

### 3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ



Науковий вісник НЛТУ України  
Scientific Bulletin of UNFU

<http://nv.nltu.edu.ua>

<https://doi.org/10.15421/40270913>

Article received 03.11.2017 р.

Article accepted 28.11.2017 р.

УДК 674.047

ISSN 1994-7836 (print)

ISSN 2519-2477 (online)

@ ✉ Correspondence author

P. V. Biley

p.biley@ukr.net

**П. В. Білей<sup>1</sup>, І. А. Соколовський<sup>1</sup>, П. П. Білей<sup>2</sup>, Г. В. Сомар<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

<sup>2</sup> Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, м. Харків, Україна

#### ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ ВОЛОГИ З ДЕРЕВИНОЮ НА КІНЕТИКУ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ

Розглянуто питання впливу на процеси зволоження і сушіння деревини хімічного та фізико-хімічного зв'язку вологи з деревиною. Виявлено, що найбільш складніші фізико-хімічні явища відбуваються з деревиною в разі зміни її початкової вологості, а подальше насичення стінок капілярів деревинних стінок водою приводить до утворення зв'язаної вологи. Деревина має складний хімічний вміст і будову, а вода – специфічну структуру. У процесі взаємодії змінюються властивості обох компонентів: деревинна речовина переходить від склоподібного в колоїдний стан, а вода з вільного стану у зв'язаний. Окрім цього до зв'язаної вологи в колоїдних матеріалах не можна застосовувати закони капілярних явищ, гідростатики і гідродинаміки тому, що вона знаходиться в адсорбційному зв'язку з деревиною. Процес зв'язування вологи (рідини) з колоїдним тілом на першій стадії є аналогічним до змішуванням двох рідин з різною молекулярною вагою. Під час поглинання рідини колоїдним тілом виділяється деяка кількість тепла (теплота набухання) аналогічно до виділення тепла під час розчинення спирту чи сірчаної кислоти у воді. Користуючись законом збереження енергії і маси речовин, можна встановити взаємозв'язок середніх інтегральних значень вологовмісту і температури з інтенсивністю тепло- і масообміну, а відповідно – і зі швидкістю сушіння у вигляді балансу тепла. Згідно із законом збереження енергії, все тепло, яке підводиться до тіла, дорівнює теплу, яке йде на випаровування вологи і тому, що йде на нагрівання тіла. Видалення зв'язаної вологості відбувається в період заповільнення швидкості сушіння. Інтенсивність сушіння та інтенсивність теплообміну з протягом часу безперервно зменшується. Зміна інтенсивності сушіння відбувається за складною закономірністю, яка визначається формою зв'язку вологи з матеріалом і механізмом переміщення тепла і вологи всередині матеріалу. Виведено основне рішення кінетики – швидкість процесу сушіння зв'язаної вологи, яке можна використовувати для будь-яких деревинних матеріалів і будь-якого способу сушіння. Вирішення питання впливу на технологічні процеси форм зв'язку вологи з деревиною залежить від двох аспектів: складності хімічної будови деревинної речовини та складних унікальних властивостей води, що є у деревині.

**Ключові слова:** деревина; зв'язана волога; сушіння; капілярно-пористі колоїдні матеріали; хімічний, фізико-хімічний зв'язок; кінетика процесу.

**Вступ.** Згідно із класифікацією вологих матеріалів деревина належить до категорії капілярно-пористих колоїдних, які в процесі зволоження утворюють обмежено набухаючі гелі, бо поглинають тільки певну кількість вологи, що є мірою максимального набухання. Колоїдні матеріали (еластичні гелі) поглинають найближчі за полярністю рідини, а капілярно-пористі матеріали поглинають будь-яку рідину, яка їх змочує незалежно від хімічного складу (Bilei et al., 2013; Bilei, 2005; Chudinov, 1984). Тепловий ефект набухання характеризується диференційною теплою набухання ( $Q_u$ ), тобто кількістю теплоти, яка виділилась за поглинання 1 кг рідини, кДж/кг. Отже,  $Q_u = dQ/dU$ . Експери-

ментально встановлено, що теплота змочування водою сухого гідрофільного тіла ( $Q_0$ ) та кількість адсорбційно зв'язаної води ( $U_a$ ) пропорційні одне одному, тобто  $Q_0/U_a = const$ .

