35. Information systems defence and security: France's strategy. – French Network and Information Security Agency. – 2011. – С. 23. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.gouvernement.fr/ sites /default/files/fichiers_joints/livre-blanc-sur-la-defense-et-la-securite-nationale_2013.pdf

36. Inkster N. Chinese Intelligence in the Cyber Age / N. Inkster // Survival: Global Politics and Strategy. – 2013. – Vol. 55, issue 1. Pp. 45–66.

37. National Cyber Security Strategies. Practical Guide on Development and Execution. –ENISA, 2012. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.enisa.europa.eu/activities/Resilience-and-CI-IP/national-cyber-secu rity-strategies-ncsss/national-cyber-security-strategies-an-implementation-guide

38. National Cyber Security Strategy and 2013-2014 Action Plan. – Republic of Turkey. Ministry of Transport, Maritime Affairs and Communications, 2013. – Pp. 47-52. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.ccdcoe. org/strategies/TUR_CyberSecurity.pdf

39. NCAFP. Cyberpower and National Security // American Foreign Policy Interests: The Journal of the National Committee on American Foreign Policy. – 2013. – Vol. 35. – № 1. – Pp. 45–58.

40. Regulation (EC) No 460/2004 of the European Parliament and of the Council of 10 March 2004 establishing the European Network and Information Security Agency (Text with EEA relevance) // Official Journal L 077, 13/03/2004. – Pp. 0001-0011. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.eur-lex.europa.eu/ LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004R0460:EN:HTML

41. Lewis James A. Securing Cyberspace for the 44th Presidency / James A. Lewis // Center for Strategic and International Studies. [Electronic resource]. – Mode of access http://csis.org/files/media/csis/pubs/081208_securingcyberspace_44.pdf

42. Stubley D. What is Cyber Security? / D. Stubley. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.7elements.co.uk/resources/blog /what-is-cyber-security

43. The Battle for Power on the Internet. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.theatlantic. com/technology/archive/2013/10/the-battle-for-power-on-the-internet/280824/

44. The national strategy to secure cyberspace. – Washington, 2003. – 60 с. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.us-cert.gov/sites/default/files/publications/cyberspace_strategy.pdf

Надійшла до редакції 16.11.2016 р.

Грыцюк Ю.И. **Киберинтервенция и кибербезопасность Украины: проблемы и перспективы их преодоления**

Рассмотрены некоторые проблемы киберинтервенции и кибербезопасности Украины, а также перспективы их преодоления. Приведены приоритетные принципы государственной политики в сфере обеспечения кибербезопасности Украины в условиях проведения войны с Россией. На основании анализа правовых источников определены пути формирования основ современной государственной политики в сфере обеспечения кибербезопасности Украины. Детализированы основные угрозы и направления деструктивной деятельности Российской Федерации в информационном пространстве Украины в ущерб национальным интересам государства. Обоснована целесообразность разработки организационно-правовых и методологических основ по обеспечению кибербезопасности Украины в условиях ведения войны с Россией, а также построения национальной системы кибербезопасности.

Ключевые слова: государственные информационные ресурсы, информационный суверенитет, отечественное информационное пространство, гибридная война, антитеррористическая операция, информационная атака, государственная политика в сфере обеспечения кибернетической безопасности, кибертерроризм, киберпреступность, отечественный сегмент киберпространства, объекты критической инфраструктуры, социальные сети, специальная информационная операция, войска информационных операций, национальная система кибербезопасности.

Gryciuk Yu.I. **Cyber Intervention and Cyber Security of Ukraine: Problems and Prospects of Overcoming Them**

Some problems cybernetic intervention and cyber security of Ukraine and the prospects for overcoming them. Are given priority principles of state policy in the field of cyber security of Ukraine in conditions of war with Russia. Based on the analysis of the legal sources of the ways of developing the foundations of a modern state policy in the field of cyber security in Ukraine. Refine major threats and areas of destructive activities of the Russian Federation in the information space of Ukraine at the expense of national interests. The expediency of development of organizational, legal and methodological bases to ensure the cyber security of Ukraine in conditions of war with Russia, as well as the construction of a national cyber security system.

Keywords: government information resources, information sovereignty, national information space hibridna war against terrorism, information attack, state policy in the field of cyber security, cyberterrorism, cybercrime, the domestic segment of cyberspace, critical infrastructure, social networks, special information operations, the troops information operations, national cyber security system..

УДК 351.861

МЕТОДИКА РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОХОЛОДЖУВАЛЬНОГО ЕФЕКТУ В ПРОЦЕСІ НАГРІВАННЯ ЗРАЗКА ДЕРЕВИНИ, ПРОСОЧЕНОГО ВОДНОЮ ВОГНЕБІОЗАХИСНОЮ РЕЧОВИНОЮ

С.М. Чумаченко[1], С.В. Жартовський[2], О.М. Тітенко[3]

Розроблено методику розроблення математичної моделі охолоджувального ефекту в процесі нагрівання зразка деревини, просоченого водною вогнебіозахисною речовиною. Результати математичного моделювання свідчать про істотний охолоджувальний ефект від використання запропонованих антипіренів для вогнезахисту деревини, оскільки інтервал часу від початку теплового впливу до моменту початку полум'яного горіння для вогнезахищеної деревини у два з половиною рази більший, ніж для невогнезахищеної. Представлена методика пов'язує охолоджувальний ефект від використання водних вогнебіозахисних речовин для вогнезахисту деревини із вкладом у прогнозне подовження часу початкової стадії розвитку пожежі, її доцільно використовувати під час розроблення компонентного складу водних вогнебіозахисних речовин.

