

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОГНЕЗАХИЩЕНИХ ТЕПЛО- І ЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНИХ ДЕРЕВОВОЛОКНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

RESEARCH OF THE PROPERTIES OF FIREPROOF HEAT AND SOUND INSULATION WOOD FIBER MATERIALS

¹Цапко Ю.В., д.т.н., проф., ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0625-0783>,
²Бондаренко О.П., к.т.н., доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8164-6473>,
^{1,2}Цапко О.Ю., к.т.н., доцент ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2298-068x>,
²Каверин К.О., к.т.н., доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9086-5953>,
(¹Український державний науково-дослідний інститут "Ресурс",
²Київський національний університет будівництва і архітектури)

¹Tsapko Yu.V., Doctor of Technical Sciences, professor, ²Bondarenko O.P., Ph.D., associate professor, ^{1,2}Tsapko O.Yu., PhD, ²Kaverin K.O., Ph.D., associate professor, (¹Ukrainian State Research Institute "Resurs", ²Kyiv National University of Construction and Architecture)

Проведено аналіз літературних даних щодо отримання вогнезахисних деревоволокнистих матеріалів. Відомі технології виготовлення вогнезахисних тепло- та звукоізоляційних матеріалів не задовольняють сучасні вимоги з екологічної та пожежної безпеки, які висуваються, як до вогнезахисних матеріалів, так і способів їх виготовлення. Виконано експериментальні дослідження умов вогнезахисту деревоволокнистих плит та отримано новий вогнезахисний матеріал. Наведено результати досліджень властивостей вогнезахисних та тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих матеріалів. Зразки вогнезахисних тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих плит мають значно кращі показники якості ніж стандартні, а саме вони відносяться до важкогорючих матеріалів, і до того ж вони мають кращі показники тепло- звукоізоляційних властивостей. Такі тепло- і звукоізоляційні деревоволокнисті плити можна використовувати для підвищення протипожежного захисту різних об'єктів і також вони знайдуть застосування як у будівництві так і в інших галузях народного господарства.

An analysis of literature data on the production of fire-resistant wood fiber materials was carried out. Known technologies for the production of fire-resistant heat- and sound-insulating materials do not meet modern requirements for environmental and fire safety, which are put forward both for fire-resistant materials and methods of their production. Experimental

studies of the fire protection conditions of wood-fiber boards were performed and a new fire-resistant material was obtained. The results of studies of the properties of fire-resistant and heat- and sound-insulating wood fiber materials are presented. Samples of fire-resistant heat- and sound-insulating wood-fiber boards have significantly better quality indicators than standard ones, namely, they are fire-resistant materials, and in addition, they have better indicators of heat-sound insulation properties. Such heat- and sound-insulating wood-fiber plates can be used to increase the fire protection of various objects, and they will also be used both in construction and in other sectors of the national economy.

Ключові слова: вогнезахист, деревина, коефіцієнтом звукопоглинання, теплопровідність, тепло- і звукоізоляційні деревоволокнисті матеріали
fire protection, wood, sound absorption coefficient, thermal conductivity, heat and sound insulating wood fiber materials.

Вступ. В промисловому будівництві, машинобудуванні, транспорті тощо можуть бути застосовані тепло- та звукоізоляційні плити, які виготовляються із целюлозовмісних матеріалів. Сировиною для їх виготовлення є відходи деревообробної промисловості, паперова макулатура, стеблі рослин та ін.

До класу целюлозовмісних матеріалів відносять листи і плити на основі паперу, волокна деревини та ін. Фірмою “Kronopol” виробляються волокнисті плити “Kronotherm”, а ПП “For-Sage” – тепло- та звукоізоляційні плити із паперових матеріалів “Isotex”, які використовуються для внутрішнього облицювання приміщень. Але показники пожежної небезпеки цих матеріалів і виробів характеризується значним рівнем займистості та горючості, швидким поширенням полум’я поверхнею, а також утворенням токсичних продуктів горіння і димоутворення.

Проблему зниження рівня показників пожежної небезпеки можна вирішити шляхом вогнезахисту цих матеріалів і переведення їх до групи важкозаймистих та важкогорючих матеріалів.

