини за допомогою математичної моделі / Б.Я. Кшивецький // Проблеми трибології : міжнар. наук. журнал. – Хмельницький : Вид-во Хмельницького НУ. – 2012. – № 4. – С. 38-42.

**Кшивецький Б.Я. Прогнозирование долговечности термопластичных клеевых соединений древесины березы**

Проанализированы методы и методики исследования и прогнозирования долговечности клеевых соединений древесины. Предложено долговечность термопластичных клеевых соединений древесины березы прогнозировать с помощью математической модели, которая учитывает коэффициент на породу древесины. Осуществлено прогнозирование долговечности термопластичных клеевых соединений древесины березы в зависимости от условий эксплуатации с помощью математической модели. Проанализированы полученные результаты прогнозирования долговечности и установлено, что при повышенной температуре окружающей среды долговечность термопластичных поливинилацетатных клеевых соединений древесины березы уменьшается, а при повышении влажности наоборот – долговечность незначительно растет.

**Ключевые слова:** клей, древесина, долговечность, влажность, температура, клеевые соединения, прогнозирование, водостойкость, теплостойкость.

**Kshyvetskyy B.Ya. Prediction of Durability of Thermoplastic Adhesive Joints of Birch Wood**

Some methods and techniques for investigation and prediction of the durability of adhesive of wood joints have been analyzed. It has been proposed that durability of thermoplastic adhesive of birch wood joints is predicted by using a mathematical model which takes into account the coefficient for wood species. Using a mathematical model, a prediction of the durability of thermoplastic adhesive joints of birch wood depending on service conditions has been carried out. The results of the studies on the durability have shown that elevated ambient temperatures lead to decreasing the durability of thermoplastic polyvinyl acetate adhesive birch wood joints, while increased ambient humidity, on the contrary, leads to a slight increase in the durability.

**Keywords:** adhesive, wood, durability, humidity, temperature, adhesive joints, prediction, water resistance, heat resistance.

УДК 674.047

Проф. П.В. Білей, д-р техн. наук; аспір. Р.О. Рокунь – НЛТУ України, м. Львів

**ДИНАМІКА ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ ПРОФІЛЬНИХ ЗАГОТОВОК З ДЕРЕВИНИ ПІД ЧАС НАГРІВАННЯ В ГАЗОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

Розглянуто фізичне явище нагрівання деревини. Визначено фізичні властивості (вологість і густину) та питому теплоємність деревини бука під час нагрівання. З'ясовано, що під час нагрівання змінюється (у незначних величинах) вологість деревини та відповідно – густина, питома теплоємність та питомі витрати теплоти. Дослідження проведено в лабораторній сушильній установці. Властивості деревини визначались за класичною методикою до і після процесу нагрівання. Для експериментального визначення динаміки зміни температури деревини вибрано два експериментальні зразки (букові поліна). По середині зразків вставлялись два давачі температури (термопари) на глибину  $x=0,15R$  та  $x=R$ . Температуру деревини фіксували приладом через певний проміжок часу. Таким чином, отримано залежність зміни температури поверхневих і центральних шарів деревини від тривалості процесу нагрівання. Експериментальні залежності описано емпіричними формулами.

**Ключові слова:** температура, нагрівання, вологість, густина, питома теплоємність деревини, тривалість процесу, емпірична залежність.

**Вступ.** Характеристику процесів нагрівання пилопродукції під час теплового оброблення досить ґрунтовно описано у фаховій та навчальній літературі [1-3]. Значно менше приділено уваги нагріванню профільних заготовок із деревини, таких як: взуттєві колодки, дерев'яні деталі стрілецької зброї, дерев'яні протези, дерев'яні елементи художніх меблів та музичних інструментів і дрв. Такі заготовки мають змінні розміри, як за перетином так, і по довжині. Підібрати режими нагрівання та сушіння таких заготовок доволі складно. Профільні заготовки у поперечному перерізі мають переважно геометричну форму трикутника, трапеції, овалу або кола. За характерний розмір цих заготовок можна прийняти радіус кола ( $R$ ), вписаного в ці геометричні фігури.

