

УДК 662.452

[https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.3\(31\).59-66](https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.3(31).59-66)**М. Ф. БУЛЛЕР**

доктор технічних наук

професор

<https://orcid.org/0000-0003-2591-205X>

(Шосткинський інститут Сумського державного університету

м. Шостка, Україна)

**В. А. РОБОТЬКО**, кандидат технічних наук<https://orcid.org/0000-0002-3895-5019>

(Державний науково-дослідний інститут хімічних продуктів,

м. Шостка, Україна)

**О. О. НОВОБРАНЕЦЬ**<https://orcid.org/0000-0003-2279-5193>

(Шосткинський інститут Сумського державного університету

м. Шостка, Україна)

## ПРО ТЕРМІНИ СЛУЖБОВОЇ ПРИДАТНОСТІ АСФАЛЬТОВАНИХ ВОГНЕПРОВІДНИХ ШНУРІВ

В статті досліджені фізико-хімічні (теплостійкість, морозостійкість, водонепроникність) і цільові (час горіння відрізка шнура) характеристики вогнепровідного шнура асфальтованого після 30 років зберігання за плюсових температур в герметичній упаковці. Такий вогнепровідний шнур після тривалого зберігання показав характеристики, які повністю відповідають нормативно-технічній документації. Проведені термічні дослідження методом TG-DTA матеріалів, що становлять конструкцію вогнепровідного шнура (центральної нитки, димного шнурового порошку, першого обплетення, другого обплетення, третього обплетення) за показниками температура початку термічного розкладу і температура початку інтенсивного розкладу. Отримані результати показали, що досліджені термічні характеристики за 30 років зберігання практично не змінилися. Досліджена поведінка зразків вогнепровідного шнура в негерметичній упаковці у атмосфері різної відносної вологості та її вплив на швидкість горіння шнура. За отриманими результатами розраховані коефіцієнти дифузії вологи, що складають в залежності від відносної вологості атмосфери  $(1,92 - 3,51) \times 10^{-8} \text{ см}^2/\text{с}$ . Також встановлено, що ізолюючі шари вогнепровідного шнура мають властивості, здатні не менше 200 діб у вологій атмосфері (92 % відносної вологості) протистояти проникненню вологи для збереження швидкості його горіння.

**Ключові слова:** вогнепровідний шнур, термін зберігання, вологопоглинання, термічні характеристики.

### ВСТУП

Нині в країні призупинено виробництво деяких видів інженерного озброєння і майна. Проте в ньому є необхідність, хоча і в невеликих об'ємах. Постає питання, чи може бути використане таке інженерне озброєння, вироблене ще в СРСР (до 1989 року), за прямим призначенням. До такого майна може бути віднесений і вогнепровідний шнур, призначений для збудження детонації вибухових і порохових зарядів за допомогою променя вогню.

Відомо, що гарантійний термін зберігання асфальтованих вогнепровідних шнурів марок ОША і ОШДА, виготовлених із застосуванням в обплетенні тільки бавовняної пряжі, складає 1 рік.

Цікаво, якою мірою вогнепровідний шнур, у якого збігли гарантійні терміни заводу виробника, може бути використаний нині після більш ніж 30 років зберігання у вибухових роботах після проведення його випробування за показниками, закладеними в нормативній документації. Це надзвичайно актуально через те, що термін придатності димного шнурового порошку, що входить до складу вогнепровідних шнурів, становить 30 років [1].

**Метою роботи** є дослідження фізико-хімічних (теплостійкість, морозостійкість, водонепроникність) і цільових (час горіння відрізка шнура) характеристик вогнепровідного шнура асфальтованого після тривалого зберігання в герметичній упаковці.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У дослідженні використовували зразок вогнепровідного шнура марки ОША, виготовленого в 1989 році на Шосткинському пороховому заводі, тобто час його зберігання на момент початку дослідження складав 30 років. Зразок шнура 30 років зберігався в герметичній упаковці у приміщенні за температур, в залежності від пори року, від +10 до +30 °С.

Для виготовлення водоізолюючого покриття вогнепровідного шнура використовується склад, що містить 5 компонентів, більшість з яких є органічними речовинами природного походження [2]:

- пек кам'яновугільний середньотемпературний марки А з температурою розм'якшення від 67 до 75 °С;
- смола кам'яновугільна;
- бітум нафтовий будівельний БН 90-10 з температурою розм'якшення від 90 до 105 °С;
- парафін нафтовий з температурою плавлення від 45 до 58 °С;
- тальк мелений.

В якості центральної нитки і обплетення шнура використовується пряжа бавовняна.