Гідротермічне оброблення (спільна дія тепла і вологи) вологих деревинних матеріалів змінює їх фізико-механічні властивості, що зумовлено молекулярним характером зв'язку поглиненої вологи (у вигляді рідини або пари), а також внутрішньою теплою капілярно-пористого тіла. Отже, дослідження впливу видів зв'язку тіло – волога є актуальним питанням у дослідженні фізичних процесів тепломасообміну та тепломасоперенесення в деревині.

#### Інформація про авторів:

**Білей Петро Васильович**, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технологій сушіння та ЗД. Email: p.biley@ukr.net

**Соколовський Ігор Андрійович**, канд. техн. наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності. Email: s.ia@ukr.net

**Білей Петро Петрович**, канд. техн. наук, ст. викладач кафедри деревооброблювальних технологій та системотехніки лісового комплексу. Email: p.p.biley@gmail.com

**Сомар Галина Володимирівна**, канд. техн. наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності. Email: s.gv@ukr.net

**Цитування за ДСТУ:** Білей П. В., Соколовський І. А., Білей П. П., Сомар Г. В. Особливості впливу хімічного та фізико-хімічного зв'язку вологи з деревиною на кінетику процесу сушіння. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(9). С. 60–63.

**Citation APA:** Biley, P. V., Sokolovsky, I. A., Biley, P. P., & Somar, H. V. (2017). Peculiarities of the Influence of Chemical and Physico-Chemical Bonding of Moisture with Wood on the Kinetics of Drying Process. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(9), 60–63.

<https://doi.org/10.15421/40270913>

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Процес видалення вологи з капілярно-пористого колоїдного матеріалу супроводжується порушенням її зв'язку з тілом, на що потрібно витратити значну кількість теплової енергії. Форми зв'язку вологи з капілярно-пористим матеріалом поділяють на три групи: хімічний, фізико-хімічний та фізико-механічний зв'язки.

*Хімічно зв'язана волога* (вода) утримується найміцніше, бо вона є в деревині у вигляді гідросильних груп і видається з деревини тільки завдяки високотемпературним режимам сушіння, коли температур матеріалу є вищою за  $t_c=120$  °С. Чистий хімічний зв'язок вологи з будовою деревини практично не розглядають у процесах сушіння деревини у вигляді пилотматеріалів і заготовок, де застосовують, в основному, низькотемпературні режими з температурою середовища  $t_c < 100$  °С.

*Фізико-хімічний зв'язок вологи з деревиною* є надзвичайно складним явищем. Деревина за своєю будовою є дисперсно зв'язаною системою, де частки дисперсної фази утворюють досить стійкі просторові каркаси. Особливість будови деревини полягає в тому, що в процесі початкового зволоження вона має яскраво виражені колоїдні властивості, а в процесі полімолекулярної конденсації вологи яскраво виражені властивості капілярно-пористого матеріалу. Тому фізико-хімічний та фізико-механічний зв'язки деревини з вологою будуть різними для різних періодів зволоження і сушіння. У технічній літературі (Krzyśik, 1974; Ugolev, 1986; Vintopiv, Sopushynskyi, Taishinger, 2007) вологу, що є в деревині, прийнято поділяти на дві групи: зв'язану і вільну. Однак деревина має складний хімічний вміст і будову, а вода – специфічну структуру. У процесі взаємодії змінюються властивості обох компонентів: деревинна речовина переходить від склоподібного в колоїдний стан, а вода з вільного стану у зв'язаний. Окрім цього, до зв'язаної вологи в колоїдних матеріалах не можна застосовувати закони капілярних явищ, гідростатики і гідродинаміки тому, що вона перебуває в адсорбційному зв'язку з деревиною. На думку Б. С. Чудінова (Ugolev, 1986), деревину можна вважати капілярно-пористим матеріалом, тому з погляду технологій сушіння і просочування в деревині виділяють дві водопровідні системи: макрокапілярну та мікрокапілярну. Макрокапілярна водопровідна система утворена порожнинами судин з мінімальним радіусом макрокапіляра  $>10^{-5}$  см, а мікрокапіляри – системою сполучених судин у клітинних стінках судин з радіусом капіляра, що не перевищує значення  $3 \cdot 10^{-7}$  см.

