



**МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ  
УКРАЇНСЬКОЮ, АНГЛІЙСЬКОЮ  
ТА ПОЛЬСЬКОЮ  
МОВАМИ**

## **МАТЕРІАЛИ**

*Міжнародної науково-  
практичної конференції*

## **ПОЖЕЖНА ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА ТЕОРІЯ, ПРАКТИКА, ІННОВАЦІЇ**

*Львів – 2016*

### **РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

д-р техн. наук **Рак Т.С.** – головний редактор  
канд. техн. наук **Лин А.С.** – заступник головного редактора

**dr. J. Telak**

**dr. O. Galarowicz**

д-р техн. наук **Гащук П.М.**

д-р техн. наук **Гудим В.І.**

д-р техн. наук **Гуліда Е.М.**

д-р техн. наук **Ковалишин В.В.**

д-р психол. наук **Кривопишина О.А.**

д-р с.-г. наук **Кузик А.Д.**

д-р хім. наук **Михалічко Б.М.**

д-р техн. наук **Семерак М.М.**

канд. техн. наук **Башинський О.І.**

канд. техн. наук **Кравець І.П.**

канд. техн. наук **Луц В.І.**

канд. техн. наук **Маладика І.Г.**

канд. техн. наук **Пархоменко Р.В.**

канд. екон. наук **Повстин О.В.**

канд. техн. наук **Ренкас А.Г.**

канд. техн. наук **Удянський М.М.**

<b>М.М. Гивлюд, В.-П.О. Пархоменко</b> ВПЛИВ ЦЕМЕНТНОГО В'ЯЗУЧОГО НА МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНУ НА ОСНОВІ КОМПОЗИЦІЙНОГО ЦЕМЕНТУ В УМОВАХ ПОЖЕЖІ.....	146
<b>В.О. Гнеушев</b> ТОРФОВІ ПОЖЕЖІ: ОСОБЛИВОСТІ, ГОЛОВНІ ПРИЧИНИ ТА ЗАСОБИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ.....	149
<b>Б.Г. Демчина, О.А. Гаврилко, М.І. Сурмай</b> НОВИЙ КРИТЕРИЙ ДЛЯ ЗНАХОДЖЕННЯ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ВЕРТИКАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ЗНАЧЕННЯМ ЇХ КРИТИЧНОГО ВИГИНУ.....	152
<b>К.Л. Драч, А. Д. Кузик</b> ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА НАЙПОШИРЕНІШИХ ТРАВ'ЯНИХ РОСЛИН ЛУК ЛЬВІВЩИНИ.....	155
<b>С.В. Жарговський, В.В. Ніжник, О.О. Сізіков, Я.В. Балло, В.С. Бенедюк</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТОНКОРОЗПИЛЕНОЇ ВОДНОЇ ВОГНЕГАСНОЇ РЕЧОВИНИ З ЦІЛЬОВИМИ ДОБАВКАМИ.....	158
<b>В.І. Желяк, О.В. Лазаренко</b> ВРАХУВАННЯ НАЯВНОСТІ СПІРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ПОЖЕЖНОГО РУКАВА ПРИ ГІДРАВЛІЧНОМУ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ ВНУТРІШНЬОКВАРТИРНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ.....	162
<b>Я.В. Змага, О.В. Некора</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ГЛИБИНИ ОБВУГЛЮВАННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК З ВОГНЕЗАХИСНИМ ПРОСОЧЕННЯМ ПРИ ПОЖЕЖІ.....	165
<b>С.О. Ємельяненко, О.М. Щербина</b> ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА У ТЕПЛЮЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ПІД ЧАС ПОЖЕЖІ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДИНКІВ....	169
<b>С.Г. Короткевич, К.А. Андреева</b> РАЗРАБОТКА ОБУЧАЮЩЕГО ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПОЖАРНО-ТЕХНІЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	171
<b>А. І. Ковальов, Н.В. Зобенко, С.А. Ведула</b> ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОКРИТТІВ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ЇХ ВИПРОБУВАННІ В УМОВАХ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ У ВУГЛЕВОДНЕВОЇ ПОЖЕЖІ.....	174
<b>А.С. Лин, Т.Г. Бережанський, Л.І. Торос</b> РОЗРАХУНОК МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКІСТІ СТАЛЕБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	175
<b>О.В. Міллер, С.Д. Кабашев</b> ПІДВИЩЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ СПОРУД... <b>О.В. Міллер, Т.Р. Павлюк</b> ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЖЕЖ.....	178 180
<b>В.М. Нуязін, А.І. Ковальов, С.А. Ведула, П.С. Жаврук</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВОГНЕЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	181
<b>О.Ю. Пазен</b> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОПЕРЕНОСУ У БАГАТОШАРОВИХ ПЛОСКИХ КОНСТРУКЦІЯХ З НАНЕСЕНИМ ВОГНЕЗАХИСНИМ ПОКРИТТЯМ, ЩО ВСПУЧУЄТЬСЯ.....	185
<b>Б. М. Перетятко</b> ВИПРОБУВАННЯ ДЕРЕВИНИ ВОГНЕМ.....	188
<b>Р.М. Тацій, О.Ю. Пазен</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЗАХИЩЕНИХ ВОГНЕЗАХИСНИМ ПОКРИТТЯМ.....	190
<b>Д.Г. Трегубов, О.В. Гарахно</b> ОЦІНКА СХИЛЬНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ДО САМОЗАЙМАННЯ МЕТОДОМ КАЛОРИМЕТРІЇ.....	193
<b>Н.О. Ференц, В.В. Ковба</b> ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА РЕЗЕРВУАРІВ ДЛЯ НАФТИ ТА НАФТОПРОДУКТІВ ЗА УМОВ КВАЗІМІТТЄВИХ РУЙНУВАНЬ.....	197
<b>Н. О. Ференц, М.І. Тацій</b> ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА АМІАЧНО-ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК.....	200
<b>Ю.Л. Фечук</b> ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СПОСОБУ ВОГНЕЗАХИСНОГО ПРОСОЧУВАННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	203

УДК 614.8:521.633

*Д.Г. Трегубов, канд. техн. наук, доцент,  
О.В. Тарахно, канд. техн. наук, доцент  
(Національний університет цивільного захисту)*

## ОЦІНКА СХИЛЬНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ДО САМОЗАЙМАННЯ МЕТОДОМ КАЛОРИМЕТРІЇ

Із samozаймання зіштовхуються в різних галузях народного господарства, у їхнє число входять вугледобувна й вуглепереробна галузі промисловості, сільське господарство. Ця проблема вимагає безперервного контролю для запобігання виникнення пожеж. Деякі види вугілля й їх пил самонагрівається при зберіганні й має високу пожежовибухонебезпеку [1]. Це ускладнює видобуток, переробку, транспортування, використання вугілля. Теплові прояви окиснення вугілля призводять до його саморозігріву, що знижує споживчі властивості й створює небезпеку виникнення пожежі. До 7 % від видобутку бурого вугілля втрачається в результаті його samozаймання, а атмосферу забруднюють продукти розкладання, повного й неповного згоряння [2].

Виникнення й розвиток горіння при samozайманні твердих матеріалів відбувається в результаті екзотермічних процесів у скупченні твердого пористого матеріалу. За наявності умов для накопичення тепла відбувається самонагрівання матеріалу, що приводить до інтенсифікації процесів його низькотемпературного окиснення аж до виникнення горіння. Прогнозування можливості samozаймання являє собою важливе завдання.