Огляд останніх досліджень та публікацій. Відомо, що способи виготовлення вогнезахисних панельних плит для тепло- і звукоізоляції базуються на пресуванні суміші волокон деревини з вогнезахисними домішками, в якості яких використовують азбест, слюду, буру, карбамід і формалін, або перемелений папір, змішаний з антипіренами (сульфат міді або алюмінію, фосфорнокислий натрій) та гідрофобними компонентами [1, 2], або вогнезахиснену подрібнену рисову соломку [3, 4]. Інший спосіб полягає у виготовленні трьох шарових пластин, кожна з яких складається із двох шарів волокнистого матеріалу (крафт-целюлози) і склеєних між собою поліетиленом та алюмінієвою фольгою. На поверхневі шари алюмінію наноситься спучуюче покриття [5, 6], однак таке вогнезахисне оброблення не технологічне, має велику собівартість і не забезпечує біостійкість. Вироби із

деревоволокнистих плит оброблюють також силікатним складом (силікат натрію та антипірени – карбамід, бромистий амоній, хлорид амонію, фосфорорганічні і сірчанорганічні сполуки сурьми та формальдегід), який при нагріванні полімеризується утворюючи плівку на поверхні та ізолює матеріал від доступу кисню [7, 8]. Але через певний термін часу таке покриття втрачає адгезійну здатність і починає обсипатися.

Одним із способів виготовлення вогнезахищених деревоволокнистих плит є введення антипіренів в поверхневий шар на кінцевій стадії їх виробництва на відливній машині, на якій волокниста маса ущільнюється, розрізається на окремі плити та сушиться [9], але поверхнєве оброблення виробу антипіренами не просочує весь об'єм матеріалу, що призводить до зменшення ефективності вогнезахисту деревоволокнистих плит.

При виготовленні вогнезахищених волокнистих плит, поверхню спресованих, але ще не висушених панелей оброблюють водною суспензією силіката натрію та карбоната кальцію, після чого їх сушать. Для підвищення міцності плит в склад композиції вводять карбамідформальдегідну та фенолформальдегідну смолу, а для придання водо- і біостійкості, покращення санітарно-хімічних властивостей пентахлорфенолят натрію та латекс [10, 11]. Але такі склади не забезпечують ефективність вогнезахисту на необхідному рівні, до того ж інші відносяться до шкідливих токсичних речовин.

Для виготовлення важкозаймистих целюлозовмісних матеріалів запропоновано використовувати мінерали: хлорид магнію, доломіт, перліт, алюмосилікати та інш. Покриття проводять як із зовнішньої сторони так і введенням у масу разом з силікатом натрію, з наступним пресуванням та сушкою [12]. Але через певний проміжок часу проходить руйнування таких матеріалів.

Таким чином, відомі технології виготовлення вогнезахищених тепло- та звукоізоляційних панелей не задовольняють сучасні вимоги з екологічної та пожежної безпеки, які висуваються, як до вогнезахищених матеріалів, вогнезахисних засобів, так і способів їх виготовлення.

Дерево-волокниста плита (ДВП) теж є матеріалом із целюлози, але її структура і фізико-хімічні властивості відрізняються від деревини, а тому застосувати вогнезахисні суміші, наприклад ДСА-2, для поверхневого просочення таких матеріалів не вдалось, так як поверхнєве оброблення виробу антипіренами не просочує весь об'єм матеріалу, що в свою чергу призводить до зниження вогнезахисної ефективності деревоволокнистої плити.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що у зв'язку із тим, що поверхня для вилучення повітря деревоволокнистих матеріалів значно більша, на відміну від деревини, коли повітря переважно усувається через торці дерев'яного бруса, було запропоновано застосовувати технологічні прийоми, які прискорюють дифузійні процеси вилучення повітря з капілярних пор, а саме просочування стандартної деревоволокнистої плити

проводити комплексною сполукою полігексаметиленгуанідинфосфат карбаміду під вакуумом, що в свою чергу призводило до розбухання целюлозних волокон та утворення нових вогнезахищених целюлозовмісних матеріалів.

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є розроблення вогнезахищених тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих матеріалів та дослідження їх властивостей.

Для досягнення мети були поставлено таке завдання:

– вирішити наукову задачу пожежної безпеки вогнезахисту тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих матеріалів, які використовуються на різних об'єктах.

Матеріали і методи досліджень. При проведенні досліджень були використані зразки деревини, на які було нанесено вогнебіозахисну суміш “ДСА-1” з використанням поверхневого просочення. Також було застосовано вогнебіозахисну суміш “ДСА-2” для оброблення деревини з використанням способу просочення «гаряча-холодна ванна» та фанери – автоклавним способом.

