

УДК 614.841.411

С.В. Жартовський, канд. техн. наук, О.В. Добростан

ФЕНОМЕНОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВОДНОЇ ВОГНЕБІОЗАХИСНОЇ РЕЧОВИНИ ФСГ-2

Представлена феноменологічна модель вогнезахисту деревини із застосуванням водної вогнебіозахисної речовини ФСГ-2. Модель розкриває сутність механізму вогнезахисту деревини і може бути використана для вдосконалення існуючих та розроблення нових ефективних засобів вогнебіозахисту деревини.

Ключові слова: феноменологічна модель, водні вогнебіозахисні речовини, вогнезахищена деревина.

S. Zhartovky, Cand. of Sc. (Eng.), O. Dobrostan

A PHENOMENOLOGICAL MODEL OF WOOD FIRE PROTECTION USING FSG-2 WATER-BASED FIRE AND BIO RETARDANT SUBSTANCE

A phenomenological model of wood fire protection using “FSG-2” water-based fire and bio retardant substance is rendered. The model reveals the essence of the mechanism of wood fire protection and it can be used for improving existing and development of some new and effective means of wood protection of fire and biological decomposition.

Keywords: phenomenological model, water-based fire and bio retardant substances, and flame-retarded wood.

Для зменшення пожежної навантаги об'єктів широко застосовується вогнезахищена деревина. В останні роки значно збільшилась кількість вогнезахисних речовин, що пропонуються для вогнезахисного оброблення деревини. Найбільш поширеним залишається поверхневе оброблення вогнезахисними покриттями та поверхневе просочення антипіренами. Все частіше знаходять застосування вогнезахисні засоби, в яких використані різні фізичні та фізико-хімічні фактори протидії вогню. В даний час в Російській Федерації сертифіковано більше 350 речовин для вогнезахисту деревини [1], а в Україні їх не більше 30, половина з яких російського виробництва.

Сучасні уявлення про процеси та механізми вогнезахисту деревини не знайшли необхідного відображення у відповідних феноменологічних моделях, а існуючі моделі є недосконалими оскільки ґрунтуються на розрізних теоретичних та експериментальних даних стосовно процесів, які при цьому реалізуються. Навіть фундаментальні роботи, присвячені вогнезахисту деревини [1–3], обмежуються загальними підходами до висвітлення зазначеної проблеми.

В теорії вогнезахисту деревини виділяють три підходи, які рекомендовано використовувати при розробленні антипіренів для вогнезахисту деревини [1]. *Термодинамічний підхід* передбачає спрямовувати піроліз деревини в сторону зменшення виходу горючих газів і збільшення виходу вуглецевовмісних залишків. *Кінетичний підхід* передбачає посилення механізму перетворення в конденсованій фазі шляхом змінення і розширення температурного інтервалу деструкції, змінення констант розкладу та збільшення енергії активації. *Технічний підхід* передбачає створення вогнезахисних ізолювальних покриттів, які без впливу на структуру деревини затримують тепло- та масоперенос.

Наведені тлумачення у своїй більшості стосуються сольових просочувальних речовин, які мають певні недоліки, зокрема, вони висолюються на поверхні деревини

протягом експлуатації. На зміну їм прийшли водні вогнезахисні речовини комбінованого типу та вогнебіозахисні речовини комплексної дії, що об'єднують дії різних факторів вогнезахисту.

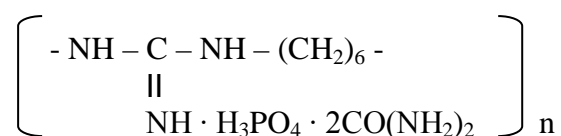
Метою даної роботи є обґрунтування феноменологічної моделі вогнезахисту деревини із застосуванням водної вогнебіозахисної речовини ФСГ-2.

Об'єктом дослідження є процеси вогнезахисту деревини водною вогнебіозахисною речовиною (ВВЗР) ФСГ-2.

Предметом дослідження є чинники впливу на процеси вогнезахисту деревини ВВЗР ФСГ-2.

Завданням даної роботи є дослідження теоретичних та експериментальних результатів впливу хімічних, фізичних, фізико-хімічних властивостей ВВЗР ФСГ-2 на утворення вогнезахисної деревини. ФСГ-2 є комплексним засобом, що об'єднує різні за природою фактори протидії вогню.

