

**ПІДВИЩЕННЯ ВОГНЕТРИВКОСТІ ДЕРЕВИННИХ КОМПОЗИТІВ
НА ОСНОВІ ШПОНУ**

Вивчали вплив різного типу антипіренів, методів і режимів просочування шпону, режимів пресування фанери з просоченого шпону на вогневі та фізико-механічні властивості фанери. Запропоновано рецептури антипіренів і режимів просочування шпону та пресування фанери, які дають змогу забезпечити їй І групу вогнетривкості, перевівши її з групи матеріалів підвищеної горючості (Г4) у групу матеріалів важкогорючих (Г2). З'ясовано, що дифузійний метод просочування сирого шпону порівняно із капілярним сухого шпону характеризується меншим висолюванням антипірену на поверхні шпону та рівномірнішим його розподілом за товщиною шпону. Для зменшення корозійної здатності антипірену ДС частину амонію сірчаноокислого заміщено на амоній бромистий і рекомендовано таку рецептуру антипірену – амонійфосфат двозаміщений : амоній сірчаноокислий : амоній бромистий (1:0,625:0,375). Встановлено, що залежність поглинання антипірену від температури просочувального розчину є лінійною, а від тривалості просочування – логарифмічною. Максимальне поглинання антипірену спостерігається за температури просочувального розчину 60°C, концентрації просочувального розчину 50%, тривалості просочування 75 хв. Із збільшенням вмісту антипірену вогнетривкість фанери покращується. Однак, з врахуванням вогнезахисних і міцнісних показників фанери, а також з погляду економічності рекомендовано здійснювати просочування сирого шпону дифузійним методом за концентрації просочувального розчину 30%, температури просочувального розчину 22°C і тривалості просочування 8 хв. Рекомендованими технологічними параметрами пресування вогнетривкої фанери є: температура плит преса – 115°C, тривалість – 8 хв, витрата клею – 120 г/м².

¹ **БЕХТА Павло Антонович** – дійсний член ЛАН України, завідувач кафедри технології деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу, доктор технічних наук, професор, Національний лісотехнічний університет України. м. Львів, Україна. Тел.: 032-238-44-99. E-mail: bekhta@ukr.net

² **БРИНЬ Олеся Ігорівна** – асистент кафедри технології деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу, Національний лісотехнічний університет України. м. Львів, Україна. Тел.: 032-238-44-99. E-mail: chupylo_olesya@ukr.net

***Ключові слова:** шпон, фанера, вогнетривкість, міцність на зріз, просочування, антипірен, концентрація, температура просочування, тривалість просочування, температура пресування, тривалість пресування, витрата клею*

Постановка наукової проблеми. Деревина та деревинні композитні матеріали (ДКМ), зокрема такі композити на основі шпону як фанера та LVL, незважаючи на появу великої кількості нових синтетичних матеріалів, залишаються одними із найбільш поширених матеріалів для потреб будівництва, судно-, авіа- та вагонобудування тощо. Вони мають високу механічну міцність й теплоізоляційні властивості, легко обробляються, добре втримують металеві кріплення, однак основним їх недоліком є низька вогнетривкість [2]. Серійні виробництва вогнетривких ДКМ і фанери ще не налагоджені в Україні і розвиваються досить повільно, що можна пояснити, з одного боку, складністю налагодження таких виробництв, а з іншого, більшою увагою до вогнезахисту деревини і недостатнім вивченням вогнезахисту ДКМ. Загалом за 2001-2010 рр. у державі сталася 527 901 пожежа, завдано прямих матеріальних збитків на суму понад 2,8 млрд грн. Унаслідок пожеж загинули 37 150 людей та 17 877 травмовано [7]. Важливість проблеми забезпечення пожежної безпеки спонукала до прийняття низки законів та нормативних актів, що забороняють використання в будівництві матеріалів, які не відповідають вимогам пожежної безпеки [3].

Питання підвищення вогнетривкості ДКМ, і фанери зокрема розглянуто у низці досліджень, за результатами яких рекомендовано наносити поверхнєве вогнезахисне покриття [1] на поверхню композиту, здійснювати оброблення антипіренами готового композиту [4], надавати вогнезахисних властивостей шпону шляхом його просочування антипіренами [6], одночасно обробляти шпон антипіреном і додавати його до клею [9]. Проте ці заходи потребують застосування дорогих антипіренів та додаткових операцій, що призводить до значних капіталовкладень і, відповідно, до значного підвищення собівартості продукції. Крім того, не завжди одержаний вогнестійкий матеріал має задовільні показники міцності та зовнішній вигляд, а використання антипірену не рідко

унеможливилося подальше опорядження матеріалу. З огляду на це, ці методи не набули застосування у виробництві, тому питання підвищення вогнетривкості композитів на основі шпону й надалі залишається актуальним.

Метою роботи було досягнути бажаної вогнетривкості деревинних композитів на основі шпону, підібравши необхідну рецептуру антипірену, метод і режим просочування та режим пресування композитів з просоченого шпону.

Матеріали та методи дослідження. Для виконання дослідів використовували шпон березовий лущений (250 x 250 x 1,5 мм), різні типи антипіренів, фенолоформальдегідну смолу (сухий залишок 40-42%, в'язкість за ВЗ-4 – 100-120 с).

Експериментальні дослідження здійснювали у кілька етапів.

Етап 1. Просочування шпону дифузійним і капілярним методами антипіренами, рекомендованими для деревини

На цьому етапі дослідження з'ясовували можливість застосування для просочування шпону антипіренів, рекомендованих стандартом (ГОСТ-28815-96) для вогнезахисту масивної деревини (у антипірені ХМХА мідний купорос замінено на залізний з метою уникнення забарвлення шпону у синій колір, тому і назву антипірену змінено на ХЗХА). Зокрема, використано 20%-ні розчини антипіренів ХЗХА-1110, ББ-11, БС-11, ДМ-11, ДС-11, якими просочували шпон двома методами: дифузійним і капілярним. Під час дослідження капілярного методу у гарячо-холодній ванні використовували березовий шпон вологістю 7-10%. Просочування здійснювали послідовно: у гарячій ванні за температури просочувального розчину 80-90°C впродовж 30 хв; у холодній за температури 20°C впродовж 40 хв. Під час дослідження дифузійного просочування використовували березовий шпон вологістю 60-80%, який занурювали у просочувальний розчин з температурою 20°C. Тривалість витримки шпону у просочувальному розчині становила 70 хв. В обох випадках після просочування та сушіння шпону визначали поглинання антипірену та фіксували висолювання.

Етап 2. Підбір добавки для зменшення корозійної здатності антипірену

За результатами першого етапу для подальших досліджень обрано антипі-

рен, що складається із суміші амонійфосфату двозаміщеного та амонію сірчанокислого. Однак обраний антипірен характеризується підвищеною корозійною здатністю, спричиненою вмістом значної кількості амонію сірчанокислого. Тому на цьому етапі дослідження здійснювали підбір модифікувальної добавки для зменшення корозійної здатності антипірену. Для заміни амонію сірчанокислого використовували такі речовини: натрію триполіфосфат, амоній бромистий та карбамід. Вказані речовини є менш корозійно активними, можуть проявляти вогнезахисну дію і їх використовують для інгібування корозії. Для підтвердження їх меншого корозійного впливу, порівняно із амонієм сірчанокислим було проведено експеримент згідно з ГОСТ 30219-95. Зразки березового шпону вологістю понад 80% і розміром 150 x 60 мм просочували впродовж 70 хв у просочувальному розчині вказаних солей. Концентрація розчину становила 20%. Після просочування зразки витримували для перерозподілу антипірену у шпоні впродовж 1 год та висушували у сушильній камері за температури 120°C. До кожного зразка шпону за допомогою гумок прикріплювали сталеві леза. Зразки витримували впродовж 30 діб у ексікаторі за відносної вологості повітря 100%.