Для гідрофобізації деревини було застосовано суміші “Сілол”, “Сілол-АР”, “Сілол-ЕКО” та ін. згідно з ТУ У В.2.7-24.1-31911658.001. Характерною особливістю цих гідрофобізаторів є поліамфолітність макромолекул, що визначає міцну адгезію як до аніоноактивних, так і катіоноактивних поверхонь матеріалів.

Результати досліджень. Для визначення вогнезахисних властивостей отриманих тепло- і звукоізоляційних плит проведено дослідження з визначення групи горючості зразків товщиною 10 та 20 мм згідно з [13], а також зразків стандартної деревоволокнистої плити товщиною 5 мм.

Суть методу 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 $200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Під час проведення експериментальних досліджень фіксується максимальний приріст температури газоподібних продуктів горіння (Δt_{max}) та втрата маси зразка (Δm). За результатами випробувань матеріали класифікуються як:

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

Горючі матеріали залежно від часу (τ) досягнення максимальної температури газоподібних продуктів горіння поділяють на:

- важкозаймисті – $\tau > 240\text{ c}$;
- середньої займистості – $30\text{ c} \leq \tau \leq 240\text{ c}$;
- легкозаймисті – $\tau < 30\text{ c}$.

При класифікації матеріалів, просочених негорючими сумішами або з нанесеними на них вогнезахисними покриттями, використовують тільки показник Δt_{\max} .

Результати досліджень із визначення втрати маси зразків (Δm , %) та приросту максимальної температури газоподібних продуктів горіння (Δt_{\max} , °C) стандартної деревоволокнистої плити та вогнезахисної тепло- і звукоізоляційної деревоволокнистої плити наведено на рис. 1.

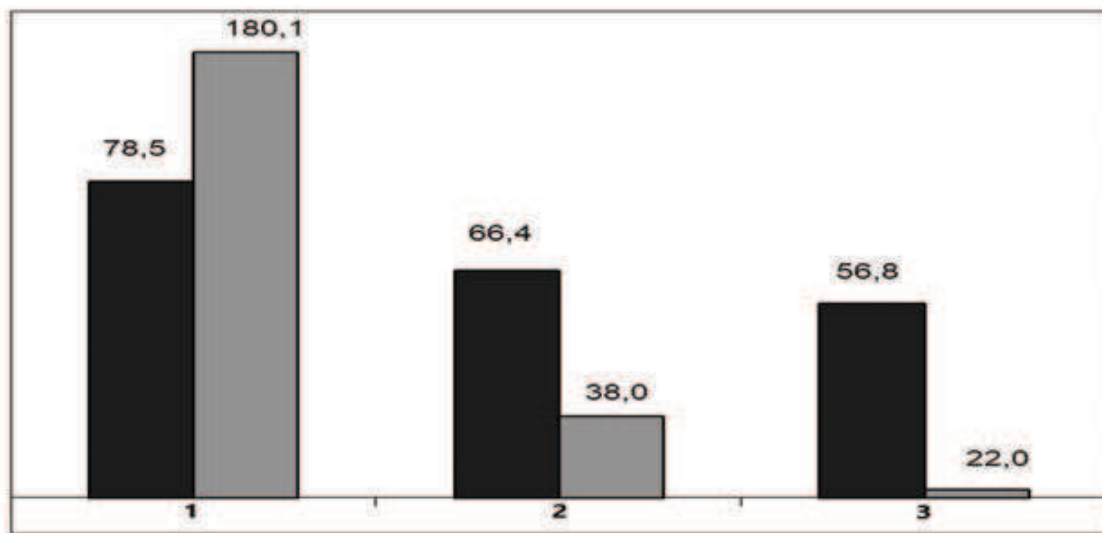


Рис. 1. Результати визначення приросту максимальної температури газоподібних продуктів горіння Δt_{\max} (t, °C) та втрати маси зразків Δm (%):

1 – стандартної та вогнезахисної тепло- і звукоізоляційної деревоволокнистої плити;
2 – товщиною 10 мм та 3 – товщиною 3...20 мм

Відповідно, за приростом максимальної температури газоподібних продуктів горіння (рис. 1), зразки отриманої вогнезахисної тепло- і звукоізоляційної деревоволокнистої плити згідно [14] характеризують як важкогорючі матеріали, а стандартна деревоволокниста плита – горюча, середньої займистості.

