

УДК 614.842

**КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ  
ВОГНЕЗАХИСТУ ІНТУМЕСЦЕНТНОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ДЕРЕВИНИ**

**Ю. В. ЦАПКО**, доктор технічних наук, професор кафедри технології  
деревообробки,

**О. Ю. ЦАПКО**, аспірант\*

**Національний університет біоресурсів і природокористування  
України**

*E-mail:* juriyts@ukr.net

**Анотація.** Запропоновано комплексний підхід до оцінювання ефективності застосування інтумесцентного покриття для деревини, особливістю якого є дослідження вогнезахисної ефективності покриття, встановлення пожежонебезпечних властивостей та дослідження експлуатаційних характеристик. Вирішення цієї задачі проведено за стандартними методиками. Виявлено, що для необробленої деревини проходить швидкий процес займання матеріалу і виділення значної кількості тепла, для вогнезахищеної деревини температура є нижчою, аніж температура займання деревини. З метою встановлення вогнезахисної ефективності при застосуванні покриття були проведені дослідження щодо визначення групи горючості деревини за показниками втрати маси та приросту температури димових газів і встановлено, що при обробленні покриттями деревина переходить до групи важкогорючих матеріалів. Експериментальними дослідженнями з'ясовано, що після розміщення зразка деревини у випробувальній камері починається його займання з виділенням значної температури та поширення полум'я поверхнею, натомість для зразка вогнезахищеної деревини йде поступове зниження температури, тобто зафіксовано роботу покриття, а відповідно зниження димоутворювальної здатності деревини, вогнезахищеної покриттям. Встановлено, що в результаті поверхневого оброблення інтумесцентним покриттям вироби втрачають здатність змочуватися водою та її поглинати, що забезпечує їм стійкість до дії атмосферних факторів, та у декілька разів зменшується проникність компонентів антипірену, що спричиняють корозію.

**Ключові слова:** вогнестійкість, покриття, деревина, втрата маси, температура, полум'я, оброблення поверхні.

**Актуальність.** Пожежі, що сталися упродовж останніх років, призвели до загибелі людей від небезпечних факторів, таких як димоутворення та токсичність продуктів горіння. Це спонукало до

---

\* Науковий керівник – доктор технічних наук О. О. Пінчевська.

випробувань на димоутворення, але тільки щодо текстильних матеріалів, які використовують усередині приміщень.

Проведеними дослідженнями встановлено [1], що необроблений зразок деревини здатний до займання та поширення полум'я поверхнею після запалювання, що призводить до значного димоутворення. Застосування покриттів дає змогу сповільнити прогрівання матеріалу і зберігати свої функції при пожежі протягом заданого періоду часу. Однак переведення деревини до важкогорючих матеріалів не завжди позначається на інших показниках, зокрема на димоутворенні й токсичності продуктів горіння матеріалу [2; 3].

Дослідження ефективності вогнезахисту деревини є невирішеною складовою забезпечення вогнестійкості будівельних конструкцій, тому є потреба комплексного визначення пожежонебезпечних властивостей. Це і зумовило необхідність проведення досліджень у цьому напрямі.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Особливість вогнезахисту дерев'яних будівельних конструкцій сучасними засобами полягає у створенні на поверхні елементів теплоізолюючих екранів, які витримують високі температури й безпосередню дію вогню і зберігають свої функції упродовж заданого періоду часу [4].

Сучасні методи вогнезахисту передбачають використання покриттів, що спучуються, які являють собою складні системи органічних і неорганічних компонентів і характеризуються високою інтумесцентною здатністю. Ефективність застосування вогнезахисних покриттів на основі органічних речовин показано в роботі [5]: за рахунок дії антипіренів на основі поліфосфорних кислот і спінювачів можливо значно впливати на формування порового шару пінококсу. Значного підвищення стійкості, щільності й міцності коксового шару досягають унаслідок направленою формування полімерних добавок. Тому перспективним напрямом досліджень є підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій за допомогою вогнезахисних засобів. У більшості випадків їх модифікують полімерними комплексами і антипіренами, однак такі покриття належать до матеріалів, що легко вимиваються і придатні для внутрішніх приміщень [6].