Ключові слова: методика, модель, антипірени, вогнезахисне просочення, водна вогнебіозахисна речовина.

Актуальність теми. Аналіз світових тенденцій використання екологічно безпечних матеріалів у будівництві свідчить про те, що деревина була і залишається популярним будівельним матеріалом. Але при цьому треба пам'ятати, що деревина є горючим матеріалом, а продукти її термодеструкції є надзвичайно токсичними. Статистичний аналіз, виконаний в Науково-дослідному інституті пожежної охорони (СРСР, Росія), свідчить про те, що у XX ст. у більш ніж 70 % випадків на пожежах саме деревина була основним горючим матеріалом, і при цьому кількість загиблих від загальної кількості загиблих на пожежах становить 92 %. Природно такою статистикою не можна задовольнятися, особливо коли йдеться про об'єкти з масовим перебуванням людей та/або об'єктах критичної інфраструктури. Отже, не втрачає актуальності питання якісного вогнезахисту деревини, яка входить до складу будівельних конструкцій [1, 2].

Попередні дослідження за темою. Для створення відповідних заходів і засобів вогнезахисту потрібно мати уявлення про складний хіміко-фізичний про-

[1] ст. наук. співроб. С.М. Чумаченко, д-р техн. наук – Український НДІ цивільного захисту ДСНС України;
[2] ст. наук. співроб. С.В. Жартовський, канд. техн. наук – Український НДІ цивільного захисту ДСНС України;
[3] ст. наук. співроб. О.М. Тітенко, канд. техн. наук – Український НДІ цивільного захисту ДСНС України

цес розвитку пожежі і характер його дії на різні об'єкти. У загальному випадку ці процеси описуються повною системою рівнянь Нав'є-Стокса [3]: рівнянням енергії (охоплює перенесення енергії за рахунок конвективних процесів, теплопровідності, випромінювання, дифузії, хімічних реакцій горіння пожежної навантаження), рівнянням нерозривності, дифузії, стану і теплообміну. У зв'язку з невизначеністю низки граничних умов процесу розвитку пожежі і труднощами врахування всіх значущих чинників, зокрема із складністю опису і врахування складової хімічних перетворень продуктів горіння, точне рішення зазначеної системи рівнянь є найскладнішою науковою проблемою, особливо в контексті вирішення практичних завдань з переведення деревини із групи легкозаймистих матеріалів у групу важкозаймистих або важкогорючих матеріалів. Використання водних вогнебіозахисних речовин дає змогу ефективно реалізовувати охолоджувальний, інгібувальний, флегматизувальний та ізолятивний ефекти для руйнування класичного трикутника горіння [4]. При цьому кількісний вклад зазначених ефектів буде залежати від компонентного складу вогнезахисних речовин, технології їх використання, характеристик пожежної навантаги, об'єкта тощо.

На етапах розроблення складів водних вогнебіозахисних речовин корисним є визначення охолоджувального ефекту від введення антипіренів в поверхневі шари дерев'яних будівельних конструкцій. Отже, **метою роботи** є розроблення математичної моделі охолоджувального ефекту в процесі нагрівання зразка деревини, просоченого водною вогнебіозахисною речовиною.

Для цього пропонуємо методику, що складається з таких етапів.

Етап 1. Визначення розподілу маси антипіренів унаслідок просочення поверхневих шарів деревини

Розподіл маси антипіренів залежно від глибини від поверхні зразка дерева приймаємо згідно з [5] у вигляді емпіричної залежності щільності антипіренів від глибини

$$\rho_{fr}(h) = k_1 \cdot \exp(k_2 \cdot h),\ \text{кг/м}^3, \qquad (1)$$

де: h – відстань від поверхні дерева до розглядуваної точки, м; k_1, k_2 – коефіцієнти, кг/м^3; 1/м.

Під час розроблення математичної моделі будуть використані чисельні методи, тому зразок деревини буде розбито на дискретні елементи Δh у глибину зразка. Тоді, згідно з (1), визначаємо елементарну щільність антипіренів, що знаходяться на глибині h

$$\Delta m_{FR}(h, \Delta h) = \int_{h}^{h+\Delta h} \rho_{fr}(h) \cdot dh,\ \text{кг/м}^3 \qquad (2)$$

Етап 2. Визначення енергетики перетворень компонентів вогнезахисного засобу під час нагрівання

Під час нагрівання з кожним із компонентів відбувається ряд послідовних перетворень [6], ряд стадій розпаду. Для прикладу, розглянемо модель енергетики перетворень у процесі нагрівання зразка деревини, просоченого антипіренами згідно з положеннями [7], до моменту займання. Під час створення цієї

математичної моделі враховуємо енергетику тільки двох компонентів, що входять до складу вогнезахисного просочувального засобу, а саме: компонент № 1 – діамонійфосфат і компонент № 2 – сульфат амонію. Розглянемо послідовність перетворень цих двох компонентів під впливом температури процесу.