Активною основою ВВЗР ФСГ-2 є комплексна хімічна сполука – полігексаметиленгуанідингідрофосфат карбаміду (ПГМГФК копополімер). Хімічна (емпірична) формула: $(-C_9P_{26}N_7PO_6-)_n$; структурна формула:



Структурна формула показує, що комплексна сполука утворюється за рахунок активності атому азоту із складу гуанідину. Ця речовина має виражені катіоноактивні поверхнево-активні властивості. ПГМГФК копополімер має температуру плавлення $176^\circ C$, температуру розкладу $380^\circ C$. Він є дуже гігроскопічною речовиною, добре розчиняється у воді. Для ідентифікації комплексної хімічної сполуки ПГМГФК – копополімеру застосували два методи дослідження: ІЧ – спектроскопію та морфологічні (мікроскопічні) дослідження кристалохімічних процесів утворення твердої речовини [4].

Морфологічні дослідження кристалохімічних процесів утворення твердої речовини під час видалення розчинника (води) із ВВЗР ФСГ-2 показали наступне. Із зменшення кількості розчинника композиція приймає малорухомий стан (у вигляді гелю), який притаманний розчинам або розплавам високомолекулярних сполук [5]. Подальше видалення розчинника призводить до утворення плівки з специфічними кристалами, так званих сферолітів, що є кристалічною формою високомолекулярних сполук [5], на відміну від форми кристалів фосфату карбаміду, що притаманна кристалам неорганічних сполук [6].

Розчинність даної композиції у воді дуже висока, особливо з підвищенням температури. На відміну від ендотермічного процесу розчинення карбаміду у воді, процес розчинення ПГМГФК є екзотермічним. Густина ВВЗР ФСГ-2 більша за густину води, але завдяки поверхнево-активним властивостям ця речовина швидше просочує деревину. Оброблені зразки сосни розміром $150 \times 60 \times 30$ мм та $320 \times 140 \times 20$ мм, висушені до рівноважного стану, випробували за ГОСТ 30219, і було встановлено, що вони є вогнезахисними і не розповсюджують полум'я поверхнею. Спеціальними дослідженнями УкрНДІ «Ресурс» було встановлено, що композиція просочувальна ФСГ-2 забезпечує деревині необхідний рівень біостійкості за ГОСТ 26603.

Між звичайними сольовими антипіренами, що традиційно використовувались протягом минулих десятиліть, та композицією ВВЗР ФСГ-2 існують значні відмінності. Наприклад, вогнебіозахисний засіб МС, хоча складається з антипірену та антисептика, має принципово інші умови прояву вогнезахисту. Антипірен МС складається з суміші фосфатів та сульфатів амонію, а в якості антисептика використовується фтористий натрій. Після просочення деревини зазначеним вогнебіозахисним засобом після подальшого сушіння в капілярах і порах залишаються кристали (кристалогідрати) солей антипірену та антисептика. В подальшому за позитивної температури: при збільшенні вологості повітря молекули води

адсорбуються капілярами та порами поверхні деревини. У воді розчиняються солі антипірену та антисептика, а капілярні сили виносять розчин на поверхню деревини. При подальшому зниженні вологості атмосфери вони знову висоложуються в процесі випаровування води. Розглянуті фізичні процеси призводять до поступового висолоювання антипірену та антисептика на поверхні деревини. З часом за рахунок гравітаційних сил солі обсипаються з поверхні деревини, ефективність вогнезахисту деревини не уклінно знижується і через декілька років досягає неприпустимого рівня.

