

Цапко Ю.В.², Бондаренко О.П.¹, Цапко О.Ю.², Горячев В.О.¹

Київський національний університет будівництва і архітектури,
(Повітрофлотський просп., 31, Київ, 03680; e-mail: bondolya3@gmail.com, horyachyoff@protonmail.com;
orcid.org/0000-0002-8164-6473, orcid.org/0000-0002-9841-621X)

Національний університет біоресурсів і природокористування України
(вул. Героїв Оборони, 12в, м. Київ, 03041; e-mail: juriyts@ukr.net, aleksevsapko@gmail.com;
orcid.org/0000-0001-9118-6872, orcid.org/0000-0003-2298-068X)

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЮВАЛЬНИХ ТА ВОГНЕСТІЙКИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОЧЕРЕТЯНИХ МАТІВ

В роботі досліджено процеси передавання тепла вогнезахищеними зразками матів, виготовлених з очерету. Встановлено, що оброблення очерету вогнезахисною композицією при термічній дії знижує процес передавання тепла до матеріалу і зміни теплоізоляційних властивостей. Це дозволяє стверджувати наступне: основним регулятором процесу є не тільки формування теплозахисного шару коксу, а і розкладанням антипіренів з виділенням негорючих газів. При цьому, як свідчать результати досліджень, суттєвий вплив на процес захисту горючого матеріалу при застосуванні вогнезахисного покриття здійснюється у напрямку реакцій у передполумєній області убік утворення сажеподібних продуктів на поверхні природного горючого матеріалу. Утворення такої структури спученого коксу сприяє зниженню масової швидкості вигорання вогнезахищеного зразка мату, виготовленого з очерету, порівняно з необробленим, в 5 разів та відносить даний матеріал до теплоізоляційних, коефіцієнт теплопровідності яких становить 0,056 Вт/(м·К).

Ключові слова: вогнезахист очерету, вогнезахисні покриття, теплопровідність, оброблення поверхні, теплофізичні властивості.

Вступ. Внаслідок унікальних властивостей очерету, таких як мала середня густина, низька теплопровідність, висока атмосферо- і хімічна стійкість, можливість виготовлення деталей на місці будівництва, вироби з очерету широко використовуються в будівництві. У той же час, невирішеність питань протипожежного захисту виробів з таких матеріалів знижує можливість їх застосування.

На сьогодні існує два способи вогнезахисту будівельних матеріалів. Перший – це просочення антипіренами, частіше за все на основі неорганічних солей [1]. Засіб на основі кислот, проникаючи в глибину структури матеріалу і взаємодіючи з клітчаткою, утворює комплекси, які інгібують горіння [2]. Однак, очерет характеризується значною густиною та гідрофобністю і просочення не затримується в матеріалі та стікає з поверхні. Другий засіб – це нанесення на поверхню матеріалу покриття на органічному або неорганічному в'язучому. Але ці матеріали утворюють на поверхні жорстке покриття, яке змінює колір поверхні та під дією атмосфери втрачає адгезію та осипається [3, 4]. У останній час набули поширення засоби, що здатні до утворення на поверхні будівельної

конструкції теплоізоляційного шару, який у значній мірі знижує процеси передачі тепла до матеріалу [5-8].

Крім того, застосування виробів з очерету, насамперед у будівництві, потребує встановлення тих чи інших властивостей, зокрема, теплофізичних характеристик, необхідних для проектування і виготовлення теплоізоляційних виробів. Це і обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Для вогнезахисту очерету використовуються просочувальні засоби, які покривають будівельну конструкцію, що характеризуються розкладом антипіренів під дією температури з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів. В роботі [9] приведені результати досліджень поведінки вогнезахисного покриття під дією температурного впливу. Показано як поведінку спучуючого покриття, так і подальший теплоперенос. Але залишається невирішеними питання, які пов'язані зі встановленням температури утворення пінококсу, що знижує якість отриманих результатів. У більшості випадків такі композиції модифікують полімерними комплексами і антипіренами, однак

засоби відносяться до матеріалів, що характеризуються низькою адгезією та при дії високої температури виділяють токсичні продукти горіння [10].