Якщо дотримуватися традиційного поділу, то в деревині перебуває вільна і зв'язана волога. Вільна волога знаходиться в порожнинах судин і міжсудинних прошарках і утримується в них механічно. Однак термін "вільна волога" є умовним, оскільки вона не є вільною від взаємодії з поверхнею судин і утримується силами капілярної взаємодії досить сильно, тому для її видалення механічним способом потрібно прикласти значних зусиль. Тому Б. С. Чудінов (Ugolev, 1986) запропонував ввести термін "капілярна вода" замість терміна "вільна волога". У цій роботі надалі розглядатимемо тільки видалення зв'язаної вологи з матеріалу, яке характеризується періодом заповільнення швидкості сушіння, що відбувається у межах зміни вологості деревини від межі насичення ( $W_{m.n.}$ ) до абсолютно сухого

стану ( $W_0=0$  %) – у процесах сушіння або від ( $W_0$ , %) до ( $W_{m.n.}$ , %) – у процесах зволоження деревини.

Зв'язану вологу поділяють на адсорбційну, яка утворює міжмікрофібрилярні прошарки на клітинній стінці, та мікрокапілярну, яка знаходиться у вільних від деревинної речовини порожнинах мікрокапілярів клітинної стінки (Yavorskyi, 2008).

Процес зв'язування вологи (рідини) з колоїдним тілом на першій стадії є аналогічним до змішування двох рідин з різною молекулярною вагою. Під час поглинання рідини колоїдним тілом виділяється деяка кількість тепла –  $Q$  (теплота набухання) аналогічно до виділення тепла під час розчинення спирту чи сірчаної кислоти у воді. Кількість виділеного тепла точно визначають так

$$Q = \frac{a \cdot U}{b + U}, \text{кДж} / \text{кг}, \quad (1)$$

де  $U$  – кількість поглинутої вологи, кг/кг сухої речовини;  $a$ ,  $b$  – коефіцієнти рівняння, які визначають експериментальним шляхом.

У формулі (1) величина ( $U$ ) характеризує питомий вологовміст, якщо рідина поглинається абсолютно сухим тілом ( $W_0=0$  %). На початку процесу поглинання (коли утворюється на поверхні абсолютно сухої деревини або іншого гідрофільного тіла) молекулярного шару вологи відбувається процес контракції (стискання системи колоїдне тіло – рідини) з поверхневим тиском декілька сотень МПа (Ugolev, 1986). Після цього настає період полімолекулярної конденсації рідини на поверхні матеріалу, яка приводить до збільшення розміру тіла завдяки розчиненню сухих "запасливих речовин" (білків, вуглеводів та інших органічних включень) та зменшення об'єму деревинної речовини. Але існує різниця між величиною об'єму набухлого тіла ( $V_{n.m.}$ ) та суми об'єму абсолютно сухого тіла ( $W_{c.m.}$ ) та об'єму поглиненої тілом рідини ( $V_p$ ), тобто