Зовсім інший механізм зберігання вогнебіозахисних властивостей має деревина, що оброблена засобом ФСГ-2. За позитивної температури відбувається рівноважний процес поглинання/випаровування парів води атмосфери. Але регулятором дифузійних процесів при цьому виступає гелеподібна структура самої композиції. Оскільки гель має спорідненість до води, то молекули води за рахунок прискореної дифузії можуть поступати в капіляри та пори деревини і утворювати гель з меншою концентрацією ПГМГФК та розчин цієї сполуки. При зниженні вологості повітря молекули води дифундують із гелю у зворотному напрямі. Однак гель має властивості твердого тіла, і тому ПГМГФК залишається нерухомим в капілярах і порах. Тобто гель стає бар'єром для процесу висолоювання, що також підтверджується морфологічними спостереженнями за станом поверхні вогнебіо захищених зразків деревини розміром 150x60x30 мм протягом трьох років. Гель служить дифузійним бар'єром для молекул кисню в капіляри і пори вогнебіо захищеної деревини, що підтверджується газово-хроматографічним аналізом продуктів термічної деструкції зразків деревини сосни (див. таблицю 1).

Таблиця 1 – Якісний та кількісний склад газоподібних продуктів термічної деструкції соснової деревини невогне захищеної та вогне захищеної різними засобами [7].

Газоподібні продукти термічної деструкції	Вміст речовин в летких продуктах деструкції, %		
	Не захищена деревина	Деревина, оброблена засобом МС (антипірен – суміш фосфатів та сульфатів амонію, антисептик – фторид натрію)	Деревина, оброблена ВВЗР ФСГ-2
СО	39,08	18	12,3
СО ₂	51,93	2,1	Не виявлено
СН ₄	6,05	1,2	0,38
С ₂ Н ₆ +С ₂ Н ₄	0,45	Не виявлено	Не виявлено
С ₃ Н ₈	0,19	Не виявлено	Не виявлено
С ₃ Н ₆	0,32	Не виявлено	Не виявлено
Н ₂	0,73	0,56	0,1
О ₂	0,26	0,13	Не виявлено
Н ₂	0,99	78,01	87,22

Як видно з таблиці, після деструкції необробленої та обробленої деревини вогнебіо захисними засобами ФСГ-2 та МС суміші продуктів термічної деструкції суттєво відрізняються за вмістом азоту та кількістю і якістю горючих газів. Засіб МС, в складі якого присутній антисептик фторид натрію, при термодеструкції дає менше флегматизуючого азоту та гірше впливає на зменшення горючих газів у порівнянні з фосфатами та сульфатами амонію. Це обумовлюється тим, що фторид натрію є антагоністом до солей зазначеного антипірена. Порівнюючи склад газоподібних продуктів термодеструкції деревини, що захищена засобами ФСГ-2 та МС, легко помітити, що у випадку з ФСГ-2 (завдяки гелю) в продуктах піролізу відсутній молекулярний кисень, а вміст СО зменшується на 32% і зовсім

відсутня речовина CO_2 . Отже, наведені дані підтверджують той факт, що при застосуванні ФСГ-2 деструкція деревини проходить з великим дефіцитом кисню повітря. До того ж спостерігається зменшення кількості горючих газів, особливо водню та метану.

Велика кількість азоту в газоподібних продуктах термічної деструкції вогнезахищеної деревини засобом ФСГ-2 сприяє їх флегматизування. Це призводить до зміни параметрів і показників матеріалу, які характеризують його пожежовибухонебезпечність. Цілеспрямованими дослідженнями [8] було встановлено, що температура займання вогнебіозахищеної деревини збільшується на $85\text{ }^\circ\text{C}$ (з $230\text{ }^\circ\text{C}$ для необробленої деревини до $315\text{ }^\circ\text{C}$ для вогнебіозахищеної деревини), а температура самозаймання – на $45\text{ }^\circ\text{C}$ (з $435\text{ }^\circ\text{C}$ для необробленої деревини до $480\text{ }^\circ\text{C}$ для вогнебіозахищеної деревини). Наведені результати свідчать, що продукти термічного розкладу антипірену (суміш фосфатів та сульфатів амонію) роблять значний внесок в процес флегматизування продуктів деструкції макромолекул целюлози.

Експериментально дослідити такі процеси на даному етапі розвитку науки ще неможливо, тому були проведені теоретичні дослідження процесів, які відбуваються в капілярах та порах в поверхневому шарі вогнебіозахищеної деревини. Як свідчать результати газово-хроматографічного аналізу продуктів термічної деструкції макромолекул целюлози вогнебіозахищеної деревини, в ній відбуваються ланцюгові реакції, що подібні до реакцій полум'яного горіння вуглеводнів [9]. Для зазначених процесів характерним є нижня концентраційна межа займання, за якої продукти термічної деструкції деревини, зафлегматизовані продуктами термічного розкладу антипіренів, здатні до самозаймання після досягнення значення температури в $480\text{ }^\circ\text{C}$.