Корозійну дію (b , г/(м²·год)) антипірену визначали за різницею мас лез до і після випробовувань:

$$b = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot 720}, \quad (1)$$

де: m_1 – маса леза до випробовування, г; m_2 – маса леза після випробовування, г; S – площа леза, м²; 720 – тривалість випробовування, год.

Із шпону, просоченого модифікованим антипіреном, виготовляли фанеру, для якої визначали показники вогнетривкості та міцності на зріз.

Етап 3. Вплив параметрів дифузійного просочування шпону на поглинання антипірену та вогнетривкі властивості фанери

Метою цього етапу дослідження було встановити вплив параметрів дифузійного просочування шпону антипіреном ДС на ступінь його поглинання, що дасть змогу підібрати температуру та концентрацію просочувального розчину, а також тривалість просочування для одержання бажаного ступеня поглинання.

Крім того, з'ясовували вплив поглинання антипірену на вогнетривкі та міцнісні властивості фанери.

Змінними факторами прийнято: концентрацію просочувального розчину (10%, 30%, 50%), тривалість просочування у ванні (5 хв, 40 хв, 75 хв), температуру просочувального розчину (20°C, 40°C, 60°C), оскільки саме вони найбільше впливають на ступінь поглинання антипірену і в підсумку визначають вогнетривкість фанери та її фізико-механічні показники. Концентрація просочувальних розчинів регламентується ГОСТ 28815-96. Вибір верхньої межі температури зумовлений тим, що за температури 70°C і вище починається інтенсивне виділення аміаку з розчину антипірену, що у виробничих умовах може спричинити проблеми з погляду погіршення санітарно-гігієнічних умов та корозію обладнання.

Для етапів дослідження 1-3 з просоченого та висушеного шпону виготовляли п'ятишарову фанеру за таких параметрів пресування: температура плит преса – 130°C, тиск – 2,0 МПа, тривалість – 10 хв, витрата смоли – 120 г/м².

Етап 4. Вплив вологості шпону на поглинання антипірену за різної тривалості просочування

У виробничих умовах шпон зазвичай має різну вологість як у межах однієї партії, так і в межах навіть одного листа шпону. Тому на цьому етапі дослідження з'ясовували наявність зв'язку між вологістю шпону і ступенем поглинання антипірену. Для проведення цього експерименту використовували березовий шпон розмірами 150 x 75 x 1,5 мм, вологістю 8±2 мм. Для одержання зразків різної вологості шпон витримували у воді впродовж різного часу (1,5 хв, 5 хв, 15 хв, 30 хв, 90 хв, 240 хв, 1 доба, 3 доби, 13 діб) та контролювали його вологість. Зразки просочували у розчині антипірену впродовж 8 хв, 30 хв, 45 хв та 70 хв за кімнатної температури. Концентрація розчину становила 30%. Після просочування зразки витримували для перерозподілу антипірену у шпоні впродовж 1 год та висушували у сушильній камері за температури 103°C і визначали вміст антипірену у шпоні (Q, %):

$$Q = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100, \quad (2)$$

де: m_0 – маса абсолютно сухого шпону перед просочуванням, г; m – маса абсолютно сухого шпону після просочування, г.

Етап 5. Режими пресування фанери із просоченого шпону

На цьому етапі дослідження вивчали вплив режимів пресування фанери із просоченого шпону на межу міцності фанери на зріз. Змінними факторами прийнято: температуру пресування (115°C, 130°C, 145°C), тривалість пресування (8 хв, 10 хв, 12 хв), витрату клею (120 г/м², 140 г/м², 160 г/м²).

У всіх експериментах просочування здійснювали у просочувальній ванні із хімічно стійкого матеріалу. Для покращення процесу просочування шпону його завантажували у ванну у металевому контейнері із нержавіючої сталі. Після витримки шпону у розчині антипірену контейнер виймали і певний час витримували для стікання надлишків розчину. Далі шпон складали у взаємно перпендикулярному напрямку з метою перерозподілу антипірену і витримували таким чином впродовж 1 год.

Одержану фанеру досліджували на вогнетривкість за методом "Керамічної труби" згідно з ГОСТ 16363-98 [5] та міцність на зріз згідно з ДСТУ EN 314-1:2003 [8].

Оцінювання вогнезахисних властивостей фанери здійснювали за розрахунком втрати маси її зразка (m , %):

$$m = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100, \quad (3)$$

де m_1 – маса зразка до випробовування, г; m_2 – маса зразка після випробовування, г.

Результати дослідження. Вплив різного типу антипіренів і методів просочування на властивості фанери. Порівняльні властивості фанери із шпону, просоченого різними антипіренами капілярним і дифузійним методами, наведено у табл.1, а втрату маси та міцність фанери на зріз зображено на рис. 1.

Як бачимо з рис. 1 і табл. 1, усі досліджувані суміші забезпечують надання

фанері вогнезахисних властивостей, переводячи її у групу важкогорючих матеріалів (І група). Незначне зменшення вогнезахисту, яке спостерігається у разі застосування дифузійного методу просочування, зумовлене меншим вмістом антипірену у шпоні. Хоча обидва методи і забезпечують І групу вогнетривкості, варто зазначити, що дифузійне просочування здійснювалося за кімнатної температури, що є менш енергомістким. Крім того, дифузійний метод характеризується меншим висолюванням антипірену на поверхні шпону та більш рівномірним розподілом його в середині. Тому надалі в експериментальних дослідженнях застосовано дифузійний метод просочування.

Таблиця 1

Властивості фанери залежно від типу антипірену та способу просочування шпону

Тип антипірену	Капілярний метод просочування					Дифузійний метод просочування				
	Поглинання антипірену, кг/м^3	Міцність на зріз, МПа	Втрата маси, %	Тривалість горіння, с	Тривалість тління, с	Поглинання антипірену, г/м^3	Міцність на зріз, МПа	Втрата маси, %	Тривалість горіння, с	Тривалість тління, с
ХЗХА	59,7	2,01	5,1	0	0	49,7	1,88	6,8	0	0
БС	65,8	0,49	4,4	0	0	49,5	0,32	5,0	0	0
ББ	71,1	0	6,3	10	0	47,9	0	9,2	90	0
ДС	84,6	1,59	5,7	0	0	47,0	1,85	6,4	0	0
ДМ	74,1	0,66	6,6	2	0	55,3	0,32	9,4	30	0

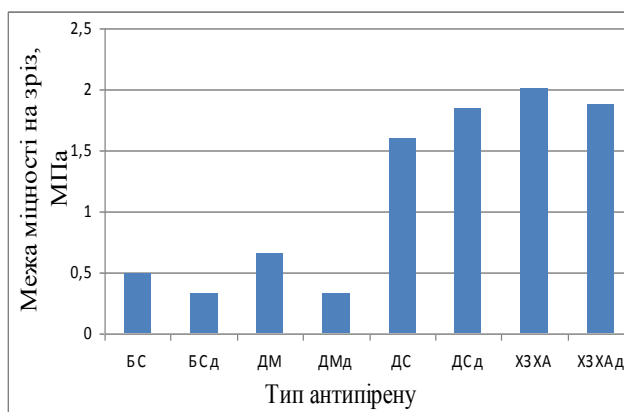
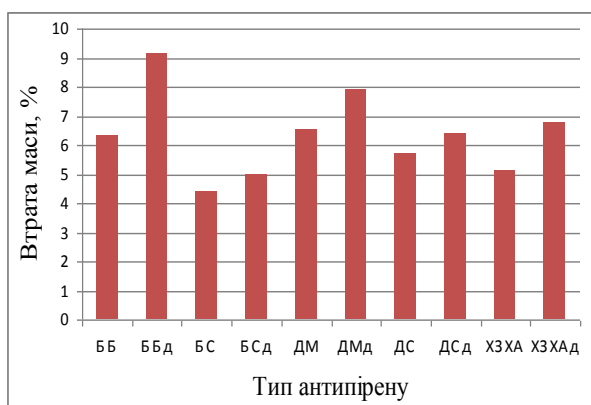