Основним процесом при самонагріванні є взаємодія кисню з матеріалом твердої речовини та з газоподібними продуктами її розкладання. Існують методи оцінки схильності твердих матеріалів до samozаймання за активністю відносно кисню з визначенням калориметричних, гравіметричних, термічних або волюмометричних показників [1, 3]. Ці методи конструктивно складні й мають значну вартість. У ряді методик визначають ступінь поглинання й перетворення кисню [1]. Однак однакова кількість кисню, що прореагував, не означає рівноцінності теплових ефектів; це робить оцінку схильності матеріалу до samozаймання неточною. Способи калориметрії теплових ефектів вимірюють різницю температур [4] або компенсовану кількість енергії між досліджуваною та еталонною пробами [5] за умови зовнішнього нагріву. Їх недоліками є неможливість швидкої компенсації екзо- та ендотермічних ефектів, інерційність вимірювання температури через стінку чарунки; вимірювання малих, подрібнених і стиснутих наважок матеріалу, що змінює його деякі властивості в порівнянні з вихідним станом кускового матеріалу.

Вимірювання схильності речовин до samozаймання за сучасною методикою проводять в чарунках різного об'єму при термостатуванні зразків за різних температур до моменту samozаймання, але не більше певного часу витримки [6]. За результатами серії послідовних дослідів визначають константи подальшого розрахунку, який описує залежність температури середовища та часу індуkcії до виникнення samozаймання від величини питомої поверхні зберігання

речовини. Ця серія дослідів для однієї речовини триває більше двох тижнів.

Відомий спосіб визначення термомеханічної міцності металургійного коксу [7] в обертовому барабані в ізотермічних умовах за електроконтактного нагріву. За зміною маси проби визначають реакційну здатність, але без врахування теплових ефектів.

Нами запропоновано принцип вимірювання теплових ефектів методом компенсації за умови нагріву електроконтактним шляхом зернистої струмопровідної еталонної частини проби; реєструються температури, за яких виникає та інтенсифікується тепловиділення [8]. Це дає змогу вимірювати властивості вихідного матеріалу без зміни його структурних особливостей, вводити енергію безпосередньо у вимірюваний зразок, визначати критичні температури.

Зернистий матеріал (7–10 мм) об'ємом 400 дм<sup>3</sup> завантажують у термостійкий неструмопровідний барабан 3 об'ємом 500 см<sup>3</sup>. Для стабілізації нагріву й електроконтактного режиму, ліпшого контакту часток вимірюваного матеріалу з повітрям барабан обертається зі швидкістю 8 об.хв.<sup>-1</sup> Нагрів здійснюють зі швидкістю: для диференційних показників – 5 °С·хв<sup>-1</sup>, для інтегральних – 15°С·хв<sup>-1</sup>. Температура вимірювання обмежується значенням початку окиснення електродів (для коксу – 600 °С). Напругу подають на нерухомі графітові електроди через трубчатий шинопровід, крізь який в реактор можливо подавати повітря з витратою 6 л·хв<sup>-1</sup> (дослід з надлишком повітря) повітря. Реєструють кількість споживаної електроенергії, тепловий ефект у робочому об'ємі та критичні температури дослідів, які відповідають тепловим ефектам.

Робочий об'єм барабану заповнюють на 80 % сумішшю вимірюваного та еталонного струмопровідного матеріалів у співвідношенні 50 дм<sup>3</sup>: 350 дм<sup>3</sup> з розміром часток 7–10 мм, що дозволяє зберегти вихідні властивості матеріалу, на відміну від способів з тонким подрібненням матеріалу. Вимірювання за однакового об'єму наважки дозволяє проводити дослідів з близькими: питомою площею реакційної поверхні, кількістю часток та контактів між ними.

Еталонний матеріал (рухомий електрод) обирають струмопровідним з подібними теплофізичними характеристиками до вимірюваної речовини та не здатним до фізико-хімічних перетворень в умовах дослідів. При визначенні схильності твердих вуглеводнів до самозаймання кокс імітує наявність інертного твердого вуглецевого залишку, який утворюється при їх розкладанні.