Процес гальмування ланцюгових реакцій в поверхневому шарі вогнебіозахищеної деревини розглянемо з позицій утворення іон-молекулярних та іон-радикальних комплексів (ІМК, ІРК) між активними центрами продуктів термічного розкладу макромолекул целюлози (H^+ , O^+ , OH^+ , CH_3^+ , CH^+ , HO_2^+ та інші) та продуктами термічного розкладу ПГМГФК (H_2PO_4^+ , HPO_4^+ , PO_4^+ , PO_3^+ , PO^+ ; NH_4^+ , NH_3^+ , NH_2^+ , NH^+ , N_2^+ , NO^+ , NO_2^+ та інші). Цей процес гомогенного і гетерогенного інгібування можливо змодельовати [10]. Одною з процедур моделювання може бути розрахунок енергій активації ($E_{\text{кул}}$) ІМК (ІРК) за запропонованим в [11] полуемпіричним методом, що ґрунтується на схемі розрахунку ефективних зарядів на атомах, іонах, радикалах.

Велика кількості активних центрів продуктів деструкції макромолекул целюлози та атомів, іонів, молекул ПГМГФК обумовлюють також велику кількість ІМК та ІРК. Але нас будуть цікавити характеристичні властивості цих комплексів. В таблиці 2 наведено значення $E_{\text{кул}}$ для ІМК та ІРК фосфоровмісних речовин з кисневмісним та водневмісними активними центрами (АЦ), а в таблиці 3 наведено значення $E_{\text{кул}}$ для ІМК та ІРК азотовмісних речовин з кисневмісним та водневмісними активними центрами. Зробимо ранжування і класифікацію величин енергій активації ІМК (ІРК).

Таблиця 2 – Значення $E_{\text{кул}}$ для фосфоровмісних ІМК (ІРК)

ІМК (ІРК) з кисневмісними АЦ		ІМК (ІРК) з водневмісними АЦ	
Комплекс	$E_{\text{кул}}$, ккал/моль	Комплекс	$E_{\text{кул}}$, ккал/моль
$\text{PH}_4^+ \cdot \text{OH}_2$	14,0	$\text{PO}_3^+ \cdot \text{HOH}$	10,8
$\text{HPO}_4^+ \cdot \text{O}$	22,1	$\text{HPO}_4^+ \cdot \text{CH}_3$	69,8
$\text{H}_2\text{PO}_4^+ \cdot \text{CO}$	37,9	$\text{PO}_3^+ \cdot \text{H}$	34,1
$\text{PO}^+ \cdot \text{O}$	12,0	$\text{PO}^+ \cdot \text{H}$	37,7
$\text{PO}_3^+ \cdot \text{OH}$	21,2	$\text{P}_2\text{O}_2^+ \cdot \text{H}$	79,1
$\text{P}_2\text{O}^+ \cdot \text{O}$	12,1	$\text{PO}^+ \cdot \text{CH}_3$	40,3
$\text{P}_2\text{O}_2^+ \cdot \text{O}$	14,3	$\text{P}_2\text{O}_5^+ \cdot \text{CH}_3$	45,6
Середнє значення	19,1	Середнє значення	45,6

Таблиця 3 – Значення $E_{кул}$ для азотовмісних ІМК (ІРК)

ІМК (ІРК) з кисневмісними АЦ		ІМК (ІРК) з водневмісними АЦ	
Комплекс	$E_{кул}$, ккал/моль	Комплекс	$E_{кул}$, ккал/моль
$NH_4^+ \cdot OCO$	17,1	$NH_4^+ \cdot CH_4$	9,4
$H_2NO^+ \cdot HOH$	15,8	$NH_4^+ \cdot HCN$	29,3
$NH_4^+ \cdot OH_2$	20,8	$NO^+ \cdot H_2$	9,2
$NO^+ \cdot O_2$	14,6	$NH^+ \cdot N_2$	50,0
$2N_2^+ \cdot O_2$	30,7	$N_2H^+ \cdot H_2$	13,1
$NO_2^+ \cdot CO_2$	7,7	$NH_2^+ \cdot H$	33,2
$H_2N^+ \cdot NO_2$	13,5	$NH^+ \cdot CH_2$	92,3
Середнє значення	17,1	Середнє значення	33,8

Розглядаючи результати розрахунків $E_{кул}$ для ІМК (ІРК), що наведені в таблиці 2, можна стверджувати, що значення $E_{кул}$ значно більші для комплексів фосфоровмісних речовин з водневмісними АЦ, ніж для комплексів з кисневмісними АЦ. Така ж залежність значень $E_{кул}$ для комплексів азотовмісних речовин, що наведено в таблиці 3. Необхідно відзначити, що фосфоровмісні речовини утворюють більш міцні ІМК (ІРК) з водневмісними АЦ, ніж азотовмісні речовини, і навпаки: азотовмісні речовини утворюють більш міцні ІМК (ІРК) з кисневмісними АЦ, ніж фосфоровмісні речовини.

Можна прогнозувати, що при використанні сумішей фосфоровмісних речовин та азотовмісних речовин (продуктів розкладу ПГМГФК) з'явиться вибірковість кисневмісних АЦ (O' , $O'H$, HO_2' тощо) та водневмісних АЦ (H' , OH' , $C'H_3$, $C'H_2$ тощо) до різних продуктів термічного розкладу зазначеної речовини, що в результаті може привести до підвищення ефективності як гомогенного, так і гетерогенного інгібування ланцюгових реакцій горіння різних органічних речовин, тобто до ефекта синергізму. Таке явище, в свою чергу, можна використати для підвищення ефективності вогнезахисту деревини при відпрацюванні рецептури антипірену на основі ПГМГФК.

Експериментальними дослідженнями [7] було встановлено наявність ефекта синергізму при гомогенному інгібуванні горіння N -гептану засобом ФСГ-2.

За допомогою термічних досліджень незахищеної деревини та деревини, вогнебіо захищеної засобом ФСГ-2, можна визначити значні відмінності процесів їх термічної деструкції. За однаковий час нагрівання (~ 40 хв.) зразок незахищеної деревини втрачає до 50% своєї маси і перетворюється в кокс, а зразок вогнезахисної деревини втрачає не більше 22%, і його поверхня перетворюється в модифікований антипіренами кокс. Через 75 хвилин при температурі $600^\circ C$ зразок незахищеної деревини втрачає 95% своєї маси, решту становить залишок неорганічних речовин. За той же час зразок вогнезахисної деревини втрачає всього 65% своєї маси і нагрівається до $420^\circ C$. Тільки через 120 хвилин цей зразок нагрівається до $650^\circ C$ і втрачає 80% своєї маси. Таким чином, спостерігається значне сповільнення процесів термодеструкції у зразків деревини, які оброблені засобом ФСГ-2. Зазначені відмінності обумовлюються утворенням модифікованого антипіренами коксу на поверхні вогнезахисної деревини. Саме цей шар стає бар'єром для прогрівання та деструкції внутрішніх шарів деревини.

Процес утворення модифікованого антипіренами коксу досліджували також під час вогневих випробувань дерев'яних конструкцій куполів культових споруд (ДКККС), найбільш поширених в Україні [12]. При випробуваннях необроблених брусків пожежної навантаги (64 МДж/м^2) у вигляді макета ДКККС (рисунок 1, а) було встановлено, що максимальне значення температури досягає $977^\circ C$ (вигорання 5 л бензину марки А-76 протягом 300 с). Після вигорання вогнища класу В спостерігалось самостійне горіння

дерев'яних брусків до моменту їх руйнування, яке відбулося через 40 хв. після початку вогневих випробувань (див. таблицю 4).



а) б) в) г)

Рисунок 1 – Фрагмент натурних вогневих випробувань дерев'яних брусків макету пожежної навантаги куполу культової споруди, що були оброблені вогнезахисною речовиною ФСГ-2 способом поверхневого нанесення

а) вид макету пожежної навантаги до випробувань; б-г) стан дерев'яних брусків макету пожежної навантаги після випробувань

Таблиця 4 – Результати досліджень вогневих випробувань макету ДКККС, дерев'яні бруски якого необроблені та оброблені засобом ФСГ-2.