Автори з європейських країн довели дуже висока ефективність вогнезахисту целюлозовмісних матеріалів. Оброблені матеріали переводять до групи важкогорючих, із низькою димоутворювальною здатністю, які не поширюють полум'я поверхнею, проте не визначено, як саме відбувається процес [7].

Тому встановлення ефективності вогнезахисного покриття, впливу компонентів, які входять до його складу, на цей процес та комплексне визначення ефективності вогнезахисту є невирішеною складовою забезпечення вогнестійкості будівельних конструкцій. Це і зумовило необхідність проведення досліджень у цьому напрямі.

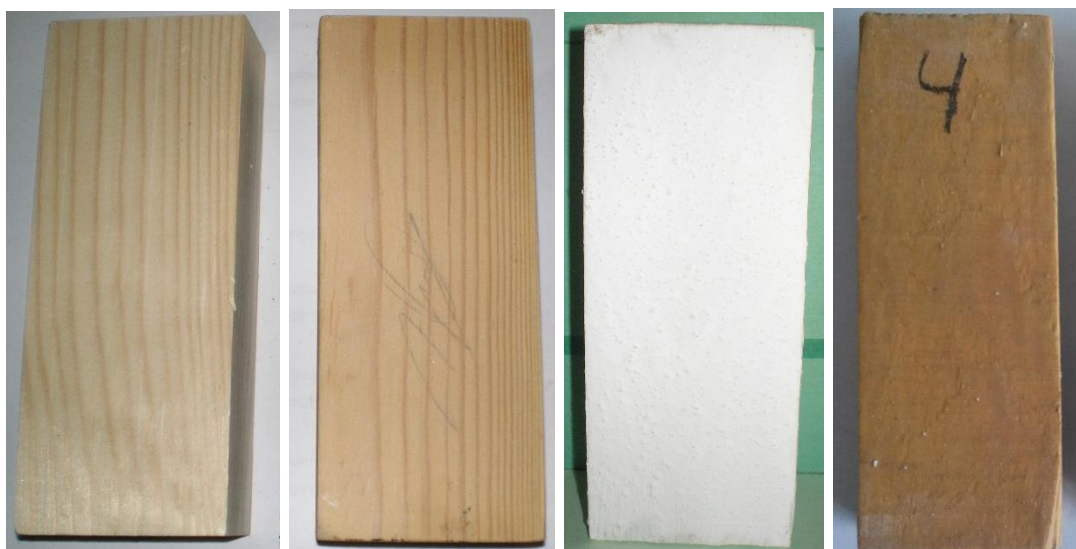
Мета дослідження. Метою роботи було дослідити ефективність деревини обробленої покриттями за комплексного підходу до визначення пожежонебезпечних властивостей.

**Матеріали і методи дослідження.** Для встановлення горючості, поширення полум'я і димоутворення деревини, а також атмосферостійкості вогнезахисної деревини використовували зразки деревини, необроблені й оброблені (рис. 1):

- просочувальними розчинами на основі сульфату і фосфату амонію;
- вогнезахисним інтумесцентним покриттям;
- неорганічним покриттям.

Дослідження з визначення групи горючості, індексу поширення полум'я та димоутворення деревини, обробленої покриттям, проводили шляхом розміщення зразка деревини у випробувальній камері, після чого починалося його займання з виділенням значної температури та поширення полум'я і димоутворення.

Визначення атмосферостійкості покриття проводили при коливаннях температури і вологості.