Енергетика перетворень компонента № 1 (діамонійфосфат)

Для зручності розрахунків перетворення цього компонента розбиваємо на три стадії за діапазонами зміни температури: № 1 T = 70 … 110 °C, № 2 T = 110 … 284 °C, № 3 T = 284 … 420 °C.

На першій стадії перетворення компонента № 1 (від 70 °C до 110 °C) існує реакція термічного розкладу

$$(NH_4)_2HPO_4 = NH_3 + NH_4H_2PO_4. \qquad (3)$$

Тепловий коефіцієнт реакції:

$$\Delta H_1 = \Delta H_{NH3} + \Delta H_{NH4H2PO4} - \Delta H_{NH4HPO4} = 75.64 \cdot 10^3\ \text{Дж/моль}, \qquad (4)$$

де ΔH_{NH3}, $\Delta H_{NH4H2PO4}$, $\Delta H_{NH4HPO4}$ – ентальпії утворення, відповідно, аміаку, діамонійфосфату та моноамонійфосфату [8]. Тоді, вважаючи, що залежність поглинання енергії на інтервалі температур (від 70 до 110 °C) має лінійний характер, рівняння поглинання питомої енергії для даної стадії матиме вигляд

$$e_{dp_1}(T_c) = \frac{\Delta m_{dp}(h)}{\mu_{NH42HPO4}} \times \left\{ \begin{array}{l} c_{p_NH42HPO4} \cdot (T_c - T_1) + \Delta H_1 \cdot \\ \cdot \left[\dfrac{T_c - 70°C}{110°C - 70°C} \cdot H(T_c - 70°C) \cdot H(110°C - T_c) + H(T_c - 110°C) \right] \end{array} \right\},\ \text{Дж/м}^3, \qquad (5)$$

де: $c_{p_NH42HPO4}$ – питома теплоємність діамонійфосфату [9], Дж/кг·К; $\mu_{NH42HPO4}$ – молекулярна маса діамонійфосфату [8], кг/моль; $\Delta m_{dp}(h) = p_{dp} \cdot \Delta m_{FR}(h)$ – елементарна щільність діамонійфосфату на глибині h (див. (2)), кг/м^3; p_{dp} – відносна частка діамонійфосфату в складі антипірену [7]; T_c – поточна температура процесу, °C; T_1 – початкова температура процесу, °C; ΔH_1 – ентальпія на 1-й стадії (4); $H(T)$ – функція Хевісайда [9].

Отриману залежність проілюстровано на рис. 1. Одночасно з процесом поглинання енергії, відбувається вихід леткої речовини (аміаку) згідно з рівнянням хімічної реакції (3). Цей процес можна описати рівнянням для відносної маси залишку компонента № 1 вогнезахисного просочення:

$$m_{dp_1}(T_c) = \left[1 - \frac{\mu_{NH3}}{\mu_{NH42HPO4}} \cdot \frac{T_c - 70°C}{110°C - 70°C} \cdot H(T_c - 70°C) \right] \cdot H(110°C - T_c) + \left(1 - \frac{\mu_{NH3}}{\mu_{NH42HPO4}} \right) \cdot H(T_c - 110°C). \qquad (6)$$

Отриману залежність проілюстровано на рис. 2.

На другій стадії перетворень компонента № 1 (від 110 до 284 °C) існує реакція термічного розкладання моноамонійфосфату

$$NH_4H_2PO_4 = NH_3 + H_3PO_4. \qquad (7)$$

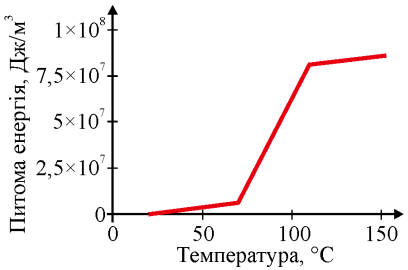

Рис. 1. Залежність питомої енергії поглинання від температури на 1-й стадії

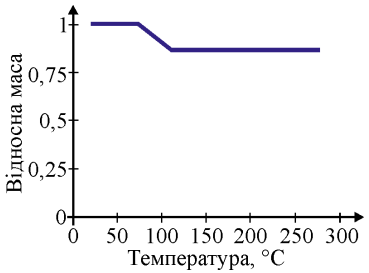

Рис. 2. Залежність відносної маси залишку компонента № 1 вогнезахисного просочення на 1-й стадії від температури

Тепловий ефект реакції:

$$\Delta H_2 = \Delta H_{NH3} + \Delta H_{H3PO4} - \Delta H_{NH4HPO4} = 110{,}87 \cdot 10^3 \text{ Дж/моль}, \quad (8)$$