Найвагомішими для експлуатації вогнезахисних тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих плит є такі фізико-технічні показники, як нормальний коефіцієнт звукопоглинання та теплопровідність. Визначення цих показників проводилось у відділі будівельної фізики та ресурсозбереження Державного науково-дослідного інституту будівельних конструкцій.

Визначення нормального коефіцієнта звукопоглинання проводили згідно з [15] на зразках стандартної та вогнезахисної тепло- і звукоізоляційної деревоволокнистої плити. На рис. 2 наведено залежність нормального коефіцієнта звукопоглинання від частоти коливань для зразків деревоволокнистих плит для різних діапазонів.

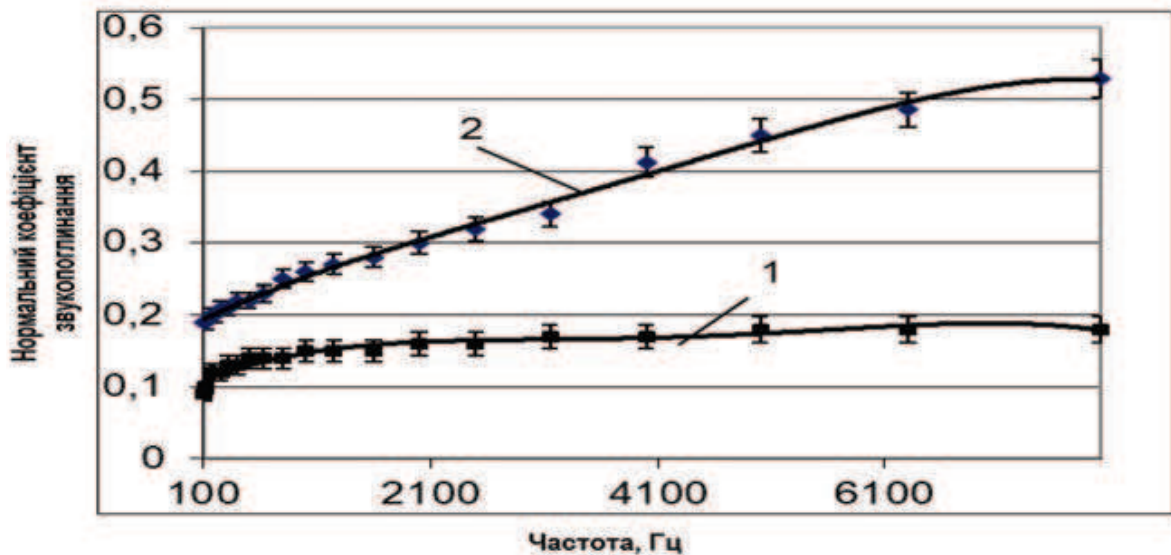


Рис. 2. Залежність нормального коефіцієнта звукопоглинання від частоти коливань для зразків деревоволокнистих плит: 1 – стандартної; 2 – вогнезахисної тепло- і звукоізоляційної

Результати акустичних випробувань (рис. 2) показали, що для звичайних деревоволокнистих плит величина нормального коефіцієнта звукопоглинання становить від 0,09 до 0,19, а для вогнезахисних тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих плит величина нормального коефіцієнта звукопоглинання становить відповідно:

- у низькочастотному діапазоні (100...315 Гц) – 0,19...0,21;
- у середньочастотному діапазоні (400...1250 Гц) – 0,22...0,27;
- у високочастотному діапазоні (1600...8000 Гц) – 0,28...0,57.

Згідно з [15] звукопоглинальні властивості матеріалів характеризуються середньоарифметичним ревербераційним коефіцієнтом звукопоглинання (α) в кожному із трьох діапазонів частот. При цьому, в залежності від величини середньоарифметичного ревербераційного коефіцієнта звукопоглинання (α) в кожному із вказаних діапазонів, звукопоглинальні матеріали відносяться до одного із трьох класів:

- до класу 1 – при $\alpha > 0,8$;
- до класу 2 – при $\alpha = 0,4...0,8$;
- до класу 3 – при $\alpha = 0,2...0,4$.

Необхідно відзначити, що величини ревербераційного коефіцієнту звукопоглинання того чи іншого матеріалу, як правило, дещо більші ніж величини нормального коефіцієнту звукопоглинання. Разом з тим, з метою орієнтовної оцінки звукопоглинальних властивостей випробуваних зразків визначемо приналежність даного матеріалу до того чи іншого класу за величинами середньоарифметичного нормального коефіцієнта звукопоглинання в діапазоні частот:

- величина середньоарифметичного нормального коефіцієнта звукопоглинання випробуваних зразків вогнезахисних тепло- і

звукоізоляційних деревоволокнистих плит в низькочастотному діапазоні становить 0,21 і за класифікацією [15] відноситься в даному частотному діапазоні до звукопоглинальних матеріалів класу 3;

– величина середньоарифметичного нормального коефіцієнта звукопоглинання випробуваних зразків вогнезахищених тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих плит в середньочастотному діапазоні становить 0,25 і за класифікацією [15] відноситься в даному частотному діапазоні до звукопоглинальних матеріалів класу 3;

– величина середньоарифметичного нормального коефіцієнта звукопоглинання випробуваних зразків вогнезахищених тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих плит в високочастотному діапазоні становить 0,42 і за класифікацією [15] відноситься в даному частотному діапазоні до звукопоглинальних матеріалів класу 2.

Зразки стандартних деревоволокнистих плит не відносяться до звукопоглинальних матеріалів за класифікацією [15].

Визначення теплофізичних показників вогнезахищених тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих плит (густина, теплопровідність у сухому стані) проводили з [16]. Нормативні значення густини, теплопровідності в сухому стані вологості матеріалу за умов А і Б, а також теплопровідності за цих умов наведено в табл. 2 (додаток Л, ДБН В.2.6-31:2006 [17]).

Таблиця 2

Нормативні значення теплофізичних параметрів деревоволокнистих плит (додаток Л, ДБН В.2.6-31:2006 [17])

Характеристика в сухому стані		Розрахунковий вміст вологи в умовах експлуатації w , %		Розрахункові характеристики в умовах експлуатації	
				Теплопровідність λ , Вт/(м·К), не більше	
Густина ρ_0 , кг/м ³	Теплопровідність, λ_0 , Вт/(м·К) не більше	А	Б	А	Б
200	0,06	10	12	0,07	0,08
400	0,08	10	12	0,11	0,13
600	0,11	10	12	0,13	0,16

Випробуванням піддавались зразки розміром 303x303x9,4 мм, результати визначення густини, вологості і теплопровідності наведено в табл. 3.

Результати випробувань теплотехнічних показників вогнезахисних тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих плит

Показник	Значення показника для	
	стандартних деревоволокнистих плит	вогнезахисних деревоволокнистих плит
Густина, кг/м ³	824	457
Початкова вологість, %	10,3	11,9
Теплопровідність у вологому стані, Вт/(м·°С)	0,184	0,078
Теплопровідність у сухому стані, Вт/(м·°С)	0,148	0,062

Результати теплотехнічних випробувань вогнезахисних тепло- та звукоізоляційних деревоволокнистих плит показали, що вони за показником теплопровідності відповідають вимогам [18], а стандартні – не відповідають.

Висновки. Проведено визначення вмісту формальдегіду в матеріалі згідно з [18] та встановлено, що вміст формальдегіду зменшився з 36,1 мг на 100 г матеріалу до 6,3 мг, що призвело до покращення якості вогнезахисних тепло- та звукоізоляційних деревоволокнистих плит, що відповідає вимогам діючого санітарного законодавства України.

Як свідчать результати випробувань, зразки вогнезахисних тепло- і звукоізоляційних деревоволокнистих плит, мають значно кращі показники якості ніж стандартні, а саме вони відносяться до важкогорючих матеріалів, і до того ж вони мають кращі показники тепло- та звукоізоляційних властивостей. Такі тепло- і звукоізоляційні деревоволокнисті плити можна використовувати для підвищення протипожежного захисту різних об'єктів, і таким чином вони знайдуть застосування як у будівництві, так і в інших галузях народного господарства.

1. Tsapko Yu., Sirko Z., Vasylyshyn R., Melnyk O., Tsapko A., Bondarenko O. Establishing patterns of mass transfer under the action of water on the hydrophobic coating of the fire-retardant element of a tent / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – Vol. 4/10 (112). – pp. 45-51.