$$\Delta V = (V_{c.t.} + V_p) - V_{n.m.} \quad (2)$$

Тепловий ефект набухання характеризується диференційною теплою набухання ( $Q_u$ ), тобто кількістю теплоти, яка виділилась за поглинання 1 кг рідини, кДж/кг. Отже,  $Q_u = dQ/dU$ . Експериментально встановлено, що теплота змочування водою сухого гідрофільного тіла ( $Q_0$ ) та кількість адсорбційно зв'язаної води ( $U_a$ ) пропорційні одне одному, тобто  $Q_0/U_a = const$ . Тоді

$$\frac{Q_0}{U_a} = \frac{1}{U_a} \int_0^{U_a} Q_u dU \quad (3)$$

Тіло, яке поглинає рідину, має тиск набухання, який є аналогічним до осмотичного тиску розчиненої речовини. Із збільшенням кількості поглиненої вологи тиск набухання швидко зменшується. Тиск набухання ( $P$ ) залежить від концентрації сухого тіла в рідині ( $C = \rho_0/U$ ) – величини зворотної до вологовмісту тіла –  $U$  та від температури ( $T$ ), який описують класичним рівнянням

$$P = \frac{C}{M} RT + AC_P^k, \quad (4)$$

де перший член рівняння є аналогом осмотичного тиску розчиненого твердого тіла в рідині, а другий член враховує взаємодію частинок тіла ( $\rho_m$ ) з розчином. Тут

$$C_P^k = C \cdot \rho_T / C + \rho_T, \quad (5)$$

а коефіцієнт  $k=3$ .

Для системи рідина – тіло можна записати основне рівняння термодинаміки в такому вигляді

$$TdS = PdV + dE, \quad (6)$$

де  $dE$ ,  $dS$  – відносна зміна внутрішньої енергії та ентропії. З цього рівняння отримаємо, що

$$P = T \left( \frac{dS}{dV} \right)_T - \left( \frac{dE}{dV} \right)_T. \quad (7)$$

Якщо тиск набування відбувається без виділення тепла, то  $dE/dV = 0$ . У цьому разі збільшення об'єму тіла відбувається внаслідок збільшення ентропії

$$dV = TdS / P. \quad (8)$$

Зв'язана вода (за вологості деревини  $0 \leq W \leq 5$  %) має низку властивостей, за якими вона відрізняється від звичайної води. Однією відмінністю є нездатність зв'язаної води розчиняти електроліти, що можна використати під час розроблення методики визначення кількості зв'язаної води. Другою відмінністю є те, що у вказаному вище діапазоні, густина води зростає до  $1,25 \text{ г/см}^3$ . Зв'язана вода відрізняється і тим, що вона замерзає за температури нижчої ніж  $0^\circ \text{C}$ . За температури води  $5^\circ \text{C}$ , частка незамерзлої рідини становить близько  $W_{zp} = 27\%$ ; за температури води  $20^\circ \text{C}$  частка незамерзлої води становить близько  $W_{zp} = 15\%$ , а за температурі води  $50^\circ \text{C}$  частка незамерзлої рідини становить близько  $W_{zp} = 10 \dots 12\%$ .

Отже, фізико-хімічні властивості зв'язаної води в деревині змінюються залежно від її вологості. Найскладніші явища у процесах сушіння – зволоження відбувається в діапазоні зміни вологості від абсолютно сухого стану, де  $W_0 \approx 0\%$  до вологості  $W = 5 \dots 6\%$ . Однак у техніці і технології сушіння рідко застосовують режими, де кінцева вологість деревини становила б  $W \leq 6\%$ . Тому цей діапазон зміни вологості у практичних дослідженнях не використовують.

Видалення зв'язаної вологості відбувається в період заповільнення швидкості сушіння. Інтенсивність сушіння та інтенсивність теплообміну з протягом часу безперервно зменшується. Зміна інтенсивності сушіння відбувається за складною закономірністю, яка визначається формою зв'язку вологи з матеріалом і механізмом переміщення тепла і вологи всередині матеріалу.