де ΔH_{NH3}, ΔH_{H3PO4}, $\Delta H_{NH4HPO4}$ – ентальпії утворення, відповідно, аміаку, ортофосфорної кислоти та моноамонійфосфату **[8]**. Тоді, припустивши лінійну залежність поглинання енергії на інтервалі температур проходження реакції (7) (від 110 до 192 °С), рівняння поглинання питомої енергії від початку першої стадії до кінця другої стадії (з урахуванням першої) матиме вигляд

$$e_{dp_1_2}(T_c) = e_{dp_1}(T_c) + \frac{\Delta m_{dp}(h)}{\mu_{NH42HPO4}} \cdot \Delta H_2 \times \left[\frac{T_c - 110°C}{192°C - 110°C} \cdot H(T_c - 110°C) \cdot H(192°C - T_c) + H(T_c - 192°C) \right], \text{ Дж/м}^3, \quad (9)$$

де: $e_{dp_1}(T_c)$ – поглинання питимої енергії для 1-шої стадії; ΔH_2 – ентальпія реакції на 2-й стадії (8). Одночасно з процесом поглинання енергії відбувається вихід леткої речовини (аміаку) відповідно до рівняння хімічної реакції (7). Цей процес можна описати рівнянням для відносної маси залишку компонента № 1 вогнезахисного просочення

$$m_{dp_1_2}(T_c) = m_{dp_1}(T_c) \cdot \left[1 - \frac{\mu_{NH3}}{\mu_{NH42HPO4}} \cdot \frac{T_c - 120°C}{192°C - 120°C} \cdot H(T_c - 120°C) \right] \times H(192°C - T_c) + \left(1 - \frac{\mu_{NH3}}{\mu_{NH42HPO4}} \right) \cdot H(T_c - 192°C), \quad (10)$$

де $m_{dp_1}(T_c)$ – відносна маса залишку компонента № 1 вогнезахисного просочення. На третій стадії перетворень компонента № 1 (від 284 до 420 °С) існує реакція термічного розкладання ортофосфорної кислоти в два етапи **[6]**:

$$H_3PO_4 = 1/2H_2O + 1/2H_4P_2O_7 \quad (11)$$

та

$$1/2H_4P_2O_7 = H_2O + 1/2P_2O_5, \quad (12)$$

котрі можна об'єднати в один

$$H_3PO_4 = 3/2H_2O + 1/2P_2O_5. \quad (13)$$

Тепловий ефект реакції:

$$\Delta H_3 = 3/2 \cdot \Delta H_{H2O} + 1/2 \cdot \Delta H_{P2O5} - \Delta H_{H3PO4} = 280{,}02 \cdot 10^3 \text{ Дж/моль}, \quad (14)$$

де ΔH_{H2O}, ΔH_{H3PO4}, ΔH_{P2O5} – ентальпії утворення, відповідно, води, ортофосфорної кислоти та пентаоксиду фосфору **[8]**. Тоді, припустивши лінійну залежність поглинання енергії на розглянутому інтервалі температур (від 284 до 420 °С), рівняння поглинання питомої енергії від початку першої стадії до кінця третьої стадії (з урахуванням першої та другої) матиме вигляд

$$e_{dp}(T_c) = e_{dp_1_2}(T_c) + \frac{\Delta m_{dp}(h)}{\mu_{NH42HPO4}} \cdot \Delta H_3 \times \left[\frac{T_c - 284°C}{420°C - 284°C} \cdot H(T_c - 284°C) \cdot H(420°C - T_c) + H(T_c - 420°C) \right], \text{ Дж/м}^3, \quad (15)$$

де: $e_{dp_1_2}(T_c)$ – поглинання питомої енергії від початку 1-шої стадії до кінця 2-гої; ΔH_3 – ентальпія реакції на 3-й стадії (14). Одночасно з процесом поглинання енергії відбувається вихід леткої речовини (пари аміаку) відповідно до рівняння хімічної реакції (13). Цей процес можна описати рівнянням для відносної маси залишку компонента № 1 вогнезахисного просочення

$$m_{dp}(T_c) = m_{dp_1_2}(T_c) \cdot \left[1 - \frac{2 \cdot \mu_{H2O}}{\mu_{NH42HPO4}} \cdot \frac{T_c - 284°C}{420°C - 284°C} \cdot H(T_c - 284°C) \right] \times H(420°C - T_c) + \left(1 - \frac{2 \cdot \mu_{H2O}}{\mu_{NH42HPO4}} \right) \cdot H(T_c - 420°C), \quad (16)$$

де $m_{dp_1_2}(T_c)$ – відносна маса залишку компонента № 1 вогнезахисного просочення.

Енергетика перетворень компоненту №2 (сульфат амонію)

За температурних перетворень компонента № 2 існує реакція термічного розкладання сульфату амонію в два етапи **[6]**:

$$(NH_4)_2SO_4 = NH_3 + NH_4HSO_4, \text{ (від 147 до 218 °С)} \quad (17)$$

та

$$NH_4HSO_4 = NH_3 + H_2SO_4, \text{ (від 218 до 357 °С)}, \quad (18)$$

котрі можна об'єднати в один

$$(NH_4)_2SO_4 = 2NH_3 + H_2SO_4. \quad (19)$$

Тепловий ефект реакції:

$$\Delta H = 2 \cdot \Delta H_{NH3} + \Delta H_{H2SO4} - \Delta H_{NH42SO4} = 273{,}6 \cdot 10^3 \text{Дж/моль}, \quad (20)$$

