

## 4. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ



Науковий вісник НЛТУ України  
Scientific Bulletin of UNFU  
<http://nv.nltu.edu.ua>

<https://doi.org/10.15421/40270627>

Article received 18.09.2017 p.

Article accepted 28.09.2017 p.

УДК 634.0.812

ISSN 1994-7836 (print)  
ISSN 2519-2477 (online)

✉ Correspondence author  
B. P. Pobereyko  
bohdan.pobereyko@gmail.com

**Б. П. Поберейко, Л. О. Флуд, А. А. Мокрицький**

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

### КОНТРОЛЬ РІЗНИЦІ ФАКТИЧНИХ ТА ДОПУСТИМИХ ЗНАЧЕНЬ ПЕРЕПАДУ ВОЛОГИ ЗА ТОВЩИНОЮ ВИСУШУВАНОГО ПИЛОМАТЕРІАЛУ

Викладено актуальність теми та наведено постановку задачі. Для вирішення поставленої задачі у рамках механіки суцільного середовища та з використанням критерію міцності Голденблата-Копнова побудовано нову математичну модель для визначення граничних значень компонентів тензора напружень та допустимого перепаду вологи у тангентальних пиломатеріалах з параболічним та косинусоїдальним розподілами вологовмісту. За допомогою методу Рітца знайдено розв'язки цієї моделі у вигляді аналітичних залежностей допустимих перепадів вологи від фізико-механічних властивостей деревини та геометричних розмірів дошки. На основі отриманих залежностей запропоновано новий спосіб для своєчасного виявлення допустимих перепадів вологи у висушуваних пиломатеріалах, який полягає у: теоретичному визначенні граничних абсолютних значень різниці відносних вологостей пластів та центрального шару дошки зі змінним вологовмістом; експериментальному вимірюванню фактичних значень цієї різниці та подальшому порівнянню теоретичних та фактичних перепадів вологи у деревині. Для практичної реалізації цього способу розроблено функціональну схему для побудови системи контролю допустимих перепадів вологи у пиломатеріалах з різними геометричними розмірами та описано алгоритм її роботи.

**Ключові слова:** допустимий перепад вологи; поточний перепад вологи; система контролю.

**Актуальність теми.** Однією з важливих задач технології гідротермічного оброблення деревини є визначення залежності допустимого перепаду вологи у висушуваному пиломатеріалі від часу сушіння. Адже у пиломатеріалах із перепадами вологи, значення яких є більшими за допустимі, виникають залишкові напруження, які негативно впливають на якість пилопродукції. Проте проблема полягає не в наявності полів цих напружень, а у відсутності методів їх усунення та контролю, і саме тому вони є небажаними не тільки у висушених, але і у висушуваних пиломатеріалах.

Пиломатеріали потрібно сушити так, щоб поточний перепад вологи  $\Delta W(\tau)$  за їх товщиною не перевищував допустимих значень  $\Delta W_{дон}(\tau)$ . Параметри агента сушіння (швидкість, температура, відносна вологість) потрібно змінювати з часом таким чином, щоб  $\Delta W(\tau)$  не перевищувало  $\Delta W_{дон}(\tau)$ .

**Постановка задачі.** Однією з основних оцінок раціональності наявних режимів сушіння гігроскопічних капілярно-пористих матеріалів є умова (Bilei, Sokolovskiy & Pavliust, 2010)

$$\Delta W_{дон}(\tau) - \Delta W(\tau) > 0. \quad (1)$$

Тому для контролю різниці допустимого та фактичного перепадів вологи у запропоновано новий спосіб, практична реалізація якого полягає у: а) розробленні алгоритмічного та програмного забезпечення розрахунку  $\Delta W_{дон}$ ; б) вимірюванні фактичних перепадів вологи у пиломатеріалі зі змінним вологовмістом; в) порівнянні теоретичних та фактичних перепадів вологи у висушуваному матеріалі для прийняття рішення про доцільність подальшого зневоднення деревини, зберігаючи поточний режим сушіння.

**Математична модель визначення допустимого перепаду вологи у тангентальних пиломатеріалах.** Для визначення значень величини  $\Delta W_{дон}$  побудовано нові математичні моделі для визначення компонентів тензора міцності та допустимого перепаду вологи у пиломатеріалах з параболічним та косинусоїдальним розподілами вологи, складниками якої є:

- рівняння рівноваги

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}; \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = \frac{\partial \sigma_y}{\partial y}; \end{cases} \quad (2)$$

#### Інформація про авторів:

**Поберейко Богдан Петрович**, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри АКІТ. Email: bohdan.pobereyko@gmail.com

**Флуд Любомир Олегович**, асистент кафедри ІТ. Email: fludlybomir@gmail.com

**Мокрицький Андрій Анатолійович**, аспірант. Email: andrii.mokritskii@gmail.com

**Цитування за ДСТУ:** Поберейко Б. П., Флуд Л. О., Мокрицький А. А. Контроль різниці фактичних та допустимих значень перепаду вологи за товщиною висушуваного пиломатеріалу. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(6). С. 135–138.