**Методика дослідження.** За експериментальний матеріал прийнято поліна (дрова колоті, стандартних розмірів з довжиною  $L=330...350$  мм) з деревини бука європейського (*Fagus sylvatica* L), що мають у поперечному перерізі геометричну форму трикутника або трапеції. До початку процесу нагрівання поліна зважують з точністю до одного грама, а по середині поліна встановлюють давачі температури (хромль-копелеві термопари), одну на глибину 3 мм, а другу – до центра радіуса вписаного кола. За цими даними визначають градієнт температури ( $dt=t_{ц} - t_{нов}$ ) за товщиною матеріалу ( $dx=R$ ). Після процесу нагрівання заготовки (поліна) знову зважують (щоб визначити, чи зменшується їх вологість під час нагрівання) і розпилюють посередині довжини на дві секції вологості та секції пошарової вологості. Секції пошарової вологості маркують, як поверхневі, так і нейтральні шари, зважують і висушують до абсолютно сухого стану.

За секціями вологості визначають, яка була вологість заготовок після нагрівання –  $W_n$ , %. За різницею початкової вологості заготовок –  $W_0$  та після нагрівання знаходять величину втрати вологості під час нагрівання ( $W_0 - W_n = \Delta W_n$ ). За цими даними також визначають якою має бути маса поліна в абсолютному стані –  $M_0$ :

$$M_0 = \frac{100M_n}{100 + W_n} \text{ кг}, \quad (1)$$

де  $M_n$  – маса поліна після нагрівання, кг.

А далі визначають вологість заготовок до нагрівання за формулою

$$W_0 = \frac{M_w - M_0}{W_0} \%, \quad (2)$$

де  $M_w$  – маса поліна до початку нагрівання, кг.

Початкову температуру деревини ( $t_0$  °C) та поточну ( $t$  °C) в процесі нагрівання визначають за показами приладу з точністю до 0,1 °C. Таким чином, визначають динаміку зміни температури у поверхневих і центральних шарах:  $t_n = f_1(\tau)$  та  $t_{нов} = f_2(\tau)$ .

**Результати дослідження.** За середньою вологістю деревини  $W = 0,5(W_0 + W_n)$ , % та значенням умовної густини деревини бука  $\rho_y = 560 \text{ кг/м}^3$  [3] розраховують значення густини деревини під час нагрівання за формулою

$$\rho = \rho_y(1 + 0,01\bar{W}), \text{ кг/м}^3. \quad (3)$$

Питомі витрати тепла на процес нагрівання деревини визначають за формулою

$$q = \rho \bar{C} \Delta t \text{ кДж/м}^3, \quad (4)$$

де:  $\Delta t$  – діапазон зміни температури деревини під час нагрівання, °C;  $\bar{C}$  – середня питома теплоємність деревини, яку визначають за формулою

$$\bar{C} = 1,172 \left[ W_0 \cdot \left( 1 + \frac{\bar{t}}{100} \right) \right] \text{ кДж/(кг град)}, \quad (5)$$

де:  $W_0$  – відносна вологість деревини, %;  $\bar{t}$  – середня температура деревини під час нагрівання, °C.

Результати експериментальних досліджень процесу нагрівання букових дров у лабораторній сушильній установці з температурою середовища  $t_c = 60$  °C наведено в табл.

**Табл. Зміна температури деревини під час нагрівання**

Тривалість нагрівання	0	10	20	30	40	60	80	100	120	150	180
Зразок 1											
Температура деревини – $t_n$ , °C											
$x=0,15R$	8	10	16	23	30	42	50	55	57	59	60
$x=R$	8	9	14	19	25	37	42	48	52	56	58
Зразок 2											
Температура деревини – $t_n$ , °C											
$x=0,15R$	8	13	21	30	39	48	55	58	60	60	-
$x=R$	8	11	17	25	34	42	48	53	57	58	-

Експериментальні дані, що наведені в табл., потрібно описати емпіричною залежністю. Виходячи з характеру динаміки зміни температури, можна запропонувати таку залежність:

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = a_0 + a_1 \tau^m \cdot \exp(A \tau), \quad (6)$$

де  $a_0, a_1, m, A$  – коефіцієнти рівняння.

Внаслідок експериментальних досліджень з'ясовано, що вологість зразків зменшилась на 3 %, а початкова вологість була  $W_n = 62$  %. За відомим значенням початкової вологості деревини знаходимо, що густина становить  $\rho = 907,2 \text{ кг/м}^3$ , а середня питома теплоємність  $C = 2,58 \text{ кДж/(кг град)}$ . Таким чином питомі витрати тепла на процес нагрівання букових дров становлять  $q = 121515 \text{ кДж/м}^3$ . Відносну вологість деревини визначили за такою формулою:

$$W_0 = \bar{W} \cdot \frac{M_0}{M_w}, \%, \quad (7)$$

За результатами апроксимації отримані такі емпіричні залежності:

- Зразок 1 (поверхневий) шар,  $R=9$  см
 
$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = 6,89 + 0,154 \cdot \tau^{1,48} \exp(-0,0098 \tau);$$
- Зразок 1 (центральний) шар,  $R=9$  см
 
$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = 6,88 + 0,117 \cdot \tau^{1,455} \exp(-0,0083 \tau);$$
- Зразок 2 (поверхневий) шар,  $R=6$  см
 
$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = 7,21 + 0,386 \cdot \tau^{1,29} \exp(-0,0104 \tau);$$
- Зразок 2 (центральний) шар,  $R=6$  см
 
$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = 7,01 + 0,2560 \cdot \tau^{1,29} \exp(-0,0094 \tau).$$

Враховуючи майже однаковий вплив на процес нагрівання експонентно-го виразу, можна у розрахунках прийняти середнє значення коефіцієнта  $A = 0,0095$ .

**Висновки.** Дослідження динаміки зміни температури деревини в поверхневих і центральних шарах під час нагрівання букових дров показало, що зміна температури деревини відбувається за складною залежністю. На початку процесу нагрівання існує теплова інерція, потім температура деревини починає різко зростати, як у поверхневих, так і в центральних шарах, а наприкінці процесу нагрівання температура деревини зростає повільно і процес нагрівання завершується температурою поверхні, яка наближається до температури середовища  $t_{нов} \geq t_c$  та з температурою центральних шарів на 2...3 °C нижчою за температуру середовища. З таким розподілом температури деревини процес нагрівання можна вважати завершеним.

### Література

1. Білей П.В. Теоретичні основи теплової оброблення і сушіння деревини / П.В. Білей. – Коломия : Вид-во "Вік", 2005. – 360 с.
2. Білей П.В. Сушіння та захист деревини : підручник / П.В. Білей, В.М. Павлюст. – Львів : Вид-во "Кольорове небо", 2008. – 312 с.
3. Вінтонів І.С. Деревинознавство / І.С. Вінтонів, І.М. Сопушинський, А. Тайшінгер. – Львів : Вид-во "Апріорі", 2007. – 312 с.

**Билей П.В., Рокунь Р.А. Динамика изменений температуры профильных заготовок из древесины при нагревании в газовой среде**

Рассмотрено физическое явление нагрева древесины. Определены физические свойства (влажность и плотность) и удельная теплоемкость древесины бука при нагревании. Уяснено, что при нагревании изменяется (в незначительных величинах) влажность древесины и соответственно – плотность, удельная теплоемкость и удельные расходы теплоты. Исследование проведено в лабораторной сушильной установке. Свойства древесины определены по классической методике до и после процесса нагрева. Для экспериментального определения динамики изменения температуры древесины выбраны два экспериментальных образца (буковые поленья). По середине образцов вставлялись два датчики температуры (термопары) на глубину  $x=0,15R$  и  $x=R$ . Температура древесины фиксировалась прибором через определенный промежуток времени. Таким образом, получена зависимость изменения температуры поверхностных и центральных слоев древесины от продолжительности процесса нагрева. Экспериментальные зависимости описаны эмпирическими формулами.

**Ключевые слова:** температура, нагрев, влажность, плотность, удельная теплоемкость древесины, продолжительность процесса, эмпирическая зависимость.

**Biley P.V., Rokun R.O. Changes in Temperature of Profile Workpieces of Wood during Heating in a Gaseous Environment**

We consider the physical phenomenon of heating wood. Some physical properties such as density and moisture on the specific heat of beech wood during heating are defined. It was found that when heated in small quantities moisture content and relative density, specific heat and specific consumption of heat change. The study was conducted in laboratory drying plant. Wood properties were determined by the classical method before and after heating. For the experimental determination of the dynamics of change in the temperature of two experimental samples of wood (beech logs) with an equivalent diameter of 20 and 12 centimetres were chosen. Two temperature sensors (thermocouple) were inserted in the middle of samples to a depth  $x=0,15R$  and  $x=R$ . Wood temperature was recorded over a certain period of time. Thus, we have obtained a temperature dependence of the surface and central layers of wood depending on the duration of heating. Experimental dependence was described by empirical formulas.

