

Ю.В. Цанко, к.т.н., с.н.с.; В.М. Жартівський, д.т.н., проф. (Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля), М.Є. Карташов (Севастопольський військово-морський інститут ім. П.С. Нахімова ЗС України)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ВОГНЕЗАХИЩЕНОЇ ДЕРЕВ'ЯНОЇ ТАРИ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА БОЄПРИПАСІВ

Проведено дослідження теплопровідності деревини, яку було оброблено просочувальними засобами і покриттями та встановлено зменшення коефіцієнту теплопровідності для вогнезахисних зразків. Наведено результати зміни переданої густини теплового потоку в часі через стінку тари для вогнезахисних зразків.

Ключові слова: пожежна безпека лісів, лісові екосистеми, збереження ландшафтного біорізноманіття, захист довкілля

Відповідно до документів, чинних в ЗС України, норма виїзду караулу на пожежу, яка може виникнути на арсеналах та військових базах, становить не більше 5 хв від виявлення, але початок пожежі і її поширення залежить від багатьох чинників, які не завжди можна передбачити, а тому для ліквідації пожежі нормованого часу буває недостатньо. Оскільки, одним з найбільш поширених матеріалів для виготовлення тари є деревина та її модифікації (фанера, деревоволокнисті плити), які за групою горючості відносять до групи горючих матеріалів середньої займистості то вогнезахисна обробка тари дозволяє надати деревині здатності протистояти дії полум'я та поширенню його поверхнею. В роботах [1-5] наведено результати досліджень можливості вогнезахисту тари, яку виготовлено з деревини та її модифікацій, для зберігання озброєння та боєприпасів та визначено вогнезахисну ефективність засобів, а саме просочувальної суміші ДСА-2 та вогнезахисних покриттів "Фенікс – ДП" і "Фенікс – ДБ". Вогнезахиснені зразки тари для зберігання боєприпасів не здатні до займання та поширення полум'я поверхнею, і здатні витримати термічний вплив, але не розглянуто як впливає теплопровідність матеріалу на збільшення часу спрацювання піропатронів та руйнування конструкції.

Метою роботи було визначення часу передавання густини теплового потоку та вплив вогнезахисту на теплопровідність деревини, що дозволить більш ефективно забезпечити пожежну безпеку складів зберігання озброєння та боєприпасів ЗС України та внести зміни у відповідні нормативні документи.

В даній роботі визначено вплив вогнезахисту на теплопровідність деревини та поширення теплового потоку по товщині стінки тари від зовнішнього теплового впливу. Розглядалися одношарові стінки тари, яку виготовлено з сосни в тому числі обробленої засобами вогнезахисту.

Для визначення цієї залежності передавання густини теплового потоку застосовано метод, що ґрунтується на математичному моделюванні процесів теплообміну конструкції в умовах заданого температурного режиму [6, 7].

Теплова схема стінки дерев'яної тари наведена на рис. 1.

Математична модель складається з рівнянь теплопровідності та умов однозначності і має такий вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) = c \cdot \rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

$$T(x, 0) = T_0 \quad (2)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L} = 0 \quad (3)$$

$$-\lambda \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = \alpha^* (T_c(t) - T(0, t)) \quad (4)$$

$$\alpha^* = \alpha_k + \frac{C_0 \varepsilon}{T_c(t) - T(0, t)} \left\{ \left(\frac{T_c(t)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T(0, t)}{100} \right)^4 \right\} \quad (5)$$

$$T_c(t) = 20 + 345 \lg(0,133 t + 1) \quad (6)$$

де T – температура стінки, К;

T_c – температура нагрівального середовища, К;

x – координата, м;

t – час, с;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$;

c – питома масова теплоємність матеріалу, $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$;

ρ – густина матеріалу, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

α^* – сумарний коефіцієнт тепловіддачі на обігрівній поверхні стінки, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$;

α_k – коефіцієнт тепловіддачі конвенцією на обігрівній поверхні стінки, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$;

C_0 – випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$;

ε – зведений коефіцієнт теплового випромінювання системи “нагрівальне середовище – обігрівна поверхня стінки”.

