

- 1.Складнев Н.Н., Айзенберг Я.М. Сейсмостойкость сооружений (Современные технологии сейсмостойкого строительства). – М.: Наука, 1989. – 192 с.
- 2.Завриев К.С. и др. Основы теории сейсмостойкости зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1970. – 24с.
- 3.Корниловский В.С. и др. Вычислительный комплекс SCAD. – М.: ABC, 2004. – 592 с.
- 4.Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. – М.: Ассоциация строительных вузов, 2006. – 478 с.

*Получено 18.06.2008*

УДК 674.047

Р.С.МЯГКОХЛІБ

*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

### **РОЗРАХУНОК ТЕПЛОЛОГІСНОГО СТАНУ ДЕРЕВИНИ В ПРОЦЕСІ СУШІННЯ НА СТАДІЇ ПРОГРІВАННЯ**

Аналізуються фізичні процеси та запропоновано метод розрахунку теплологічного стану деревини на стадії її прогріву.

Технологічний процес, який корінним чином підвищує якість деревини як будівельного матеріалу, – це її сушіння. У результаті правильного проведення цього процесу деревина перетворюється у дуже цінний конструкційний чи декоративний матеріал із рядом виняткових позитивних властивостей.

Процес сушіння – це енергомісткий, тривалий і технологічно складний за своєю фізичною суттю процес, ось чому дуже важливо наукове обґрунтування технології даного процесу, в основі якого процесу лежить нестационарний тепломасообмін.

Якщо процес нестационарного теплообміну має достатнє наукове підґрунтя, то фізичне трактування процесу масообміну, що відбувається, наприклад при сушінні, має значну кількість протиріч. Існуюча теорія, запропонована А.В.Ликовим [2, 3] і розвинута його послідовниками [1, 6-9, 11, 12], не дає відповіді на питання, під дією яких сил відбувається процес перенесення вологи в матеріалі. Про це свідчить введення в теорію таких понять, як термоградієнтний коефіцієнт чи питомий масовміст [4]. Ці параметри не мають фізичного змісту.

На стадії прогрівання матеріалу більшість дослідників взагалі не акцентують свою увагу на процесах масообміну [1, 7, 8, 11, 12], тобто нехтують ними.

Практикою доведено, що в основному процес сушіння деревини розпочинається виключно після стадії прогрівання його по всій товщі. Мета прогріву матеріалу – підвищення вологопровідності деревини.

Температуру на стадії прогрівання тримають на 5-8 °С вищою від температури повітря ніж на основній стадії процесу сушіння. Для уникнення інтенсивного випаровування у період прогріву відносна вологість повітря повинна бути на рівні 95-98%. Приблизна тривалість стадії прогрівання для соснової дошки складає 1-1,5 год. влітку та 1,5-2 год. взимку на кожний сантиметр товщини матеріалу [1].

На основі аналізу робіт [1, 6, 7, 10, 11] можна зробити висновок, що при проведенні теоретичних досліджень у деякій мірі випало питання масообміну на стадії прогрівання матеріалу. Це можна пояснити тим, що ця стадія має короткий проміжок часу і процесами збільшення чи зменшення вологи в матеріалі нехтують, оскільки вологість матеріалу на цій стадії змінюється на 2-3% по масі.

Головною метою даного дослідження є аналіз фізичних процесів і розробка методу розрахунку тепловологісного стану деревини на стадії її прогріву.

З метою аналізу процесів розглянемо соснову дошку. Анатомічні елементи хвойних порід дерев мають доволі впорядковану структуру. Так, залежно від виду сосни трахеїди по масі займають від 91 до 94%, клітини радіальних променів – 5,3-9,5, смоляні канали – 0,5-1,1%. Тому беззаперечним є той факт, що властивості хвойних порід під час процесів сушіння та прогрівання визначаються саме структурою трахеїд [5].

Трахеїди – мертві сильно витягнуті клітини із загостреними перфорованими кінцями, мають форму сильно витягнутих волокон з одереженішими стінками. Залежно від виду потовщень розділяють трахеїди на: спіральні, сходові, сітчасті, крапко-пористі та проміжного типу.

Трахеїди, що утворилися на початку вегетаційного періоду, називають ранніми. Вони виконують в основному провідну функцію. Трахеїди, що утворилися у більш пізній вегетаційний період, називаються пізніми. Їх роль – забезпечення механічної міцності деревини.

Розміри трахеїд у тангенціальному напрямку практично однакові у кожній хвойній породі, а в радіальному напрямі розмір трахеїд у ранній зоні річного шару у 2-2,5 рази більше, ніж у пізній зоні [5].

Тобто, якщо розглянути стовбур дерева, то з нього можна виділити два типи дощок: радіального і тангенціального розпилу (рис.1).

Розміщення трахеїд і рух вологи в процесі сушіння у дошках радіального й тангенціального розпилу умовно відображено на рис.2.

У поперечному розрізі форма трахеїд близька до прямокутної (іноді квадратної, п'яти- чи шестикутної) [5].