де ΔH_{NH3}, ΔH_{H2SO4}, $\Delta H_{NH42SO4}$ – ентальпії утворення, відповідно, аміаку, сірчаної кислоти та сульфату амонію **[8]**. Тоді, припустивши лінійну залежність поглинання енергії на розглянутому інтервалі температур (від 147 до 357 °С), рівняння поглинання питомої енергії матиме вигляд

$$e_{ds}(T_c) = \frac{c_{p_NH42SO4}}{\mu_{NH42SO4}} \cdot \Delta m_{ds}(h) \cdot (T_c - T_1) + \frac{\Delta m_{ds}(h)}{\mu_{NH42SO4}} \cdot \Delta H \times$$
$$\times \left[\frac{T_c - 147°C}{357°C - 147°C} \cdot H(T_c - 357°C) \cdot H(357°C - T_c) + H(T_c - 357°C) \right], \text{ Дж/м}^3, \quad (21)$$

де: $c_{p_NH42SO4}$ – питома теплоємність сульфату амонію **[9]**, Дж/кг·К; $\mu_{NH42SO4}$ – молекулярна маса сульфату амонію **[8]**, кг/моль; $\Delta m_{ds}(h) = p_{ds} \cdot \Delta m_{FR}(h)$ – елементарна щільність сульфату амонію на глибині h, (див. (2)), кг/м^3; p_{ds} – відносна частка сульфату амонію у складі антипірену **[7]**; T_c – поточна температура процесу, °С; T_1 – початкова температура процесу, °С; ΔH – ентальпія реакції відповідно до (20); $H(T)$ – функція Хевісайда **[9]**.

Одночасно з процесом поглинання енергії, відбувається вихід леткої речовини (аміаку) відповідно до рівняння хімічної реакції (19). Цей процес можна описати рівнянням для відносної маси залишку компонента № 2 вогнезахисного просочення

$$m_{dp}(T_c) = m_{dp_1_2}(T_c) \cdot \left[1 - \frac{2 \cdot \mu_{H2O}}{\mu_{NH42HPO4}} \cdot \frac{T_c - 284°C}{420°C - 284°C} \cdot H(T_c - 284°C) \right] \times$$
$$\times H(420°C - T_c) + \left(1 - \frac{2 \cdot \mu_{H2O}}{\mu_{NH42HPO4}} \right) \cdot H(T_c - 420°C), \quad (22)$$

де $m_{dp_1_2}(T_c)$ – відносна маса залишку компонента № 2 вогнезахисного просочення.

Енергетика перетворень компонентів № 1 і 2 спільно

Величину питомої енергії поглинання вогнезахисного просочення визначаємо як суму питомої енергії поглинання обох компонентів

$$e_{fr}(T_c) = e_{dp}(T_c) + e_{ds}(T_c). \quad (23)$$

Етап 3. Визначення ефективної питомої теплоємності

Введемо поняття ефективної (або сумарної) питомої теплоємності процесу перетворень зразка деревини (у температурних межах цього дослідження), з урахуванням структурних перетворень, що існують під час нагрівання. Ця величина, з достатньою для цієї поставленої задачі точністю, є аналогом питомої теплоємності досліджуваного матеріалу (зразка деревини). Вона враховує виділення та поглинання енергії зразка деревини за відповідних температур процесу і для запропонованого прикладу буде виражатися такою формулою:

$$c_{p_fr}(h,T) = \frac{1}{\rho_{fr}(h)} \cdot \frac{d}{dT} e_{fr}(T), \text{ Дж/кг·К}, \quad (24)$$

де: $\rho_{fr}(h)$ – щільність розподілу вогнезахисного просочення у глибину зразка (1); $e_{fr}(T)$ – величина питомої енергії поглинання вогнезахисного просочення (23). Вид отриманої залежності ефективної питомої теплоємності від температури для випадку максимальної щільності антипіренів у поверхневому шарі зразка деревини, апроксимований методом кубічної сплайн-інтерполяції, показано на рис. 3.

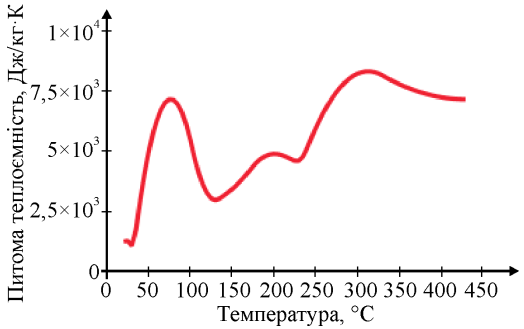

Рис. 3. Залежність ефективної питомої теплоємності вогнезахисного просочення на основі діамонійфосфату та сульфату амонію від температури

Етап 4. Математичне моделювання термічних перетворень зразка деревини, обробленого вогнезахисним просоченням