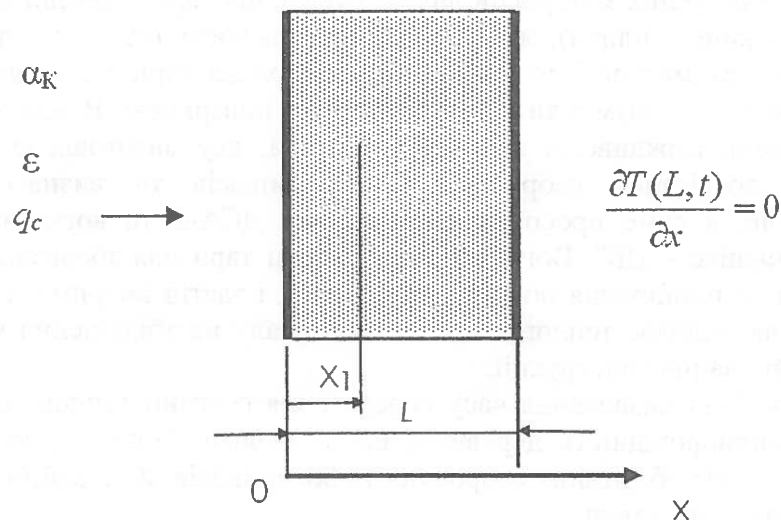


Рис. 1. Теплова схема стінки дерев'яної тари

Розв'язання задачі полягає в оцінюванні густини теплового потоку в дискретні моменти часу відповідно до рівняння:

$$q(t_i) = -\lambda \cdot \frac{\partial T(x, t_i)}{\partial x} \quad (7)$$

Рішення для температури в плоскому напівобмеженому тілі, яке визначається умовою $x > 0$ і піддається дії теплового потоку постійної густини, має наступний вигляд [8]:

$$T(x, t) = T_0 + 2 \frac{q_c}{\lambda} (a \cdot t)^{1/2} \cdot \text{ierfc} \left[\left(\frac{4a \cdot t}{x^2} \right)^{-1/2} \right], \quad (8)$$

де q_c – значення густини теплового потоку, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

a – коефіцієнт температуропровідності матеріалу, $\text{м}^2/\text{с}$;

$\text{ierfc}(z) = \pi^{-1/2} \cdot \exp(-z^2) - z \cdot \text{erfc}(z)$ – функція Лапласа.

Температура на нагрівній поверхні описується рівнянням:

$$T(0, t) = T_0 + 2 \left(\frac{q_c}{\lambda} \right) \cdot \left(\frac{a \cdot t}{\pi} \right)^{1/2}. \quad (9)$$

Але це рішення справедливе для лінійних задач, коли теплофізичні характеристики матеріалу не залежать від зміни температури.

Якщо допустити, що коефіцієнт теплопровідності (λ), густина матеріалу (ρ) і питома теплоємність (c) є функціями координати, початкове розподілення температури матеріалу, товщина стінки координата розташування датчика температури відомі, а значення температури в точці x_i відповідає значенню вимірюваній Y_i в момент часу t_i :

$$T(x_i, t_i) = Y_i, \quad (10)$$

то, для вирішення задачі (1)–(6) можна застосувати метод Дюамеля, який полягає в визначенні температури усередині тіла і наступному розрахунку градієнта температури:

$$T(x, t) = T_0 + \int_{t_0}^t u(x, t+k) \frac{\partial Y(k)}{\partial k} + \sum_{i=0}^{N-1} u(x, t-k_i) \cdot \Delta Y_i, \quad (11)$$

де $u(x, t)$ – функція зміни температури тіла за початкової температури та одиничній зміні температури поверхні,

$Y(t)$ – зміна у часі температури поверхні,

T_0 – початкова температура тіла.