Рис.1. Залежність втрати маси та межі міцності фанери на зріз від типу антипірену (з індексом “д” – дифузійний метод просочування, без індексу – капілярний метод просочування)

Стосовно межі міцності на зріз, то вплив складу антипірену виявився досить різним. Зразки фанери із шпону просоченого сумішшю ББ розклеїлися в процесі вимочування, а сумішами БС і ДМ – дали незадовільний результат. Це пов'язано з негативним впливом борної кислоти на затвердіння фенолоформальдегідної смоли. Вимоги стандарту щодо межі міцності на зріз задовольняє фанера із шпону, просоченого ДС та ХЗХА. Оскільки основною складовою частиною антипірену ХЗХА є хлористий амоній, що є токсичною й канцерогенною речовиною, то його використання у промисловості та подальша експлуатація виробів із його вмістом є небажаними. Під час використання антипірену ДС проявляється явище синергізму, тобто ефект комбінації вогнезахисних речовин є більшим за суму ефектів кожного окремо. Тому для подальших досліджень обрано антипірен ДС. Однак, хоча антипірен ДС забезпечує необхідну вогнетривкість фанери і межу міцності на зріз, він характеризується підвищеною корозійною активністю, спричиненою вмістом амонію сірчаноокислого.

Зменшення корозійної здатності антипірену. Корозійну активність складових компонентів антипірену ДС наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Корозійна активність складових компонентів антипірену ДС

Антипірен	Корозійна активність, г/(м ² ·год)
Амоній сірчаноокислий	0,030
Натрію триполіфосфат	0,005
Амоній бромистий	0,020
Карбамід	0,005

Оброблену антипіренами деревину вважають неагресивною (такою, що пройшла випробування), якщо втрата маси становить не більше ніж 0,1 г/(м²·год). Як бачимо з даних табл. 2, обрані речовини (натрію триполіфосфат, амоній бромистий та карбамід) дійсно мають меншу корозійну активність порівняно з амонієм сірчаноокислим.

Властивості фанери із шпону, просоченого антипіреном із різним вмістом модифікувальних добавок, наведено у табл. 3.

Заміна певної частини амонію сірчаноокислого на натрію триполіфосфат призводить до зменшення втрати маси під час вогневих випробувань у разі збільшення частки останнього. Наявний у сполучі фосфор інгібує процес тління, що й засвідчують одержані результати, і мало впливає на процес горіння. Збільшення частки триполіфосфату натрію позитивно впливає на міцнісні показники фанери на відміну від карбаміду, у разі застосування якого міцність на зріз зменшується. Наявність карбаміду негативно впливає і на вогнетривкі властивості фанери. Зменшення міцності у цьому випадку можна пояснити негативним впливом карбаміду на затвердіння фенолоформальдегідної смоли.

Таблиця 3

**Залежність властивостей фанери від типу та кількості добавки
для зменшення корозійного впливу антипірену**

№ з/п	Тип добавки	Співвідношення компонентів*: Д' : С'' : Х'''	Втрата маси, %	Тривалість горіння, с	Тривалість тління, с	Міцність, МПа
1	Натрію триполіфосфат	1 : 0,875 : 0,125	11,61	64	0	1,08
2		1 : 0,75 : 0,25	10,47	60	0	1,29
3		1 : 0,625 : 0,375	10,12	47	0	1,40
4	Амоній бромистий	1 : 0,875 : 0,125	14,34	54	0	1,08
5		1 : 0,75 : 0,25	13,11	24	0	1,11
6		1 : 0,625 : 0,375	9,61	2	0	1,18
7	Карбамід	1 : 0,875 : 0,125	11,38	38	0	1,43
8		1 : 0,75 : 0,25	13,13	60	0	1,11
9		1 : 0,625 : 0,375	15,45	63	0	1,00

* Д' – вміст амонійфосфату двозаміщеного в антипірені,
С'' – вміст амоній сірчаноокислого в антипірені,
Х''' – вміст добавки в антипірені.

Варто зазначити, що під час використання амонію бромистого (у разі збільшення його частки) втрата маси зменшується, а міцність на зріз при цьому збільшується за будь-якого його вмісту і становить більше ніж 1 МПа, що відповідає вимогам стандарту. Зменшується при цьому і тривалість горіння, вона становить 2 с за співвідношення компонентів композиції амонійфосфат двозаміщений : амоній сірчаноокислий : амоній бромистий – 1 : 0,625 : 0,375. Враховуючи наведене зменшення тривалості горіння та інші переваги вказаної рецептури, її рекомендовано для підвищення вогнетривкості фанери та обрано для

подальших досліджень. Вказане зменшення тривалості горіння є суттєвішим у разі використання амонію бромистого порівняно з використанням натрію триполіфосфату. До того ж, під час горіння зразків із вмістом натрію триполіфосфату відчувається різкий запах і подразнення слизових оболонок (зокрема очей).

Вплив параметрів дифузійного просочування шпону на поглинання антипірену та вогнетривкості властивості фанери. На підставі виконаних експериментів і опрацювання їх результатів, поглинання антипірену (Q , кг/м^3) шпоном залежно від параметрів просочування можна описати такою залежністю:

$$Q = -64,39 + 8,45 \cdot \ln(g)^{2,23} - 126,02 \cdot \ln(t)^{-33,9} + 1463,79 \cdot T_{np}^{-406,7} + 0,12 \cdot \ln(g) \cdot T_{np} - 0,18 \cdot \ln(t) \cdot T_{np} + 4,02 \cdot \ln(g) \cdot \ln(t) + 0,08 \cdot \ln(g) \cdot \ln(t) \cdot T_{np}, \quad (4)$$

де: g – концентрація просочувального розчину, %; t – тривалість просочування, хв; T_{np} – температура просочувального розчину, $^{\circ}\text{C}$.