В роботі [11] приведені найбільш перспективні вогнезахисні композиції спучуючих покриттів, які являють собою складні системи органічних і неорганічних компонентів, але залишаються невисвітленими питання щодо прояву спільної дії компонентів покриття при спіненні. Матеріали, які наведено у роботі [12], характеризуються високою інтумесцентною здатністю, але не показано механізм утворення коксу та температурні переходи покриття в пінококс.

Метою роботи є обґрунтування вогнезахисту очерету покривельними просочувальними композиціями, які при термічній дії утворюють шар коксу.

Матеріали і методи досліджень. Для досліджень протидії будівельної конструкції з очерету високій температурі при дії полум'я бензину використовували модельні зразки конструкцій з очерету середніми розмірами 700×280 мм, діаметром близько 10 мм, довжиною 700 мм, виготовлених з мату товщиною 60 мм (рис. 1):

а) необроблений (зразок № 1);

б) вогнезахисні зразки – мати з очерету було оброблено вогнезахисними покриттями у кількості 0,4 кг/м² поверхні, а саме модифікованим покривельним просочувальним розчином «Skela-i» (суміш карбаміду 28...30% і фосфорних кислот 23...24% та крохмалю 20%), а для підвищення стійкості проти води до даної суміші додавали ПВА-дисперсію у кількості 20% (експериментальний зразок № 2).

Для дослідження теплопровідності використовували зразки очерету середніми розмірами: діаметром до 10 мм і висотою 310 мм, які зв'язували у мати розміром 150×150×25 мм і обробляли покривельним просочувальним розчином з витратою 47,1 г/м².



Рис. 1. Модельні зразки теплоізоляційних матів з очерету: а – необроблений; б – оброблений модифікованим покривельним просочувальним розчином «Skela-i».

Для одержання значень теплопровідності рослинної сировини розроблено і виготовлено спеціальне обладнання та використано плоский електронагрівач, що моделює низькокалорійне джерело тепла (рис. 2). Нагрівач був виготовлений наступним чином: на електроізоляційну пластину розміром 100×100 мм товщиною 1 мм був намотаний дріт з ніхрому, який мав опір 83 Ом та на який подавалась напруга у 24,5 В. Нагрівач поміщався у теплоізолювальну пластину для зниження тепловитрат по периметру.

Між досліджуваними пластинами з очерету розміщували нагрівач з термопарою, а на оберненій стінці зразка очерету розміщували контрольну термопару. Зразок фіксували так, щоб кінець термопари притискувався до внутрішньої поверхні зразка. Включали електричний нагрів, вимірювали температуру нагрівача та на

зворотній поверхні зразка. При підвищенні температури до 70°C нагрівач виключали, а температуру продовжували вимірювати до значення $0,5T_{max}$ на оберненій поверхні зразка. По вимірних величинах визначали теплоізолявальні властивості зразка мату, виготовленого з очерету.

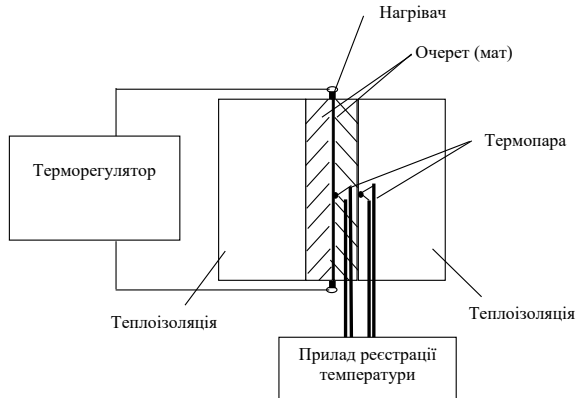


Рис. 2. Пристрій для дослідження теплопровідності мату, виготовленого з очерету.

Критерієм визначення теплопровідності очерету при термічній дії є значення $0,5T_{max}$ на оберненій поверхні зразка мату.

Натурні випробування протидії високій температурі теплоізоляційного мату з очерету проводили за робочою методикою. При цьому конструкція з очерету та оброблена засобами вогнезахисту піддавалась впливу полум'я запалювальної речовини з заданими параметрами (волоку розміром $60 \times 60 \times 20$ мм, змоченого бензином у кількості 100 мл) та реєстрували втрату маси зразка після випробування.

Критерієм визначення ефективності вогнезахисту є відсутність горіння матеріалу, поширення полум'я поверхнею, а також відповідність значення показника втрати маси зразка, яка повинна становити не більше 10%.

Результати досліджень. Для встановлення теплофізичних характеристик мату, виготовленого з очерету, були проведені дослідження щодо її теплопровідності при дії нагрівального пристрою (рис. 3).

Результати досліджень з визначення максимальної температури ($0,5T$, $^{\circ}\text{C}$) та тривалості індукційного часу передавання температури через шар мату, виготовленого з очерету, виконували за методикою

та на обладнанні, які наведені вище, а отримані результати наведено на рис. 4.



Рис. 3. Процес визначення теплопровідності зразка мату, виготовленого з очерету під дією нагрівача.

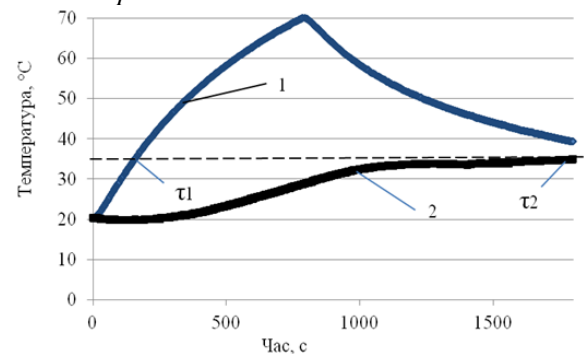


Рис. 4. Результати випробувань теплопровідності мату, виготовленого з очерету:

1 – нагрівальна крива, 2 – значення температури на оберненій поверхні мату. Точки τ_1 – відповідають середньому значенню температури нагрівальної кривої і τ_2 – відповідно середньому значенню температури на оберненій поверхні.

Як видно з рис. 4, при дії нагрівача на зразок очерету почалося інтенсивне передавання тепла та незначне підвищення температури на оберненій поверхні зразка протягом близько 1800 с. У результаті проведених випробувань встановлено, що теплопровідність даного зразка характеризується самим очеретом. Встановлено, що механізм процесу теплоізоляції при передаванні енергії через матеріал полягає в гальмуванні, яка утворена повітряними бар'єрами, що дає можливість впливати на цей процес.

За результатами вимірної температури за методикою, яку наведено [13], розраховані теплофізичні характеристики виробів з очерету (табл. 1).

Таблиця 1 - Теплофізичні характеристики виробів з очерету

Назва матеріалу	Товщина, мм	Маса, г	Розрахункові характеристики виробів з очерету				
			Густина ρ , кг/м ³	Теплова активність, Вт·с ^{1/2} /(м ² ·К)	Температуропровідність, м ² /с	Теплопровідність λ , Вт/(м·К)	Теплоємність, кДж/(кг·К)
Мат з очерету 180×155 мм	25	96	137,6	200,1	$0,08 \cdot 10^{-6}$	0,056	5,08

Дослідження показали, що зразок теплоізоляційного виробу з очерету демонструє теплофізичні властивості, а саме, коефіцієнт теплопровідності (табл. 1), який наближаються до теплоізоляційного матеріалу ($\lambda=0,07$ Вт/(м·К) [14].

Враховуючи, що процеси займання очерету у лабораторних умовах можуть відрізняються від природних та для встановлення ефективності вогнезахисту виробів з очерету, були проведені натурні випробування на об'єктах, зокрема, модельних зразках.

На рис. 5 показано результати випробувань необробленого зразка очерету, а на рис. 6 – зразка, обробленого композицією «Skela-i» з додаванням ПВА-дисперсії.

Як видно з рис. 5, необроблений зразок виробу з очерету загорівся, полум'я поширилося по всій площі зразка, що привело до повного згорання.

В результаті проведених випробувань встановлено:

- при дії полум'я на необроблений модельний зразок теплоізоляційного мату з очерету відбувається займання на 232 с та поширення полум'я поверхнею, що призводить до його повного згорання;

- модельний зразок теплоізоляційного мату з очерету, оброблений захисними засобами, після вигорання модельного вогнища на основі бензину, не загорівся, відповідно поширення полум'я не відбулося. При цьому зафіксовано спучення захисного покриття, що сягало 3...4 мм та відбулося обвуглення поверхні на площі близько 0,036 м².

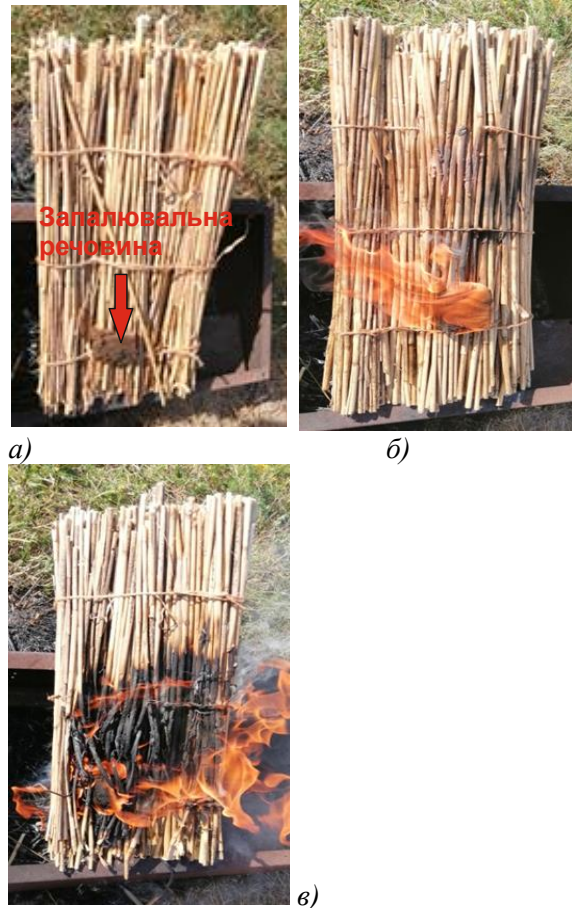


Рис. 5. Результати випробувань модельного необробленого зразка теплоізоляційного мату з очерету: а – горіння модельного вогнища, б – займання очерету, в – термічне руйнування зразка

Масову швидкість вигорання необроблених та оброблених зразків розраховують за формулою:

$$v = \frac{\Delta m}{\tau \cdot S}, \quad (1)$$

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

Результати розрахунку масової швидкості вигорання необроблених та оброблених зразків очерету наведено в табл. 2.

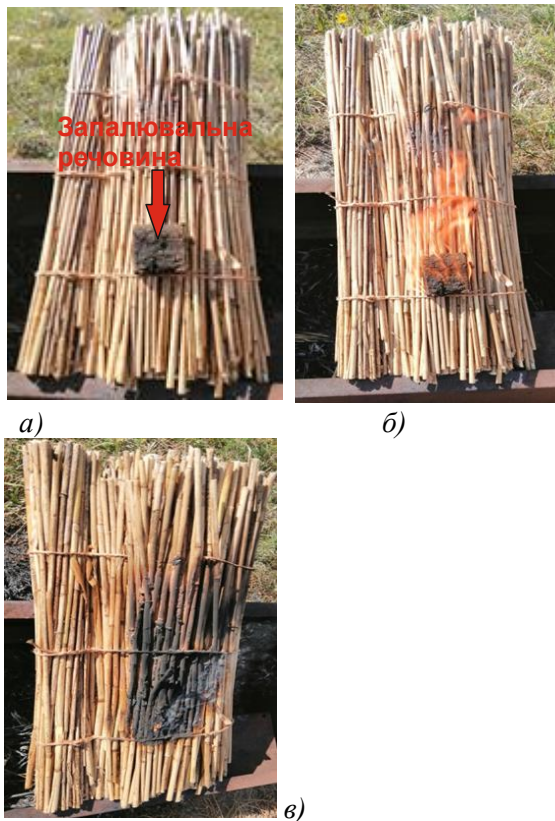


Рис. 6. Результати випробувань модельного зразка теплоізоляційного мату з очерету, обробленого модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i»: а – горіння модельного вогнища, б – займання очерету, в – термічне руйнування зразка.

З табл. 2 розраховано, що масова швидкість вигорання вогнезахисного

зразка мату, виготовленого з очерету, порівняно з необробленим, зменшується в 5 разів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Горючість очерету, на що вказують результати досліджень (рис. 5, 6, табл. 2), проходить шляхом його займання і швидкого поширення полум'я поверхнею під дією джерела запалювання та втратою маси зразка. Натомість для захищеного зразка, за рахунок дії антипіренів, процеси займання і поширення полум'я значно уповільнюються. Такий механізм захисного засобу обумовлюється насамперед розкладом антипіренів під дією температури з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів, зміною напрямлення розкладу матеріалу в сторону утворення важкогорючого коксового залишку. Крім того, теплоізоляційні будівельні матеріали і вироби з очерету повинні задовольняти наступним вимогам: вони повинні мати стабільні теплоізоляційні показники протягом усього періоду експлуатації та бути вогнестійкими і не виділяти в навколишнє середовище шкідливих речовин. Це погоджується з даними, наведеними у роботах [6, 7], автори яких теж пов'язують ефективність створення теплоізоляційних матеріалів з органічної сировини та їх термічний захист.

Таблиця 2 - Масова швидкість вигорання необроблених та оброблених зразків мату виготовленого з очерету

Вогнезахисний зразок очерету	Маса зразка, кг		Втрата маси Δm , кг	Час випробування τ , с	Площа пошкодження зразка S , м ²	Масова швидкість вигорання зразка v , кг/(м ² ·с)
	до випробувань	після випробувань				
Необроблений	1,71	0,31	1,40	480	0,196	0,015
Модифікованим покрівельним просочувальним розчином «Skela-i»	1,85	1,60	0,25	440	0,196	0,003

На відміну від результатів досліджень авторів робіт [7, 8], отримані дані щодо впливу захисних засобів на процес передавання тепла до матеріалу і зміни теплоізоляційних властивостей дозволяють стверджувати наступне:

– основним регулятором процесу є не тільки формування теплозахисного

шару коксу, а і розкладання антипіренів з виділенням негорючих газів, зокрема азоту, діоксиду вуглицю. Ці гази взаємодіють з полум'ям та гальмують процеси окислення в газовій і конденсованій фазі, що відмічено у роботі [1, 2];

– суттєвий вплив на процес захисту горючого матеріалу при застосуванні

вогнезахисного покриття здійснюється у напрямку реакцій у передполуменевій області убік утворення сажеподібних продуктів на поверхні природного горючого матеріалу.