У співвідношенні (11) інтеграл враховує неперервну залежність у часі температури поверхні, а сума враховує N дискретних ступінчатих змін температури поверхні, що проходять в момент часу $k_i = i \cdot \Delta t$.

Для вирішення залежності (11) застосовано принцип суперпозиції [9], а саме температура в деякій точці в момент часу t_M визначається вкладом окремих компонентів, кожен з яких відповідає тій чи іншій компоненті густини теплового потоку від q_i до q_M включно [10]:

$$T_M = T_0 + \sum_{n=1}^M q_n \cdot \Delta \phi_{M-n}. \quad (12)$$

При цьому часові кроки подаються у вигляді:

$$\Delta \phi_i = \phi_{i-1} - \phi_i. \quad (13)$$

Для визначення коефіцієнта теплопровідності відповідно до значень температури у середині плоскої пластини, на яку діє тепловий потік, приведемо залежність (8) до безрозмірного виду:

$$T^+(t_x^+) = 2(t_x^+)^{1/2} \operatorname{ierfc} \left[(4 \cdot t_x^+)^{-1/2} \right], \quad (14)$$

де

$$T^+ \equiv \frac{\lambda \cdot [T(x, t) - T_0]}{q_c \cdot x}; \quad t_x^+ \equiv \frac{a \cdot t}{x^2}. \quad (15)$$

Залежність безрозмірної температури від координати і часу для плоскої пластини табульовано в [10].

Величина ϕ_i розраховується для напівбезкінцевої пластини за одиничного ступінчастого збільшення густини теплового потоку на поверхні, а саме за таких припущень: $q_c=1$, $T_0=\text{const}$, $T(x, t)=\phi$ за рівнянням:

$$\phi_i = \frac{x}{\lambda} \cdot T_i^+ \quad (16)$$

Під час розв'язання задачі використовували результати вимірювань середньої температури зразків деревини і середньої температури в печі та кусково-лінійну

апроксимацію залежностей теплофізичних характеристик (коефіцієнт теплопровідності) від температури. При цьому задавали такі значення параметрів: $\alpha_0 = 8,7 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$; $\alpha_k = 25 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$; $\varepsilon = 0,5$; $T_0 = 15 \text{ }^\circ\text{С}$.

На рис. 2-4 представлено результати визначення коефіцієнта теплопровідності деревини шляхом розв'язання оберненої задачі теплопровідності за даними температурних вимірювань під час випробувань на поширення температури внутрішніх шарів деревини за залежністю (12)-(15).