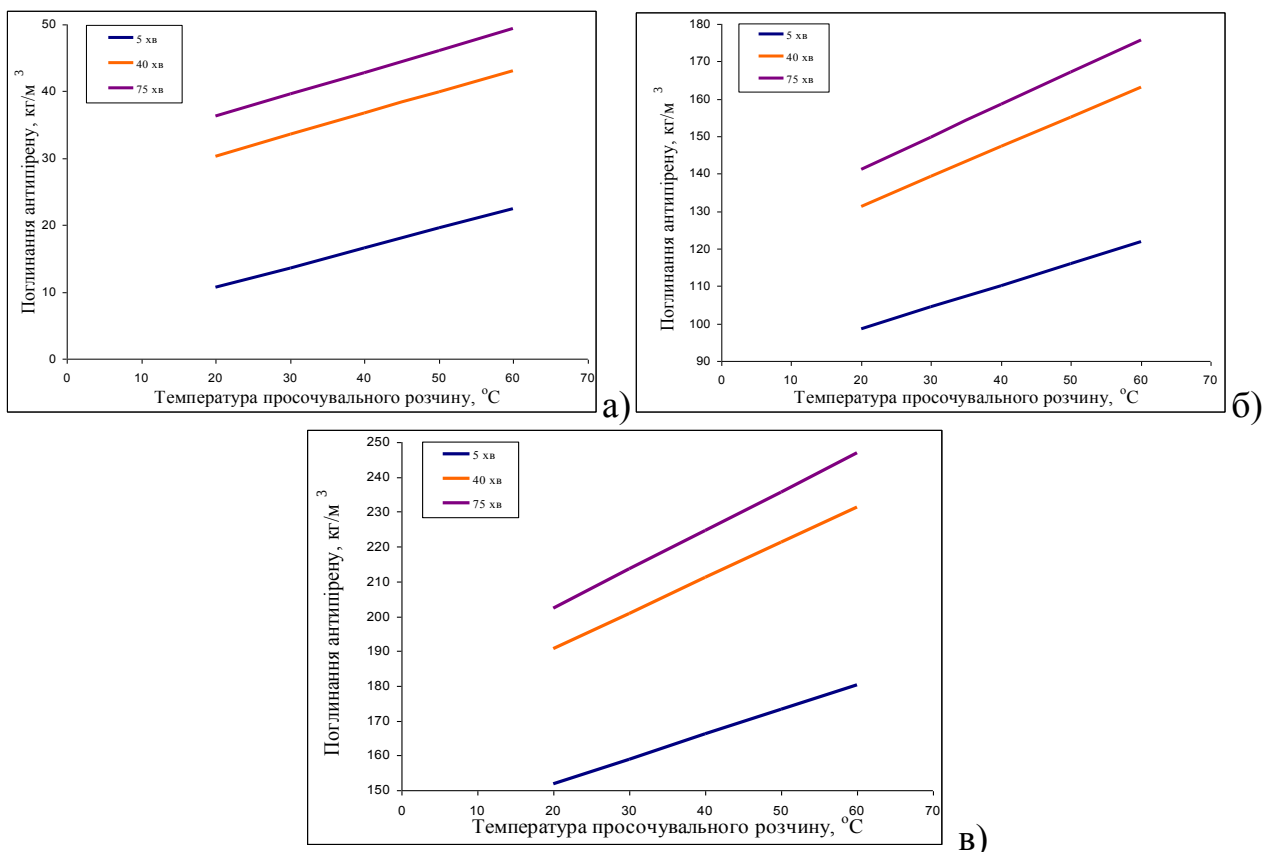


Рис. 2. Залежність поглинання антипірену від температури просочувального розчину: а) $g = 10\%$, б) $g = 30\%$, в) $g = 50\%$

Графічна інтерпретація отриманої залежності дала змогу представити характер впливу різних технологічних факторів просочування шпону на погли-

нання антипірену (рис. 2, 3).

Як бачимо з наведених рисунків, збільшення значень основних параметрів просочування призводить до повнішого поглинання антипірену, причому для температури просочувального розчину ця залежність є лінійною, а для концентрації просочувального розчину і тривалості просочування – логарифмічною. Вплив температури на поглинання шпоном антипірену є лінійним, оскільки збільшення температури спричинює збільшення коефіцієнта дифузії, що й призводить до більш інтенсивного поглинання. Із збільшенням концентрації збільшується градієнт концентрації ззовні та в середині шпону, що сприяє кращому насиченню шпону солями. Логарифмічну залежність поглинання антипірену від тривалості просочування та концентрації просочувального розчину можна пояснити стрімким насиченням шпону антипіреном на початку процесу і зменшеним його поглинанням в міру насичення.

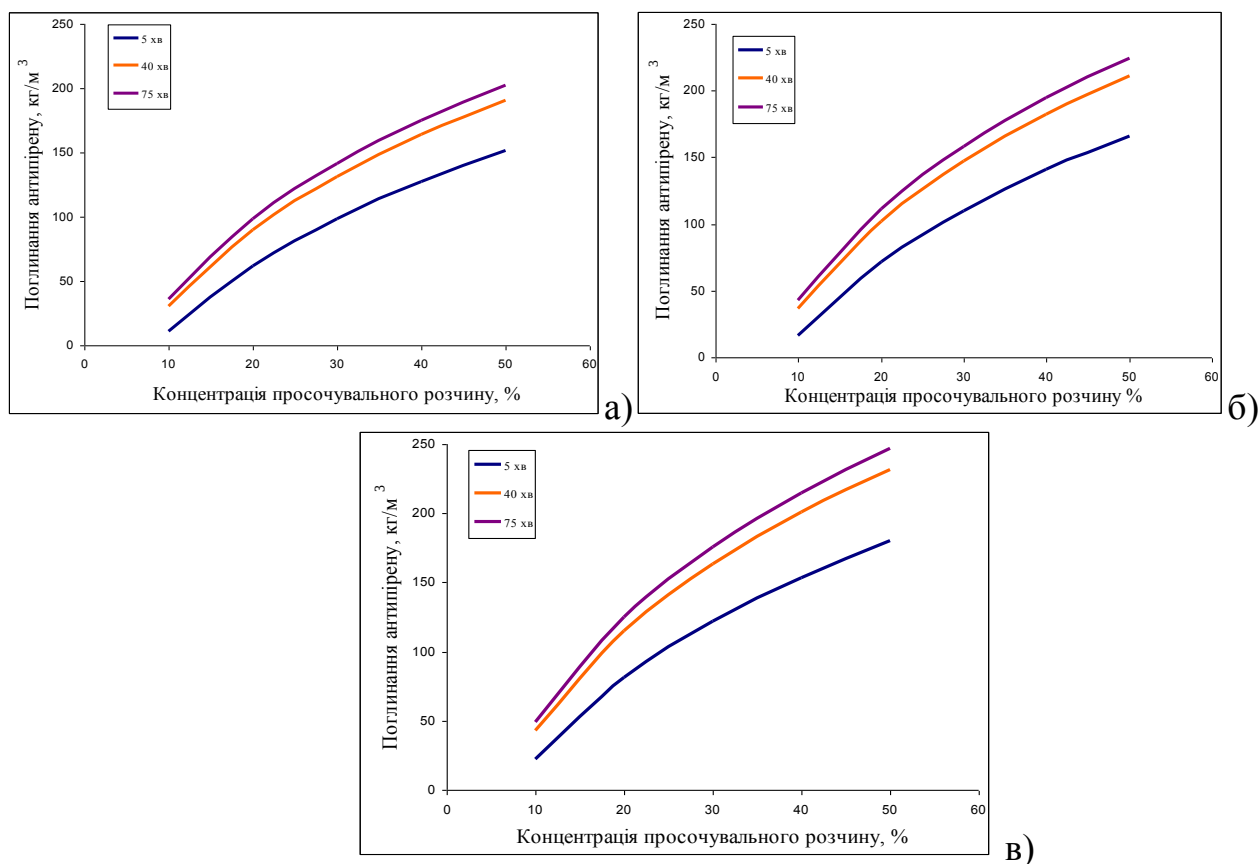


Рис. 3. Залежність поглинання антипірену від концентрації просочувального розчину: а) $T_{np}=20^{\circ}\text{C}$, б) $T_{np}=40^{\circ}\text{C}$, в) $T_{np}=60^{\circ}\text{C}$

Параметрами просочування, за яких спостерігається максимальне погли-

нання солі, є температура просочувального розчину – 60°C , концентрація просочувального розчину – 50%, тривалість процесу просочування – 75 хв. За таких параметрів просочування поглинання солі становить $251,6 \text{ кг/м}^3$.

Як бачимо з рис. 3, екстремуму функцій не спостерігається і теоретично збільшення показників режимних параметрів просочування призвели б до підвищення величини поглинання антипірену. Однак здійснити практично збільшення цих параметрів неможливо, оскільки максимальна концентрація – концентрація насиченого розчину, а температура 60°C – температура, вище якої починається розклад амонійфосфату двозаміщеного. Збільшення ж тривалості просочування є недоцільним, оскільки, як можна побачити з графіків, залежність є логарифмічною і подальше збільшення тривалості вже несуттєво впливає на поглинання антипірену.

Вплив вмісту антипірену в просоченому шпоні на вогнетривкі та міцнісні властивості фанери зображено на рис. 4, 5.