Для аналізу отриманих термограм визначають вихідні та кінцеві маси проби. Кінцеву масу досліджуваної речовини у змішаних дослідів визначають за адитивністю внесків. Як експрес-показник – чим менший час нагріву фіксованої потужності, тим більша схильність матеріалу до самозаймання при контакті з киснем повітря. Визначають кількість компенсованого енергоспоживання на відміну від еталонної залежності на одиницю маси проби, що дозволяє оцінити схильність матеріалу до самонагрівання. Інтегральна залежність показує зростання сумарного енергоспоживання від температури, температуру самонагрівання  $t_{сн}$  та температуру займання речовини; дозволяє оцінити реакційну здатність та схильність речовини до самонагрівання.

За  $t_{сн}$  приймають температуру, за якої безповоротно зменшується

енергоспоживання у досліді відносно еталонної залежності; за температуру займання – за якої проба у реакційній камері протягом 1 хв. підтримує або збільшує власну температуру без продовження нагріву.

Перша графічна похідна показує збільшення або зменшення енергоспоживання від температури, визначає температуру самонагрівання. Друга графічна похідна – додатково показує наявність у досліджуваному об'ємі екзо- та ендотермічних ефектів та відповідні їм температури.

Інтегрально- та диференційно-термічні залежності досліджуваного матеріалу розраховують за адитивністю внесків еталонного та досліджуваного матеріалів у сумарний тепловий ефект з урахуванням відомої залежності для еталонного матеріалу. Аналіз отриманих термограм, див. табл. 1, дозволяє отримати показники схильності речовин до самонагрівання, визначити реакційну та теплотворну здатність речовини в умовах досліду.

Таблиця 1

## Результати випробувань вуглецевих матеріалів

Матеріал	Питома уявна витрата енергії в досліді, кДж·кг <sup>-1</sup>	Температура початку тепловиділення, К	Температура займання, К	ΔТ до займання, К
Деревина	15840	533	653	120
Вугілля	4540	573	613	40
Напівкокс	15480	603	713	110
Антрацит	11300	793	853	63
Кокс мет.	25560	873	1093	220

Проведений аналіз показав, що температура початку тепловиділення (температура самонагрівання)  $t_{\text{тв}}$  корелює з температурою фактичного самонагрівання речовини, а різниця температур займання та початку тепловиділення в досліді  $\Delta t$  – з часом індукції до самозаймання  $\tau_{\text{інд}}$ . Розрахунок фактичної температури самонагрівання  $t_{\text{фс}}$  речовини (за якої починається самонагрівання матеріалу за даних умов зберігання) проводиться за формулою:

$$t_{\text{фс}} = K_1 t_{\text{тв}} (1 + \lg(K_2 S_{\text{нм}})), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

де  $S_{\text{нм}}$  – питома поверхня тепловіддачі осередку зберігання, м<sup>-1</sup>;  
 $K_1$  – коефіцієнт пропорційності  $t_{\text{тв}}$  фактичній температурі самонагрівання;  
 $K_2$  – коефіцієнт інтенсивності тепловтрат від проби.

Розрахунок часу індукції до самозаймання враховує питому уявну енергію  $Q_0$ ; витрачену на проведення досліду, температуру самонагрівання  $t_{\text{фс}}$  розраховану для фактичних умов зберігання та необхідний додатковий нагрів матеріалу для виникнення його займання:

$$\tau_{\text{інд}} = (10^{-2} Q_0 K_3 / t_{\text{фс}})^{(\Delta t - K_3 / t_{\text{фс}}) 2,35}, \text{ год}, \quad (2)$$

де  $Q_0$  – питома уявна витрата енергії, кДж·кг<sup>-1</sup>, обернено пропорційна схильності до самозаймання; розраховують на одиницю маси досліджуваної речовини;  
 $K_3$  – коефіцієнт гальмування розвитку самонагрівання в процесі самозаймання;  
 $\Delta t$  – показує швидкість наростання процесів тепловиділення при самозайманні, <sup>o</sup>C.