Такі висновки можуть вважатися за доцільні з практичної точки зору, тому що дозволяють обґрунтовано підходити до визначення необхідної рецептури вогнезахисного засобу. Оброблення матеріалу покрівельною композицією більш ефективно протидіє високій температурі за рахунок утворення теплоізоляційного шару коксу, на що і потрібно направити головну увагу при розробленні рецептури покриттів для очерету. З теоретичної точки зору вони дозволяють стверджувати про визначення механізму процесів вогнезахисту, що є певними перевагами даного дослідження. Зокрема, це передбачає наявність даних, достатніх для якісного проведення процесу гальмування температури та виявлення на його основі моменту часу, з якого починається процес займання. Таке виявлення дозволить дослідити перетворення поверхні і структури очерету під дією вогнезахисту у бік утворення коксу і інгібування полум'я та визначити ті змінні, що суттєво впливають на початок цього процесу.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на теоретичне та експериментальне вивчення процесів горіння теплоізоляційних матеріалів, встановлення взаємозв'язку між складовими і властивостями засобів захисту та їх впливу на процеси теплостійкості будівельних конструкцій.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Жартовский В.М., Цапко Ю.В. *Профілактика горіння целюлозовмісних матеріалів. Теорія та практика*. Київ: УкрНДІПБ МНС України, 2006. 256 с.
2. Леонович А.А. Химический подход к проблеме снижения пожароопасности древесных материалов. *Пожаровзрывоопасность веществ и материалов*. М.: ВНИИПО, 1996. Вып. 3. С. 10-14.
3. Цапко Ю.В., Кравченко А.В., Кривенко П.В., Ніколаєнко М.В. Основні тенденції створення вогнезахисних спучуючих композицій для будівельних конструкцій. *Вісник ОДАБА*. Одеса, 2016. Випуск 65. С. 142-147.

4. Павлюк В.В., Бондаренко О.П., Комлик В.В. Енергоефективні композиційні цементи для виконання робіт в зимових умовах. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, 2017. Т. 89. № 3. С. 252-256.
5. Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O. Establishment of heat-exchange process regularities at inflammation of reed samples. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1. №1/10 (97). p. 36-42.
6. Цапко Ю.В., Киричок В.І., Цапко О.Ю., Бондаренко О.П. Аспекти розроблення вогнезахисної покрівельної композиції для очерету. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, 2018. Т. 94. № 4. С. 134-140.
7. Babashov V.G., Beshpalov A.S., Istomin A.V., Varrik N.M. Heat and sound insulation material prepared using plant raw material. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2017. 58(2). P. 208 - 213.
8. Brencis R., Pleiksnis S., Skujans J., Adamovics A., Gross U. Lightweight composite building materials with hemp (*Cannabis sativa L.*) additives. *Chemical Engineering Transactions*. 2017. 57. P. 1375-1380.
9. Tsapko Yu., Bondarenko O., Tsapko A. Effect of a flame-retardant coating on the burning parameters of wood samples. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2. №2/10 (98) P. 49-54.
10. Xiao Na, Zheng Xue, Song Shuping, Pu Junwen. Effects of Complex Flame Retardant on the Thermal Decomposition of Natural Fiber. *United States: BioResources*. 2014. Vol. 9. №3. P. 4924- 4933.
11. Nine M.J., Tran D.N.H., Tung T.T., Kabiri S., Losic D. Graphene-Borate as an Efficient Fire Retardant for Cellulosic Materials with Multiple and Synergetic Modes of Action. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2017. Vol. 9. Issue 11. P. 10160–10168.
12. Ciripi V.K., Wang Y.C., Rogers B. Assessment of the thermal conductivity of intumescent coatings in fire. *Fire Safety Journal*. 2016. Vol. 81. P. 74-84.
13. Tsapko Yu., Zavialov D., Bondarenko O., Marchenko N., Mazurchuk S., Horbachova O. Determination of thermal and physical characteristics of dead pine wood thermal insulation products. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 4. №4/10 (100). P. 37- 43.
14. ДБН В.2.6-31:2006 *Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель*. К.: Мінбуд України, 2006. 70 с.