**Keywords:** temperature, heat, humidity, density, specific heat of wood, the duration of the process, empirical relationship.

УДК 614.84:658

Доц. О.І. Башинський, канд. техн. наук;

доц. С.Я. Вовк, канд. техн. наук; доц. М.З. Пелешко, канд. техн. наук –

Львівський ДУ безпеки життєдіяльності

**ПРОЕКТ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ПОЖЕЖНОЇ ТА АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ: ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИЙ ПІДХІД**

Досліджено особливості диференціації робіт із обслуговування і ремонту пожежної та аварійно-рятувальної техніки за станом. Проаналізовано організаційні схеми виконання робіт із обслуговування і ремонту пожежної та аварійно-рятувальної техніки за станом. З'ясовані причинно-наслідкові зв'язки чинників впливу на систему технічного обслуговування і ремонту пожежної та аварійно-рятувальної техніки під час диференціації робіт за станом. Встановлено, що для ефективних імітаційних моделей потрібно провести якісний аналіз причинно-наслідкових зв'язків між чинниками, що мають вплив на технічне обслуговування та ремонт пожежної та аварійно-рятувальної техніки.

**Ключові слова:** пожежно-рятувальна техніка, технічний стан, технічне обслуговування, ремонт, система.

**Постановка проблеми.** На сьогодні термін експлуатації значної частини сучасного парку пожежних автомобілів в Україні становить понад 20 років. Підтримка такої техніки у працездатному стані та ремонт потребує істотних капіталовкладень. На основі стратегії за терміном експлуатації пожежних та аварійно-рятувальних автомобілів у рамках ДСНС створено виробничу систему, у якій здійснюють планово-запобіжні, обслуговуючі та ремонтні втручання. У рамках цієї системи актуальним завданням є економія матеріальних ресурсів.

**Задачі досліджень.** Для вирішення такого завдання потрібно створити проект системи, здійснити моделювання її функціонування і розкрити причинно-наслідкові зв'язки між її складовими елементами та чинниками впливу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На ефективність економії матеріальних ресурсів впливає багато факторів [5]. Можна констатувати, що основою мінімізації матеріальних затрат є застосування принципу диференціації робіт за технічним станом. За такого підходу можна поділити модель на два процеси – об'єктивної зміни технічного стану машини внаслідок її використання та суб'єктивного впливу на цей стан обслуговуючих та ремонтних втручань з метою повернення його до попереднього (справного або роботоздатного) [3]. Зв'язок між цими процесами характеризується затратами часу на виробничу експлуатацію пожежних автомобілів під час гасіння ними пожеж та тренувань особового складу пожежників, а також затратами часу, живої праці, запасних частин, матеріалів (зокрема паливно-мастильних) на діагностування, технічне обслуговування та ремонт цих машин. Науково-методичні засади розроблення проектів виробничої системи технічного обслуговування та ремонту пожежних автомобілів за технічним станом відсутні.

**Мета дослідження** – розкрити причинно-наслідкові зв'язки у процесі технічного обслуговування та ремонту (ТОР) пожежних автомобілів за технічним станом.

**Науково-методичні підстави дослідження.** Виконання технічного обслуговування і ремонту пожежних автомобілів за станом може відбуватися за такими організаційними схемами: 1) пожежні автомобілі через певне направлення (Н) доїжджають до стаціонарного діагностичного центру, що знаходиться при загоні технічної служби, там діагностуються, за результатами чого призначаються обслуговувально-ремонтні втручання, які виконують безпосередньо у стаціонарній майстерні загону технічної служби; 2) із пожежних частин надходить інформація в загін про потреби чергового діагностування того чи іншого автомобіля, виїзна ланка щодоби формує план і виїздить у пожежні частини, де виконують діагностування окремих автомобілів, а також здійснює потрібні обслуговувально-ремонтні втручання; 3) виїзна ланка почергово виїжджає в пожежні частини, де виконує діагностування всіх автомобілів та здійснює потрібні обслуговувально-ремонтні втручання.

Результати аналізу за критерієм ресурсовитрат переваг та недоліків цих організаційних схем свідчать про те, що, на жаль, жодна з них не має абсолютної переваги над іншими (рис.).