Волога у трахеїдах буде рухатися у переважній більшості через отвори у мембранних порах (рис.3), адже стінки даної клітини, тобто

трахеїди, вважаються умовно водо- та газонепрониклими.

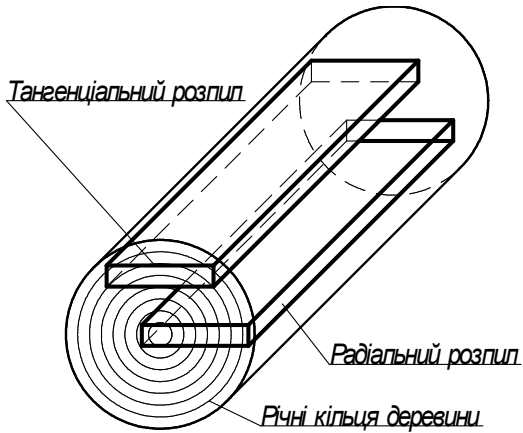


Рис.1 – Схема можливого розпилу дощок

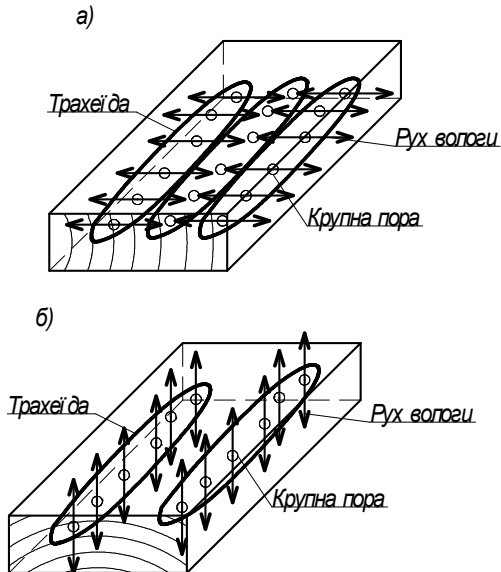


Рис.2 – Рух вологи у дошках радіального розпилу (а) і тангенціального розпилу (б)

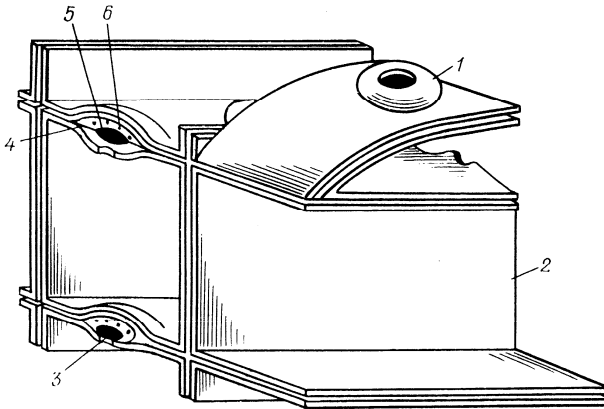


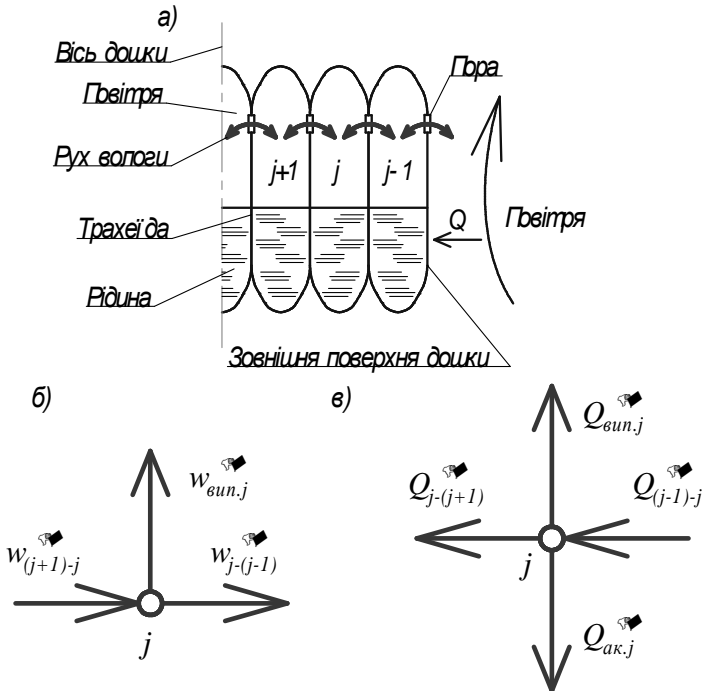
Рис.3 – Схема сполучення ближніх трахеїд через пори (у тангенціальному напрямку):  
1 – пора, 2 – стінка трахеїди, 3 – торус у зрушеному положенні;  
4 – мембрана, 5 – торус у нормальному положенні, 6 – отвори у мембрані.

Отже, можна припустити наступну модель руху вологи у деревині. Для дощок тангенціального розпили рух вологи буде відбуватися в основному через пори, що містяться у трахеїдах перпендикулярно до площини розпили (рис.2). Якщо знехтувати клітинами радіальних променів та смоляними каналами, то стає очевидним, що у початковий момент часу вільна волога знаходиться у «прямокутних» за поперечним перерізом порях. Також залежно від початкової вологості матеріалу в даній клітині буде міститися певна кількість повітря, яка має певну кількість водяних парів.