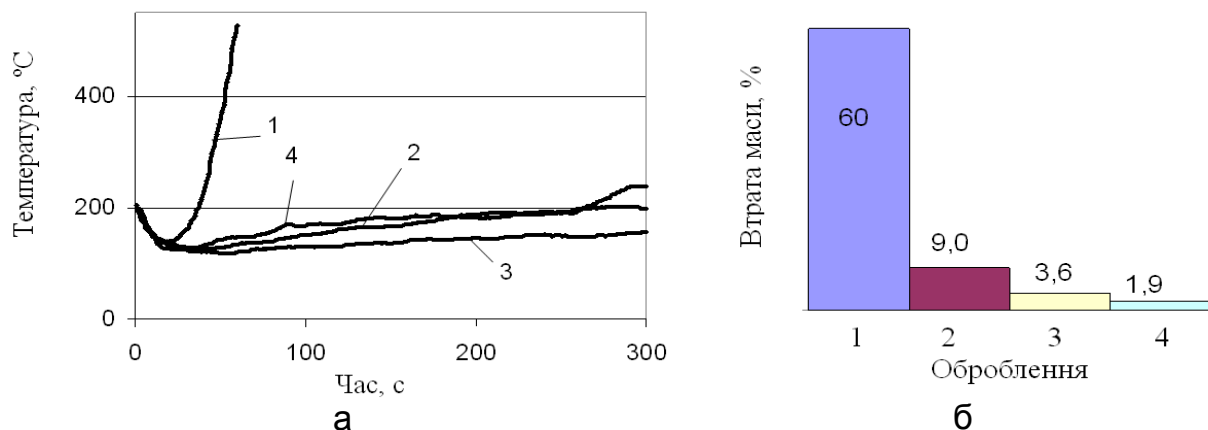


**Рис. 1. Модельні зразки вогнезахисної деревини: а – необроблений, б – оброблений вогнезахисним просоченням; в – оброблений вогнезахисним інтумесцентним покриттям; г – оброблений вогнезахисним покриттям на неорганічній основі (патент України на корисну модель № 95440)**

**Результати дослідження та їх обговорення.** Для встановлення вогнезахисної ефективності при дослідженні просочувального розчину і покриттів було проведено дослідження щодо визначення групи горючості деревини при обробленні зазначеними композиціями. Результати досліджень із визначення втрати маси зразків ( $\Delta m$ , %) та приросту максимальної температури газоподібних продуктів горіння ( $\Delta t$ , °C) зразків вогнезахисної деревини, проведених у лабораторних умовах, наведено на рис. 2.

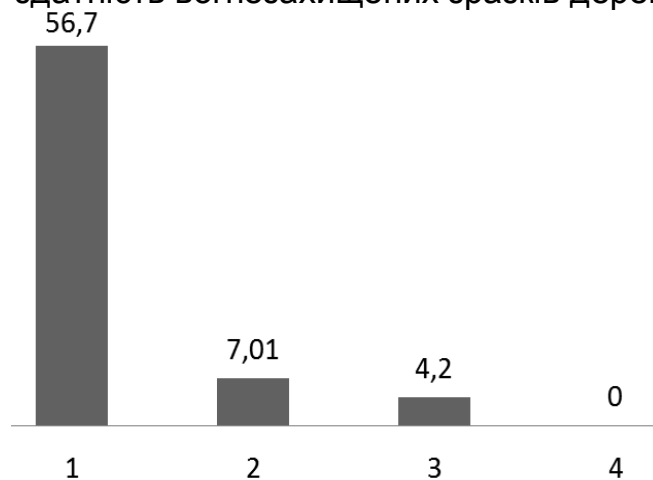
Дослідження показали, що деревина належить до горючих матеріалів, просочена деревина витримала температурний вплив і належить до важкогорючих матеріалів за показником втрати маси. За

початкової температури газоподібних продуктів горіння  $T=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при дії полум'я пальника на захищений зразок покриттям (крива 3), температура газоподібних продуктів горіння становила  $T\leq 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а втрата маси не перевищила 2 % (рис. 2б).