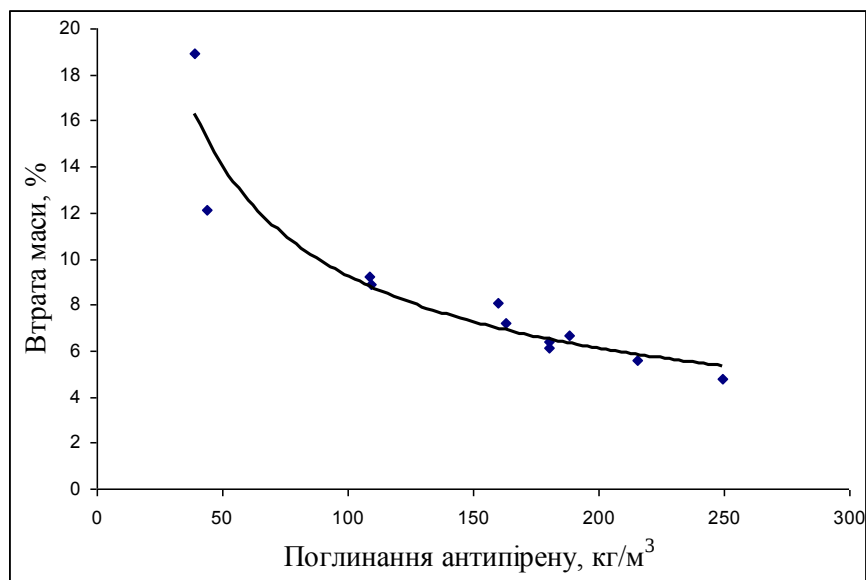


Рис. 4. Залежність втрати маси фанери від величини поглинання антипірену

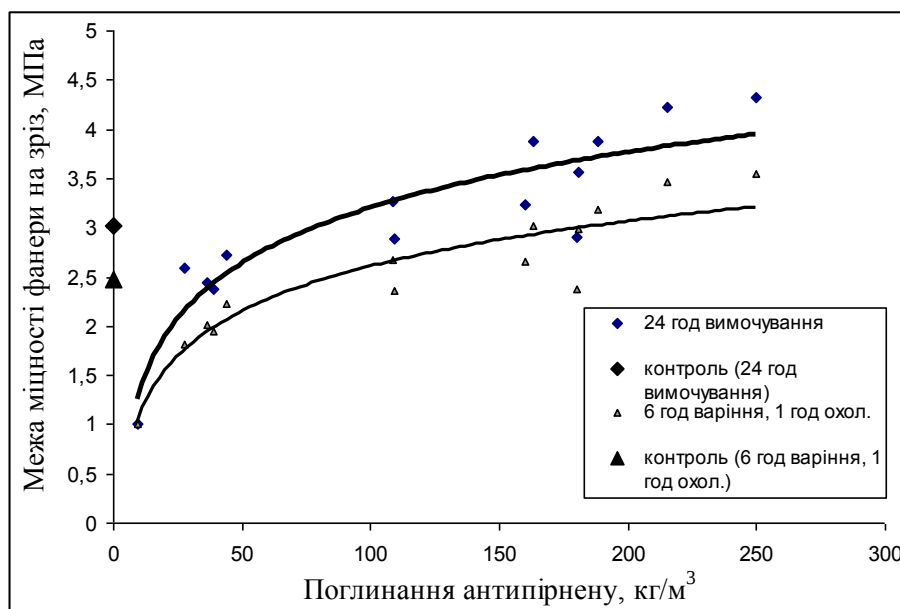


Рис. 5. Залежність міцності фанери на зріз від величини поглинання антипірену

Як можна побачити із рис. 4, збільшення вмісту антипірену у шпоні сприяє зменшенню втрати маси фанери під час вогневих випробувань. Зокрема, за вмісту у шпоні $39,1 \text{ кг/м}^3$ антипірену втрата маси фанери становила 18,9%, а тривалість горіння 30с, тління при цьому не спостерігалось. Такий деревинний матеріал належить до групи важкозаймистих матеріалів (втрата маси менша 30%). Фанера з шпону з меншим вмістом антипірену згорала повністю.

Першої групи вогнезахисту досягали у випадку, коли вміст солі у шпоні становив $109,5 \text{ кг/м}^3$. Втрата маси фанери при цьому становила 8,9%, а самостійного горіння і тління зразка не було. Варто зазначити, що фанера із вказаним вмістом солі має міцність, близьку до контрольного зразка (фанера із непросоченого шпону – 3,02 МПа (після 24 год вимочування) і 2,47 МПа (6 год кип'ятіння і 1 год вимочування)).

Мінімальна втрата маси становить 4,7 % за умови вмісту антипірену $249,5 \text{ кг/м}^3$, міцність фанери при цьому становить 4,32 МПа (після 24 год вимочування) і 3,54 МПа (після 6 год кип'ятіння і 1 год вимочування). Зростання міцності із збільшенням вмісту антипірену (див. рис. 5) можна пояснити підвищенням антипіреном кислотності поверхні шпону, що позитивно впливає на процес затвердіння фенолоформальдегідної смоли.

Залежності втрати маси (B_m , %) і міцності фанери на зріз (σ_{zp} , МПа) від величини поглинання антипірену можна описати такими функціями:

$$B_m = 147,93 \cdot Q^{-0,6018} \quad (R^2=0,92), \quad (5)$$

після 24 год вимочування

$$\sigma_{zp} = 0,8151 \cdot \ln(Q) - 0,5543 \quad (R^2=0,84), \quad (6)$$

після 6 год кип'ятіння і 1 год вимочування

$$\sigma_{zp} = 0,6598 \cdot \ln(Q) - 0,4341 \quad (R^2=0,87). \quad (7)$$

Що стосується щільності фанери, то із збільшенням вмісту солі у шпоні вона зростає. Це зумовлено заповненням пор у деревині кристалами солі, що безумовно збільшують масу одиниці об'єму фанери (рис. 6).

Залежність щільності фанери (ρ_ϕ , кг/м³) від величини поглинання антипірену можна описати функцією такого вигляду:

$$\rho_\phi = 0,6284 \cdot Q + 760,56 \quad (R^2=0,86) \quad (8)$$

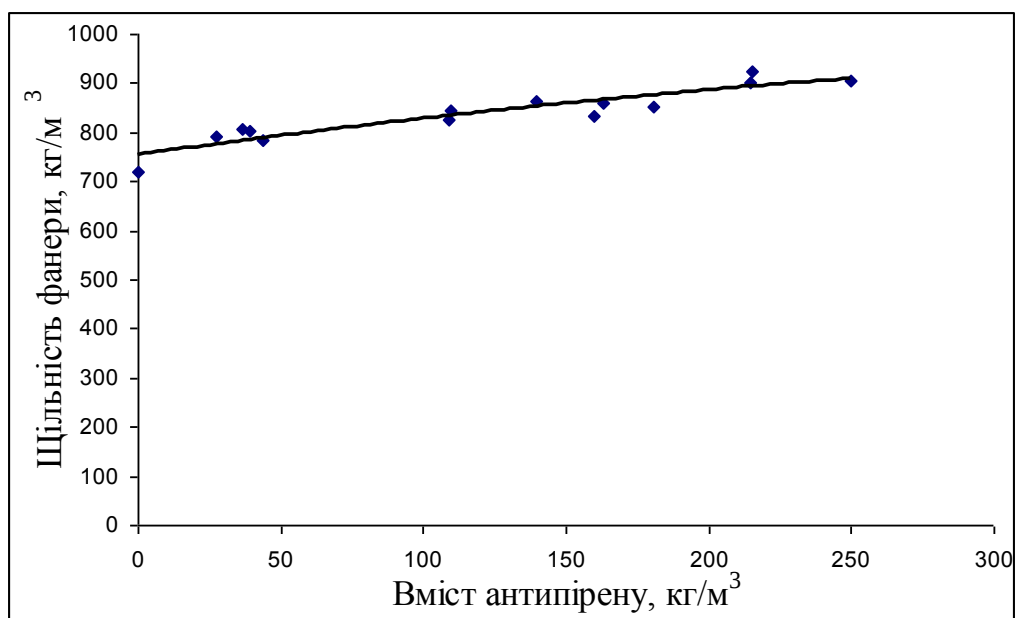


Рис. 6. Залежність щільності фанери від величини поглинання антипірену

Наявність солі у порах деревини шпону сприяє також зменшенню ступеня спресування в процесі склеювання фанери (рис. 7), що дає змогу частково економити деревинну сировину. Однак одержана таким чином вогнетривка фанера не є водостійкою, оскільки для її виготовлення використовують водорозчинні

солі, що легко вимиваються. Тому її використання обмежується внутрішніми умовами експлуатації чи зовнішніми під накриттям.

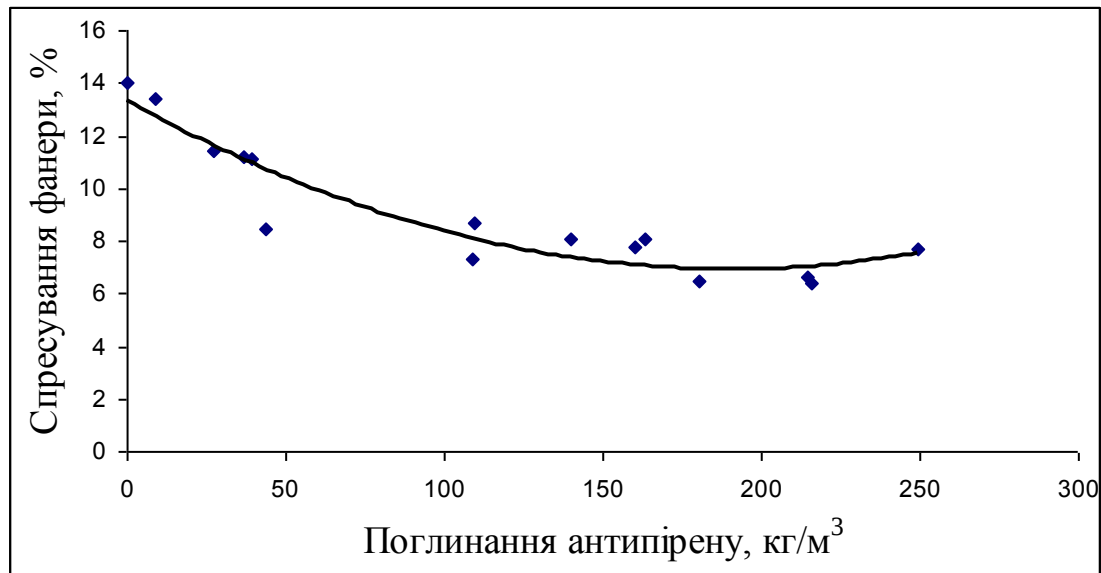


Рис. 7. Залежність спресування фанери від величини поглинання антипірену

Залежність спресування фанери (C_ϕ , %) від величини поглинання антипірену можна описати функцією такого вигляду:

$$C_\phi = 13,337 - 0,0674 \cdot Q + 0,0002 \cdot Q^2 \quad (R^2=0,88) \quad (9)$$

На рис. 8 зображено вплив величини поглинання антипірену шпоном на водопоглинання фанери.

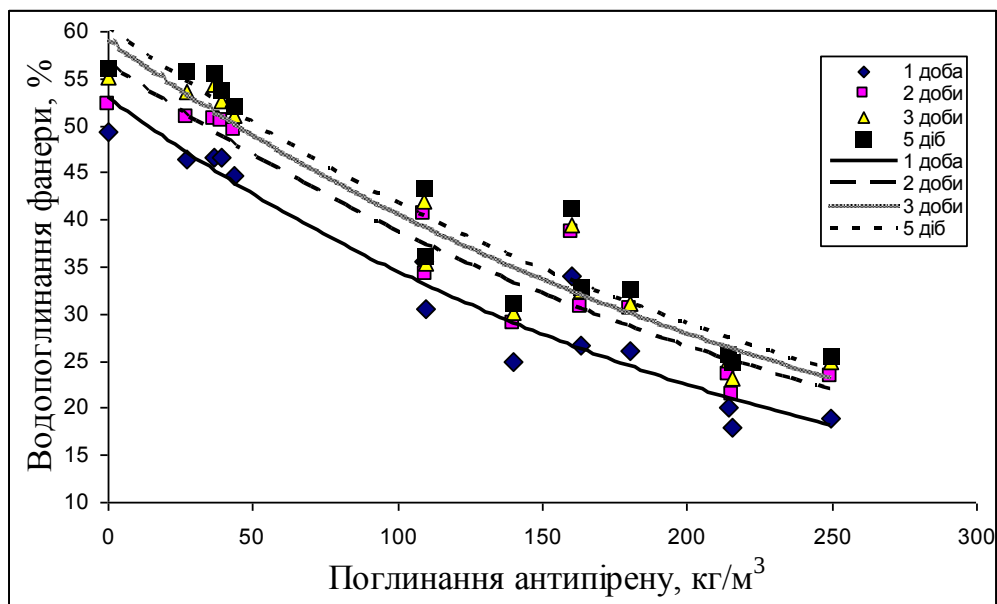


Рис. 8. Залежність водопоглинання фанери від величини поглинання антипірену

На перший погляд здається, що із підвищенням вмісту солі у шпоні водопоглинання фанери зменшується. Однак варто зазначити, що пори шпону заповнені солями. Використовувані солі є водорозчинними, тому в процесі експерименту вони розчинялися, а їхнє місце у порах деревини шпону займала вода, тому реальне значення водопоглинання визначити надзвичайно складно.

Вплив вологості на поглинання антипірену шпоном. Вплив вологості шпону на ступінь поглинання антипірену шпоном за різної тривалості просочування зображено на рис. 9.

Збільшення вологості сприяє поглинанню шпоном антипірену. Для забезпечення І групи вогнетривкості необхідне поглинання антипірену становить близько 104 кг/м^3 . Для просочування шпону вологістю понад 100% достатньо 8 хв, а шпону вологістю 70-80% – 70 хв.

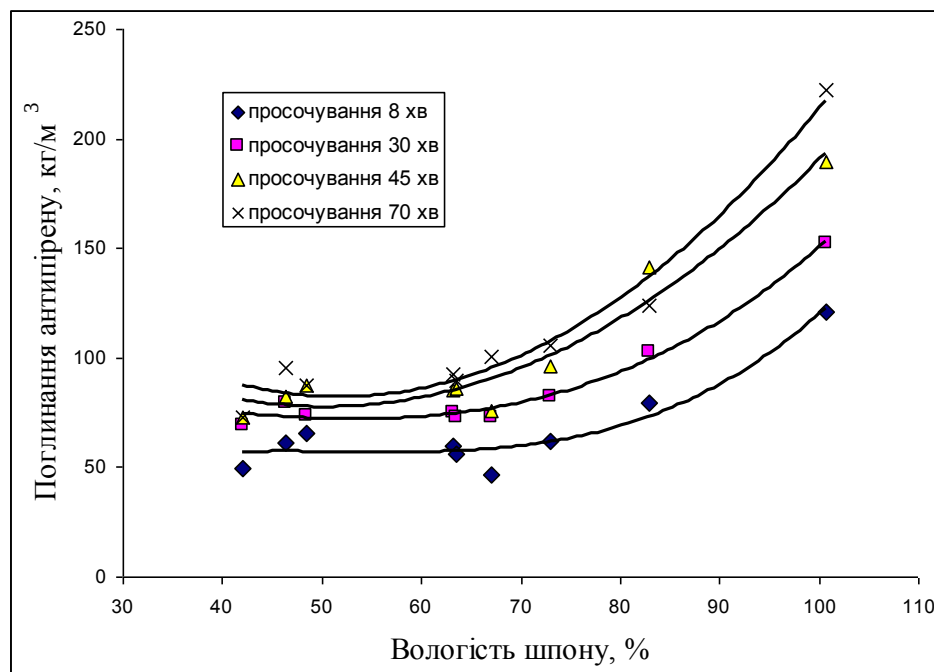


Рис. 9. Залежність поглинання антипірену від вологості шпону

Режими пресування фанери із просоченого шпону. Міцність фанери на зріз ($\sigma_{зр}$, МПа) з просоченого антипіреном шпону, залежно від параметрів пресування, можна описати залежністю:

$$\sigma_{зр} = 1,5775 + 0,173 \cdot \tau - 0,0097 \cdot T - 0,0073 \cdot q + 0,0008 \cdot \tau \cdot T - 0,0017 \cdot \tau \cdot q - 0,0004 \cdot T \cdot q + 0,007 \cdot \tau^2 + 0,0002 \cdot T^2 + 0,0003 \cdot q^2, \quad (10)$$

де: T – температура пресування, $^{\circ}\text{C}$; τ – тривалість пресування, хв; q – витрата клею, $\text{г}/\text{м}^2$.

