

## АНОТАЦІЯ

**Цапко О. Ю. Захист деревини інтумесцентними покриттями.** Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 182 «Технології легкої промисловості». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2020.

Дисертацію присвячено вирішенню актуального науково-технічного завдання, що полягає у запобіганні термічному руйнуванню деревини у будівельних конструкціях на основі розкриття механізму уповільнення процесу горіння, підвищення експлуатаційної здатності за умови захисту деревини інтумесцентними покриттями.

Аналіз фізико-хімічних властивостей деревини дозволив визначити переваги і недоліки деревини, як конструкційного матеріалу. Виокремлено найбільш поширену ваду деревини, а саме здатність її структури не чинити опір вогневому потоку, що зумовлює великий ризик пожежонебезпеки. Цей ризик вимагає надання деревині вогнетривких властивостей шляхом оброблення вогнезахисними матеріалами.

Проведено огляд способів та засобів вогнезахисту деревини. Після обробленої інформації класифіковано основні дієві засоби. Висвітлено їх недоліки та переваги. Виявлено найбільш ефективні композиції для вогнезахисту деревини та встановлено їх недоліки, а саме: висока токсичність, велика димоутворювальна здатність, відсутність спротиву розповсюдженню полум'я поверхнею, здатність з часом до осипання та відшаровування покриттів на основі композицій. Вищеперераховані недоліки спонукають до пошуку шляхів їх усунення.

Виявлено особливості утворення пінококсового шару покриття та роль компонентів, що входять до його складу на процес спучення. Обґрунтовано застосування в інтумесцентних покриттях спеціальних каталізаторів, вуглеводнів, газоутворювачів та в'язучих речовин, які здатні при температурному впливі утворювати пінококсовий захисний шар.

Виявлено роль мінеральної складової у структурі вогнезахисного покриття, яка здатна при високотемпературній дії вступати в хімічну реакцію з компонентами покриття та утворювати керамоподібні сполуки, що здатні витримувати значний температурний вплив.

Необхідною умовою забезпечення ефективності вогнезахисту є визначення основних трансформацій (займистості, горючості, поширення полум'я, димоутворювальної здатності, токсичності продуктів горіння) у поєднанні з показниками екологічності та експлуатаційної надійності.

Недостатньо вивченим є процес прогріву і горіння засобів зберігання горючих виробів у дерев'яній тарі за наявності заходів захисту, що обумовлює відсутність моделей,

які дозволяють оцінити зміну температури прогріву у залежності від властивостей засобу, товщини покриття і тривалості вогневого впливу.

Під час спучування покриття відбувається розм'якшення складових з одночасним ендотермічним розкладанням антипіренів і газоутворювачів. Це призводить до утворення щільного шару пінококсу, який і спричиняє вогнезахисні властивості покриття. При цьому зовнішня поверхня покриття рухається у бік впливу температури полум'я, що забезпечує необхідну теплоізоляцію матеріалу, а інший шар покриття, який не зазнав перетворень і відокремлюється лінією фазового переходу, знаходиться у резерві.

Ефективність застосування вогнезахисних покриттів спрямована на створення спучуючих вогнезахисних матеріалів, які діють за принципом істотного зниження теплопровідності утворених ними покриттів у результаті перетворення їх при інтенсивному тепловому впливі у пінококсіві шари. Ці шари значно відсувають в часі як момент загоряння горючих конструкцій з дерева, так і нагрівання протягом заданого часу конструкцій до неприпустимо високих температур, що знижує їхню конструкційну міцність.

Термічне руйнування вогнезахищеної деревини та процеси, що ініціюють руйнування при експлуатації будівельних конструкцій, досліджували при моделюванні цих об'єктів у лабораторних та натурних умовах. Для дослідження взаємодії та взаємовпливу компонентів інтумесцентного покриття на процес спучення було розроблено спеціальне обладнання та методика. Руйнування та процеси, що ініціюють при експлуатації дерев'яних конструкцій, досліджували при моделюванні цих об'єктів у лабораторних умовах. Для дослідження опору термічному руйнуванню деревини створено комплексний підхід до визначення вогнестійких та експлуатаційних властивостей деревини вогнезахищеної інтумесцентними покриттями. Використовували стандартизоване обладнання існуючої нормативної бази.

Проведено моделювання процесу просування фронту фазових перетворень під час спучування вогнезахисного покриття та отримано розрахункові залежності, що дозволяють спрогнозувати зміну динаміки спучування вогнезахисного покриття при впливі підвищеної температури. За отриманими залежностями розраховано час утворення пінококсу при термічному розкладі покриття, який сягає 2,2 с. При цьому фронт фазових перетворень переміщується у сторону підвищеної температури з утворенням коксу. Лінія розділу фронту спінювання у вигляді тонкого шару розділяє покриття на дві частини: спучений шар коксу, зовнішня частина якого рухається з певною швидкістю до джерела високої температури, та шар вихідного матеріалу.

Розроблено фізичну модель процесу займання деревини та її математичну інтерпретацію, особливістю якої є наявність потужності виділення (поглинання) теплоти при термічному розкладі матеріалу та показника швидкості термічного розкладу сповільнення реакцій горіння при застосуванні вогнезахисного покриття. Встановлено,

що після впливу на деревину високої температури, починається його займання з виділенням значної температури. Натомість, для зразка вогнезахищеної деревини йде поступове зниження температури, тобто зафіксовано відсутність горіння, а втрата маси деревини не перевищує 5 %.

Встановлено, що для необроблених зразків показник розвитку горіння ( $\alpha$ ) становить  $0,0152 \text{ c}^{-1}$ , показник припинення горіння ( $\gamma$ )  $\approx 0$ . За таких значень досягається максимальна швидкість вигорання, яка становить близько  $8,2 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ . Показники швидкості розвитку і припинення горіння для деревини обробленої вогнезахисним покриттям суттєво відрізняються від попереднього, а саме показник припинення швидкості горіння  $\gamma = 0,0284 \text{ c}^{-1}$  за показника розвитку горіння  $\alpha \approx 0, \text{ c}^{-1}$ . За такої кількості захисного засобу досягається мінімальна швидкість вигорання  $2,11 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

Оброблення деревини інтумесцентним покриттям призводить до зниження швидкості обуглювання у 5,6 разів і зміни структури та властивостей контактної зони деревини протистояти високотемпературному впливу. Стійкість обробленої деревини, оцінювана за зміною міцності при стиску, виявилася в середньому у 6 разів вищою, порівняно з необробленою деревиною.

Експериментально встановлено, що введення мінеральних наповнювачів до складу органо-мінеральної композиції у кількості 10 % сприяє підвищенню коефіцієнта спучення від 30 до 36,7, що у 1,5–1,84 рази більше від значення коефіцієнта спучення органо-мінеральної композиції оптимального складу без наповнювачів. Введення до складу органо-мінеральної композиції наповнювача  $\text{TiO}_2$  до 10 % сприяє зменшенню коефіцієнта спучення у 1,74–2,13 рази, порівняно з вищенаведеними добавками, та у 1,16 рази у порівнянні з композицією без наповнювачів, але значно підвищує термічну стійкість утвореного пінококсу. Введення оксиду титану та гідроксиду алюмінію у кількості 5 % сприяє досягненню найбільшого значення коефіцієнта спучення – до 47, що у 1,11 рази більше за значення коефіцієнта спучення при введенні таких компонентів, як: гідроксиду алюмінію, оксиду титану та тальку в кількості 3,3 %. Також спостерігається збільшення значень коефіцієнта спучування у 1,12 рази при введенні оксиду титану і тальку у кількості 5 %, та у 1,08 рази більше для гідроксиду алюмінію та тальку у кількості 5 %. За отриманими результатами обрано раціональний склад органо-мінеральної композиції: органо-мінеральна основа (база) – 90 %, оксид титану – 5 % і гідроксид алюмінію – 5 %, який використано для досліджень процесів структуроутворення, реокінетичних залежностей та термічних характеристик.

Розроблено комплексний підхід до оцінювання вогнестійких властивостей за показниками займистості, горючості, димоутворювальної здатності. Результати визначення вогнестійких показників вогнезахищеної деревини показали, що вироби

відносяться до важкогорючих матеріалів, які повільно поширюють полум'я та мають низьку димоутворювальну здатність.

Проведені дослідження з визначення ефективності захисту після витримування зразків за змінних значень температури (від  $-27^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ) та вологості (60–100 %) показали, що деревина, яка була оброблена інтумесцентним покриттям витримала циклічні випробування протягом 40 циклів. Виявлено, що застосування такого покриття суттєво захищає деревину від дії вологи та масопереносу антипірену. Проникаючи у пори деревини, покриття гідрофобізує капіляри та мікротріщини поверхні, утворюючи комплексний захисний засіб з водовідштовхувальною властивістю та знижує гігроскопічність деревини у 3,6 рази і зменшує проникність компонентів антипірену, які викликають корозію.

Проведено дослідження ефективності вогнезахисту дерев'яної тари для зберігання вибухонебезпечних виробів та встановлено, що необроблений зразок здатний до займання та поширення полум'я поверхнею, що призводить до спрацювання піропатронів та руйнування конструкції. Натомість, модельний зразок дерев'яної конструкції, оброблений інтумесцентним захисним покриттям, після вигорання пального не горів, відповідно, не відбулося руйнування конструкції. При цьому зафіксовано спучення захисного покриття на окремих ділянках під час дії полум'я, зокрема у нижній частині.

Для оцінювання дієвості вогнезахисту конструкцій, виготовлених з деревини, досліджено час впливу полум'я магнію на поверхню вогнезахищеної деревини та встановлено, що зразок, оброблений інтумесцентним захисним покриттям за рахунок створення спученого шару коксу, більш ефективно запобігає впливу високої температури та швидкості обуглювання деревини, ніж покриття на неорганічній основі, механізм дії яких направлений на теплоізолювання.

З урахуванням результатів аналітичних досліджень та екологічних вимог щодо охорони довкілля, розроблено технічні умови ТУ У 20.5-40778227-001:2017 «Вогнезахисні покривні засоби для дерев'яних конструкцій «SKELA-W», ТУ У 20.5-34384974-001:2019 «Засоби вогнезахисні для дерев'яних конструкцій», які відповідають сучасним екологічним вимогам та технологічні регламенти на виготовлення покриттів. Розроблено рекомендації та практичні основи отримання вогнезахищених будівельних матеріалів, а саме оброблення покриттями існуючих конструкцій, вимоги щодо застосування захисних засобів, виконання робіт та утримання захищених матеріалів, контроль якості робіт у процесі захисного оброблення та у процесі експлуатації.

Проведено техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування вогнезахисного оброблення будівельних матеріалів та виробів. За даними техніко-економічних розрахунків, реалізація розроблених рішень при вогнезахисті конструкцій дозволяє отримати економічний ефект при обробці внутрішніх поверхонь основних несучих дерев'яних конструкцій. Проведено розрахунок вогнезахисту складських приміщень

зберігання хімічних речовин НВП «Захисні покриття» площею 8400 м<sup>2</sup> вогнезахисним покриттям «ФАЄРВОЛ-ВУД» та покриттям «Фенікс-ДБ», яке найбільш широко використовується для вогнезахисту деревини. Визначено, що фактичний економічний ефект від впровадження розробленого засобу становить 1811712 грн, а при застосуванні альтернативного варіанту – 607488 грн.

**Ключові слова:** термічне руйнування, деревина, швидкість вигорання, водопоглинання, вогнестійкість, інтумесцентне покриття.

# СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

## Монографія

1. Цапко Ю. В., **Цапко О. Ю.** Оцінювання дієвості вогнезахисту деревини. Київ, 2018. 150 с. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження, оброблено результати та здійснено їх аналіз, сформульовано висновки).*

## Статті у наукових фахових виданнях України

2. **Цапко О. Ю.**, Цапко Ю. В. Встановлення вільної поверхневої енергії та адгезійної здатності системи «вогнезахисне покриття – деревина». Лісове і садово-паркове господарство. 2015. Вип. 8. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/licgos\\_2015\\_8\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/licgos_2015_8_15). *(Здобувачем особисто поставлено завдання, проведено експериментальні дослідження).*

3. Цапко Ю. В., **Цапко О. Ю.** Моделювання швидкості вигорання деревини захищеної вогнезахисним покриттям. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2016. Вип. 169. С. 84–91. *(Здобувачем особисто поставлено завдання, запропоновано алгоритм оцінювання результатів).*

4. Цапко Ю. В., **Цапко О. Ю.**, Іноземцев Г. Б., Грабар І. В. Модель роботи інтумесцентного покриття для деревини. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2016. Вип. 255. С. 277–286. *(Здобувачем особисто проведено експериментальні дослідження).*

5. Цапко Ю. В., **Цапко О. Ю.**, Іноземцев Г. Б., Головач І. В. Дослідження процесу термодеструкції деревини за змінних значень кисню. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2017. Вип. 27 (1). С. 182–185. *(Здобувачем особисто проведено експериментальні дослідження та оброблено результати, проведено їх аналіз).*