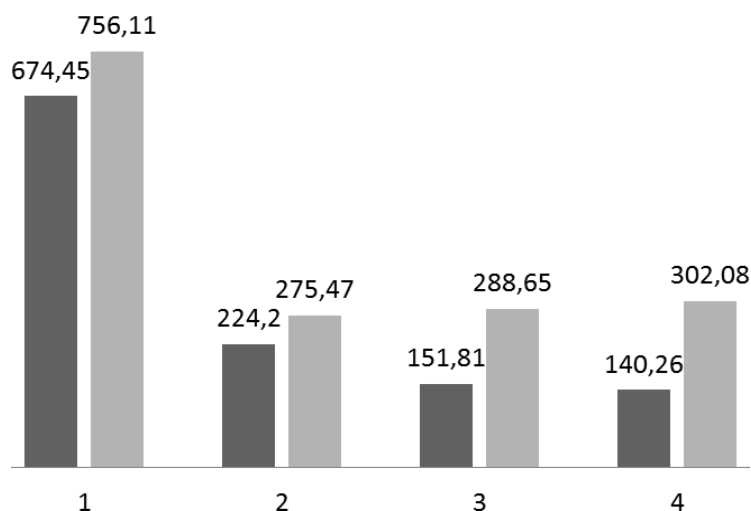
**Рис. 2. Динаміка наростання температури димових газів (а) та результати втрати маси зразків (б) вогнезахисної деревини: 1 – необроблена; 2 – просочення; 3 – покриттям на неорганічній основі; 4 – інтумесцентним покриттям**

Визначено індекс поширення полум'я поверхню та димоутворювальну здатність вогнезахисних зразків деревини (рис. 3, 4).



**Рис. 3. Індекс поширення полум'я по поверхні зразків деревини: необроблена (1), вогнезахисна: просоченням ДСА-1 (2), покриттям на неорганічній основі (3), інтумесцентним покриттям (4)**

Як видно з рис. 3, індекс поширення полум'я необробленого зразка становить 56,7, натомість для оброблених зразків це значення знижується у 8 разів, а при застосуванні інтумесцентного покриття поширення полум'я не відбулося.



**Рис. 4. Значення коефіцієнта димоутворення у режимах полуменового горіння та тління зразків деревини: необроблена (1), вогнезахисна: просоченням ДСА-1 (2), покриттям на неорганічній основі (3), інтумесцентним покриттям (4)**

Середнє значення коефіцієнта димоутворення для деревини в режимі тління становить 756,11 м<sup>2</sup>/кг, тож така деревина належить до матеріалів із високою димоутворювальною здатністю. Вогнезахистне оброблення покриттям знижує димоутворення деревини у чотири рази, цей матеріал класифікують як такий, що має помірну димоутворювальну здатність.

З практичного погляду важливим є не тільки доведення доцільності вогнезахисту деревини, а й вивчення її корозійності, водопоглинання та вимивання.

Експлуатаційна надійність дерев'яних конструкцій залежить від якості та реакційної здатності модифікатора, а також від умов експлуатації об'єкта, де застосовують ці матеріали.

Прискорена дифузія антипірену з деревини передбачає такі етапи: *перший* – модифіковані зразки деревини поміщують у камеру вологи і витримують за температури (40±2) °С і відносної вологості повітря (97±3) % упродовж 6 годин, вимикають нагрів і витримують упродовж 2 годин; *другий* – із камери вологи зразки переносять до камери холоду і витримують за температури мінус (17±3) °С упродовж 3 годин; *третій* – із камери холоду зразки переносять до термокамери і витримують за температури (60±2) °С упродовж 6 годин; *четвертий* – зразки виймають із термокамери і витримують на повітрі за температури 15–30 °С і відносної вологості повітря не більше ніж 80 % упродовж 15 годин. Проведені дослідження з визначення захисної ефективності після циклічних випробувань показали, що зразки деревини, оброблені інтумесцентним покриттям, витримують циклічні випробування у 48 циклів.

Для визначення здатності покриття зберігати експлуатаційні властивості модифікованих матеріалів упродовж терміну експлуатації досліджено їх водопоглинання (табл. 1) та корозійну дію на метали (табл. 2).