Зразки для випробування	Спосіб оброблення	Тривалість впливу вогнища класу В, с	Критерій оцінювання			
			Максимальне значення температури під час горіння вогнища класу В, °С	Швидкість втрати маси, кг/хв.	Глибина обуглення, мм	Швидкість обуглення, мм/хв
Необроблені дерев'яні бруски	-	300	977	1,5	Повне вигорання за 40 хв.	0,8
Дерев'яні бруски, оброблені засобом ФСГ-2	Поверхнєве нанесення ФСГ-2	300	620	0,75	2,0	0,4
	Поверхнєве нанесення ФСГ-2	720	680	0,75	5,0	0,4

Під час натурних вогневих випробувань макета ДКККС, дерев'яні бруски якого оброблені поверхневим нанесенням засобу ФСГ-2, було встановлено, що максимальна температура складає 620 °С в умовах впливу вогнища класу В впродовж 300 с, та 680 °С за умови впливу вогнища протягом 720 с. Після вигорання вогнища класу В в обох випадках

спостерігали відсутність полум'яного горіння та жару на поверхні дерев'яних брусків. Морфологічний стан поверхонь зразків дерев'яних брусків після вогневих випробувань наведено на рисунку 1 (в, г). Із тріщин модифікованого коксу (особливо після впливу вогнища класу В протягом 720 с) спостерігали вихід пари продуктів термічної деструкції деревини, але у відсутності джерела займання їх горіння не відбулося. Критерії оцінювання вогнезахисної ефективності наведені в таблиці 4. Слід відзначити збереження швидкості обуглення на рівні 0,4 мм/хв. за збільшення тривалості впливу вогнища класу В у 2,4 рази. Отже, за відсутності джерела займання на поверхні модифікованого коксу процес обуглення припиняється зовсім, що свідчить про високу ефективність вогнезахисту деревини засобом ФСГ-2.

Закономірності, які виявлені під час теоретичних і експериментальних досліджень, дозволяють побудувати феноменологічну модель вогнезахисту деревини із застосуванням водної вогнебіозахисної речовини ФСГ-2.

В процесі вогнебіозахисного оброблення деревини ВВЗР ФСГ-2 утворюється захищений поверхневий шар деревини. Капіляри та пори цього шару заповнені гелем ПГМГФК, концентрація гелю змінюється із зміною вологості повітря. Отже, цей шар деревини проявляє себе регулятором вологості вогнезахисної деревини та служить бар'єром для проникнення додаткового кисню в цей шар на початковій стадії впливу вогню на вогнезахиснену деревину.

З підвищенням температури у вогнезахисному шарі деревини до 95 °С прискорюється процес дегідратації геля ПГМГФК, що супроводжується виходом газоподібних речовин (NH_3 , H_2O , N_2), а за досягнення значення температури 100 °С випаровується вода і утворюються сфероліти ПГМГФК у вигляді полімерної плівки. Вона стає бар'єром для дифузії молекул кисню з повітря в капіляри і пори деревини, що позначається на процесі термодеструкції макромолекул целюлози і на якісному складі газів. В продуктах деструкції майже відсутній водень, а інші гази зафлегматизовані продуктами термічного розкладу ПГМГФК. За температури вище 175 °С в об'ємах капіляр і пор починаються ланцюгові реакції окиснення метану, етану та інших речовин, але в присутності продуктів термічного розкладу антипірену утворюються іон-молекулярні та іон-радикальні комплекси між ними та активними центрами ланцюгових реакцій. Тобто відбуватимуться реакції гомогенного та гетерогенного інгібування горючих газів, що призводить до їх флегматування.

За температур 190 – 250 °С відбувається прискорення деструкції деревини, що призводить до утворення модифікованого антипіреном шару коксу. Цей шар виконує функцію термічного бар'єру по відношенню до глибших шарів деревини (ненасичених антипіреном). Необхідно відзначити, що на поверхні модифікованого коксу не утворюється жар, тобто відсутнє конденсоване горіння коксу, що для звичайної деревини стає джерелом займання. При виході на поверхню шару модифікованого коксу газові продукти деструкції залишаються зафлегматизованими, полум'яне горіння відсутнє.

