

Досліджено вплив вогнезахисних покриттів на основі неорганічних та органічних в'язучих на ефективність захисту деревини за показником втрати маси і приросту температури димових газів. Встановлено, що при дії високотемпературного полум'я магнію, вогнезахисні покриття здатні до захисту від руйнування деревини, а оцінювання дієвості вогнезахисту покриттів характеризується зниженням швидкості та глибини обуглювання

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

Исследовано влияние огнезащитных покрытий на основе неорганических и органических вяжущих на эффективность защиты древесины по показателю потери массы и прироста температуры дымовых газов. Установлено, что при воздействии высокотемпературного пламени магния огнезащитные покрытия способны к защите от разрушения древесины, а оценка действенности огнезащиты покрытий характеризуется снижением скорости и глубины обугливания

Ключевые слова: огнестойкость, покрытие, древесина, потеря массы, обугливание, температура, пламя, обработка поверхности

УДК 614.842

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.73543

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ ПРИ ЗОВНІШНІЙ ДІЇ ПОЛУМ'Я МАГНІЮ

Ю. В. Цапко

Доктор технічних наук, старший науковий співробітник*

E-mail: juriyts@ukr.net

С. Г. Гузій

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*

E-mail: sguziy@ukr.net

М. І. Ременець

Головний інженер проектів

Інженерно-технічний центр "Сигнал"

бул. Івана Лепсе, 8, м. Київ, Україна, 03126

E-mail: mir1@ukr.net

А. В. Кравченко

Аспірант*

E-mail: krav.anastasiya@gmail.com

О. Ю. Цапко

Провідний інженер з вогнезахисту

ТОВ "Д-33"

вул. Дігтярівська, 33Б, м. Київ, Україна, 03057

E-mail: alekseysapko@gmail.com

*Науково-дослідний інститут

в'язучих речовин і матеріалів ім. В. Д. Глуховського

Київський національний університет

будівництва і архітектури

пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03680

1. Вступ

Вогонь є одним з найбільш давніх видів зброї, а основними вражаючими факторами запальної зброї є: виділення при його застосуванні теплової енергії та токсичних для людини продуктів горіння. Запальна речовина або запальна суміш – це спеціально підібрана речовина або суміш речовин, здатних займатися, стійко горіти з виділенням великою кількістю теплової енергії. Запальні засоби завдають поразки не тільки живій силі, вони можуть виводити з ладу озброєння, бойову техніку, військове майно, польові фортифікаційні споруди, склади і інше. Запальними засобами можливе нанесення ураження як військам чинним в прифронтовій смузі, так і тиловим об'єктам.

Для захисту особового складу від вражаючої дії запальної зброї використовують: закриті фортифікаційні споруди, де зберігають озброєння і військову техніку, а також природні укриття (яри, ями, печери, кам'яні будівлі). Застосовують різні місцеві матеріали – деревину, плащ-намети, плащ-накидки

наявні на постачанні. Як вогнезахисні покриття для дерев'яних конструкцій застосовують: густо-розведену глину і рідку глину. Густо-розведені покриття наносять на поверхню за допомогою лопатки або безпосередньо руками, а рідкі – пензлем, валиками. Товщина шару повинна становити $0,5 \pm 1$ см, що досягається обмазуванням у два або три шари. Другий (третій) шар наноситься після повного висихання попереднього шару. Просочення неводостійкі – тимчасової дії, готують перед застосуванням, тому такий вогнезахист не довготривалий і з часом втрачається.

Основний матеріал для виготовлення будівельних конструкцій на таких об'єктах є деревина, яку за групою горючості відносять до горючих матеріалів середньої займистості. А вогнезахисне оброблення засобами надає деревині здатності протистояти дії полум'я, поширенню полум'я поверхнею та запобігати вільному доступу кисню. Тому, щоб значно знизити або виключити виникнення пожежі та руйнування конструкції, такий матеріал потребує вогнезахисної обробки [1].

Проведеними дослідженнями встановлено [2], що необроблений модельний зразок дерев'яного виробу здатний до займання та поширення полум'я поверхнею після запалювання його модельною сумішшю "напалм", що призводить до руйнування конструкції. У свою чергу, для оброблених зразків займання не відбулося і відповідно не відбулося руйнування конструкції.