**Citation APA:** Pobereyko, B. P., Flud, L. O., & Mokrytskyi, A. A. (2017). Monitoring of the Difference Between Actual and Permissible Values of the Moisture Drop by Dried Timber Thickness. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(6), 135–138.

<https://doi.org/10.15421/40270627>

- рівняння суміжності

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial xy}; \quad (3)$$

- закон Гука для нестисливих та малостисливих матеріалів

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E_x} - \frac{\mu_{yx}\sigma_y}{E_y} + \beta_x W(x, y); \\ \varepsilon_y = -\frac{\mu_{xy}\sigma_x}{E_x} + \frac{\sigma_y}{E_y} + \beta_y W(x, y); \\ \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G_{xy}}; \end{cases} \quad (4)$$

- граничні умови

$$\sigma_x = 0 \text{ для } x = \pm R; \quad \sigma_y = 0 \text{ для } y = \pm a; \quad (5)$$

$$\tau_{xy} = 0 \text{ для } x = \pm R \text{ та } y = \pm a;$$

- критерії міцності Гольденבלата-Копнова та Є.К. Ашкеназі відповідно

$$P_{xx}\sigma_x + P_{yy}\sigma_y + \sqrt{P_{xxxx}\sigma_x^2 + P_{yyyy}\sigma_y^2 + P_{xxyy}\sigma_x\sigma_y + 4P_{xxyy}\tau_{xy}^2} = 1; \quad (6)$$

$$A_{xx}\sigma_x^2 + A_{yy}\sigma_y^2 + 2A_{xxyy}\sigma_x\sigma_y + 4A_{xxyy}\tau_{xy}^2 = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x\sigma_y + \tau_{xy}^2}, \quad (7)$$

де:  $E_x, E_y$  – модулі пружності;  $G_{xy}$  – модуль зсуву;  $\mu_{xy}, \mu_{yx}$  – коефіцієнти Пуассона;  $\beta_x, \beta_y$  – коефіцієнти усадки;  $W$  – функція розподілу відносної вологості пиломатеріалу за його товщиною;  $\varepsilon_x, \varepsilon_y$  – головні компоненти тензора деформацій;  $\tau_{xy}, \gamma_{xy}$  – напруження та деформація зсуву відповідно;  $P_{xx}, P_{yy}, P_{xxxx}, P_{yyyy}, P_{xxyy}, P_{xyxy}$  та  $A_{xx}, A_{yy}, A_{xxxx}, A_{yyyy}, A_{xxyy}, A_{xyxy}$  – компоненти тензорів міцності; а та  $R$  – півширина та півтовщина дошки;  $x, y$  – координати точок поперечного перерізу дошки відносно перетину його діагоналей.

У рамках запропонованої моделі з використанням методу Рітца вперше отримано формули для визначення граничних значень компонентів тензора напружень та допустимих перепадів вологи у пиломатеріалах з параболічним та косинусоїдальними розподілами вологи, виготовлених з деревини хвойних та листяних порід.

- для дошок з деревини хвойних порід та параболічним розподілом вологи:

$$\sigma_{ij}^* = \frac{\Phi_{ij}}{P_{xx}\Phi_x + P_{yy}\Phi_y + \sqrt{P_{xxxx}\Phi_x^2 + P_{yyyy}\Phi_y^2 + P_{xxyy}\Phi_x\Phi_y + 4P_{xxyy}\Phi_{xy}^2}}, \quad (8)$$

$$\Delta W_{доп} = \beta_y^{-1} (P_{xx}\Phi_x + P_{yy}\Phi_y + \psi(\Phi_x; \Phi_y; \Phi_{xy}))^{-1}; \quad (9)$$