2. Andzs M., Tupciauskas R., Veveris A., Gravitis J. Impact of wood fraction, moisture and steam explosion on the development of an innovative insulation material / Vide. Tehnologija. Resursi. Environment, Technology, Resources. – 2015. – Vol. 1. – pp. 11-15.

3. Mengeloglu F., Karakuş K. Mechanical properties of injection-molded foamed wheat straw filled hdpe biocomposites: the effects of filler loading and coupling agent contents / Foamed composites, BioResources. – 2012. – 7 (3). – pp. 3293-3305.

4. Hyder Al A., Basim A.J., Iqbal Muhammad Z. Improvement of mechanical properties and water resistance of bio-based thermal insulation material via silane treatment / Journal of Cleaner Production. – 2022. – Vol. 34620, 131242.

5. Fann, Jann-Der; Chen, Ho-Chin; Hsu, Chun-Hsiung; Chen, Tsai-Yung. Thermal conductivity of wood-ceramic composites. *Taiwan Journal of Forest Science*. – 2008. – Vol. 23, Issue 2. – pp.125-131.

6. Driss T., Abdelmajid El B., Taib A., Hassan E. Effect of the incorporation of wood wool on thermo physical proprieties of sand mortars / *KSCE Journal of Civil Engineering*. – 2012. – Vol. 16, Issue 6. – pp. 1003-1010.

7. Blomqvist P., Bergstrand A., Neumann N., Thureson P., Bengtsson S. Fire safety of textile membranes in temporary structures. *Fire and Materials* / 14th International Conference and Exhibition, Proceedings. – 2015. – pp. 554-567.

8. Zhou Q., Shao J., Zhou Q., Chen J., Zhou T. In situ polymerization of polyaniline on cotton fabrics with phytic acid as a novel efficient dopant for flame retardancy and conductivity switching / *New Journal of Chemistry*. – 2020. – Vol. 44(8). – pp. 3504-3513.

9. Tsapko Yu., Zavialov D., Bondarenko O., Marchenco N. Determination of thermal and physical characteristics of dead pine wood thermal insulation products / *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Vol. 4. – 4/10 (100). – 2019. – pp. 37-43. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175346>.

10. Hörold A., Schartel B., Trappe V., Korzen M., Bünker J. Fire stability of glass-fibre sandwich panels: The influence of core materials and flame retardant / *Composite Structures*. – 2017. – Vol. 160. – pp. 1310-1318.

11. Kozłowski R.M., Muzyczek M., Walentowska J. Flame Retardancy and Protection against Biodeterioration of Natural Fibers: State-of-Art and Future Prospects (Book Chapter). *Polymer Green Flame Retardants*. – 2014. – pp. 801-836.

12. Kuznetsova N.V., Seleznev A.D. Component Compositions of Mixtures of Cement-Wood Heat-Insulating Material / *Lecture Notes in Civil Engineering*. – 2021. – Vol. 287. – pp. 105-113.

13. DSTU 8829:2019 Pozhezhovybukhonebezpechnist rehovyn i materialiv. Nomenklatura pokaznykiv i metody ikhnogo vyznachenya. *Klasyfikatsiya*. – Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2020.

14. DSTU B V.2.7-184:2009 Budivel'ni materialy. Materialy zvukoizolyatsiyni i zvukopohlynal'ni. *Metody vyprobuvan'*. – Kyiv: Derzhbud Ukrainy, 2010.

15. DSTU B V.2.7-183:2009 Budivel'ni materialy. Materialy ta vyroby budivel'ni zvukopohlynayuchi ta zvukoizolyatsiyni. *Klasyfikatsiya ta zahal'ni tekhnichni vymohy*. – Kyiv: Derzhbud Ukrainy, 2010.

16. DSTU B V.2.7-105-2000 Materialy i vyroby budivel'ni. *Metod vyznachennya teploprovodnosti i termichnogo oporu pry statsionarnomu teplovomu rezhymi*. – Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 2000.

17. DBN V.2.6-31:2006 Konstruktsiyi budynkiv i sporud. *Teplova izolyatsiya budivel'*. – Kyiv: Derzhbud Ukrainy, 2006.

18. DSTU 10632:2009 Plyty derevynno-struzhkovi. *Tekhnichni umovy*. – Kyiv: Derzhbud Ukrainy, 2010.