Враховуючи, що окрім рідких запалювальних сумішей, які характеризуються температурою полум'я у межах 900–1100 °С широко використовуються і металеві запалювальні суміші, які здатні при горінні виділяти температуру понад 2200 °С, і постає необхідність встановлення вогнестійкості деревини та ефективності вогнезахисту покриттів від дії таких температур.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Особливість вогнезахисту дерев'яних будівельних конструкцій сучасними засобами полягає в створенні на поверхні елементів теплоізолюючих екранів, що витримують високі температури й безпосередню дію вогню і дозволяють зберігати свої функції протягом заданого періоду часу.

Найпростіші високотемпературні і вогнезахисті засоби на основі неорганічних в'язучих матеріалів містять у своєму складі зв'язану воду, яка під час нагрівання випаровується і блокує перенос тепла до поверхні, що захищається [3].

Набувають широкого розповсюдження неорганічні вогнезахисні покриття на основі лужного алюмосилікатного зв'язуючого, мінеральних наповнювачів і пористих заповнювачів [4]. Деревина, оброблена цими покриттями, відноситься до важкогорючих матеріалів, з низькою димоутворювальною здатністю. Але для забезпечення вогнезахисту вони потребують значної товщини захисного шару при нанесенні та мають жорстку структуру [5], яка при експлуатації утворює тріщини, та як наслідок покриття є недовговічними.

За останнє десятиліття з запропонованого напрямку досліджень відомі роботи [6], які направлені на синтез покриттів з використанням органічних лаків, тугоплавких оксидів і силікатів, які в процесі нагрівання утворюють термо- і жаростійкі керамічні фази. Найбільш розповсюджені емалеві та склокристалічні покриття, проте вони не можуть забезпечити надійного захисту конструкцій в умовах температур понад 1000 °С, оскільки за вищих температур експлуатації проходить руйнування органічної складової, а нанесене покриття стає пористим, що значно погіршує його експлуатаційні властивості.

Сучасні методи вогнезахисту включають використання покриттів, що спучуються, які являють собою складні системи органічних і неорганічних компонентів, та характеризуються високою інтумісцентною здатністю. Ефективність застосування вогнезахисних покриттів на основі органічних речовин показана в роботі [6], де за рахунок дії антипіренів на основі поліфосфорних кислот та спінювачів можливо значно впливати на формування порового шару пінококсу.

Значне підвищення стійкості, щільності і міцності коксового шару досягається внаслідок направленої формування полімерних добавок [7]. Однак ці дослідження направлені для виготовлення полімерно-неорганічних вогнезахисних покриттів, які працюють в умовах не тривалих температур і не можуть забезпечити вогнестійкість будівельних конструкцій за температур понад 2000 °С [8].

Тому перспективним питанням є встановлення ефективності вогнезахисту при дії вищезазначених температур та впливі компонентів, які входять до їх складу, а також визначення їх ролі у забезпеченні вогнестійкості та механізмів вогнезахисту. Все це обумовлює необхідність проведення досліджень у цьому напрямі.

3. Мета і задачі досліджень

Проведені дослідження ставили за мету визначити особливості вогнезахисту дерев'яних конструкцій при обробленні покриттями різної природи, а також встановити стійкість до дії високої температури горіння металевих запалювальних речовин.

Для досягнення мети вирішувались наступні задачі:

- визначити особливості вогнезахисту деревини при її обробленні покриттями на основі неорганічних та органо-мінеральних речовин при температурному впливі;
- встановити ефективність застосування різних типів покриттів після термічної дії запалювальних сумішей, які характеризуються високотемпературним ефектом.

4. Матеріали та методи дослідження

4.1. Досліджувані матеріали та обладнання, які використовувались в експерименті

Для встановлення групи горючості деревини, вогнезахисної покриттям, використовували зразки деревини розміром 150×60×30 мм, які оброблювали покриттями на основі неорганічних речовин – покриття для деревини [9] з витратою 360 г/м² і геоцементне жаростійке покриття з тепловідбивним екраном з витратою 420 г/м², а також покриття на органо-мінеральній основі з витратою 270 г/м².

Для досліджень ефективності вогнезахисту при дії високотемпературного полум'я при горінні металу використовували модельні зразки дерев'яних конструкцій, виготовлених з деревини товщиною дошки 19 мм (рис. 1) середніми розмірами 190×155 мм і висотою 140 мм:

- а) необроблений (зразок № 1);
- б) вогнезахиснені зразки – зразки тари – було оброблено вогнезахисними покриттями:
 - вогнезахисним покриттям на органо-мінеральній основі (експериментальний зразок № 2);
 - вогнезахисним покриттям на неорганічній основі [9];
 - вогнезахисним геоцементним жаростійким покриттям з тепловідбивним екраном (експериментальний зразок № 4).

У якості пального використовувалась магнієва стружка, при горінні якої виділяється температура 2200 °С [10].



Рис. 1. Модельні зразки дерев'яних конструкцій: 1 – необроблений, 2 – оброблений вогнезахисним покриттям на органо-мінеральній основі; 3 – оброблений вогнезахисним покриттям на неорганічній основі [9]; 4 – оброблений вогнезахисним геоцементним жаростійким покриттям з тепловідбивним екраном

4. 2. Методика визначення показників властивостей зразків

У дослідженнях застосовуються ті ж самі сировинні матеріали, які відображені в попередній роботі авторів [2].

Дослідження з визначення групи горючості деревини, обробленої запропонованими покриттями, проводили згідно з чинною нормативною базою [4]. Суть методу випробувань експериментального визначення групи важкогорючих та горючих твердих речовин і матеріалів полягає у впливі на зразок, розташований в керамічній трубі установки ОТМ, полум'я пальника з заданими параметрами (температура газоподібних продуктів горіння на виході з керамічної труби становить $200\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$), яке реєструється блоком аналого-цифрового перетворювача на комп'ютері з послідуною обробкою у середовищі Excel. Під час проведення експериментальних досліджень фіксується максимальний приріст температури газоподібних продуктів горіння (Δt) та втрата маси зразка (Δm). За результатами випробувань матеріали класифікуються як:

- важкогорючі: $\Delta t < 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $\Delta m < 60\text{ }%$;
- горючі: $\Delta t \geq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ чи $\Delta m \geq 60\text{ }%$.

Визначення вогнезахисної ефективності тари, виготовленої з деревини, проводили за робочою методикою, суть якої полягала у експериментальному визначенні ефективності вогнезахисту дерев'яної конструкції, виготовленої з деревини та обробленої засобами для деревини, у впливі на зразок полум'ям магнію (модель – тверда запалювальна речовина) з заданими параметрами та реєструванні втрати маси зразка після випробування.

На кришку та під зразок поміщали запалювальну суміш. Підпалювали пальне і зразок дерев'яної тари витримували у полум'ї пального протягом часу вигорання та до відсутності самостійного горіння і тління.

Критерієм визначення ефективності вогнезахисту тари є відповідність значення показника втрати маси тари, яка повинна становити не більше 15 %, а також остаточне горіння після вигорання пального, прогорання матеріалу та час спрацювання піропатронів.

5. Результати досліджень ефективності вогнезахисту деревини покриттями на неорганічній і органічній основі

Для встановленні вогнезахисної ефективності при розробленні покриттів були проведені досліджен-

ня щодо визначення групи горючості деревини при її обробленні зазначеними композиціями. Результати досліджень з визначення втрати маси зразків (Δm , %) та приросту максимальної температури газоподібних продуктів горіння (Δt , $^{\circ}\text{C}$) зразків вогнезахисної деревини, проведених у лабораторних умовах, наведено на рис. 2, 3.

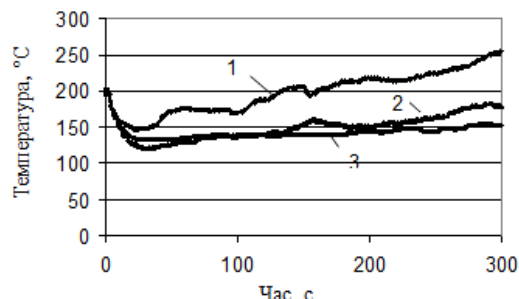


Рис. 2. Динаміка наростання температури димових газів при випробуваннях вогнезахисної деревини: 1 – покриттям на неорганічній основі, 2 – геоцементним жаростійким покриттям з тепловідбивним екраном, 3 – покриттям на органо-мінеральній основі