Найбільша інтенсивність деструкції деревини відбувається в температурному діапазоні 230 – 350 °С. На поверхні модифікованого шару коксу з'являються тріщини, які з підвищенням температури збільшуються, а їх глибина досягає шару незахищеної деревини. По тріщинах прискорюється теплопередача до деревини, що прискорює, в свою чергу, її деструкцію, тобто концентрація горючих газів збільшується. Газове середовище над модифікованим коксом поступово переходить з області нижньої концентраційної межі займання до зони горіння. За температури 400 °С полімерна структура антисептика також перетворюється на кокс.

Коли джерелом займання є відкрите полум'я, то за температури 410 °С концентрація горючих газів деструкції вогнезахисної деревини досягає межі горіння, і тому спостерігається стійке горіння. Тобто зазначена температура є температурою займання деревини, вогнезахисної засобом ФСГ-2. Слід зазначити, що при цьому на поверхні модифікованого коксу не відбувається утворення необхідного жару, який міг би забезпечити

рівноважну фазу горіння. Тому при відстороненні полум'яного джерела займання горіння газів припиняється. Для утворення жару на поверхні необхідна певна тривалість впливу джерела займання і підвищення температури, вище температури самозаймання вонезахищеної деревини, до температурного діапазону 490 – 563 °С. Такий широкий температурний діапазон пов'язаний з тим, що для досягнення рівноважного процесу горіння необхідне певне вигоряння модифікованого коксу, а цей процес є неоднорідним по поверхні вогнезахищеної деревини.

Таким чином, розроблена феноменологічна модель вогнезахисту деревини із застосуванням водної вогнебіозахисної речовини ФСГ-2 формує уяву про процеси вогнезахисту деревини комплексною сполукою - ПГМГФК, що підсилена синергетичною дією її складових. Зазначена модель розкриває сутність механізму вогнезахисту деревини і може бути використана для вдосконалення існуючих та для розроблення нових ефективних засобів вогнебіозахисту деревини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Способы и средства огнезащиты древесины: руководство. 4-е издание, переработанное и дополненное. М.: ВНИИПО, 2011. - 80 с.
2. Романенков И.Г., Левитас Ф.А. Огнезащита строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1991, - 270 с.
3. Тычино Н.А. Огнезащита и биозащита древесины и материалов на основе целлюлозы. Практическое пособие. – Минск, ИООО «Право и экономика», 2008, - 68 с.
4. Жартовський С.В., Соколенко К.І., Рихліцький Д.І. Композиційна просочувальна вогнезахисна речовина для вогнебіозахисту деревини і тканин // Науковий вісник УкрНДІПБ: наук. журнал. Київ, 2010, №2 (22), С. 30-37.
5. Тагер А.А. Физикохимия полимеров. М.Химия, 1978, 370 с.
6. Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия. В 2 кн., кн. 1 «Общие теоретические основы». Качественный анализ. 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк. 2003. – 615 с.
7. Жартовський С.В. Шляхи створення та використання просочувальних вогнебіозахисних засобів ДСА-1, ДСА-2 для деревини і фанери. Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць.- Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2010, - №5, - С.36-55.
8. Жартовський В.М., Жартовський С.В., Добростан О.В., Коваленко В.В., Шеверев Є.Ю. Вибір методу оцінювання якості вогнезахисного оброблення дерев'яних будівельних конструкцій // Науковий вісник УкрНДІ ЦЗ, – 2012, №1(23), - С.137 – 144.
9. Баратов А.Н., Молгадский И.С. Горение на пожаре. М.: ВНИИПО, 2011. – 503 с.
10. Ксандопуло Г.И. Химия горения. М.: Химия, 202 с.
11. Каганюк Д.С., Жартовский В.М. Полуэмпирический метод расчета ряда физико-химических параметров. Монография. – К.: Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2006, - 273 с.
12. Ніжник В.В., Жартовський В.М., Жартовський С.В., Гутнік О.П. Вогнебіозахист деревини та дерев'яних конструкцій куполів культових споруд // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – Київ: УкрНДІПБ – 2011. - № 2 (24). – С. 1 – 8.