Графічну інтерпретацію отриманої залежності зображено на рис. 10.

З графічної інтерпретації бачимо, що у діапазоні $120\text{--}160 \text{ г}/\text{м}^2$ витрата клею за температури 130°C практично не впливає на межу міцності фанери на зріз. Збільшення витрати клею від 120 до $140 \text{ г}/\text{м}^2$ за температури 115°C не призводить до зміни міцнісних характеристик фанери, хоча подальше підвищення витрати до $160 \text{ г}/\text{м}^2$ сприяє збільшенню міцності на 14% . Із збільшенням витрати від 120 до $140 \text{ г}/\text{м}^2$ за температури 145°C спостерігається зменшення межі міцності на 15% . Це пояснюється збільшенням крихкості клейового шва і його деструкцією із збільшенням його товщини в процесі підвищення температури.

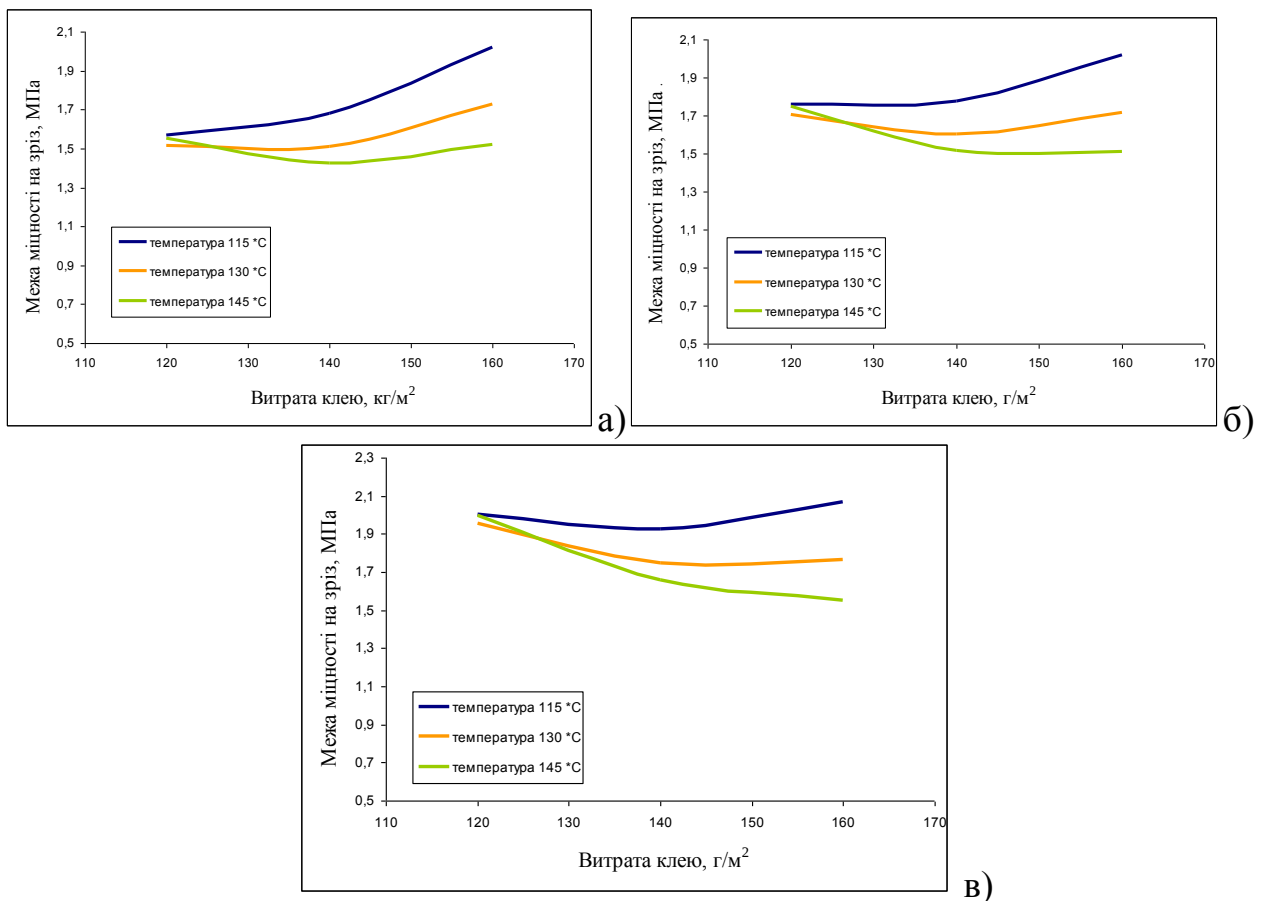


Рис. 10. Залежність межі міцності фанери на зріз від витрати клею:

а) $\tau=8$ хв, б) $\tau=10$ хв, в) $\tau=12$ хв

У досліджуваному діапазоні збільшення температури пресування не впливає на міцність фанери за витрати клею $120 \text{ г}/\text{м}^2$. Хоча за витрати 140 і $160 \text{ г}/\text{м}^2$

спостерігається стрімке зменшення межі міцності на 30% із підвищенням температури за витрати 160 г/м² і на 17% – за витрати 140 г/м².

Якщо характеризувати залежність межі міцності фанери від тривалості пресування за температури 130°C, то за витрати 160 г/м² вона залишається незмінною у досліджуваному інтервалі. Суттєвий вплив тривалості пресування на міцність спостерігається за витрати клею від 120 до 140 г/м². Зокрема, за витрати 120 г/м² і тривалості пресування 8-12 хв межа міцності фанери на зріз зростає на 29%, досягаючи значення 1,96 МПа. Збільшення межі міцності за витрати клею 140 г/м² становить 16% із збільшенням тривалості пресування від 8 до 12 хв, що зумовлено більш повним проходженням процесу затвердіння смоли. Стабільність показника межі міцності фанери за витрати 160 г/м² можна пояснити ще неповним затвердінням смоли за 8 хв та вже частковим руйнуванням збільшеного клейового шару за тривалості пресування 12 хв.

Оскільки у досліджуваному діапазоні усі параметри пресування забезпечують межу міцності, що задовольняє вимоги стандарту, їх подальше підвищення є недоцільним. Тому рекомендованими параметрами пресування є: температура плит преса – 115°C; тривалість – 8 хв; витрата клею – 120 г/м². За вказаних параметрів пресування межа міцності на зріз становить 1,57 МПа.

Висновки. Антипірени, стандартизовані для вогнезахисту деревини, може бути використано для виготовлення вогнетривкої фанери, не забезпечуючи однак при цьому необхідної міцності фанери на зріз. Виняток становить антипірен ДС (суміш амонійфосфату двозаміщеного і амонію сірчаноокислого за співвідношення 1:1). Однак антипірен ДС характеризується високою корозійною здатністю. Для зменшення корозійної здатності антипірену ДС запропоновано замінити частину амонію сірчаноокислого на амоній бромистий, одержавши антипірен такої рецептури – амонійфосфат двозаміщений : амоній сірчаноокислий : амоній бромистий за співвідношення 1:0,625:0,375.

Для дифузійного методу просочування шпону, порівняно з капілярним, характерне менше висолювання антипірену на поверхні шпону, рівномірніший його розподіл всередині шпону і менша енергомісткість.

Встановлено, що залежність поглинання антипірену від температури просочувального розчину є лінійною, а від тривалості просочування – логарифмічною. Максимальне поглинання антипірену спостерігається за температури просочувального розчину 60°C, концентрації просочувального розчину 50%, тривалості просочування 75 хв. Із збільшенням вмісту антипірену вогнетривкість фанери покращується. Однак, з урахуванням вогнезахисних і міцнісних показників фанери, а також з погляду економічності рекомендовано здійснювати просочування сирого шпону дифузійним методом за концентрації просочувального розчину 30%, температури просочувального розчину 22°C і тривалості просочування 8 хв. За таких параметрів просочування досягається поглинання антипірену близько 104,9 кг/м³, що дає змогу досягнути І групи вогнетривкості. За такої кількості антипірену у шпоні фізико-механічні властивості фанери будуть такі: втрата маси – 8,9%, межа міцності на зріз – 2,55 МПа.

Отримано математичну залежність (4) величини поглинання антипірену від параметрів просочування шпону (тривалості просочування, концентрації та температури просочувального розчину), яка дає змогу обрати параметри режиму просочування шпону та спрогнозувати величину поглинання антипірену.

Отримано математичну залежність (10) межі міцності на зріз вогнетривкої фанери від параметрів пресування просоченого антипіренами шпону (витрати клею, тривалості та температури пресування), яка дає змогу обрати параметри режиму пресування просоченого шпону та спрогнозувати межу міцності фанери на зріз. Рекомендованими технологічними параметрами пресування вогнетривкої фанери є: температура плит преса – 115°C, тривалість – 8 хв, витрата клею – 120 г/м².

Список використаних джерел

1. **А.с. 184688**, ЧССР, В 27 К 3/52. Вспенивающийся состав с огнезащитными свойствами / Ланда М., Молик Я., Седива Л. (ЧССР). - Заявл. 22.11.76, опубл. 15.08.80.
2. **Бехта П.А.** Виробництво фанери: Підручник / Бехта П.А. – К.: Основа, 2003. – 320 с.
3. **Бойко М.** Шлях до довголіття / М. Бойко // Будівництво і реконструкція. – 2003. – № 7. – С. 30-32.
4. **Оснач Н.А.** Улучшение свойств строительной древесины / Н.А.Оснач, Б.С. Складенко. – К.: Будівельник, 1973. – 111 с.
5. **Средства** защитные для древесины. Определение огнезащитных свойств покрытий и пропиточных составов методом керамической трубы: ГОСТ 16363-98 – ГОСТ 16363-98 – [Чинний від 01.01.1998]. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1998. – 6 с.
6. **Генель С.В.** Старение древесины и фанеры, пропитанных антипиренами / С.В. Генель // Лесн. пром-сть, 1946. – № 11-12. – С. 18-21.
7. **Статистика** пожеж в Україні за 2009 рік [Електронний ресурс] / Дані карток обліку пожеж що надійшли до УкрНДПБ МНС України з ГУ (У) МНС – 2010. – Режим доступу: <http://www.fireman.com.ua>.
8. **Фанера.** Якість з'єднання. Частина І. Методи випробувань: ДСТУ EN 314-1:2003 – ДСТУ EN 314-1:2003 – [Чинний від 01.07.2004]. – К.: Національний стандарт України, 2003. – 8 с.
9. **Хрулев В.М.** Защита клееных конструкций от возгорания / В.М. Хрулев, Р.И. Рыков. – Иркутск: Восточно-Сиб. кн. изд-во, 1972. – 41 с.

П.А. Бэхта, О.И. Брын

ПОВЫШЕНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ШПОНА

Изучали влияние разного типа антипиренов, методов и режимов пропитки шпона, режимов прессования фанеры из пропитанного шпона на огневые и физико-механические свойства фанеры. Предложены рецептуры антипиренов и режимы пропитки шпона и прессования фанеры, которые позволяют обеспечить ей I группу огнестойкости, переводя ее из группы материалов повышенной горючести (Г4) в группу материалов трудногорючих (Г2). Выяснено, что диффузионный метод пропитки сырого шпона по сравнению с капиллярным сухого шпона характеризуется меньшим высаливанием антипирена на поверхности шпона и более равномерным его распределением по толщине шпона. Для уменьшения коррозионной способности антипирена ДС часть аммония сернокислого замещено на аммоний бромистый и рекомендована следующая рецептура антипирена – аммонийфосфат двузамещенный : аммоний сернокислый : аммоний бромистый (1:0,625:0,375). Установлено, что зависимость поглощения антипирена от температуры пропиточного раствора является линейной, а от длительности пропитки – логарифмической. Максимальное поглощение антипирена наблюдается при температуре пропиточного раствора 60°C, концентрации пропиточного раствора 50%, длительности пропитки 75 мин. С увеличением содержания антипирена огнестойкость фанеры улучшается. Однако, с учетом огнезащитных и прочностных показателей фанеры, а также с экономической точки зрения рекомендовано осуществлять пропитку сырого шпона диффузионным методом при концентрации пропиточного раствора 30%, температуре пропиточного раствора 22°C и длительности пропитки 8 мин. Рекомендуемыми технологическими параметрами прессования огнестойкой фанеры является: температура плит пресса – 115°C, длительность – 8 мин, расход связующего – 120 г/м².

Ключевые слова: шпон, фанера, огнестойкость, прочность на срез, пропитка, антипирен, концентрация, температура пропитки, длительность пропитки, температура прессования, длительность прессования, расход связующего

THE INCREASE OF FIRE-RESISTANCE OF VENEER-BASED COMPOSITES

Influence of different types of fire-retardants, methods and regimes of veneer impregnation, regimes of plywood pressing, which it made using impregnated veneer, on the fire-resistance, physical and mechanical properties of plywood was studied. Compounding of fire-retardants and regimes of veneer impregnation and plywood pressing are offered, that provides the I-st group of heat-resistance and transfers the plywood from the group of increase combustibility materials ($\Gamma 4$) into the group of hardness combustible materials ($\Gamma 2$). It was found, that diffusive method of wet veneer impregnation is characterized by less salting-out of fire-retardants on the veneer surface and its more homogeneous distribution in the middle of veneer compared to capillary method of dry veneer impregnation. The part of ammonium sulfate is substituted for ammonium bromide for reduction of corrosive ability of the ΔC fire-retardant and the next compounding of fire-retardant – diammonium phosphate : ammonium sulfate : ammonium bromide (1:0,625:0,375) was recommended. It is investigated that dependence of fire-retardant content on the temperature of impregnation solution is linear, and on the duration of impregnation it is logarithmic. Maximum fire-retardant content is observed for the temperature of impregnation solution 60°C, concentration of impregnation solution 50%, duration of impregnation 75 min. The plywood heat-resistance gets better with the increase of fire-retardant content. Taking into account fireproof and mechanical plywood properties and the economic aspect of plywood production it is recommended to carry out wet veneer impregnation by the diffusive method for the concentration of impregnation solution 30%, temperature of impregnation solution 22°C and duration of impregnation 8 min. The recommended technological parameters of heat-resistant plywood pressing are: temperature of press plates - 115°C, duration - 8 min, glue spread - 120 g/m².

Key words: veneer, plywood, heat-resistance, shear strength of plywood, impregnation, fire-retardant, concentration, temperature of impregnation, duration of impregnation, pressing temperature, pressing duration, glue spread