Рух рідини у порях буде відбуватися у переважній більшості саме у пароподібному стані, а не у рідкому. Дана теза дає можливість пов'язати кількість підведеної (відведеної) теплоти з кількістю випаровуваної (чи сконденсованої) вологи. Тобто, основна умова протікання процесів сушіння – це надходження теплоти. Створювана за рахунок цього різниця парціальних тисків водяної пари є наслідком. Іншими словами, якщо є підведення теплоти, то відбувається і процес сушіння, а коли немає підведення теплоти, то у випадку наявності різниці парціальних тисків водяних парів у суміжних порях буде відбуватися лише перенесення водяних парів, які містяться в повітрі даних пор. Також інтуїтивно зрозуміло, що водяній парі буде легше аніж воді здолати мембрану в порі.

Для математичного описання процесів тепло- і масообміну, які відбуваються на стадії прогрівання матеріалу, зобразимо суміжні клі-

тини трахеїд у вигляді, як показано на рис.4.



Ри.4 – Принципова схема руху вологи під час сушіння та прогрівання:  
 а – капілярна структура; б – баланс  $j$ -го елементарного об'єму по волозі;  
 в – баланс  $j$ -го елементарного об'єму по теплу.

У загальному випадку підведена теплота  $Q_{(j-1)-j}^{\Delta\tau_i}$  буде витратитися не лише на акумуляцію теплоти  $Q_{ак.j}^{\Delta\tau_i}$  у даному елементарному об'ємі та теплопровідність  $Q_{j-(j+1)}^{\Delta\tau_i}$  до іншого вузла, але й на випаровування вологи  $Q_{вин.j}^{\Delta\tau_i}$  (для процесу прогрівання можливе не випаровування вологи, а її конденсація, в цьому випадку знак біля  $Q_{вин.j}^{\Delta\tau_i}$  буде від'ємним), тобто

$$Q_{(j-1)-j}^{\Delta\tau_i} = Q_{ак.j}^{\Delta\tau_i} + Q_{j-(j+1)}^{\Delta\tau_i} \pm Q_{вин.j}^{\Delta\tau_i}, \text{ Дж.} \quad (1)$$

Це рівняння дає можливість визначити температуру в кожному окремому вузлі після проходження деякого проміжку часу  $\Delta\tau_i$ .

Вираз (1) можна записати у розгорнутому вигляді:

$$\frac{\lambda_j^{\tau_i}}{\delta_j} F \Delta \tau_i (t_{(j-1)}^{\tau_i} - t_j^{\tau_i}) = \pm r_j^{\tau_i} w_{\text{вун.}j}^{\Delta \tau_i} + c_j^{\tau_i} m_j^{\tau_i} (t_j^{\tau_{i+1}} - t_j^{\tau_i}) + \frac{\lambda_j^{\tau_i}}{\delta_j} F \Delta \tau_i (t_j^{\tau_i} - t_{(j+1)}^{\tau_i}), \quad (2)$$

де  $\lambda_j^{\tau_i}$  – коефіцієнт теплопровідності  $j$ -ої клітини (елементарного об'єму) у відповідний момент часу  $\tau_i$ ;  $\delta_j$  – товщина  $j$ -ої клітини;  $F$  – площа термічної взаємодії клітин;  $\Delta \tau_i$  – відповідний інтервал часу,  $\Delta \tau_i = \tau_{i+1} - \tau_i$ ;  $t_{(j-1)}^{\tau_i}$ ,  $t_j^{\tau_i}$  і  $t_{(j+1)}^{\tau_i}$  – відповідно температура  $(j-1)$ -го,  $j$ -го та  $(j+1)$ -го елементарного об'єму в початковий момент часу  $\tau_i$ ;  $t_j^{\tau_{i+1}}$  – температура  $j$ -го елементарного об'єму в кінці відповідного інтервалу часу  $\Delta \tau_i$ ;  $r_j^{\tau_i}$  – прихована теплота фазового переходу у відповідний момент часу  $\tau_i$ ;  $w_{\text{вун.}j}^{\Delta \tau_i}$  – кількість вологи, що випарувалася у  $j$ -й елементарний об'єм за відповідний інтервал часу  $\Delta \tau_i$ ;  $c_j^{\tau_i}$  – масова теплоємність  $j$ -гої клітини у відповідний момент часу  $\tau_i$ ;  $m_j^{\tau_i}$  – маса  $j$ -ої клітини у відповідний момент часу  $\tau_i$ .