Цапко Ю.В., Бондаренко О.П., Цапко А.Ю., Горячев В.А. ОБОСНОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ И ОГНЕСТОЙКИХ СВОЙСТВ ТРОСТНИКОВЫХ МАТОВ. В работе исследованы процессы передачи тепла огнезащитными образцами матов,

изготовленных из тростника. Установлено, что обработка тростника огнезащитной композицией при термическом действии снижает процесс передачи тепла к материалу и изменения теплоизоляционных свойств. Это позволяет утверждать следующее: основным регулятором процесса является не только формирование теплозащитного слоя кокса, а и разложение антипиренов с выделением негорючих газов. При этом, как свидетельствуют результаты исследований, существенное влияние на процесс защиты горючего материала при применении огнезащитного покрытия осуществляется в направлении реакций в предпламенной области в сторону образования сажеподобных продуктов на поверхности естественного горючего материала. Образование такой структуры вспученного кокса способствует снижению массовой скорости выгорания огнезащищенного образца мата, изготовленного из тростника, по сравнению с необработанным в 5 раз и относит данный материал к теплоизоляционным, коэффициент теплопроводности которых составляет 0,056 Вт/(м·К).

Ключевые слова: огнезащита тростника, огнезащитные покрытия, теплопроводность, обработка поверхности, теплофизические свойства.

Tsapko Yu., Bondarenko O., Tsapko A., Goryachev V.A. RATIONALE OF THERMAL INSULATION AND FIRE PROPERTIES OF STEAM MATERIAL. The paper studies the processes of heat transfer by fire-retardant samples of mats made of reed. It has been established that treating cane with a fire retardant composition during thermal action reduces the process of heat transfer to the material and changes in thermal insulation properties. This suggests the following: the main regulator of the process is not only the formation of a heat-protective layer of coke, but also the decomposition of flame retardants with the release of non-combustible gases. Moreover, according to research results, a significant influence on the process of protecting combustible material when using a fire retardant coating is carried out in the direction of reactions in the pre-flame region towards the formation of soot-like products on the surface of natural combustible material. The formation of such a structure of expanded coke contributes to a decrease in the mass burning rate of a fire-retardant sample of a mat made of reed, compared to untreated 5 times, and classifies this material as heat-insulating, whose thermal conductivity is 0.056 W / (m·K).

Key words: fire protection of a cane, fire retardant coatings, thermal conductivity, surface treatment, thermophysical properties.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-97-3-99-104

УДК 628.16

Епоян С.М.¹, Яркін В.А.², Сухоруков Г.І.¹,

¹ Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, м. Харків, 61002, Україна, e-mail: ykg.knuca@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4551-1309;
orcid.org/0000-0002-1740-3098)

² Комунальне підприємство «Харківводоканал»
(вул. Шевченко, 2, м. Харків, 61002, Україна; e-mail: ya_vad@i.ua, orcid.org/0000-0001-7844-6772)

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕГОРОДЧАСТОГО ЗМІШУВАЧА КОРИДОРНОГО ТИПУ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ НА ОЧИСНИХ СПОРУДАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Існуючі технології підготовки води для питного водопостачання передбачають обробку двоступінчастою або одноступінчастою схемами, що базуються на застосуванні коагулювання сірчаноокислим алюмінієм з подальшим відстоюванням або освітленням у шарі завислого осаду, швидкого фільтрування або контактного освітлення та знезараження води хлором. Робота передбачає визначення техніко-економічної ефективності застосування перегородчастого змішувача коридорного типу удосконаленої конструкції на очисних спорудах водопостачання. Для інтенсифікації змішування природної води з реагентами та поліпшення якості її очищення запропонований метод підвищення ефективності роботи гідравлічних коридорних змішувачів перегородчастого типу удосконаленої конструкції за рахунок конструктивних змін і можливості введення декількох видів реагентів в один змішувач. На основі цього розроблена методика визначення техніко-економічної ефективності застосування перегородчастого змішувача коридорного типу удосконаленої конструкції на очисних спорудах водопостачання. Запропонована методика розрахунку техніко-економічного ефекту від впровадження