## 1. Результати дослідження гігроскопічності вогнезахищеної деревини

Деревина	Середня маса зразка, г		Поглинання води, %
	до	після	
	випробувань		
Необроблена	133,71	149,06	10,7
Просочена сумішшю антипіренів	149,12	171,22	14,8
Оброблена інтумесцентним покриттям	169,22	171,53	1,2

## 2. Результати визначення розвитку процесу корозійної металів при контакті з вогнезахищеною деревиною

Покриття	Середня питома швидкість втрати маси металевої пластини, г/м <sup>2</sup> ·год			
	сталь	мідь	оцинкована жерсть	алюміній
Просочення		0,146	0,034	0,0025
Неорганічне	корозію не зафіксовано	0,146	0,034	0,0025
Інтумесцентне	корозію не зафіксовано			

Встановлено, що матеріали з вогнезахищеної деревини в результаті поверхневого оброблення інтумесцентним покриттям втрачають здатність змочуватися водою та її поглинати, що забезпечує їм стійкість до дії атмосферних факторів, а також за рахунок полімерної плівки у декілька разів зменшується проникність компонентів антипірену, що спричиняють корозію, та унеможлиблюється вихід солей, які взаємодіють із металами.

**Висновки і перспективи.** У результаті проведених досліджень встановлено ефективність застосування сумішей неорганічних та органічних речовин як вогнезахисних покриттів для деревини, а саме при температурному впливі стандартного полум'я пальника на зразки, які були оброблені інтумесцентним покриттям, деревина переходить до групи важкогорючих матеріалів, яка повільно поширює полум'я поверхнею, з низькою димоутворювальною здатністю. Експериментальними дослідженнями встановлено, що в результаті поверхневого оброблення інтумесцентним покриттям вироби з деревини втрачають здатність змочуватися водою та її поглинати, що забезпечує їм стійкість до дії атмосферних факторів, та у декілька разів зменшується проникність компонентів антипірену, що спричиняють корозію, та унеможлиблюється вихід солей, які взаємодіють із металами.

### Список використаних джерел

1. Tsapko Ju. Evaluation of effectiveness of wood fire protection upon exposure to flame of magnesium /Ju. Tsapko, S. Guzii, M. Remenets, A. Kravchenko, O. Tsapko // Eastern-European Journal Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 4, № 10 (82). – P. 31–36.

2. Kryvenko P. Determination of the effect of fillers on the intumescent ability of the organic-inorganic coating of building constructions / P. Kryvenko, Ju. Tsapko, S. Guzii, A. Kravchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 5/10 (83). – P. 26–31.
3. Tsapko Ju. Simulation of the phase transformation front advancement during the swelling of fire retardant coatings / Ju. Tsapko, A. Tsapko // Eastern-European Journal Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 2, № 11 (86). – P. 50–55.
4. Tsapko Ju. Establishment of the mechanism and fireproof efficiency of wood treated with an impregnating solution and coatings / Ju. Tsapko, A. Tsapko Eastern-European Journal Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 3, № 10 (87). – P. 50–55.
5. Carosio F. Oriented Clay Nanopaper from Biobased Components Mechanisms for Superior Fire Protection Properties / F. Carosio, J. Kochumalayil, F. Cuttica, G. Camino, and L. Berglund // Washington: ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2015. – 7 (10). – P. 5847–5856.
6. Dr. Simone Krüger. Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen / Dr. Simone Krüger, Dr.-Ing. Gregor J. G. Gluth, Marie-Bernadette Watolla, Michael Morys, Dustin Häßler and Dr. Bernhard Schartel // Berlin, Bautechnik. – 2016. – Vol. 93, Issue 8. – P. 531–542.
7. Ciripi, B. K. Assessment of the thermal conductivity of intumescent coatings in fire / B. K. Ciripi, Y. C. Wang, B. Rogers // Fire Safety Journal. – 2016. – Vol. 81. – P. 74–84.

### References

1. Tsapko, Ju., Guzii, S., Remenets, M., Kravchenko, A., Tsapko, O. (2016). Evaluation of effectiveness of wood fire protection upon exposure to flame of magnesium. East European Journal Enterprise Technologies, 4/10 (82), 31–36.
2. Kryvenko, P., Tsapko, Ju., Guzii, S., Kravchenko, A. (2016). Determination of the effect of fillers on the intumescent ability of the organic-inorganic coating of building constructions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5/10 (83), 26–31.
3. Tsapko, Ju., Tsapko, A. (2017). Simulation of the phase transformation front advancement during the swelling of fire retardant coatings. East European Journal Enterprise Technologies, 2/11 (86), 50–55.
4. Tsapko, Ju., Tsapko, A. (2017). Establishment of the mechanism and fireproof efficiency of wood treated with an impregnating solution and coatings. East European Journal Enterprise Technologies, 3/10 (87), 50–55.
5. Carosio, F., Kochumalayil, J., Cuttica, F., Camino, G., and Berglund, L. (2015). Oriented Clay Nanopaper from Biobased Components Mechanisms for Superior Fire Protection Properties. Washington: ACS Appl. Mater. Interfaces, 7 (10), 5847–5856.
6. Dr. Simone Krüger, Dr.-Ing. Gregor J. G. Gluth, Marie-Bernadette Watolla, Michael Morys, Dustin Häßler and Dr. Bernhard Schartel. (2016). Neue

Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen. Berlin, Bautechnik, 93/8, 531–542.

7. Ciripi, B. K., Wang, Y. C., Rogers, B (2016). Assessment of the thermal conductivity of intumescent coatings in fire. Fire Safety Journal, 81, 74–84.

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ДРЕВЕСИНЫ ИНТУМЕСЦЕНТНЫМ ПОКРЫТИЕМ**

**Ю. В. Цапко, А. Ю. Цапко**

**Аннотация.** Предложен комплексный подход к оценке эффективности применения интумесцентного покрытия для древесины, особенностью которого является исследование огнезащитной эффективности покрытия, установки пожароопасных свойств и исследования эксплуатационных характеристик. Данную задачу было решено проведением по стандартным методикам. Выявлено, что для необработанной древесины проходит быстрый процесс воспламенения материала и выделение значительного количества тепла, для огнезащищенной древесины температура ниже воспламенения древесины. С целью установления огнезащитной эффективности при применении покрытия были проведены исследования по определению группы горючести древесины по показателям потери массы и прироста температуры дымовых газов и установлено, что при обработке покрытиями древесина переходит к группе трудногорючих материалов. Экспериментальными исследованиями установлено, что после размещения образца древесины в испытательной камере начинается его возгорание с выделением значительной температуры и распространением пламени по поверхности, зато для образца огнезащищенной древесины идет постепенное снижение температуры, то есть зафиксировано работу покрытия, а соответственно снижение дымообразующей способности древесины, огнезащищенной покрытием. Установлено, что в результате поверхностной обработки интумесцентным покрытием изделия теряют способность смачиваться водой и ее поглощать, что обеспечивает им устойчивость к воздействию атмосферных факторов, и в несколько раз уменьшается проницаемость компонентов антипирена, вызывающих коррозию.

**Ключевые слова:** огнестойкость, покрытия, древесина, потеря массы, температура, пламя, обработки поверхности.

## **COMPLEX APPROACH TO EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF WOOD PROTECTION WITH INTUMESCENT COATING**

**Ju. Tsapko, A. Tsapko**

**Abstract.** The complex approach to estimation of efficiency of application of intumescent coating for wood, the peculiarity of which is investigation of flame retardant efficiency of a covering, installation of fire-hazardous properties and research of operational characteristics, is offered. The solution of this problem is carried out according to standard methods. It is



*revealed that for rough wood there is a rapid process of combustion of material and the release of a significant amount of heat, for fire-proof wood the temperature is lower than the temperature of ignition of wood. In order to establish fire protection efficiency in the application of coatings, studies have been carried out on determining the group of wood burning in terms of mass loss and increase in temperature of flue gases, and it was established that when the coating is treated, the wood passes into a group of heavy materials. Experimental studies have established that after placing a sample of wood in the test chamber, its ignition begins with the release of a significant temperature and the spread of the flame on the surface; instead, for a sample of fire-retarded wood there is a gradual decrease in temperature, that is, the work of the coating is fixed, and accordingly, the decrease in the smoke-forming ability of the wood is flame retardant coating . It has been established that as a result of surface treatment with intuessent coating, products lose the ability to moisten and absorb water, which provides them with resistance to atmospheric factors and reduces the permeability of corrosion-resistant corrosion resistant sponge components several times.*

**Keywords:** fire resistance, coating, wood, mass loss, charcoal, temperature, flame, surface treatment.