Для математичного опису енергетичної складової хіміко-фізичних процесів, які відбуваються в просоченому антипіренами зразку деревини під час його нагрівання до настання фази полум'яного горіння, доцільно скористатися вирішенням одновимірної задачі поширення тепла в ізотропному твердому тілі, що має змінну, яка залежить від температури, ефективну питому теплоємність непросоченого зразка деревини, а також визначенням ефективної питомої теплоємності антипіренів, розподілених у просоченому зразку деревини, що залежить від температури і глибини залягання (згідно з (24)). Рівняння теплопровідності (згідно з **[10]**) для нашого випадку буде мати вигляд

$$\left\{ c_{p_wood}[T(h,t)] + c_{p_fr}[h,T(h,t)] \right\} \cdot \frac{\partial T(h,t)}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 T(h,t)}{\partial h^2}, \text{ (Дж/с)}, \quad (25)$$

де: $c_{p_wood}(T(h,t))$ – ефективна питома теплоємність зразка деревини, Дж/кг·К; $c_{p_fr}(h,T(h,t))$ – ефективна питома теплоємність зразка деревини, просоченого антипіренами (згідно з (24)), Дж/кг·К; $T(h)$ – температура на глибині h просоченого антипіренами зразка деревини, °С; χ – теплопровідність зразка деревини поперек волокон, Вт/м·К; t – поточний час, с.

Початкові та граничні умови для нашого випадку:

$$T(h,t)\big|_{t=0} = 20°C; \quad \chi \cdot \frac{\partial T(h,t)}{\partial h}\Big|_{h=0} = \omega, \quad (26)$$

де ω – зовнішній потік тепла (Вт/м^2).

Враховуючи поведінку функцій $c_{p_wood}(T(h,t))$ (ефективної теплоємності деревини) та $c_{p_fr}(h,T(h,t))$ (ефективної питимої теплоємності вогнезахисного просочення (див. рис. 3, (24)), для розв'язання задачі застосуємо метод наближеної чисельної ітерації за схемою кінцевих різниць першого порядку згідно з **[11]**. Розрахунок ведемо у двомірному просторі дискретних координат часу з індексом i і лінійної просторової координати з індексом j. Критерієм достовірності розрахункових результатів вважаємо відносну похибку при порівнянні двох результатів розрахунків при зменшенні елементарного приросту часу і лінійної

координати. Діаграму ітераційних формул наведено на рис. 4. У вузлах діаграми, кожний з яких являє собою визначений елементарний об'єм *j* зразка деревини, що взято у визначений момент часу *i*. Вказано такі параметри елементарного об'єму: *i, j* – номер вузла; $T_{i,j}$ – температура *j* – об'єму в *i* – інтервал часу, ρ_j – щільність вогнезахисного просочення в *j* – об'ємі, $c^{w}_{i,j}$ – ефективна питома теплоємність деревини *j* – об'єму в *i* – інтервал часу, $c^{fr}_{i,j}$ – ефективна питома теплоємність вогнезахисного просочення *j* – об'єму в *i* – інтервал часу.

Отже, згідно з прийнятим алгоритму розрахунку, отримуємо такі формули для елементарного об'єму, розміщеного безпосередньо на поверхні зразка деревини ($j = 1$), обробленого вогнезахисним просоченням:

$$T_{i,1} = T_{i-1,1} + \frac{\omega \cdot \Delta t - \chi \cdot (T_{i-1,1} - T_{i-1,2}) \cdot \dfrac{\Delta t}{\Delta h}}{c_{p_wood}(T_{i-1,1}) \cdot \Delta h + \Delta m_{FR}(h = 0, \Delta h) \cdot c_{p_fr}\left(h = 0, T_{i-1,1}\right)) \cdot \Delta h}, \qquad (27)$$

де: ω – зовнішній потік тепла (Вт/м^2); χ – теплопровідність зразка деревини поперек волокон, Вт/м·К; Δt, Δh – елементарні прирощення по часовій та просторовій координаті; $c_{p_wood}(T)$) – ефективна теплоємність деревини; $\Delta m_{FR}(h, \Delta h)$ – елементарна щільність антипіренів, що знаходяться на глибині *h* для елемента просторової координати Δh; $c_{p_fr}(h,T))$ – ефективна питома теплоємність вогнезахисного просочення (24).

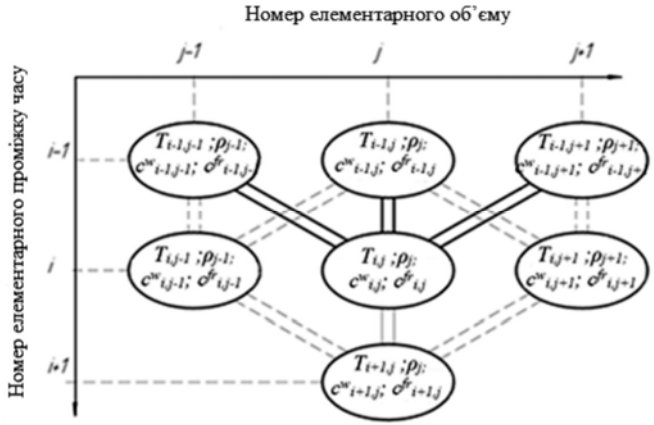

Рис. 4. Діаграма розрахунку за ітераційними формулами

Для проміжних значень температури елементарних об'ємів, які розміщені всередині масиву матеріалу

$$T_{i,j} = T_{i-1,j} + \frac{\chi \cdot S \cdot \left(\dfrac{T_{i-1,j-1} - T_{i-1,j}}{\Delta h} - \dfrac{T_{i-1,j} - T_{i-1,j+1}}{\Delta h}\right) \cdot \Delta t}{c_{p_wood}(T_{i-1,j}) \cdot \Delta h + \Delta m_{FR}(h_j, \Delta h) \cdot c_{p_fr}\left(h_j, T_{i-1,j}\right)) \cdot \Delta h}, \qquad (28)$$

(прийняті позначення – див. позначення до (27)).