Якщо прийняти, що  $\delta_j$  і  $F_j$  – сталі, незмінні у часі величини, то вираз (2) можна переписати у вигляді:

$$\frac{\lambda_j^{\tau_i}}{\delta_j} F_j \Delta \tau_i (t_{(j-1)}^{\tau_i} - 2t_j^{\tau_i} - t_{(j+1)}^{\tau_i}) - r_j^{\tau_i} w_{\text{вун.}j}^{\Delta \tau_i} = c_j^{\tau_i} m_j^{\tau_i} (t_j^{\tau_{i+1}} - t_j^{\tau_i}),$$

з якого легко отримати функціональну залежність температури  $j$ -го елементарного об'єму від кількості випаровуваної вологи  $t_j^{\tau_{i+1}} = f(w_{\text{вун.}j}^{\Delta \tau_i})$

$$t_j^{\tau_{i+1}} = \frac{\frac{\lambda_j^{\tau_i}}{\delta_j} F_j \Delta \tau_i (t_{(j-1)}^{\tau_i} - 2t_j^{\tau_i} - t_{(j+1)}^{\tau_i}) - r_j^{\tau_i} w_{\text{вун.}j}^{\Delta \tau_i}}{c_j^{\tau_i} m_j^{\tau_i}} + t_j^{\tau_i}. \quad (3)$$

Для процесів, у яких відбувається конденсація водяної пари, рівняння (3) матиме вигляд:

$$t_j^{\tau_{i+1}} = \frac{\frac{\lambda_j^{\tau_i}}{\delta_j} F_j \Delta \tau_i (t_{(j-1)}^{\tau_i} - 2t_j^{\tau_i} - t_{(j+1)}^{\tau_i}) + r_j^{\tau_i} w_{\text{вун.}j}^{\Delta \tau_i}}{c_j^{\tau_i} m_j^{\tau_i}} + t_j^{\tau_i}. \quad (4)$$

Як видно з рівнянь (3) і (4,) процес масопереносу водяної пари є первинним, оскільки в іншому випадку неможливо буде визначити температуру для  $j$ -го елементарного об'єму в момент часу  $\tau_{i+1}$ . Тоді логічно умовно поділити інтервал часу  $\Delta\tau_i$  на дві складові: *перша* – момент часу, коли відбувається масообмін, *друга* – теплообмін, хоча треба розуміти, що дані процеси відбуваються одночасно.

У свою чергу баланс вологи  $j$ -го вузла у кінці  $\Delta\tau_i$ -го інтервалу часу можна записати у вигляді (рис.4):

$$w_{j,i+1}^{\tau} = w_j^{\tau} + w_{(j+1)-j}^{\Delta\tau_i} \pm w_{sun,j}^{\Delta\tau_i} - w_{j-(j-1)}^{\Delta\tau_i}, \text{ кг}, \quad (5)$$

де  $w_{j,i+1}^{\tau}$  – кількість вологи, яка міститься у повітрі  $j$ -го вузла в момент часу  $\tau_{i+1}$ ;  $w_j^{\tau}$  – кількість вологи, що містилася у повітрі в момент часу  $\tau_i$ ;  $w_{(j+1)-j}^{\Delta\tau_i}$  – кількість водяних парів, які шляхом масопровідності перейшли від  $(j+1)$ -го до  $j$ -го вузла (чи навпаки, залежно від створюваного парціального тиску водяних парів у відповідних вузлах) за відповідний інтервал часу  $\Delta\tau_i = \tau_{i+1} - \tau_i$ ;  $\pm w_{sun,j}^{\Delta\tau_i}$  – кількість вологи, що випаровувалася з рідкої фази у повітря  $j$ -го вузла за відповідний інтервал часу  $\Delta\tau_i$  (для процесу прогрівання можливе не випаровування вологи, а її конденсація, й знак біля  $w_{sun,j}^{\Delta\tau_i}$  буде від'ємним);  $w_{j-(j-1)}^{\tau}$  – кількість водяних парів, які шляхом масопровідності (у випадку граничного шару, шляхом масовіддачі) перейшли від  $j$ -го до  $(j-1)$ -го вузла за відповідний інтервал часу  $\Delta\tau_i$  (чи навпаки, залежно від створюваного парціального тиску водяних парів у відповідних вузлах).

Кількість вологи  $w_{sun,j}^{\Delta\tau_i}$ , що випарувалася (сконденсувалася) у повітря даного елементарного об'єму, в загальному випадку можна знайти за допомогою формули Дальтона, оскільки випаровування вологи у капілярах у першому наближенні можна вважати тотожним процесу випаровування з вільної водяної поверхні [3], тому що для сосни еквівалентний радіус капілярів у середньому по перерізу становить 1,87 мкм [5]. Таким чином,

$$w_{sun,j}^{\Delta\tau_i} = \beta^{\tau_i} (p_{pid,j}^{\tau_i} - p_{nov,j}^{\tau_i}) F \Delta\tau_i, \text{ кг}, \quad (6)$$

де  $\beta^{\tau_i}$  – коефіцієнт масовіддачі у відповідний момент часу  $\tau_i$ ,

$\frac{\text{кг}}{\text{Па} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{год}}$ ;  $P_{\text{рид.}j}^{\tau_i}$  – парціальний тиск водяних парів  $j$ -го вузла біля поверхні випаровування у відповідний момент часу  $\tau_i$ , Па;  $P_{\text{нов.}j}^{\tau_i}$  – парціальний тиск водяних парів у повітрі  $j$ -го вузла у відповідний момент часу  $\tau_i$ , Па;  $F$  – площа масообміну,  $\text{м}^2$ ;  $\Delta \tau_i$  –  $i$ -й інтервал часу, за який розглядається процес випаровування, год.