- для дошок з деревини листяних порід та параболічним розподілом вологи:

$$\sigma_{ij}^* = \frac{\Phi_{ij}\sqrt{\Phi_x^2 + \Phi_y^2 + \Phi_x\Phi_y + \Phi_{xy}^2}}{A_{xx}\Phi_x^2 + A_{yy}\Phi_y^2 + 2A_{xxyy}\Phi_x\Phi_y + 4A_{xxyy}\Phi_{xy}^2}; \quad (10)$$

$$\Delta W_{доп} = \frac{\sqrt{\Phi_x^2 + \Phi_y^2 + \Phi_x\Phi_y + \Phi_{xy}^2}}{\beta_y(A_{xx}\Phi_x^2 + A_{yy}\Phi_y^2 + 2A_{xxyy}\Phi_x\Phi_y + 4A_{xxyy}\Phi_{xy}^2)}, \quad (11)$$

- для дошок з деревини хвойних порід та косинусоїдальним розподілом вологи:

$$\sigma_{ijp}^* = \frac{\Phi_{ijp}}{P_{xx}\Phi_{xp} + P_{yy}\Phi_{yp} + \psi_p(\Phi_{xp}; \Phi_{yp}; \Phi_{xyp})}, \quad (12)$$

$$\Delta W_{доп}(Fo) = \beta_y^{-1} (P_{xx}\Phi_{xp} + P_{yy}\Phi_{yp} + \psi_p(\Phi_{xp}; \Phi_{yp}; \Phi_{xyp}))^{-1}, \quad (13)$$

- для пиломатеріалів з деревини листяних порід:

$$\sigma_{ijp}^* = \frac{\Phi_{ijp}\sqrt{\Phi_{xp}^2 + \Phi_{yp}^2 + \Phi_{xp}\Phi_{yp} + \Phi_{xyp}^2}}{A_{xx}\Phi_{xp}^2 + A_{yy}\Phi_{yp}^2 + 2A_{xxyy}\Phi_{xp}\Phi_{yp} + 4A_{xxyy}\Phi_{xyp}^2}, \quad (14)$$

$$\Delta W_{доп}(Fo) = \frac{\sqrt{\Phi_{xp}^2 + \Phi_{yp}^2 + \Phi_{xp}\Phi_{yp} + \Phi_{xyp}^2}}{\beta_y(A_{xx}\Phi_{xp}^2 + A_{yy}\Phi_{yp}^2 + 2A_{xxyy}\Phi_{xp}\Phi_{yp} + 4A_{xxyy}\Phi_{xyp}^2)}, \quad (15)$$

де

$$\begin{aligned} \Phi_x &= -2\{2(3y^2 - a^2)(D_1 + 2D_2x^2) + D_3(15y^4 - 12a^2y^2 + a^4)\}(x^2 - R^2)^2; \\ \Phi_y &= -2\{2(3x^2 - R^2)(D_1 + 2D_2y^2) + D_3(15x^4 - 12R^2x^2 + R^4)\}(y^2 - a^2)^2; \\ \Phi_{xy} &= 8\{2D_1x(x^2 - R^2)(y^2 - a^2) + D_2xy(3x^4 - 4R^2x^2 + R^4)(y^2 - a^2) + \\ &\quad + D_3xy(3y^4 - 4a^2y^2 + a^4)(x^2 - R^2)\}, \end{aligned}$$

де  $D_j$  – величини, залежні від фізико-механічних характеристик та геометричних розмірів досліджуваного матеріалу.

**Функціональна схема системи контролю.** На основі математичної моделі (2) – (7) та умови (1) розроблено: а) функціональну схему та алгоритм роботи системи контролю різниці поточних та допустимих значень перепадів вологи у пиломатеріалах зі змінним вологовмістом; б) програмне забезпечення для розрахунку допустимого перепаду вологи.

Розроблена функціональна схема системи контролю складається з аналогової та цифрової частин (рис. 1). Аналогова частина містить датчі вологи ДВ1 та ДВ2, які вимірюють вологовміст пиломатеріалу на поверхні та в середині дошки. Також в аналоговій частині містяться модулі узгодження рівнів їхніх сигналів.

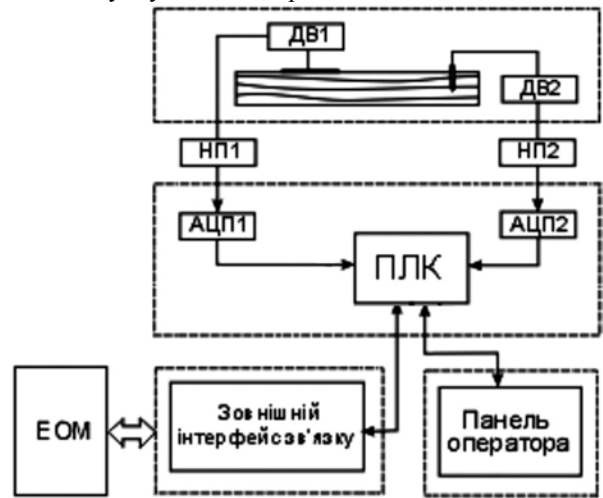


Рис. 1. Функціональна схема системи для контролю різниці поточних та допустимих значень перепадів вологи у пиломатеріалах зі змінним вологовмістом