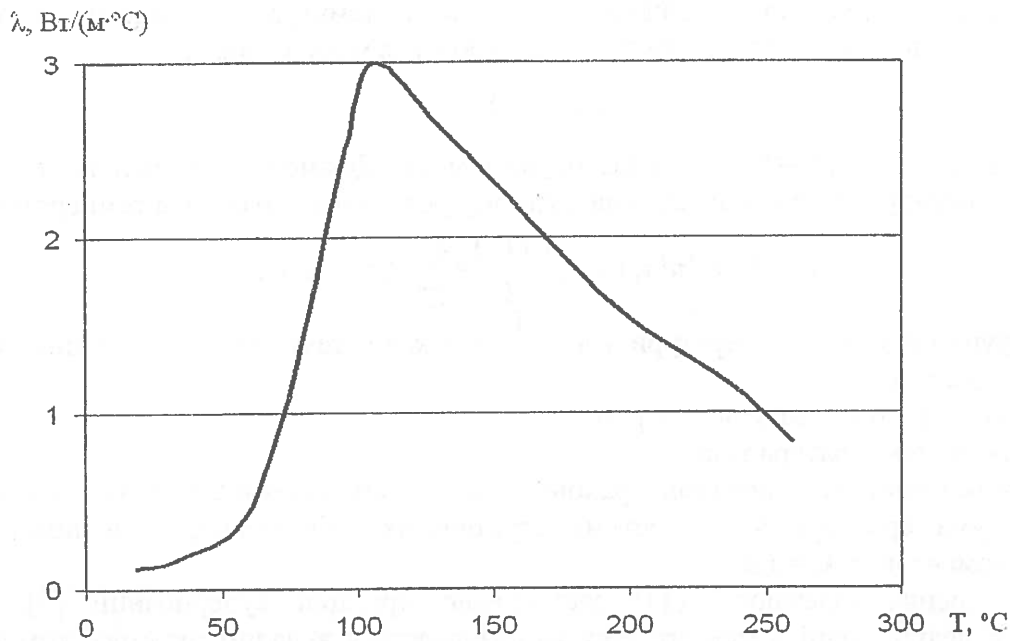


Рис. 2. Залежність коефіцієнта теплопровідності необробленої деревини від температури

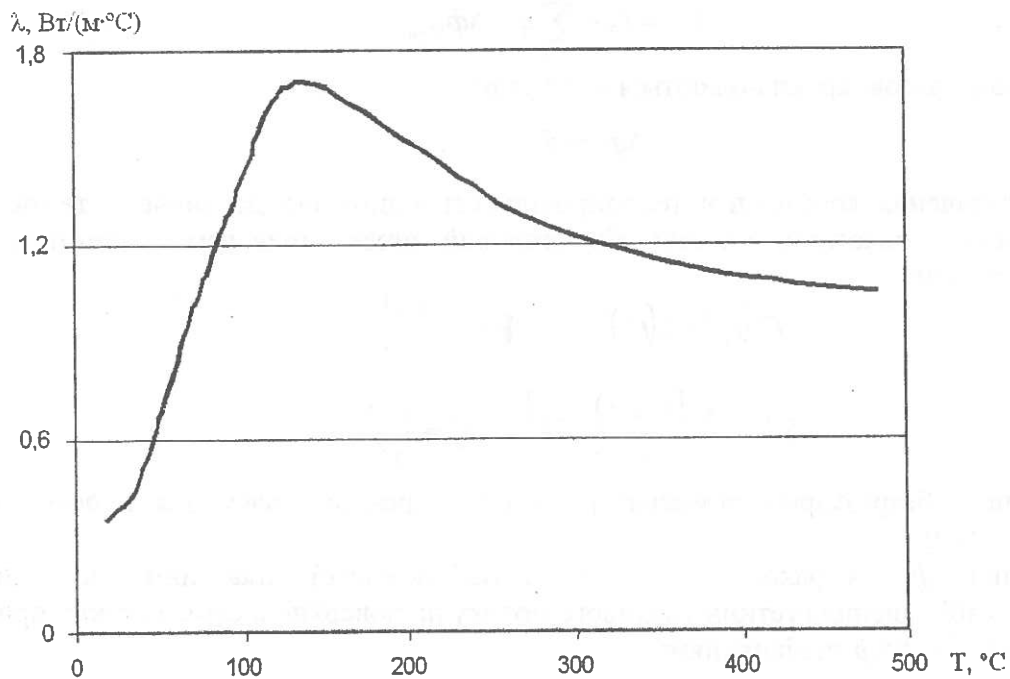


Рис. 3. Залежність коефіцієнта теплопровідності деревини вогнезахисної сумішшю ДСА-2 від температури