За методикою Таубкіна для тирси соснової, що знаходиться у барabanі з діаметром  $d = 0,08$  м, довжиною  $l = 0,1$  м, питомою поверхнею  $S_{\text{нут}} = 70 \text{ м}^{-1}$ , фактична температура самонагрівання –  $t_{\text{фс}} = 181,6$  °С, час індукції до самозаймання  $\tau_{\text{інд}} = 2,42$  год, за запропонованою методикою  $t_{\text{ф}} = 170,1$  °С,  $\tau_{\text{інд}} = 4,0$  год. Для контейнера кубічної форми з ребром 1 м  $S_{\text{нут}} = 6 \text{ м}^{-1}$ :  $t_{\text{фс}} = 106$  °С,  $\tau_{\text{інд}} = 658,6$  год; за запропонованою методикою  $t_{\text{фс}} = 106,2$  °С,  $\tau_{\text{інд}} = 671,2$  год.

За методикою Таубкіна для активованого вугілля за зазначених вище умов: фактична температура самонагрівання  $t_{\text{фс}} = 169,9$  °С, час індукції до самозаймання  $\tau_{\text{інд}} = 0,88$  год; за запропонованою методикою:  $t_{\text{фс}} = 183,2$  °С,  $\tau_{\text{інд}} = 1,48$  год. Для контейнера кубічної форми з ребром 1 м та  $S_{\text{нут}} = 6 \text{ м}^{-1}$  –  $t_{\text{фс}} = 83,5$  °С,  $\tau_{\text{інд}} = 5,5$  год, за запропонованою методикою  $106,4$  °С,  $4,05$  год. Похибку можна пояснити не ідентичністю зразків деревини та активованого вугілля при визначенні коефіцієнтів в дослідях Таубкіна та за запропонованою методикою. Визначено: для деревини  $K_1 = 0,23$ ,  $K_2 = 1$ ,  $K_3 = 2$ , для активованого вугілля  $K_1 = 0,3$ ,  $K_2 = 0,5$ ,  $K_3 = 4$ .

Таким чином, розроблена методика дозволяє прогнозувати умови теплового самозаймання з точністю близькою до методики Таубкіна.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Саранчук В.И. Окисление и самовозгорание твердого топлива / Саранчук В.И., Русчев Д., Семенов В.К.] – К.: Наукова думка. 1994. – 264 с.
2. Амелъчугов С.П. Особенности теплофизических процессов при добыче, хранении, использ. бурого угля: автореф. дис. д.т.н.: спец. 01.04.14 / С.П. Амелъчугов. – Кр.: 2002. – 30 с.
3. Саранчук В.И. Тепловые эффекты процесса пиролиза углей / Саранчук В.И., Ошовский В.В., Горюшин В.Ф., Никитенко Ю.В. // Углекимический журнал. – 2002. – № 5-6. – с. 15-19.
4. Уэндландт У. Термические методы анализа / Уэндландт У. - М.: Мир. – 1978. – 526 с.
5. Patent 3263484 United States, МПК7 G 01 N 25/20. Differential microcalorimeter / E. S. Watson et al; заяв. и патентообладатель Perkin-Elmer, US.; заявл. 04.04.1962; опубл. 01.08.1966.
6. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов, номенклатура показателей и методы их определения : ГОСТ 12.1.044-89. – [Дата введения 01.01.91]. – М.: ГКС СССР, 1989. – 146 с.
7. А.с. 1651546 СССР, кл. МКИ С10В 57/00. Способ определения прочности кокса и устройство / Слободской С.А., Скляр М.Г.; заявитель УХИН, 18.09.91; опубл. 20.12.91, Бюл. №19.
8. Пат. 98931 Україна, МПК7 G01N 25/20. Спосіб оцінки схильності зернистих матеріалів до самонагрівання / Трегубов Д.Г., Тарахно О.В., Жернольов К.В., Оржиховський Д.С.; заявник та патентовласник НУЦЗУ – у 2014 13114; заявл. 08.12.2014 ; опубл. 12.05.2015, Бюл. №9.