Визначити інтенсивність теплообміну  $q_n$  за формулами Ньютона і Дальтона є неможливим через те, що коефіцієнти тепло- і масообміну з часом змінюються, а температура і вологообмін на поверхні тіла визначаються сполученням підведення тепла і вологи (внутрішній тепло- і масообмін) до поверхні тіла та відведення тепла і вологи з поверхні тіла в навколишнє середовище (зовнішній тепло- і масообмін). Тут визначення швидкості сушіння залежить від розв'язку системи диференціальних рівнянь тепло- і масоперенесення за відповідних граничних умов. Однак, користуючись законом збереження енергії і маси речовин, можна встановити взаємозв'язок середніх інтегральних значень вологомісту  $\bar{U}$  і температури  $\bar{t}$  з інтенсивністю тепло- і масообміну  $j_n$  та  $q_n$ , а відповідно – і зі швидкістю сушіння у вигляді балансу тепла.

Згідно із законом збереження енергії, все тепло, яке підводиться до тіла, дорівнює теплу, яке йде на випаровування вологи і тому, що йде на нагрівання тіла. Нехай загальна поверхня вологого тіла –  $S$ , в ньому міститься маса вологи –  $m_b$  і маса сухого тіла –  $m_0$ . Позначимо теплоємність води –  $C_e$ , а сухого тіла –  $C_0$ . Тоді кількість тепла, яке потрібно для нагрівання тіла за одиницю часу, дорівнює

$$(C_0 m_0 + C_e m_b) d\bar{t} / d\tau, \quad (9)$$

де  $\bar{t}$  – середня температура тіла. Кількість тепла, яка витрачена на випаровування вологи, дорівнює

$$r \frac{dm_b}{d\tau} = r m_0 \frac{d\bar{U}}{d\tau}, \quad (10)$$

де  $\bar{U} = m_b / m_0$ , а  $r = r_0 / r_{zm}$ , тобто сумі питомої теплоти випаровування рідини  $r_0$  та теплоти змочування  $r_{zm}$ .

Середній питомий потік тепла, підведеного на одиницю поверхні за одиницю часу, можна записати так:

$$\int_{(F)} q_n dF = \bar{q}_n F. \quad (11)$$

Порівнявши суму (9) та (10) з (11) і розділивши обидві частини на  $V$ , отримаємо

$$\bar{q}_n = (C_0 + C_e \bar{U}) \rho_0 R_V \frac{d\bar{t}}{d\tau} + \rho_0 R_V r \frac{d\bar{U}}{d\tau}, \quad (12)$$

де  $R_V$  – відношення об'єму абсолютно сухого тіла  $V_0$  до поверхні вологого тіла –  $F$ ,  $R_V = V_0 / F$ .

Якщо всихання (всідання) поверхні тіла відбувається за залежністю

$$F = F_0 (1 + \beta_F \bar{U})^n, \quad (13)$$

де  $\beta_F$  – коефіцієнт поверхневого всихання,  $n$  – постійна, то величина

$$R_V = \frac{R_{V0}}{(1 + \beta_F \bar{U})^2}, \quad (14)$$

де  $R_{V0} = V_0 / S_0$  – відношення об'єму до поверхні абсолютно сухого тіла.

Позначимо теплоємність вологого тіла через  $C = C_0 + C_e \bar{U}$ , тоді рівняння (12) можна записати так:

$$\frac{d\bar{U}}{d\tau} = - \frac{q_n}{\rho_0 R_V \cdot r} \left( 1 + \frac{C \cdot d\bar{t}}{r \cdot d\bar{U}} \right)^{-1}. \quad (15)$$

Відношення  $d\bar{t} / d\bar{U}$  характеризує відношення середньої температури тіла за зміни вологомісту на одиницю в процесі сушіння. Ця величина є важливою характеристикою кінетики процесу сушіння.

Величина  $\frac{C \cdot d\bar{t}}{r \cdot d\bar{U}}$  є безрозмірною, вона характеризує відношення кількості тепла  $C \cdot d\bar{t}$ , яке витрачено на нагрівання тіла, до кількості тепла  $r \cdot d\bar{U}$ , яке йде на випаровування вологи за малий проміжок часу  $d\tau$ .

**Результати дослідження та їх обговорення, дискусійні моменти.** Вирішення питання впливу на технологічні процеси форм зв'язку вологи з деревиною залежить від двох аспектів: складності хімічної будови деревинної речовини та складних унікальних властивостей води, що є у деревині. У ґрунтовній праці В. Т. Яворського (Yavorskyi, 2008) відзначено унікальні властивості води, що є у природі. Очевидно, ці властивості води впливають на перебіг явищ перетворення деревинної речовини із "склоподібного" абсолютно сухого стану в колоїдну систему, а за подальшого зволоження деревини – в капілярно-пористу систему із зв'язаною вологою, яка міститься в мікрокапілярах та стінках деревинних клітин. Деревина також якимось чином здатна "запам'ятовувати" зусилля, які над нею здійснювались раніше. Це явище в деревинознавстві сформулювали як "заморожені" деформації, до яких деревина вже не реагує на прикладене зусилля. Тут, не зрозуміло, що впливає на "пам'ять" про минулі деформації – вода чи деревна речовина?

**Висновки.** У процесі зволоження деревини відбувається низка складних фізико-хімічних явищ. На по-



верхні деревини спочатку утворюється мономолекулярний шар вологи з розширювальним ефектом, що приводить до явищ контракції. Далі на поверхні матеріалу відбувається поліконденсація вологи, яка поступово проникає у внутрішні судини. При цьому деревина зі склоподібного стану стає колоїдною речовиною у зв'язку з розчиненням органічних та інших включень, що є в деревині. Після цього формуються просторові каркаси – капілярно-пориста структура деревини, а стінки клітин і мікрокапіляри заповнюються зв'язаною вологою. Процес видалення фізико-хімічної зв'язаної вологи характеризується періодом заповільнення швидкості сушіння – основного кінетичного параметра процесу. Шляхом аналітичного розв'язку задачі впливу зв'язку вологи із деревиною отримано рівняння швидкості сушіння (15), яке пов'язує інтенсивність та теплообміну та

характеристику деревини і кількість теплової енергії, яка витрачається на нагрівання та сушіння деревини.

### Перелік використаних джерел

- Bilei, P. V., Petryshak, I. V., Sokolovskiy, I. A., & Soroka, L. Ya. (2013). *Teplomasoobminni protsesy derevoobroblennia*. Lviv: ZUKTs. 375 p. [in Ukrainian].
- Bilei, P. V. (2005). *Teoretychni osnovy teplovoi obrobky i sushinnia derevyiny*. Kolomyia: Vik. 364 p. [in Ukrainian].
- Chudinov, B. S. (1984). *Voda v drevesine*. Novosibirsk: Nauka. 270 p. [in Russian].
- Krzsik, F. (1974). *Nayka o Drewnie*. Warszawa: PWN. 653 p.
- Ugolev, B. N. (1986). *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniia*. Moscow: Lesnaia promyshlennost. 386 p. [in Russian].
- Vintoniv, I. S., Sopushynskiy, I. M., & Taishinger, A. (2007). *Derivynoznavstvo*. (2nd ed.). Lviv: Apriori. 312 p. [in Ukrainian].
- Yavorskiy, V. T. (2008). *Osnovy teoretychnoi khimii*. Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". 348 p. [in Ukrainian].

**П. В. Белей<sup>1</sup>, І. А. Соколовський<sup>1</sup>, П. П. Белей<sup>2</sup>, Г. В. Сомар<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Национальный лесотехнический университет Украины, г. Львов, Украина*

<sup>2</sup> *Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, г. Харьков, Украина*

## ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ВЛАГИ С ДРЕВЕСИНОЙ НА КИНЕТИКУ ПРОЦЕССА СУШКИ

Рассмотрены вопросы влияния на процессы увлажнения и сушки древесины химической и физико-химической связи влаги с древесиной. Выявлено, что наиболее сложные физико-химические явления происходят с древесиной при изменении ее начальной влажности, а дальнейшее насыщение стенок капилляров деревянных стен водой приводит к образованию связанной влаги. Древесина имеет сложный химический состав и строение, а вода – специфическую структуру. В процессе взаимодействия изменяются свойства обоих компонентов: древесное вещество переходит от стекловидного в коллоидное состояние, а вода из свободного состояния в связанное. Кроме этого, к связанной влаге в коллоидных материалах нельзя применять законы капиллярных явлений, гидростатики и гидродинамики потому, что она находится в адсорбционном связи с древесиной. Процесс связывания влаги (жидкости) с коллоидным телом на первой стадии является аналогичным смешиванию двух жидкостей с разной молекулярной массой. При поглощении жидкости коллоидным телом выделяется некоторое количество тепла (теплота набухания) аналогично выделению тепла при растворении спирта или серной кислоты в воде. Пользуясь законом сохранения энергии и массы веществ, можно установить взаимосвязь средних интегральных значений влагосодержания и температуры с интенсивностью тепло- и массообмена, а соответственно – и со скоростью сушки в виде баланса тепла. Согласно закону сохранения энергии, все тепло, которое подводится к телу, равно теплу, которое идет на испарение влаги и тому, что идет на нагрев тела.

**Ключевые слова:** древесина; связанная влага; сушка; капиллярнопористые коллоидные материалы; химическая связь; физико-химическая связь; кинетика процесса.

**P. V. Biley<sup>1</sup>, I. A. Sokolovskyy<sup>1</sup>, P. P. Biley<sup>2</sup>, H. V. Somar<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine*

<sup>2</sup> *Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine*

## PECULIARITIES OF THE INFLUENCE OF CHEMICAL AND PHYSICO-CHEMICAL BONDING OF MOISTURE WITH WOOD ON THE KINETICS OF DRYING PROCESS

The authors have considered some issues of influence of chemical and physical-chemical bonding of moisture with wood on the processes of moistening and drying of wood. We have found that the most complex physical and chemical phenomena occur in wood when changing its initial moisture content, and the subsequent saturation of the capillaries of wood walls with water leads to the formation of bound moisture. Wood has a complex chemical composition and structure, and water has a specific structure. In the process of interaction, the properties of both components change: the wood substance passes from the glassy to the colloidal state, and the water from the free state to bound state. In addition, the laws of capillary phenomena, hydrostatics and hydrodynamics cannot be applied to the bound moisture in colloidal materials because it is in adsorption with wood. The process of binding moisture (fluid) to a colloidal body at the first stage is similar to mixing of two fluids of different molecular weights. During the absorption of liquid by a colloidal body, a certain amount of heat (heat of swelling) is released, similarly to the heat release when dissolving alcohol or sulphuric acid in water. Using the law of conservation of energy and mass, one can establish the relationship of mean integral values of moisture content and temperature with the intensity of heat-and-mass transfer, and, accordingly, with the rate of drying in the form of a heat balance. According to the law of energy conservation, the amount of heat that is supplied to the body is equal to the amount of heat that goes to the evaporation of moisture plus the heat going to heat the body itself. Removal of the bonded moisture occurs during the deceleration of drying. The intensity of drying and the intensity of heat transfer continuously decrease over time. The change in the intensity of drying occurs in a complicated fashion, which is determined by the form of moisture bonding with the material and by the mechanism of movement of heat and moisture within the material. Thus, the main solution of kinetics is derived – the rate of the process of drying bound moisture, which can be applied to any wood material and any method of drying. The resolution of the issue of the influence of the forms of moisture bonding with wood on the technological processes depends on two aspects: the complexity of chemical structure of the wood material and the complex unique properties of water in the wood.

**Keywords:** wood; bound moisture; drying; capillary-porous colloidal materials; chemical bond; physical-chemical bond; kinetics of the process.