Але користування формулою Дальтона для визначення кількості вологи, що випаровувалася (сконденсувалася) в капілярах, неможливо внаслідок значних ускладнень, пов'язаних з визначенням коефіцієнта масовіддачі та площі масообміну.

Професор А.Ф.Строй у роботі [10] досить детально розглянув процеси, які відбуваються на поверхні огороджуючої конструкції, при зміні її тепловологісного стану, але недостатньо, на наш погляд, виконано аналіз процесів у товщі огороджуючої конструкції.

Рівняння (5) у розгорнутому вигляді можна записати так:

$$w_j^{\tau_{i+1}} = w_j^{\tau_i} \pm w_{\text{вип.}j}^{\Delta \tau_i} + \frac{\chi_j^{\tau_i}}{\delta_j} F_j \Delta \tau_i (P_{(j+1)}^{\tau_i} - P_j^{\tau_i}) - \frac{\chi_j^{\tau_i}}{\delta_j} F_j \Delta \tau_i (P_j^{\tau_i} - P_{(j-1)}^{\tau_i}). \quad (7)$$

Величини  $\delta_j$  і  $F_j$  – постійні, тобто незмінні у часі. З врахуванням цього вираз (7) можна переписати у вигляді:

$$w_j^{\tau_{i+1}} - w_j^{\tau_i} = \pm w_{\text{вип.}j}^{\Delta \tau_i} + \frac{\chi_j^{\tau_i}}{\delta_j} F_j \Delta \tau_i (P_{(j+1)}^{\tau_i} - 2P_j^{\tau_i} + P_{(j-1)}^{\tau_i}). \quad (8)$$

У рівнянні (8) є дві невідомі – кількість вологи у кінці елементарного періоду прогрівання  $w_j^{\tau_{i+1}}$  і кількість вологи, що випарувалася чи сконденсувалася  $\pm w_{\text{вип.}j}^{\Delta \tau_i}$ . Для його вирішення визначимо максимальну кількість водяних парів  $w_{\text{ном.}j}^{\tau_i}$ , яке може прийняти повітря  $j$ -го елементарного об'єму у відповідний момент часу  $\tau_i$

$$w_{\text{ном.}j}^{\tau_i} = (d_{\text{нас.}j}^{\tau_i} - d_j^{\tau_i}) m_{\text{нов.}j}^{\tau_i}, \text{ кг}, \quad (9)$$

де  $d_{\text{нас.}j}^{\tau_i}$  – максимально можливий вологовміст повітря у насиченому стані при постійній температурі  $j$ -го елементарного об'єму в момент

часу  $\tau_i$ ,  $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ;  $d_j^{\tau_i}$  – дійсний вологовміст повітря в момент часу  $\tau_i$ ,  $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ;



$m_{нов. j}^{\tau_i}$  – маса повітря  $j$ -го елементарного об’єму в момент часу  $\tau_i$ , кг.

Якщо записати  $d_j^{\tau_i}$  через відношення водяних парів  $w_j^{\tau_i}$  до маси повітря  $m_{нов. j}^{\tau_i}$

$$d_j^{\tau_i} = \frac{w_j^{\tau_i}}{m_{нов. j}^{\tau_i}},$$

а  $d_{нас. j}^{\tau_i}$  як функціональну залежність від парціального тиску насичених водяних парів у повітрі  $P_{нас. j}^{\tau_i}$

$$d_{нас. j}^{\tau_i} = \frac{622 P_{нас. j}^{\tau_i}}{(P_{\delta} - P_{нас. j}^{\tau_i}) 1000},$$

то рівняння (9) можна переписати у вигляді:

$$w_{ном. j}^{\tau_i} = \frac{622 P_{нас. j}^{\tau_i} m_{нов. j}^{\tau_i}}{(P_{\delta} - P_{нас. j}^{\tau_i}) 1000} - w_j^{\tau_i}. \quad (10)$$

Якщо прийняти передумову, що кількість вологи в кінці елементарного періоду прогрівання дорівнює максимально можливій кількості водяних парів, яке може прийняти повітря  $j$ -го елементарного об’єму, то з рівняння (8) можна знайти кількість вологи, яка випарувалася або сконденсувалася за відповідний проміжок часу  $\Delta \tau_i$

$$\pm w_{вун. j}^{\Delta \tau_i} = w_{ном. j}^{\tau_i} - w_{(j+1)-j}^{\Delta \tau_i} + w_{j-(j-1)}^{\Delta \tau_i},$$

чи

$$\pm w_{вун. j}^{\Delta \tau_i} = \frac{622 P_{нас. j}^{\tau_i} m_{нов. j}^{\tau_i}}{(P_{\delta} - P_{нас. j}^{\tau_i}) 1000} + \frac{\chi_j^{\tau_i}}{\delta_j} F_j \Delta \tau_i (2P_j^{\tau_i} - P_{(j+1)}^{\tau_i} - P_{(j-1)}^{\tau_i}) - w_j^{\tau_i}. \quad (11)$$

Проаналізуємо зміну основних параметрів повітря  $j$ -го вузла у процесі прогрівання. Будемо розглядати процеси, які будуть відбуватися у повітрі клітини ( $j$ -го елементарного об’єму), на і-d-діаграмі (рис.5).