6. Цапко Ю. В., Кравченко А. В., **Цапко О. Ю.** Аналіз методів та розроблення способу визначення ефективності вогнезахисту дерев'яних конструкцій. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2017. Вип. 66. С. 118–122. *(Здобувачем вивчено умови експлуатації виробів та проведено їхній аналіз).*

7. Цапко Ю. В., **Цапко О. Ю.** Комплексний підхід до оцінювання ефективності вогнезахисту інтумесцентного покриття для деревини. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2017. Вип. 266. С. 220–228. *(Здобувачем особисто поставлено завдання, запропоновано алгоритм оцінювання результатів).*

8. Цапко Ю. В., **Цапко О. Ю.** Встановлення ефективності вогнезахисту деревини органо-неорганічною композицією. Науковий вісник Національного лісотехнічного

університету України. 2018. Т. 28. Вип. 5. С. 88–92. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження, оброблено результати та здійснено їх аналіз).*

9. Цапко Ю. В., Бондаренко О. П., **Цапко О. Ю.** Перспективи застосування вогнезахищеного очерету на об'єктах різного призначення. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2019. Вип. 75. С. 99–107. *(Здобувачем оброблено результати досліджень та проведено їх аналіз).*

10. Цапко Ю. В., **Цапко О. Ю.** Вплив високотемпературних наповнювачів на енергію активації покриття для захисту деревини. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. 2019. Вип. 3. Т. 10. С. 98–105. *(Здобувачем поставлено завдання, запропоновано алгоритм оцінки результатів та їх оброблення).*

11. Цапко Ю. В., Ломага В. В., Бондаренко О. П., **Цапко О. Ю.** Дослідження окремих аспектів вогнезахисту деревини спучуючим лаком. Науковий вісник будівництва. 2019. Вип. 4. Т. 98. С. 240–245. *(Здобувачем оброблено результати досліджень та проведено їх аналіз).*

12. Цапко Ю. В., Пінчевська О. О., **Цапко О. Ю.** Встановлення умов застосування вогнезахищеної деревини на об'єктах різного призначення. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2019. Т. 29. Вип. 2. С. 99–102. *(Здобувачем проведено оброблення результатів досліджень та їх аналіз).*

#### **Статті у науковому фаховому виданні України,**

#### **включеному до міжнародної наукометричної бази даних Scopus**

13. Tsapko Ju., Guzii S., Remenets M., Kravchenko A., **Tsapko A.** Evaluation of effectiveness of wood fire protection upon exposure to flame of magnesium. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. 2016. Vol. 4. № 10 (82). P. 31–36. *(Здобувачем проведено теоретичні дослідження, здійснено аналіз отриманих даних).*

14. Tsapko Yu., **Tsapko A.** Simulation of the phase transformation front advancement during the swelling of fire retardant coatings. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. 2017. Vol. 2. № 11 (86). P. 50–55. *(Здобувачем оброблено результати досліджень та проведено їх аналіз).*

15. Tsapko Yu., **Tsapko A.** Establishment of the mechanism and fireproof efficiency of wood treated with an impregnating solution and coatings. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. 2017. Vol. 3. № 10 (87). P. 50–55. *(Здобувачем проведено теоретичні дослідження, здійснено аналіз отриманих результатів).*

16. Tsapko Yu., **Tsapko A.** Influence of dry mixtures in a coating on the effectiveness of wood protection from the action of a magnesium flame. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5. № 10 (89). P. 55–60. *(Здобувачем проведено оброблення результатів та їх аналіз).*

17. Tsapko Yu., **Tsapko A.** Modeling the heat conductivity process at the effect of the process on the field of fought exchange. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. 2018. Vol. 2. № 10 (92). P. 50–56. *(Здобувачем проведено оброблення результатів та здійснено їх аналіз).*

18. Tsapko Yu., **Tsapko A.** Installation of fire fighting efficiency of processed processing solution and coverage. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. 2018. Vol. 4. № 10 (94). P. 62–68. *(Здобувачем проведено теоретичні дослідження, здійснено аналіз отриманих результатів).*

19. Tsapko Yu., Bondarenko O., **Tsapko A.** Establishment of heat-exchange process regularities at inflammation of reed samples. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. 2019. Vol. 1. № 1/10 (97). P. 36–42. *(Здобувачем проведено оброблення результатів досліджень та їх аналіз).*

20. Tsapko Yu., Bondarenko O., **Tsapko A.** Effect of a flame-retardant coating on the burning parameters of wood samples. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. 2019. Vol. 2. № 2/10 (98). P. 49–54. *(Здобувачем проведено теоретичні дослідження, здійснено аналіз отриманих результатів).*

21. Tsapko Yu., **Tsapko A.**, Bondarenko O., Sukhanevych M. Estimation of fire protection efficiency of articles made from reed under an external action of gasoline flame. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 5. № 5/10 (101). P. 23–30. *(Здобувачем проведено оброблення результатів досліджень та здійснено їх аналіз).*

22. Yuriy Tsapko, **Aleksii Tsapko**, Olga Bondarenko. Improving the efficiency of water fire extinguishing systems operation by using guanidine polymers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 1. № 10 (103). P. 14–19. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження, здійснено оброблення результати досліджень та їх аналіз, сформульовано висновки).*

**Статті у періодичних наукових виданнях інших держав,  
які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку  
та/або Європейського Союзу**

23. Цапко А. Ю. Аспекты влияния органо-минеральных покрытия на огнестойкость древесины. Annals Warsaw University of Life Sciences. SGGW Forestry and Wood Technology. 2016. № 96. С. 206–213.

24. Tsapko Yu., Bondarenko O., **Tsapko A.** Research of the efficiency of the fire fighting roof composition for cane. Materials Science Forum. 2019. Vol. 968. P. 61–67. *(Здобувачем проведено теоретичні дослідження, здійснено аналіз отриманих результатів).*



### Стаття у науковому виданні іншої держави

25. Пинчевская Е. А., **Цапко А. Ю.** Оптимизация состава органической составляющей огнезащитного покрытия древесины. труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 1: Лесное хозяйство. 2019. № 1. С. 137–144. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження).*

### Статті в інших наукових виданнях

26. Кравченко А. В., Цапко Ю. В., **Цапко О. Ю.** Дослідження вогнестійких властивостей вогнезахисного покриття на основі неорганічних та органічних в'язучих. Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. 2016. Вип. 57. С. 61–67. *(Здобувачем проведено оброблення результатів досліджень та здійснено їх аналіз).*

27. Цапко Ю. В., Кравченко А. В., **Цапко О. Ю.** Вплив додавання гідрату алюмінію на ефективність вогнезахисту деревини органо-мінеральним покриттям. Нові технології в будівництві. 2017. Вип. 33. С. 46–49. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження, здійснено їх аналіз).*

28. Цапко Ю. В., Кравченко А. В., Гузій С. Г., **Цапко О. Ю.** Структурування спученого шару пінококсу і ефективні заходи з його управління. Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. 2017. Вип. 58. С. 87–96. *(Здобувачем проведено теоретичні дослідження, здійснено аналіз отриманих результатів).*

### Патенти України на корисну модель

29. Цапко Ю. В., Кривенко П. В., Гузій С. Г., **Цапко О. Ю.**, Киричок В. І., Зав'ялов Д. Л. Спосіб визначення індексу горючості теплоізоляційних будівельних матеріалів: Патент на корисну модель № 129524 Україна, МПК G01N 25/50 (2006.01); заявлено 27.06.2018; опубліковано 25.10.2018; Бюл. № 20. 6 с. *(Здобувачем розроблено ідеї, істотні ознаки винаходів).*

30. Цапко Ю. В., Кривенко П. В., Гузій С. Г., **Цапко О. Ю.**, Киричок В. І., Зав'ялов Д. Л. Пристрій для визначення індексу горючості теплоізоляційних будівельних матеріалів: патент на корисну модель № 129523 Україна, МПК G01K 11/10 (2006.01); заявлено 27.06.2018; опубліковано 25.10.2018; Бюл. № 20. 4 с. *(Здобувачем особисто розроблено формулу винаходу на корисну модель).*

31. Цапко Ю. В., Кривенко П. В., Гузій С. Г., **Цапко О. Ю.**, Кравченко А. В., Ніколаєнко М. В. Пристрій для визначення кінетики спучування вогнезахисного покриття: Заявка на корисну модель № U201605145 Україна. *(Здобувачем розроблено ідеї, істотні ознаки винаходів).*

32. Цапко Ю. В., Кривенко П. В., Гузій С. Г., **Цапко О. Ю.**, Кравченко А. В., Ніколаєнко М. В. Експрес-метод визначення кінетики спучування вогнезахисного покриття:

Заявка на корисну модель № U201605146 Україна. *(Здобувачем проведено визначення істотних ознак винаходів).*

### Тези наукових доповідей

33. **Цапко О. Ю.**, Кравченко А. В., Цапко Ю. В. Встановлення вогнестійких властивостей вогнезахисного покриття. Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до Європейського простору: 18 Всеукраїнська науково-практична конференція рятувальників, м. Київ, 11–12 жовтня 2016 року: тези доповіді. Київ, 2016. С. 310–312. *(Здобувачем особисто проаналізовано проблему, проведено дослідження матеріалів на основі деревини).*

34. **Цапко О. Ю.**, Цапко Ю. В., Мошковський М. С., Кравченко А. В. Визначення ефективності вогнезахисту деревини при дії високотемпературного полум'я. Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: 19 Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Київ, 11–12 жовтня 2017 року: тези доповіді. Київ, 2017. С. 457–460. *(Здобувачем особисто поставлено завдання, проведено експериментальні дослідження).*

35. Цапко Ю. В., **Цапко О. Ю.** Вплив мінеральних речовин покриття на ефективність захисту деревини від дії полум'я магнію. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: VIII Міжнародна науково-практична конференція, м. Чернігів, 10–12 травня 2018 року: тези доповіді. Чернігів, 2018. Т. 1. С. 201–202. *(Здобувачем проаналізовано методи визначення основних властивостей вогнезахисної деревини).*

36. **Цапко О. Ю.**, Цапко Ю. В., Тичино М. О. Оцінювання експлуатаційних властивостей деревини захищеної просочувальними засобами. Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 23–25 травня 2018 року: тези доповіді. Київ, 2018. Т. 5. С. 124–126. *(Здобувачем проаналізовано проблему оцінювання експлуатаційних характеристик матеріалів).*

37. Киричок В. І., Цапко Ю. В., **Цапко О. Ю.**, Бондаренко О. П. Вплив мінеральних наповнювачів на вогнестійкість покриття для деревини. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: 7 Міжнародна науково-технічна конференція, що присвячена 110-річчю з дня народження Заслуженого діяча науки і техніки України, доктора технічних наук, професора Ангелейка В. І., м. Харків, 14–16 листопада 2018 року: тези доповіді. Харків, 2018. С. 112–113. *(Здобувачем зібрано дані та проведено аналіз впливу наповнювачів).*

38. Tsapko Yu., Kurytsyok V., **Tsapko A.**, Bondarenko O., Guzii S. Increase of fire resistance of coating wood with adding mineral fillers. Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings: 7<sup>th</sup> International Scientific Conference, Kharkiv,

14–16 November, 2018. Kharkiv, 2018. P. 6. *(Здобувачем проведено оброблення результатів досліджень та здійснено їх аналіз).*

39. Цапко Ю. В., Бондаренко О. П., **Цапко О. Ю.** Вогнезахисна покрівельна композиція для очерету. Актуальні проблеми інженерної механіки: VI Міжнародна конференція, м. Одеса, 20–24 травня 2019 року: тези доповіді. Одеса, 2019. С. 293–295. *(Здобувачем особисто досліджено застосування деревинних матеріалів).*

40. Цапко Ю. В., **Цапко О. Ю.**, Бондаренко О. П., Кобрин М. В. Вогнестійкість дерев'яних балок вогнезахищених інтумесцентним покриттям. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: 8 Міжнародна науково-технічна конференція, м. Харків, 20–22 листопада 2019 року: тези доповіді. Харків, 2019. С. 213–215. *(Здобувачем особисто поставлено завдання, проведено експериментальні дослідження).*

41. Tsapko Yu., **Tsapko A.**, Bondarenko O., Sukhanevych M., Kobryn M. Research of the process of spread of fire on beams of wood of fire-protected intumescent coatings. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Kharkiv, 20–22 November 2019. Vol. 708. 7 p. *(Здобувачем особисто проведено експериментальні дослідження, здійснено їх аналіз).*

42. Бондаренко О. П., Цапко Ю. В., **Цапко О. Ю.**, Горячев В. О. Оцінка ефективності вогнезахисту очеретяних матів. Build master class: International scientific-practical conference of young scientists, Kyiv, 27.11–29.11.19. Kyiv, 2019. P. 178–179. *(Здобувачем особисто досліджено показники вогнестійкості).*