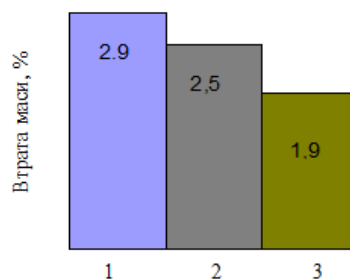


Рис. 3. Результати втрати маси зразків Δm , % вогнезахисної деревини: 1 – покриттям на неорганічній основі, 2 – геоцементним жаростійким покриттям з тепловідбивним екраном, 3 – покриттям на органо-мінеральній основі

Дослідження показали, що вогнезахисна деревина витримала температурний вплив і відноситься до важкогорючих матеріалів за показником втрати маси. При початковій температурі газоподібних продуктів горіння $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, при дії полум'я пальника на захищений зразок неорганічним покриттям (крива 1), температура газоподібних продуктів горіння становила $T \leq 260\text{ }^{\circ}\text{C}$, а втрата маси не перевищила 2,9 % (рис. 2). Ще більшу ефективність показали зразки, які було оброблено геоцементним жаростійким покриттям з тепловідбивним екраном крива 2 з втратою маси 2,5 % та покриттям на органо-мінеральній основі (зразок 3) (рис. 1, 2).

Враховуючи, що температура горіння металевих запалювальних пристроїв значно перевищує температуру горіння газового пальника, для встановлення ефективності вогнезахисту деревини були проведені натурні випробування на об'єктах, зокрема, модельних зразках дерев'яних конструкцій.

На рис. 4 показано результати випробувань необробленого зразка, на рис. 5 – зразка, обробленого органо-мінеральним захисним покриттям, на рис. 6 – зразка обробленого захисним покриттям [9] та на рис. 7 – зразка обробленого геоцементним жаростійким покриттям з тепловідбивним екраном.

За результатами натурних випробувань горіння магнієвої стружки було встановлено утворення на поверхні матеріалу шару шлаку, під яким продовжувався процес термічного розкладу матеріалу і залежно від властивостей покриття його припинення проходило по різному та позначилось на глибині обвуглювання.



Рис. 4. Результати випробувань необробленого модельного зразка



Рис. 5. Результати випробувань модельного зразка, обробленого органо-мінеральним захисним покриттям



Рис. 6. Результати випробувань модельного зразка, обробленого вогнезахисним покриттям на неорганічній основі



Рис. 7. Результати випробувань модельного зразка, обробленого геоцементним жаростійким покриттям з тепловідбивним екраном

Проведені натурні випробування покриттів на модельних зразках дерев'яних будівельних конструкцій при дії полум'я магнію показали:

– необроблений модельний зразок дерев'яної конструкції здатний до займання та поширення полум'я

поверхнею після запалювання його модельним вогнищем на основі магнієвої стружки, при цьому після вигорання магнію глибина обвуглювання в окремих місцях досягала 15÷17 мм;

– модельний зразок дерев'яної конструкції, оброблений органо-мінеральним захисним покриттям, після вигорання модельного вогнища на основі магнієвої стружки не горів, відповідно і не відбулося руйнування конструкції, при цьому зафіксовано спучення захисного покриття під час дії полум'я, зокрема у нижній і верхній частинах конструкції, яке ефективно запобігло проходження високої температури до матеріалу, а обвуглювання деревини відбулося на глибину до 1 мм;

– модельний зразок дерев'яної конструкції, оброблений захисним покриттям [9] після вигорання модельного вогнища на основі магнієвої стружки не горів, при цьому зафіксовано відшарування та осипання захисного покриття від деревини на окремих ділянках під час термічної дії, а у місцях горіння магнію зафіксовано обвуглювання деревини на глибину 4÷4,5 мм;

– модельний зразок дерев'яної конструкції, оброблений геоцементним жаростійким покриттям з тепловідбивним екраном, після вигорання модельного вогнища на основі магнієвої стружки не горів, при цьому зафіксовано здуття та відшарування захисного покриття від деревини під час дії полум'я, а у місцях горіння магнію зафіксовано обвуглювання деревини на глибину 4÷5 мм.

6. Обговорення результатів досліджень впливу вогнезахисту на стійкість дерев'яних конструкцій

За результатами досліджень, наведених в [11], встановлено, що час вигорання дерев'яних конструкцій залежить від швидкості та процесу обвуглювання.