Агент сушки, тобто повітря, що омиває поверхню матеріалу, на стадії прогрівання повинен мати, як визначено практикою, відносну вологість 95-98% і температуру при нормальному режимі сушіння +76 °С. При таких параметрах вологовміст агента сушки значно перевищує вологовміст повітря в порах матеріалу, тому не відбувається процес сушки, а лише процес прогрівання матеріалу та переміщення

вологи до зовнішньої поверхні матеріалу.

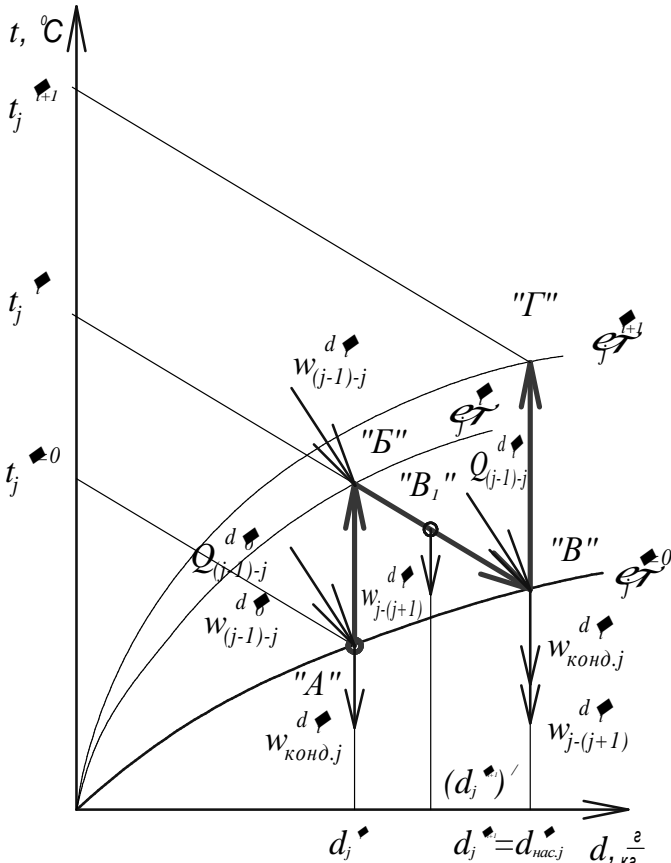


Рис.5 – Процеси, що відбуваються при прогріванні матеріалу

У початковий момент часу стан повітря в порі можна охарактеризувати точкою «А». Це максимально можлива кількість водяних парів, яка може бути в елементарному об'ємі в момент часу, коли не підводиться тепло до матеріалу. Тобто, прийемо спрощуючу умову, що відносна вологість повітря у порах матеріалу в початковий момент часу по всій товщі матеріалу рівна 100%, іншими словами повітря в матеріалі знаходиться у стані повного насичення.

Процеси прогрівання та змінення вологості повітря відбуваються одночасно, але вирішення задачі методом кінцевих різниць будемо

розглядати спочатку процес підвищення температури повітря в матеріалі (процес «А»-«Б»), а потім змінення вологості (процес «Б»-«В»), і знову процес підвищення температури (процес «В»-«Г»). Тобто, у перший інтервал часу (процес «А»-«Б»)  $\Delta \tau_0 = \tau_1 - \tau_0$  вся волога, котра надходить до капіляру  $w_{(j-1)-j}^{\Delta \tau_0}$ , буде конденсуватися, вивільняючи при цьому теплоту. Також у перший інтервал часу вся підведена теплота  $Q_{(j-1)-j}^{\Delta \tau_0}$  буде акумулюватися в  $j$ -му елементарному об'ємі. У наступний інтервал часу  $\Delta \tau_i = \tau_{i+1} - \tau_i$  будуть відбуватися процеси «Б»-«В» (відображає зміну вологісного стану повітря елементарного об'єму) та «В»-«Г» (відображає зміну теплового стану повітря елементарного об'єму).