Для зворотного боку зразка деревини, який не нагрівається зовнішнім джерелом тепла:

$$T_{i,j_\lim} = T_{i-1,j_\lim} + \frac{\chi \cdot \left(\dfrac{T_{i-1,j_\lim-1} - T_{i-1,j_\lim}}{\Delta h}\right) \cdot \Delta t}{c_{p_wood}(T_{i-1,j_\lim})\Delta h + \Delta m_{FR}(h_{j_\lim}, \Delta h) c_{p_fr}\left(h_{j_\lim}, T_{i-1,j_\lim}\right) \Delta h}, \qquad (29)$$

(прийняті позначення – див. позначення до (27)).

Використовуючи представлену методику, побудовано математичну модель енергетичної складової хіміко-фізичних процесів, які існують у зразку вогнезахищеної деревини (заболонь сосни товщиною 10 мм, щільністю 400-550 кг/м^3, просоченої вогнезахисним засобом ДСА-1 у перерахунку на суху речовину 168,2 г/м^2, відповідно до **[7]**) за нагрівання поверхні зразка потоком енергії 7,8 Вт/м^2 до настання фази полум'яного горіння (за 410 °С) (рис. 5). Для порівняння, на цьому ж рисунку представлено результати математичного моделювання (за тією ж методикою) невогнезахищеної деревини (заболонь сосни товщиною 10 мм, щільністю 400-550 кг/м^2) за нагрівання поверхні зразка потоком енергії 7,8 Вт/м^2 до настання фази полум'яного горіння (за 230 °С). На рис. 5 показано два сімейства кривих:

- сімейство кривих 1 стосується невогнезахищеної деревини. Крива 1a – залежність твердої відносної маси зразка від часу, крива 1b – залежність температури зовнішньої поверхні зразка, яка опромінюється, крива 1c – температура задньої поверхні зразка, яка не перебуває під дією теплового опромінення;
- сімейство кривих 2 стосується вогнезахищеної деревини. Крива 2a – залежність твердої відносної маси зразка від часу, крива 2b – залежність температури зовнішньої поверхні зразка, яка опромінюється, крива 2c – температура задньої поверхні зразка, яка не перебуває під дією теплового опромінення.

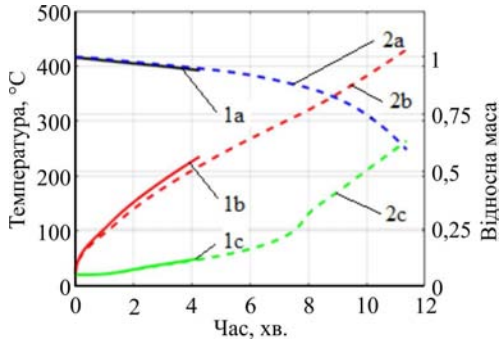

Рис. 5. Порівняння результатів математичного моделювання хіміко-фізичних процесів у невогнезахищеній (сімейство кривих 1a, 1b, 1c) та у вогнезахищеній (сімейство кривих 2a, 2 b, 2c)

Висновки. Результати математичного моделювання свідчать про істотний охолоджувальний ефект від використання запропонованих антипіренів для вогнезахисту деревини, оскільки інтервал часу від початку теплового впливу до моменту початку полум'яного горіння для невогнезахищеної деревини становить 4,5 хв, а для вогнезахищеної – 11,5 хв. Отже, оскільки представлена методика пов'язує охолоджувальний ефект від використання водних вогнебіозахисних речовин для вогнезахисту деревини із вкладом у прогнозне подовження ча-

су від початку термічного впливу до займання деревини (тобто з подовженням початкової стадії розвитку пожежі), її доцільно використовувати під час розроблення компонентного складу водних вогнебіозахисних речовин.