Враховуючи вищенаведене, час впливу полум'я магнію на поверхню вогнезахисної деревини можна оцінити, якщо відома її глибина обвуглювання, за рівнянням (1):

$$t = \frac{x_e^{1,23}}{c}, \tag{1}$$

де t – час вогневого впливу, хв.; c – швидкість обвуглювання, мм/хв.; x_e – глибина обвуглювання, мм.

Відповідно прогнозування середньої швидкості обвуглювання запропоновано проводити за залежністю (2):

$$c = \frac{v}{\rho_w}, \tag{2}$$

де v – швидкість вигорання деревини (швидкість втрати маси), кг/(м²·с); ρ_w – щільність деревини у сухому стані (вологість 10÷12 %), 450 кг/м³.

Швидкість втрати маси деревини зразків розраховували за рівнянням

$$v = \frac{\Delta m}{\tau \cdot S}, \tag{3}$$

де Δm – втрата маси зразка після випробувань; τ – час випробування; S – площа пошкодження зразка.

У табл. 1 наведено час випробування, площа пошкодження зразка та швидкість втрати маси елементу конструкції після випробувань.

Як видно з табл. 1, швидкість вигорання для необробленої деревини знаходиться у межах 0,0151 кг/(м²·с), що перевищує значення при займанні від вуглеводневого полум'я, яка складає 0,011 кг/(м²·с). Відповідні значення швидкості вигорання деревини обробленої вогнезахисними покриттями теж підвищуються, зокрема для неорганічних покриттів, які утворюють пористий низько спучений шар, що здатний пропускати більшу кількість тепла, ніж органо-мінеральні.

В табл. 2 наведено результати визначення швидкості обвуглювання та час впливу полум'я магнію на поверхню вогнезахисної деревини.

Як видно з табл. 2, зразок оброблений органо-мінеральним захисним покриттям за рахунок створення спученого шару коксу запобігає впливу високої температури та швидкості обвуглювання деревини.

Таким чином, встановлено, що залежно від приро-

теріалу на глибину до 4-5 мм. Органо-мінеральне покриття, за рахунок спучення та взаємодії антипіренів з полум'ям магнію, більш ефективно знижує процеси деструкції деревини. Результати даних досліджень, спільно з отриманими в [2], дають можливість цілеспрямовано розробити ефективні засоби захисту виробів з деревини від впливу запалювальних речовин, як у будівельних конструкціях, так і для пакування вибухонебезпечних виробів.

7. Висновки

У результаті проведених досліджень встановлена ефективність застосування сумішей неорганічних та органічних речовин у якості вогнезахисних покриттів для деревин, зокрема:

– при температурному впливі стандартного полум'я пального на зразки, які були оброблені покриттями на основі неорганічних речовин, втрата маси і температура газоподібних продуктів горіння не перевищувала нормованого значення, але захист потребує нанесення на будівельну конструкцію значної товщини захисного шару; для зразка, обробленого покриттям на органо-мінеральній основі, за рахунок утворення спученого шару коксу, значно підвищується вогнестійкість деревини при меншій витраті покриття;

– натурні випробування на модельних зразках дерев'яних будівельних конструкцій при дії полум'я магнію показали, що покриття на основі неорганічних речовин витримують високу температуру, однак з часом стають жорсткими, що призводить до втрати адгезійних властивостей, відшарування і осипання, натомість органо-мінеральне покриття, за рахунок утворення спуче-

ного шару, ефективно запобігло проходження високої температури до матеріалу, що вплинуло на швидкість та глибину обвуглювання.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення процесів структуроутворення захисного шару, встановлення взаємозв'язку між складовими і властивостями покриттів: пінококсу, термо- і атмосферостійкості.