Кількість вологи, що надходить до капіляру (точка «Б») за відповідний проміжок часу  $\Delta \tau_i$   $w_{(j-1)-j}^{\Delta \tau_i}$  буде витрачатися на: на збільшення вологості повітря у капілярі до насиченого стану  $d_{нас.j}^{\tau_i}$  (властивість системи вода-повітря бути у термодинамічній рівновазі), на масоперенесення до другого капіляру, а решта – на конденсування вологи (звільнення матеріалу). У випадку, коли кількість підведеної вологи  $w_{(j-1)-j}^{\Delta \tau_i}$  буде недостатня для досягнення стану повного насичення повітря капіляру (точка «В»), то проміжне значення вологісного стану повітря у капілярі (точка «В<sub>1</sub>») можна знайти як

$$w_j^{\tau_{i+1}} = w_j^{\tau_i} + w_{(j-1)-j}^{\Delta \tau_i} - w_{j-(j+1)}^{\Delta \tau_i}. \quad (12)$$

На основі аналізу процесів, які відбуваються при прогріванні матеріалу, розроблено алгоритм розрахунку, наведений у вигляді блок-схеми (рис.б), при таких спрощуючих умовах:

- розподіл вологи та пор у матеріалі – рівномірний;
- у якості рідини в матеріалі прийнята чиста вода;
- відносна вологість повітря у порах матеріалу в початковий момент часу дорівнює одиниці;
- температура повітря в капілярі дорівнює температурі матеріалу  $j$ -го елементарного об'єму;
- маса повітря залежить лише від кількості сконденсованої чи випаровуваної вологи, тобто густина повітря приймається незмінною величиною. У першому наближенні густина повітря розрахована при температурі агента сушки;
- переносом вологи у рідкій фазі нехтуємо, тобто вважаємо, що від-

ведення вологи з матеріалу відбувається у пароподібному вигляді.

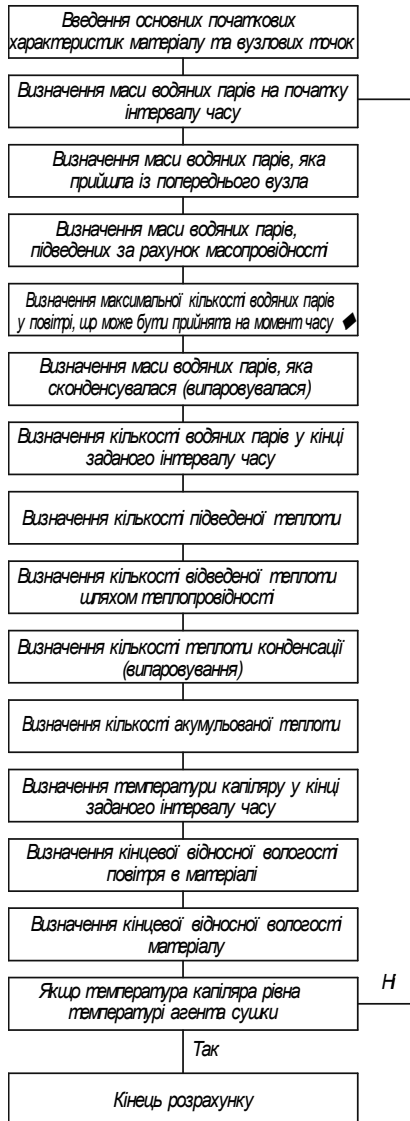


Рис.6 – Алгоритм розрахунку на стадії прогрівання деревини для елементарного об'єму

Результати розрахунку прогрівання матеріалу з урахуванням зміни її вологісного стану представлені у вигляді графіків розподілу температури по товщині дошки для різних моментів часу (рис.7) і розподілу графіків відносної вологості матеріалу також для різних моментів часу (рис.8).

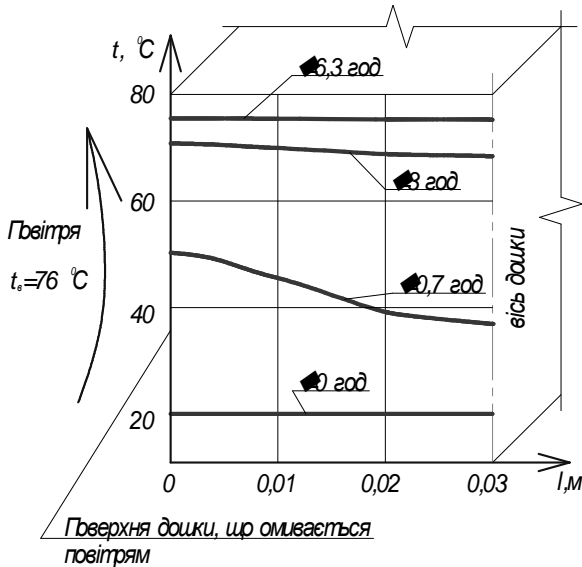


Рис.7 – Зміна температури матеріалу дошки при її прогріванні для моментів часу  $\tau = 0$  год,  $\tau = 0,7$  год,  $\tau = 3$  год,  $\tau = 6$  год

Таким чином, на основі аналізу фізичних процесів розроблений алгоритм розрахунку зміни тепловологісного стану деревини на стадії прогрівання. Розрахунок показав, що час прогрівання соснової дошки товщиною 6 см до температури на поверхні  $+75,5$  °C становить 6,3 год., тоді як згідно до рекомендацій [1] цей час становить 6 год. Це підтверджує адекватність запропонованого алгоритму розрахунку.