Сигнали з датчів вологи надходять до нормуючих перетворювачів НП1, НП2. Вихідні аналогові нормовані сигнали перетворюються у цифровий вигляд за допомогою аналого-цифрових перетворювачів АЦП1 і АЦП2, що є складовою ланкою промислового програмованого логічного контролера (ПЛК). АЦП забезпечують 14-бітну дискретизацію вхідних сигналів та подачу його за запитом ПЛК на системну шину. Контролер за вбудованим програмним алгоритмом виконує аналіз отриманих фактичних перепадів вологи та порівняння їх з допустимими перепадами вологи, які надійшли з зовнішньої ЕОМ через стандартний інтерфейс зв'язку ПЛК. За допомогою панелі оператора реалізовано режими відображення поточного та рекомендованого допустимого перепадів вологи. Також панель оператора

виступає в ролі дистанційного пристрою введення даних як для ПЛК так, і для зовнішньої ЕОМ. Окрім цього, на панелі запрограмовано стандартні повідомлення, які дають інформацію оператору про необхідність внесення змін у поточні налаштування.

**Алгоритм роботи системи контролю.** На основі формул (2) – (16) та за результатами досліджень (Pobereiko et al., 2013; Pobereiko & Flud, 2014) побудовано алгоритм роботи запропонованої системи контролю різниці поточних та допустимих перепадів вологи у пиломатеріалі зі змінним вологовмістом. Основними складниками цього алгоритму є: підпрограма взаємодії із зовнішньою ЕОМ, в якій реалізовано обрахунок  $\Delta W_{\text{доп}}$ ; підпрограма оброблення даних вимірювань поточного перепаду вологи; інтерфейс взаємодії із оператором; блок прийняття рішень про відповідність режиму гідротермічного оброблення умов збереження допустимого перепаду вологи у пиломатеріалах.



Рис. 2. Алгоритм роботи системи контролю перепадів вологи у пиломатеріалі

Реалізація алгоритму потребує використання двох різних за обчислювальною потужністю пристроїв – віддаленої персональної ЕОМ для визначення допустимих перепадів вологи та локального малопотужного мікропроцесорного блоку із інтерфейсом оператора для отримання поточних значень перепаду вологи в деревині.

Між цими пристроями потрібно облаштувати канал зв'язку із достатньою завадостійкістю і швидкодією.

Блок-схему алгоритму наведено на рис. 2. Блок 1 відповідає за прийом пакету даних, що будуть передані до локального мікропроцесорного блоку персональною ЕОМ, яка виконує обчислення допустимого перепаду вологи відповідно до заданих розмірних та якісних параметрів деревини. Блоки 2 і 3 відповідно забезпечують запуск циклу вимірювань реального перепаду вологи, аналого-цифрове перетворення та оброблення результатів вимірювань. За допомогою блока 4 виконується порівняння обчислених зовнішньою ЕОМ допустимих перепадів вологи із поточними значеннями, зафіксованими за допомогою системи вимірювання.

Якщо  $\Delta W_{\text{доп}}(\tau) > \Delta W(\tau)$ , виконується блок 5 і на дисплеї з'являється повідомлення, що процес гідротермічного оброблення проходить в межах норми. Якщо  $\Delta W_{\text{доп}}(\tau) < \Delta W(\tau)$ , виконується блок 6 і на дисплеї з'являється повідомлення, що фактичний перепад вологи перевищує допустимий і необхідно вносити зміни в поточний режим сушіння. Після виведення повідомлень на дисплей, система повертається в початкове положення, тобто до блоку 1.

**Висновки.** Запропоновано новий спосіб неруйнівного контролю різниці допустимого та фактичного перепаду вологи у процесі сушіння пиломатеріалів. Суть цього способу полягає у безперервному вимірюванні різниці фактичних вологовмістів на поверхні та всередині матеріалу і в подальшому порівнянні його з отриманими теоретичними допустимими перепадами вологи. Побудовано функціональну схему та алгоритм роботи програмно-апаратного комплексу для контролю різниці значень поточного допустимого та фактичного перепадів вологи у висушуваних пиломатеріалах.