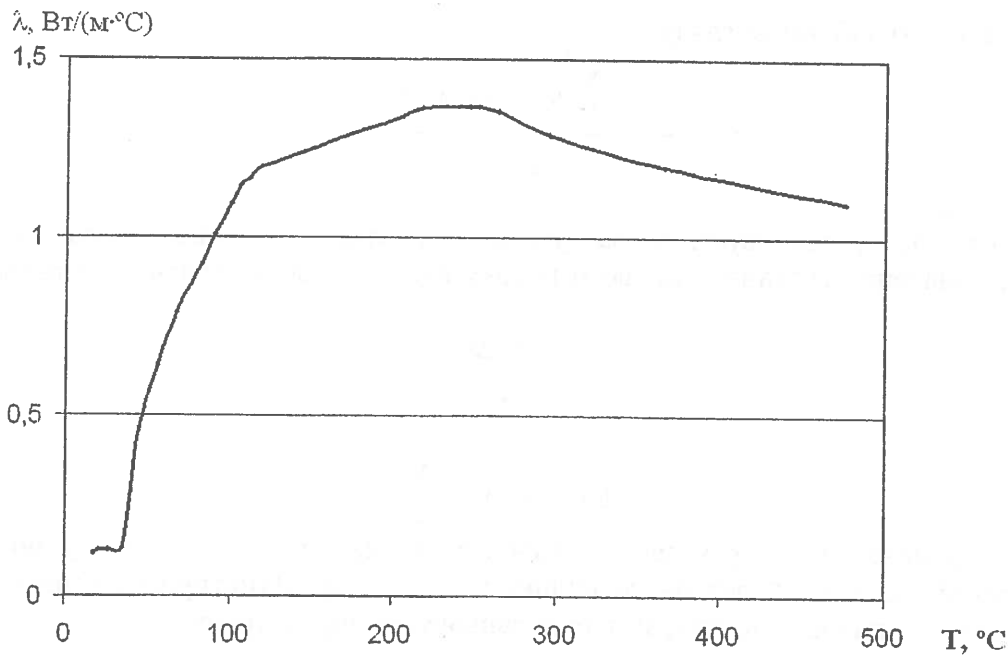


Рис. 4. Залежність коефіцієнта теплопровідності деревини вогнезахисненої покриттям "Фенікс ДП" від температури

Як видно з рис. 2-4, з наростанням температури коефіцієнт теплопровідності деревини збільшується завдяки втратам води, а потім різке зменшення до значення деревинного вугілля (близько 0,6 Вт/(м·°С)). Для захищеної деревини завдяки дії вогнезахисних речовин встановлено незначне підвищення коефіцієнта теплопровідності та поступове зниження в зв'язку з утворенням на поверхні захисного шару коксу.

Визначення густини теплового потоку дерев'яної стінки для заданих значень температурного впливу полягало в пошуку таких значень часу, для яких тепловий потік на необігрівій поверхні стінки становить близько 6070 Вт/м², що відповідає значенню спрацювання піропатронів. При цьому під час розв'язання задачі теплопровідності задавали такі ж значення параметрів моделі, по товщині $\bar{L} = 0,020$ м.

Для оцінювання теплового потоку, як функції дискретних нестационарних температур від датчика температури, використаємо метод точної підгонки Штольца [10], а саме температура в точці розміщення датчика в момент часу t_M може бути записана у вигляді:

$$T_M = \hat{T}_M|_{q_M=0} + \Delta\phi_0 \cdot q_M, \quad (17)$$

де $\Delta\phi_0$ – зміна температури в точці розміщення датчика в момент часу t_1 для одиночної зміни в момент $t = 0$ густини теплового потоку:

$$\Delta\phi_0 = \frac{\partial T_M}{\partial q_M}. \quad (18)$$

При точному значенні підгонки T_M прирівнюється виміряній в момент t_M температурі Y_M , а рівняння (17) вирішується відносно оціненої складової густини теплового потоку \hat{q}_M :

$$\hat{q}_M = \frac{Y_M - \hat{T}_M|_{q_M=0}}{\phi_1}, \quad (19)$$

де $\Delta\phi_0 = \phi_1 - \phi_0 = \phi_1$.

Враховуючи, що

$$\hat{T}_M|_{q_M=0} = \sum_{i=1}^{M-1} \hat{q}_i \cdot \Delta\phi_{M-1} + T_0 \quad (20)$$

співвідношення (19) набуває вигляду:

$$\hat{q}_M = \frac{Y_M - \sum_{i=1}^{M-1} \hat{q}_i \cdot \Delta\phi_{M-1} - T_0}{\phi_1}, \quad (21)$$

де $\Delta\Phi = \Phi_M - \Phi_{M-1}$.

Значення ϕ_M розраховується за умови одиничного ступінчастого збільшення попереднього значення густини теплового потоку $q_{M-1} = 1$, яка залежить від значення Y_M , з кроком:

$$t_x^+ \equiv \frac{a \cdot \Delta t}{x^2},$$

за рівнянням:

$$\phi_M = T^+(t_i) \cdot \frac{x}{\lambda}. \quad (22)$$

На рис. 5 наведено розраховані залежності густини теплового потоку по товщині ($L = 0,020$ м) від часу температурного впливу на деревину. Пунктирною лінією показано критичну густину теплового потоку, за якої спрацьовують піропатрони.

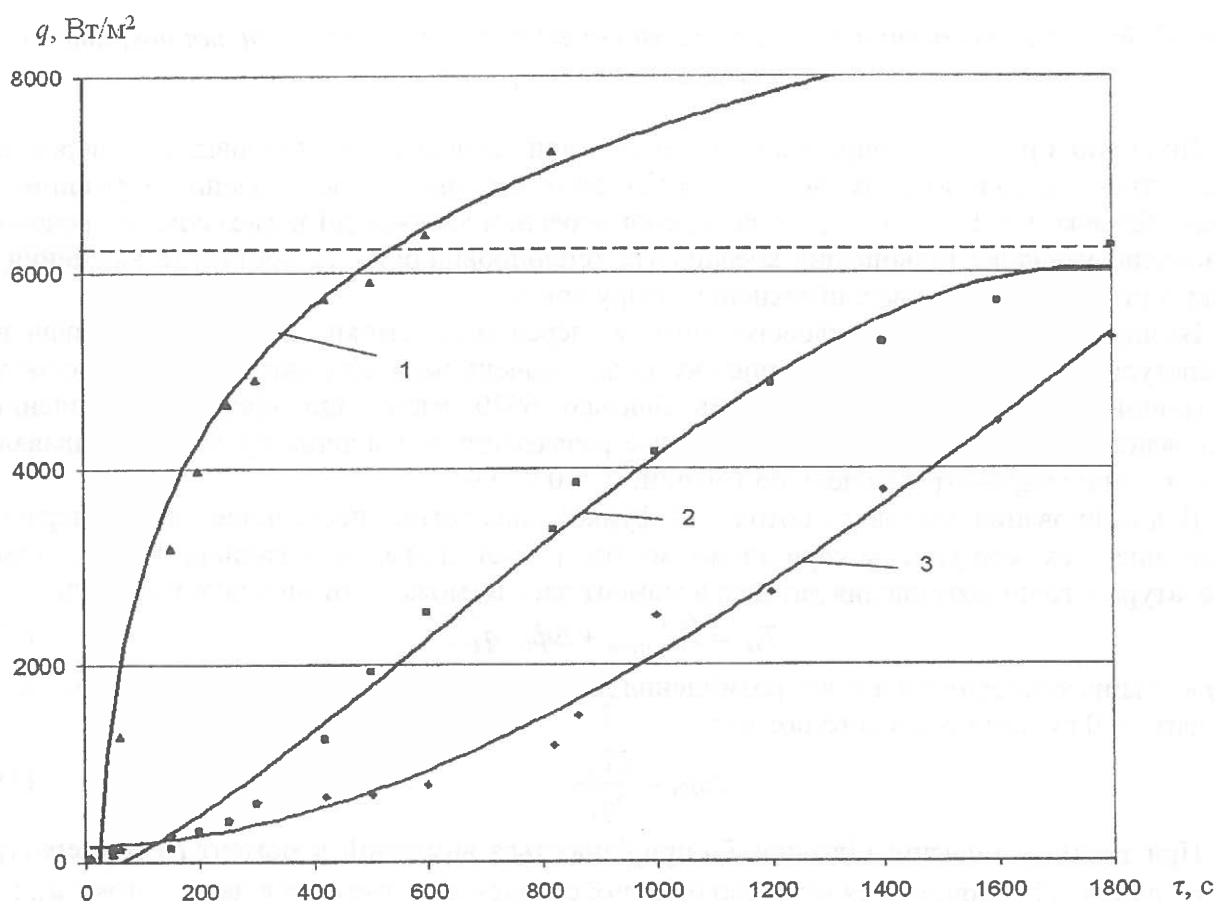


Рис. 5. Результати розрахунку густини теплового потоку залежно від часу термічного впливу на деревину:

1 – необроблена; 2 – вогнезахиснена покриттям "Фенікс ДП"; 3 – просочена сумішшю ДСА-2

Як видно з рис. 5, на поширення густини теплового потоку по товщині дерев'яної стінки суттєво впливає вогнезахист, а саме вогнезахисна обробка дозволяє збільшити більш ніж вдвічі час передавання теплового потоку.

Таким чином, розроблено розрахунково-експериментальний метод визначення величини теплового потоку через дерев'яну стінку тари для зберігання боеприпасів та встановлено, що вогнезахисна обробка дозволяє збільшити час передавання теплового потоку через стінку більше ніж у двічі.

Визначені в роботі залежності можуть бути використані при розробці нормативних документів з забезпечення пожежної безпеки складів зберігання озброєння та боеприпасів ЗС України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Цапко Ю. В. Підвищення протипожежного захисту складів зберігання озброєння і боеприпасів шляхом застосування вогнезахищеної деревини / Ю. В. Цапко, В. М. Жартовський, О. В. Бикова, О. Г. Барило, М. С. Мошковський, С. В. Фетісов // Техногенна безпека. Теорія, практика, інновації: Зб. тез міжнар. наук.-практ. конф. – Л.: ЛДУБЖД, 2008. – С. 207–209.
2. Цапко Ю. В. Аспекти визначення параметрів вогнезахисту деревини для підвищення протипожежного захисту складів зберігання озброєння і боеприпасів / Ю. В. Цапко // Зб. наук. пр. Севастопольського військово-морського інституту ім. П.С.Нахімова. – Севастополь: СВМІ.- 2008. – Вип. 1(14). – С. 142–146.
3. Цапко Ю. В. Визначення шляхів вогнезахисту дерев'яної тари для зберігання озброєння та боеприпасів / Ю. В. Цапко, О. В. Бикова, О. Г. Барило, В. М. Жартовський, М. С. Мошковський, С. В. Фетісов, М. Є. Картошов // Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: Мат. міжнар. наук.-практ. конф. – Черкаси, 2008. – С. 65-66.
4. Пат. 37035 України. Спосіб визначення ефективності вогнезахисту дерев'яної тари для зберігання горючих та вибухонебезпечних виробів / Цапко Ю. В., Жартовський В. М. та інш. Опубл. 10.11.2008.
5. Цапко Ю. В. Дослідження ефективності вогнезахисту дерев'яної тари для зберігання озброєння та боеприпасів / Ю. В. Цапко // Пожежна безпека: Зб. наук. праць.- Львів: ЛДУ БЖД, 2008.- Вип. 13.- С. 90-96.
6. Круковский П. Г. Обратные задачи тепломассопереноса / П. Г.Круковский. – Киев: Ин-т техн. теплофизики НАН Украины, 1998. – 224 с.
7. Яковлев А. И. Инструкция по расчету фактических пределов огнестойкости стальных конструкций / А. И. Яковлев, Л. В. Шейкина, Н. П. Савкин. – Москва, 1972. – 172 с.
8. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 500 с.
9. Корн Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1974. – 832 с., ил.
10. Бек Дж. Некорректные обратные задачи теплопроводности: пер. с англ. / Бек Дж., Блакуэлл Б., Сент-Клер Ч., мл. – М.: Мир, 1989.- 312 с., ил.

Ю.В. Цапко, к.т.н., с.н.с.; В.М. Жартовський, д.т.н., проф., М.Е. Карташов

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОГНЕЗАЩИЩЕННОЙ ДЕРЕВЯНОЙ ТАРЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВООРУЖЕНИЯ И БОЕЗАПАСОВ

Проведены исследования теплопроводности древесины, которую было обработано пропиточными средствами и покрытиями, и определено уменьшение коэффициента теплопроводности для огнезащищенных образцов. Приведены результаты изменения передаваемой плотности теплового потока во времени через стенку тары для огнезащищенных образцов.

Ключевые слова: теплопроводность дерева, деревянная тара, оружие и боезапасы

RESEARCH OF HEAT CONDUCTIVITY OF FIRE PROTECTIVE WOODEN CONTAINERS FOR ARMAMENT AND AMMUNITION STORAGE

Research of heat conductivity of wooden is conducted, which of fire-protective was by facilities and coverages and diminishing the coefficient of heat conductivity is set for fire-protective standards. The results of change of thermal stream are resulted passed through a wall for fire-protective standards.

Key word: heat conductivity of wood, wooden containers, armament and ammunition

УДК 624. 012. 035

О.І. Башинський, к.т.н., В.В. Артеменко (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності), Т.Б. Боднарчук, к.т.н. (Львівський національний аграрний університет), В.М. Андрієнко, к.т.н., професор (Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля МНС України)

ГОЛОВНІ ВІДМІННОСТІ РОБОТИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ СТРІЧКОВОЮ ТА СТЕРЖНЕВОЮ АРМАТУРОЮ ПРИ ЗГІНІ ПІД ДІЄЮ ПОПЕРЕЧНИХ СИЛ ТА ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

В статті подано результати експериментальних досліджень та теоретичні розрахунки. Заслуговує на увагу проведений порівняльний аналіз роботи сталобетонних балок із залізобетонними балками-аналогами. Робиться спроба визначити вплив зовнішньої стрічкової арматури на міцність похилих перерізів сталобетонних балок з поперечною арматурою, а також визначити відмінність її роботи порівняно зі звичайною стержневою арматурою

Ключові слова: бетон, залізобетон, арматура, температура, поперечна сила, сталобетон, міцність, вогнестійкість, тріщиностійкість, балка.

На сьогодні конструктивні форми та перерізи залізобетонних елементів настільки глибоко вивчені, що подальше їх удосконалення не дає суттєвого економічного ефекту. Ці та інші завдання дозволяє вирішити новий напрямок залізобетонних конструкцій з зовнішнім стрічковим армуванням.

Сталобетонні згинальні елементи – балочні конструкції, в яких у розтягнутій зоні, а іноді й у стиснутій, застосовується стрічкова арматура. Перспективність їх використання обумовлена розширенням сфери застосування залізобетону та економічними можливостями цього напрямку. Це особливо актуально в умовах різкого подорожчання енергоносіїв.

Концентроване розміщення стрічкової арматури на зовнішніх гранях сталобетонного перерізу дозволяє знизити масу, зменшити розміри перерізу порівняно з залізобетонними елементами або отримати економію сталі при однаковій висоті поперечного перерізу. Застосування стрічкової арматури виключає необхідність її багаторядного розміщення по висоті, як в залізобетонних елементах, а це дозволяє більш економічно використовувати сталь.

Відкрита з одного боку площина стрічкової арматури дає можливість легко підсилювати сталобетонні елементи при збільшенні корисного навантаження, а також використати стрічкову арматуру, як закладні деталі.