Щодо результатів розрахунку, наведених на графіках (рис.7, 8), то можна сказати, що характер зміни ізотерм є типовим для нестационарного прогріву симетричної однорідної пластини. Розподіл відносної вологості матеріалу (відношення маси рідини до маси сухого матеріалу) прямо вказує, що на стадії прогрівання відбувається спочатку накопичення вологи у приповерхневих шарах дошки (процеси конденсації водяних парів, які надходять від агента сушки), а потім її відведення, оскільки вже на 246 хв. (4,1 год.) парціальний тиск водяної пари

повітря в порі стає більшим, ніж парціальний тиск водяної пари агента сушки, й відповідно починається процес відведення вологи із матеріалу. Щодо зменшення відносної вологості матеріалу по товщині, то це пояснюється властивістю системи «повітря - вода» бути у стані термодинамічної рівноваги, а оскільки переніс водяної пари за рахунок масопровідності незначний, то основний потік водяних парів буде за рахунок випаровування води у капілярі, при цьому необхідно розуміти, що безпосереднього осушення матеріалу по товщині відбуватися не буде, оскільки парціальний тиск водяних парів на поверхні матеріалу є більшим, ніж тиск у товщі деревини.

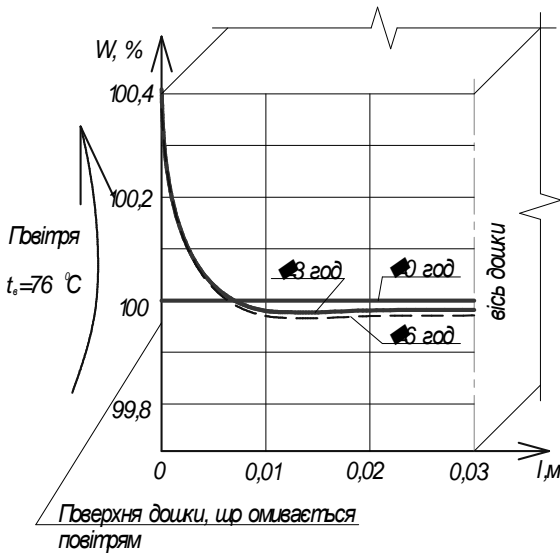


Рис.8 – Зміна відносної вологості матеріалу

- 1.Кречетов И.В. Сушка древесины. – М.: Лесная промышленность., 1980. – 432 с.
- 2.Львов А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 464 с.
- 3.Львов А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 471 с.
- 4.Мягкохліб Р.С. Аналіз процесів тепломасообміну при сушінні деревини // 36. наук. праць Полтавськ. нац. техн. ун-ту ім. Юрія Кондратюка. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво. Вип.20. – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – С.133-142.
- 5.Патякин В.И., Тишин В.Г., Базаров С.М. Техническая гидродинамика древесины. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 304 с.
- 6.Поберейко Б.П. Идентифікація напружено-деформівного стану деревини із змінним вологовмістом: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.07. – Львів, 2000. – 17 с.
- 7.Сафин Р.Г. Технологические процессы и оборудование деревообрабатывающих производств. – Казань: Казанск. гос. технолог. ун-т, 2001. – 428 с.

8. Соколов П.В. Проектирование сушильных и нагревательных установок для древесины. – М.: Лесная промышленность, 1965. – 331 с.
9. Соколовський Я.І. Деформативність деревини й деревостружкових плит із змінними потенціалами тепломасоперенесення: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.07. – Львів, 2001. – 34 с.
10. Строй А.Ф., Пиотровски Е.З. Основы расчетов управления тепловым и воздушным режимом помещений. – Полтава: ПолтНТУ, 2008. – 171 с.
11. Шубин Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 336 с.
12. Шубин Г.С. Новые результаты исследований термовлагопроводности древесины. // Современные проблемы древесиноведения // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. – Воронеж, 1981. – С.191-195.

*Отримано 16.06.2008*

---

---

## КОММУНАЛЬНОЕ ХОЗЯЙСТВО

---

---

УДК 628.356.1

В.В. ЯКОВЛЕВ, канд. техн. наук, Т.Ю. БИРЮКОВА

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

С.А. МАЦЮК

*Лаборатория качества воды «ПЛАЯ», г. Харьков*

### **БИОТЕСТИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОД ХАРЬКОВСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ ТОКСИЧНОСТИ**

Выполнено биотестирование атмосферных, поверхностных и подземных вод Харьковской области на различных тест-объектах. В качестве тест-объектов были использованы растения – лук обыкновенный (*Allium cepa L.*), фасоль обыкновенная (*Phaseolus Vulgaris*) и ракообразные – дафнии (*Daphnia Magna Straus*). Предоставлено сравнение результатов биотестирования. Дается оценка информативности и рекомендации по совершенствованию методики биотестирования вод питьевого качества из различных источников.

В настоящее время в мировой практике при оценке качества воды, помимо обычного химического анализа наиболее распространенных загрязнителей, проводят суммарную токсикологическую оценку воды, основанную на применении различных методов биотестирования. В Украине разработаны и приняты в качестве национальных стандартов только биологические методы определения общей токсичности воды.

Как таковое биотестирование представляет собой методический прием, основанный на оценке действия фактора среды, в том числе токсического, на организм, его отдельную функцию или систему организмов. Живые организмы способны реагировать на меньшие концен-