Література

1. Lowden L.A. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction / Laura Anne Lowden, Terence Richard Hull // Fire Science Reviews – a Springer Open Journal. – 2013, 2:4. – 19 p. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.firesciencereviews. com/content/2/1/4
2. Lowden L.A. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction / L.A. Lowden // Fire Science Reviews – a Springer Open Journal. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.firesciencereviews. com/content/2/1/4 (Accessed 5 August 2013).
3. Баратов А.Н. Пожарная опасность строительных материалов / А.Н. Баратов, Р.А. Андрианов, А.Я. Корольченко и др. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1998. – 380 с.
4. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. – М. : Изд-во "Атомиздат", 1979. – 416 с.
5. Андрієнко В.М. Вогнезахист деревини та виробів з неї : навч. посіб. / В.М. Андрієнко, В.П. Бут, В.М. Жартовський, С.В. Жартовський, І.Г. Маладика, Ю.В. Цапко. – Черкаси : Вид-во АПБ ім. Героїв Чорнобиля МНС України, 2009. – 254 с.
6. Чумаченко С.М. Методика розроблення математичної моделі розподілу антипіренів всередині вогнезахищеної деревини / С.М. Чумаченко, С.В. Жартовський, О.М. Тітенко, В.В. Троцько // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2016. – Вип. 26.5. – С. 378-385.
7. Charles W. George. Effects of ammonium sulfate ammonium phosphate on the pyrolysis and combustion of cellulose / Charles W. George and Ronald A. Sussott // USDA Forest Service Research Paper INT-90 April 1971. Intermounain Forest and Range Experiment Station Forest Service U.S. Department of Agriculture Ogden, Utah 84401 Joseph F. Pechanec, Director.
8. ТУ У 24.6-32528450-001-2003 Суміші просочувальні для поверхневої вогнебаозахисної оброблення деревини.
9. Pradyot Patnaik, Ph.D. Handbook of Inorganic Chemicals/McGraw-Hill, 2002.
10. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. К.П. Мищенко и А.А. Равделя. – Л. : Изд-во "Химия", 1974. – 200 с.
11. Араманович И.Г. Уравнения математической физики / И.Г. Араманович, В.И. Левин. – М. : Изд-во "Наука", 1969. – 288 с.
12. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Изд-во "Наука", 1973. – 832 с.

Надійшла до редакції 25.11.2016 р.

Чумаченко С.М., Жартовский С.В., Титенко О.М. **Методика создания математической модели охлаждающего эффекта в процессе нагревания образца древесины, пропитанного водным огнебиозащитным веществом**

Разработана методика создания математической модели охлаждающего эффекта в процессе нагревания образца древесины, пропитанной водным огнебиозащитным веществом. Результаты математического моделирования указывают на существенный охлаждающий эффект от использования предложенных антипиренов для огнезащиты древесины, поскольку интервал времени от начала теплового воздействия до момента начала пламенного горения для огнезащищенной древесины в два с половиной раза больше, чем для неогнезащищенной. Представленная методика связывает охлаждающий эффект от использования водных огнебиозащитных веществ для огнезащиты древесины с вкладом в прогнозное увеличение времени начальной стадии развития пожара, её целесообразно использовать при разработке компонентного состава водных огнебиозащитных веществ.

Ключевые слова: методика, модель, антипирены, огнезащитная пропитка, водное огнебиозащитное вещество.

Chumachenko S.M., Zhartovskyi S.V., Titenko O.M. **The Methodology of Creating the Mathematical Model of Cooling Effect during Heating of Wood Sample Impregnated by Water Based Flameproofing Matter**

The methodology of creating the mathematical model of cooling effect during heating of wood sample impregnated by water based on the matter for flameproofing is developed. Mathematical modelling results indicate a significant cooling effect by the use of proposed flame retardants for fire protection of wood, as the time interval from the start of the heat exposure to the start of the flaming fire resistant wooden sample in two and a half times greater than fire non-resistant one. The presented method connects the cooling effect of water based flameproofing matter for fire protection of wood with a contribution to predicted increase of initial stage of fire development, it is useful for development of the component composition of water based flameproofing matter.

Keywords: methodology, model, flame retardants, flame retardant impregnation, water based flameproofing matter.

УДК 631.[3+674]

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ РАБОЧЕГО ОРГАНА С ПОЧВОЙ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ КРОТОВИНЫ

Хайдер Раад Надим Аль-Хазаали[1], В.П. Ковбаса[2]

Приведены результаты исследований взаимодействия конусного кротователя с почвой по определению компонент скоростей деформаций почвы, представленной в виде упруго-вязкой модели, на поверхности контакта этого рабочего органа с почвой. Эти выражения являются исходными для дальнейшего определения компонент напряжений в почве, которые позволяют определить уплотнение почвы на стенках образованной кротовины и составляющие сил сопротивления перемещению кротователя.

Ключевые слова: кротователь, почва, конус, компоненты скоростей, компоненты деформаций, контактное взаимодействие.

Введение. Во многих процессах, связанных с изменением механических свойств почвы при строительстве ирригационных и инженерных сооружений, возникают задачи об образовании дрен внутри почвенного горизонта. При этом используются кротователи различной геометрической формы и размеров. В частности, для прокладки дренажных (оросительных) трубопроводов либо кабелей методом протяжки возникает необходимость образования полости (с целью снижения сопротивления трения протягивания), по которой протягивается коммуникация. Поэтому обоснование геометрических параметров и режимов работы рабочего органа для образования этой полости является актуальной научной задачей.

Анализ состояния исследований. Анализируя состояние исследований взаимодействия рабочих органов с почвой, следует отметить существование двух составляющих данного вопроса. Первый относится к формализации самой почвы, как среды, на которую направлено действие рабочего органа, а второй относится к формализации взаимодействия самого рабочего органа с почвой и вытекает из способа формализации почвы и, следовательно, возможности са-

[1] аспир. Хайдер Раад Надим Аль-Хазаали – НУ биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев;
[2] проф. В.П. Ковбаса, д-р техн. наук – НУ биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев