

13. Muszynski Z. Zywicowanie / Z. Muszynski, W. Riabczuk, I. Szudria. – Kraków–Lwów, 1991. – 111 s.

Интенсивность выделения живицы сосны обыкновенной подчинена суточной ритмичности и имеет свои особенности в зависимости от сезона исследования и категории смолопродуктивности деревьев. Особенностью высокосмолопродуктивных деревьев является интенсивное выделение смолы с первых часов после ранения и быстрое ее прекращение, что дает больше времени на восстановление выделенной живицы, по сравнению с низкосмолопродуктивными деревьями. Максимальное смоловыделение выявлено при нанесении ранений в утреннее и обеденное время суток.

Ключевые слова: *сосна обыкновенная, смолопродуктивность, суточная динамика.*

The intensity of the selection of resin Scots pine is subject to the daily rhythm and has its own characteristics depending on the season and category of study resin productivity of trees. A feature high resin productivity trees is intense release resin from the first hours after the injury and prompt its termination, which gives more time to recover dedicated turpentine, compared with low resin productivity of trees. Maximum resin productivity revealed when wounding in the morning and lunch time.

Key words: *Scots pine, resin productivity, daily dynamics.*

УДК 674.07:684.4(45)

ФІЗИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ДИФУЗІЇ КОМПОЗИЦІЙ НА ОСНОВІ ЛЛЯНОЇ ОЛІЇ В ДЕРЕВИНУ

Л. А. Яремчук, кандидат технічних наук
П. В. Білей, доктор технічних наук
В. М. Максимів, доктор технічних наук
Національний лісотехнічний університет України
e-mail: la.yaremchuk@hotmail.com; tf_nltu@ukr.net

Проведено теоретичні та експериментальні дослідження впливу поверхневого натягу, в'язкості, густини та температури композиції, на основі лляної олії, на процеси дифузії в деревину. Визначено коефіцієнт дифузії лляної композиції від вмісту модифікатора та температури суміші. Підтверджено, що вміст каніфолі зменшує проникність олії у деревину і збільшує товщину поверхневої плівки захисно-декоративного покриття.

© Л. А. Яремчук, П. В. Білей, В. М. Максимів, 2015

Ключові слова: дифузія, лляна олія, деревина, каніфоль, проникнення, товщина, композиція, температура.

У процесі нанесення на поверхню деревини лакофарбових матеріалів може мати місце адсорбція розчину твердим тілом – деревиною, яка є капілярно пористим колоїдним матеріалом. Тоді існуватиме розділ, який характеризується переміщенням рідкої фази в тверду. Лакофарбові композиції є різними за властивостями та характером їхньої взаємодії з деревиною. Вони можуть проникати в деревину механічним шляхом (під тиском), адсорбуватись нею та вступати в хімічну реакцію з деревинною речовиною. Однак лакофарбові матеріали на олійній основі не вступають у хімічну реакцію з деревиною і не адсорбуються нею. Тому проникнення лакофарбових матеріалів у деревину потрібно розглядати як сукупність фізичних явищ руху композиції під дією надлишкового тиску, капілярних сил та дифузійного переміщення молекул лакофарбових композицій у деревині по мікро- та макросудинах, заповнених пароповітряною сумішшю (вода міститься в стінках судин – це капілярна та адсорбційна зв'язана волога) [1].

При встановленні адгезійного зв'язку питання дифузії відіграє суттєву роль. Було встановлено, що при опорядженні деревини лакофарбовими композиціями відбувається інтенсивна міграція суміші в підкладку, інколи на значну глибину. Технологам необхідно враховувати цю здатність матеріалів при формуванні захисно-декоративних покриттів деревини. Насамперед важливо враховувати проникнення в деревину олійних композицій, які завдяки будові макромолекули можуть глибоко проникати в пори деревини, при цьому на поверхні утворюється плівка мінімальної товщини, яка не може забезпечувати ряд необхідних технологічних характеристик [2].

Мета досліджень – визначення коефіцієнта дифузії олійних композицій та впливу каніфолі на його зниження.

Матеріал і методика досліджень: для проведення досліджень використовували полімеризовану лляну олію (ГОСТ 5791-81), зразки деревини дуба, бука та сосни, як модифікатор – каніфоль живичну (ГОСТ 1913-84).

На зразки наносили підігріті до визначених температур композиції на основі лляної олії з однаковою витратою 80 г/м^2 . Покриття висушували і визначали товщину плівки та глибину проникнення в деревину.

Дослідження проводили згідно з відомими методиками: поверхневий натяг олійних композицій визначали за методикою акад. Ребінденра; крайовий кут змочування ($\cos \theta$) – за висотою і радіусом краплі, нанесеної на поверхню підкладки; товщину плівки та глибину проникнення композиції – згідно з ГОСТ 13639-82 [3].

Результати досліджень. Під час нанесення на поверхню деревини лакофарбових матеріалів на основі лляної або інших композицій та подальшого їх висихання у зовнішній плівці виникає поверхневий натяг, який діє по дотичній до поверхні покриття. Проведені теоретичні та

експериментальні дослідження засвідчили, що поверхневий натяг є досить малим: $\sigma_n = (32,27...37,99) \cdot 10^{-3}$ Дж/м², а косинус крайового кута змочування становить $\theta = 5,44...5,47$ градуса, тобто $\cos \theta = 0,9919...0,9949$. В цьому випадку радіальна складова поверхневого натягу буде дуже малою і на процеси дифузії композицій у деревину істотно не впливатиме.

Лакофарбова композиція (рідина) щодо деревини вважається змочуваною, тому в капілярах може виникати капілярний тиск, який визначають за формулою:

$$P_k = \frac{2\sigma_n \cdot \cos \theta}{r^2}, \text{ Па}, \quad (1)$$

де σ_n – сила поверхневого натягу, Дж/м²;

θ – кут крайового змочування;

r – радіус капіляра, м.

З іншого боку, під дією капілярного тиску в капілярі переміщується рідина, поки не настане рівновага:

$$P_k = P_m - P_e, \quad (2)$$

де P_m – гідравлічний тиск, який визначають за формулою:

$$P_m = \rho g h, \text{ Па}, \quad (3)$$

де ρ – густина рідини (композиції), кг/м³;

g – прискорення земного тяжіння, м/с²;

h – глибина проникнення лакофарбової композиції в середину деревини, м.

P_e – величина повітряного протivotиску в капілярі, який визначають за формулою:

$$P_e = P_a \frac{R}{R - h}, \text{ Па}, \quad (4)$$

де R – половина товщини матеріалу деревини, м;

P_a – атмосферний тиск, Па.

За глибиною проникнення рідини (лакофарбової композиції) в деревину можна визначити дійсний радіус капіляра за формулою:

$$r = \frac{2\sigma_n \cdot \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot h}, \text{ м}. \quad (5)$$

Інтенсивність переміщення (руху) рідини в капілярах, вираженої як об'ємної швидкості (dV/dt , м³/с), можна визначити за відомим рівнянням Пуазейля:

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot L} \cdot \Delta P, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (6)$$

де η – динамічна в'язкість, Па·с;

L – довжина капіляра, м;

ΔP – різниця тиску (яка є рушійною силою переміщення) рідини в капілярі, Па.

Різницю тиску визначають за формулою:

$$\Delta P = P_a + P_k - P_e, \quad (7)$$

Перенесення маси (масообмін) може здійснюватись двома основними способами: молекулярною (або просто дифузією) і конвективною дифузією. Конвективна дифузія як процес перенесення маси за рахунок переміщення макроскопічних об'ємів речовини можлива тільки в газовому або рідинному середовищі. Лише молекулярною дифузією переміщається речовина в нерухомому середовищі – твердому тілі, яким є деревина.

Молекулярна дифузія описується другим законом Фіка, згідно з яким більшість речовини (dM), яка продифундувала за час ($d\tau$) через елементарну поверхню (dF), нормальну до напрямку дифузії (dn), є пропорційною градієнту концентрації (dC/dn) цієї речовини. Отже:

$$dM = -D \cdot dF \cdot d\tau \frac{dC}{dn}, \text{ кг}, \quad (8)$$

де D – коефіцієнт дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$.

Вираз (8) можна спрощено записати так:

$$M = -D \cdot F \cdot \tau \cdot \frac{dC}{dn}. \quad (9)$$

З останньої формули випливає, що потік речовини, який переноситься молекулярною дифузією за одиницю часу ($\tau=1$) через одиницю площі ($F=1$) характеризує швидкість молекулярної дифузії:

$$\bar{m} = \frac{M}{F \cdot \tau} = D \cdot \frac{dC}{dn}. \quad (10)$$

Градієнт концентрації характеризує зміну концентрації дифундуючої речовини на одиницю довжини нормалі. Коефіцієнт пропорційності (D у законі Фіка) називають коефіцієнтом молекулярної дифузії (або просто коефіцієнтом дифузії), який має однакову розмірність з коефіцієнтом вологопровідності, коефіцієнтом температуропровідності та кінематичної в'язкості. Отже, коефіцієнт дифузії визначають за формулою:

$$D = \frac{M \cdot dn}{dC \cdot F \cdot \tau}, \text{ м}^2/\text{с}. \quad (11)$$

Знак мінус у рівняннях (7–9) означає, що молекулярна дифузія завжди відбувається в напрямку зменшення концентрації розподіленого компонента.

За результатами експериментальних досліджень визначено витрату лакофарбових матеріалів на одиницю площі ($F = 1 \text{ м}^2$) поверхні матеріалу (q_m , кг). Частина композиції (q_d) дифундувала в середину матеріалу на глибину (h , м). Тоді кількість речовини, яка дифундувала вглиб деревини, визначають за співвідношенням:

$$M = q_m \cdot h / H, \quad (12)$$

де H – загальна товщина лакофарбового матеріалу, м.

Градієнт концентрації на глибину проникнення лакофарбової композиції визначають за формулою:

$$\frac{dC}{dn} = \frac{\rho}{h} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^4}, \quad (13)$$

де ρ – густина композиції, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Тривалість висихання композиції (τ_C) є ідентичною з тривалістю дифузії.

У випадку нестационарного масообміну зміну концентрації в часі описують другим законом Фіка:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right). \quad (14)$$

При нанесенні лакофарбового покриття на поверхню деревини переміщення маси речовини відбувається тільки в одному напрямку по товщині матеріалу. Тоді, рівняння (14) можна спростити:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 C}{\partial n^2}. \quad (15)$$

Для розв'язку диференційного рівняння (15) необхідно знати як початкові, так і граничні умови розподілу концентрації в часі та по товщині матеріалу.

Приклад визначення коефіцієнта дифузії

Перший варіант.

Вихідні дані: $\rho = 930 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\tau_C = 28 \text{ год} = 10,08 \cdot 10^4 \text{ с}$; $q_m = 80 \text{ г}$; товщина шару: загальна $H = 0,00006 \text{ м}$, глибина проникнення у деревину $h = 0,000036 \text{ м}$.

Розв'язок: $M = q_m h / H = 0,08 \cdot 0,6 = 0,048 \text{ кг}$
 $dn = h = 0,000036 \text{ м}$; $dC = 930 \text{ кг}/\text{м}^3$.

$$\text{Тоді} \quad D = \frac{M \cdot dn}{dC \cdot F \cdot \tau} = \frac{0,048 \cdot 0,000036}{930 \cdot 1 \cdot 10,08 \cdot 10^4} = 1,84 \cdot 10^{-14} \text{ м}^2 / \text{с}.$$

Другий варіант.

Вихідні дані: $\rho = 0,93 \text{ г}/\text{см}^3$; $\tau_C = 10,08 \cdot 10^4 \text{ с}$; $H = 0,006 \text{ см}$; $h = 0,0036 \text{ см}$.

Розв'язок: $M = 80 \cdot 0,6 = 48 \text{ г}$;

$$D = \frac{48 \cdot 0,0036}{0,93 \cdot 10,08 \cdot 10^4} = 1,84 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2 / \text{с}.$$

Коефіцієнт дифузії є співрозмірним із коефіцієнтом вологопровідності деревини і залежить, за умови однакової витрати лакофарбової композиції, від температури композиції – t_k , $^\circ\text{C}$; її густини – ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$; породи деревини, тривалості висихання – τ_C , с ; та глибини проникнення композиції – h , см . Щоб зменшити глибину проникнення композиції в деревину, за однакових величин дифузії (D , $\text{м}^2/\text{с}$) та витрати лакофарбових матеріалів (M , г) необхідно зменшити час висихання, шляхом підвищення температури, або ввести модифікатори.

1. Визначення коефіцієнта дифузії від вмісту каніфолі в лляній олії

№ з.п.	Назва композиції (її склад у масових частках), м. ч.	Динамічна в'язкість η , Па·с	Температура композиції t_k , °С	Час висихання плівки τ_c , год.	Товщина шару, мкм	Поверхневий натяг σ_{p-e} , 10^{-3} Дж/м ²	Коефіцієнт дифузії D , см ² /с
					Поверхнева дифузія в глибину		
1	2	3	4	5	6	7	8
Порода деревини – дуб (вологість W – 10 %)							
1	Лляна олія -100 Густина ρ кг/м ³ 930 (926-936)	104,7	18	28	24 / 36	37,97	$1,84 \cdot 10^{-6}$
			21	28	23 / 37	37,63	$1,89 \cdot 10^{-6}$
			24	28	22 / 40	36,15	$2,11 \cdot 10^{-6}$
			27	27	22 / 39	35,17	$2,11 \cdot 10^{-6}$
			30	26	24 / 39	32,27	$2,25 \cdot 10^{-6}$
2	Лляна олія -100 Каніфоль – 2,0 Густина ρ кг/м ³ 931	117,4	18	23	30 / 27	37,99	$1,60 \cdot 10^{-6}$
			21	23	30 / 28	37,63	$1,68 \cdot 10^{-6}$
			24	23	32 / 28	37,15	$1,74 \cdot 10^{-6}$
			27	22	30 / 28	37,67	$1,76 \cdot 10^{-6}$
			30	21	31 / 29	36,78	$1,97 \cdot 10^{-6}$
3	Лляна олія -100 Каніфоль – 4,0 Густина ρ кг/м ³ 937	121,3	18	22	33 / 25	39,01	$1,56 \cdot 10^{-6}$
			21	22	33 / 26	39,47	$1,65 \cdot 10^{-6}$
			24	22	33 / 27	38,43	$1,69 \cdot 10^{-6}$
			27	21	29 / 28	37,12	$1,81 \cdot 10^{-6}$
			30	21	30 / 28	36,23	$1,83 \cdot 10^{-6}$

З метою зменшення проникності у деревину до олійної композиції додавали живичну каніфоль у кількості 2,0 і 4,0 масових частки (м. ч.). Як видно з табл. 1, на проникність олійної композиції в деревину дуба суттєво впливає її температура, а збільшення вмісту каніфолі знижує коефіцієнт дифузії і підвищує товщину експлуатаційної плівки захисно-декоративного покриття. Збільшення вмісту каніфолі в лляній олії є недоцільним, позаяк попередні дослідження показали, що проникнення суттєво не змінюється, а поверхневий натяг композиції підвищується, що може погіршити нанесення покриття.

Висновки

1. Експериментальні та теоретичні дослідження засвідчили, що олійні композиції суттєво проникають у деревину, а їхній коефіцієнт дифузії є співрозмірним із коефіцієнтом вологопровідності деревини і залежить від температури та густини композиції породи деревини та швидкості висихання плівки.

2. Канифоль, введена до лляної олії, суттєво знижує коефіцієнт дифузії, що свідчить про зменшення проникності в деревину і збільшення поверхневої товщини захисно-декоративної плівки.

Список літератури

1. Тепломасообмінні процеси деревообробки : підручник / П. В. Білей, І. В. Петришак, І. А. Соколовський, Л. Я. Сорока. – Львів : ЗУКЦ, 2011. – 376 с.
2. Берлин А. А. Основы адгезии полимеров / А. А. Берлин, В. Е. Басин. – М. : Химия, 1974. – 392 с.
3. Карякина М. И. Лабораторный практикум по испытанию лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Карякина. – М. : Химия, 1989. – 206 с.
4. Озарків І. М. Фізичні основи дифузійного просочення деревини / І. М. Озарків, Б. М. Перетятко // Науковий вісник НЛТУ України. – 2007. – Вип. 17.7. – С. 153–158.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования влияния поверхностного натяжения, вязкости, плотности и температуры композиции, на основе льняного масла, на процессы диффузии в древесину. Определен коэффициент диффузии льняной композиции от содержания модификатора и температуры состава. Подтверждено, что содержание канифоли уменьшает проникновение масла в древесину и увеличивает толщину поверхностной пленки защитно-декоративного покрытия.

Ключевые слова: *диффузия, льняное масло, древесина, канифоль, проникновение, толщина, композиция, температура.*

Theoretical and experimental research regarding the impact of surface tension, viscosity, density and temperature of a linseed-oil based composition on the process of diffusion in wood has been performed for this work. The coefficient of diffusion of the linseed oil composition based on the modifier content and the temperature of the mixture was calculated. The research confirms that the rosin content reduces the oil permeability of the wood and increases the thickness of the surface film of protective and decorative coatings.

Key words: *diffusion, linseed oil, wood, rosin, permeability, thickness, composition, temperature.*