Швидкість вигорання необроблених та оброблених зразків тари

Зразки	Втрата маси Δm, кг	Час випробування τ, с	Площа пошкодження зразка S, м ²	Швидкість вигорання зразка υ, кг/(м ² ·с)
необроблений	0,283	720	0,026	0,0151
оброблений органо-мінеральним покриттям	0,020	720	0,025	0,0010
оброблений вогнезахисним покриттям на неорганічній основі	0,048	720	0,021	0,0032
оброблений геоцементним жаростійким покриттям з тепловідбивним екраном	0,051	720	0,019	0,0037

Таблиця 1

Час впливу полум'я магнію на поверхню деревини

Зразки	Швидкість обвуглювання, мм/хв	Час впливу полум'я магнію на поверхню матеріалу t, хв.
необроблений	2,015	16,2
оброблений органо-мінеральним захисним покриттям	0,148	6,75
оброблений вогнезахисним покриттям на неорганічній основі	0,430	12,81
оброблений геоцементним жаростійким покриттям з тепловідбивним екраном	0,497	11,07

Таблиця 2

ди, вогнезахисні покриття по різному реагують на високотемпературне полум'я магнію. Зокрема, покриття на неорганічній основі утворюють на поверхні деревини пористу структуру, яка запобігає займанню деревини, однак такі покриття під впливом температури з часом відшаровуються від основи та пропускають тепло, що призводить до обвуглювання поверхні ма-

Література

1. Kobelev, A. A. Kompleksnaya otsenka požarootpurnykh svoystv, a takzhe bio- i bio- vodostoikost drevesiny v prisutstvii ognезасhitnykh system na osnove forfor- i kremniorganicheskikh soedinenii [Text] / A. A. Kobelev, E. N. Pokrovskaya // Vestnik MGSU. – 2010. – Vol. 1. – P. 275–283.
2. Guzii, S. Fire Protection of wooden storage containers for explosive and pyrotechnic products [Text] / S. Guzii, Yu. Tsapko, A. Kravchenko, M. Remenets // Eureka: Physics Sciences and Engineering. – 2016. – Vol. 2. – P. 34–42. doi: 10.21303/2461-4262.2016.00059
3. Sakkas, K. Behaviour of passive fire protection k-geopolymer under successive severe fire incidents [Text] / K. Sakkas, A. Sofianos, P. Nomikos, D. Pnias // Materials. – 2015. – Vol. 8, Issue 9. – P. 6096–6104. doi: 10.3390/ma8095294

4. Kravchenko, A. Research of fire-retardant properties of timber constructions, protected geocement-based coating, after their operation [Text] / A. Kravchenko, S. Guzii, Yu. Tsapko, V. Petranek // Advanced Materials Research. – 2015. – Vol. 1122. – P. 7–10. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.1122.7
5. Gyvlyoud, M. M. Temperaturostiyki silikatni zahysni pokryttya dlya metaliv tasplaviv na osnovi napovnenogo polimetylphenilsyloksanu [Text] / M. M. Gyvlyoud, O. I. Bashynskiy, S. Ya. Vovk // Zbirnyk naukovykh prazh Lvivskogo derzhavnogo universytetu BZHD. – 2011. – Vol. 18. – P. 40-45.
6. Antsupov, E. V. Antipireny dlya poristyh materialov [Text] / E. V. Antsupov, S. M. Rodivilov // Pozharovzryvbezopasnost. – 2011. – Vol. 20, Issue 5. – P. 25-32.
7. Futterer, Th. New developments in intumescent fire-protection-combinations for thermoplastic [Text] / Th. Futterer // Fire Retardant Coating II : Proceeding II European Conference, 2007. – P. 69–101.
8. Nenahov, S. A. Fiziko-himiya vspenivayouschihsiya ognezaschitnyh pokrytyi na osnove polifosfata amoniya [Text] / S. A. Nenahov // Pozharovzryvbezopasnost. – 2010. – Vol. 19, Issue 8. – P. 11–58.
9. Pat. 95440 UA, MPK C09K 21/02. Vognezahysne pokryttya dlya derevyny [Text] / Kravchenko A. V., Guzii S. G., Kryvenko P. V., Tsapko Yu. V. – № u 201407260; declared: 27.06.2014; published: 25.12.2014, Bul. 24.
10. Tihonov, V. N. Analiticheskaya himiya magniya [Text] / V. N. Tihonov. – Moscow: Nauka, 1973. – 254 p.
11. Tsapko, Yu. V. Vyznachennya chasu vynyknennya ta tryvalosti pozhezhi za urazhenymy derevyanymy konstruktsiyamy [Text] / Yu. V. Tsapko, O. Yu. Tsapko // Kriminalistika i sudebnaya ekspertiza. – 2012. – Vol. 57. – P. 91–96.