#### Перелік використаних джерел

- Bilei, P. V., Sokolovskiy, I. A., & Pavliust, V. M. (2010). *Kerivni tekhnichni materialy z tekhnolohii kamernoho sushinnia pylomaterialiv*. Uzhhorod: Karpaty. 138 p. [in Ukrainian].
- Pobereiko, B. P., Flud, L. O., Honchar, T. M., & Lysyshyn, I. M. (2013). Vyznachennia dopustymykh perepadiv volohy u vysushuvanykh pylomaterialakh iz vrakhuvanniam mitsnosti derevyny [Definition possible drop of moisture in the drying timber account strength of wood]. *Scientific Bulletin of UNFU*, 23(16), 332–337.
- Pobereiko, B. P., & Flud, L. O. (2014). Vplyv heometrychnykh rozmiriv na dopustymy perepad volohy i rozpodil poliv napruzhen dlia pylomaterialiv khvoynykh porid. [The Influence of Geometrical Dimensions on Permissible Differential Moisture Distribution and Stress Fields for Softwood Lumber]. *Scientific Bulletin of UNFU*, 24(5), 329–332.

**Б. П. Поберейко, Л. О. Флуд, А. А. Мокрицький**

Національний лесотехнічний університет України, г. Львів, Україна

### КОНТРОЛЬ РАЗНИЦЫ ТЕКУЩИХ И ДОПУСТИМЫХ ПЕРЕПАДОВ ВЛАГИ ПО ТОЛЩИНЕ ВЫСУШИВАЕМОГО ПИЛОМАТЕРИАЛА

Изложена актуальность темы и приведена постановка задачи. Для решения поставленной задачи в рамках механики сплошной среды и с использованием критерия прочности Голденבלата-Копнова построена новая математическая модель для определения предельных значений компонентов тензора напряжений и допустимого перепада влаги в тангентальных пиломатериалах с параболическим и косинусоидальным распределением влагосодержания. С помощью метода Ритца найдено решения этой модели в виде аналитических зависимостей допустимых перепадів влаги от физико-механических свойств древесины и геометрических размеров доски. На основе полученных зависимостей предложен новый способ для своевременного выявления допустимых перепадів влаги в высушиваемых пиломатериалах, который заключается в: теоре-

тическом определении предельных абсолютных значений разности относительной влажности пласти и центрального слоя доски с переменным влагосодержанием; экспериментальном измерении фактических значений этой разницы и последующем сравнении теоретических и фактических перепадов влаги в древесине. Для практической реализации этого способа разработана функциональная схема для построения системы контроля допустимых перепадов влаги в пиломатериалах с различными геометрическими размерами и описан алгоритм ее работы.

**Ключевые слова:** допустимый перепад влаги; текущий перепад влажности; система контроля.

***B. P. Pobereyko, L. O. Flud, A. A. Mokrytskyi***

*Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine*

## **MONITORING OF THE DIFFERENCE BETWEEN ACTUAL AND PERMISSIBLE VALUES OF THE MOISTURE DROP BY DRIED TIMBER THICKNESS**

The paper presents the importance of the topic and sets the problem. To solve this problem within the framework of a continuum environment mechanics and using the Holdenblat-Kopnov strength criterion, a new mathematical model was built to determine the maximum values of the stress tensor components and permissible moisture drops in the tangent timber with parabolic and cosine moisture distributions. Ritz method was used to find the solutions to this model in the form of analytical dependences of permissible moisture drops from physical and mechanical properties of wood and geometrical dimensions of the board. Based on the dependences obtained, a new method of timely detection of changes in the permissible moisture drops in dried timber was suggested, implying the theoretical determination of the maximum absolute values of relative moisture differences between the upper and central layers of the board with varying moisture content, experimental measurement of these difference values, and subsequent comparison of theoretical and actual moisture drops in wood. Implementation of the proposed system monitoring of the difference between actual and permissible values of the moisture drop by board thickness, will allow to significantly increase the quality of products during the drying of lumber. Therefore, for the practical realization of the proposed method of timely detection of the limit values of gradients of moisture fields in dried lumber, a functional scheme was developed for constructing a control system for tolerable moisture variations in lumber with different geometric sizes and its operation algorithm was described. The proposed algorithm describes its main components. Also, this article describes the hardware requirements that are required for the correct operation of this algorithm. The implementation of the algorithm requires the use of two different devices' computing power – a remote personal computer to determine tolerable moisture variations and a local low-power microprocessor unit with an operator interface to obtain the current values of the moisture drop in the wood.

**Keywords:** permissible moisture drop; current moisture drop; monitoring system.