На основні компоненти шнура (центральну нитку і димний шнуровий порошок) намотується перше і друге обплетення. На цю основу наноситься перший ізолюючий шар: по черзі суміші смоли кам'яновугільної і пека кам'яновугільного у співвідношенні 1:1 за температур від 170 до 180 °С (осмолення) і потім бітуму нафтового будівельного БН 90-10 за температур від 130 до 140 °С (асфальтування). На перший ізолюючий шар наноситься тальк. Далі наноситься третє обплетення, а на нього – другий ізолюючий шар суміші смоли кам'яно-вугільної

і пека кам'яновугільного у співвідношенні 1:2 (осмолення). Другий ізолюючий шар парафінується з нанесенням шару тальку.

Зовнішній вигляд складових вогнепровідного шнура представлений на рис. 1.

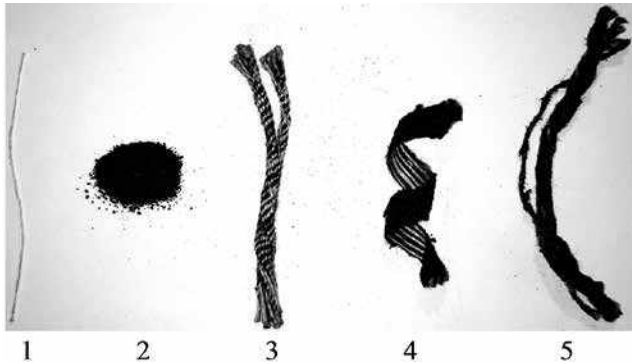


Рис. 1. Загальний вигляд складових вогнепровідного шнура:

- 1 – центральна нитка; 2 – димний шнуровий порошок;  
3 – перше обплетення; 4 – друге обплетення з першим ізолюючим шаром; 5 – третє обплетення з другим ізолюючим шаром

Масові співвідношення між складовими вогнепровідного шнура наступні:

- центральна нитка – 0,4 %;
- димний шнуровий порошок – 18,3 %;
- перше обплетення – 20,4 %;
- друге обплетення з першим ізолюючим шаром – 33,0 %;
- третє обплетення з другим ізолюючим шаром – 27,9 %.

Вогнепровідний шнур за початковими показниками повинен відповідати вимогам, представленим в табл. 1.

Таблиця 1

**Вимоги, що пред'являються до ОША, і результати випробувань на відповідність нормативної документації**

| Показник          | Нормативне значення   | Результати випробувань                |
|-------------------|---|---------------------------------------|
| зовнішній вигляд  | відсутність переломів, тріщин і вузлів, що утворилися під час зрощення відрізків, і слідів плісняви | відповідає                            |
| теплостійкість    | не менше 45 °С  | відповідає                            |
| морозостійкість   | мінус 25 °С   | відповідає                            |
| водонепроникність | не менше 1,0 ч  | відповідає (час горіння шнура 69,9 с) |

|  |              |             |
|--|--------------|-------------|
| діаметр шнура, мм                                  | 4,8 – 5,8    | 5,3 ± 0,2   |
| довжина шнура в бухті, м                           | 10,0 ± 0,15  | 10,0 ± 0,15 |
| час горіння відрізка шнура завдовжки 600 мм, с     | 60 – 70      | 68,8        |
| розкид за часом горіння відрізка шнура в партії, с | не більше 10 | відповідає  |

Перевірку зовнішнього вигляду вогнепровідного шнура проводили зовнішнім оглядом.

Випробування вогнепровідного шнура на теплостійкість проводили витримкою в термостаті бухт шнура за температури плюс 45 ± 1 °С впродовж 2 годин.

Після витягання з термостата бухти вогнепровідного шнура витримували її 20 – 25 хв. за температури 20 ± 5 °С, після чого витки шнура у бухті відділяли одну від одної.

Злипання витків шнура у бухті і порушення оболонки шнура не допускаються.

Випробування вогнепровідного шнура на морозостійкість проводили витримкою в холодильній камері бухт за температури мінус 25 ± 2 °С впродовж 1 години.

Після витягання з холодильної камери вогнепровідний шнур кожної бухти перегинали в трьох місцях повним обертом навколо дерев'яного стержня діаметром 75 ± 2 мм.

На шнурі не повинно бути тріщин і переломів, які помітні неозброєним оком.

Випробування вогнепровідного шнура на водонепроникність проводили шляхом витримки у воді на глибині 1 м впродовж 1 години за температури води від 15 до 20 °С.

Кінці вогнепровідного шнура (на довжину, близьку до 10 мм) були заізольовані шляхом занурення їх в розплавлений бітум і витримки за кімнатної температури для застигання.

Не пізніше ніж через 4 години після витягання з води вогнепровідний шнур був випробуваний на час горіння.

Визначення величини діаметру і довжини шнура у бухті проводили вимірювальним інструментом, що забезпечує точність виміру діаметру не менше 0,1 мм, довжини – не менше 1 мм.

Вимір діаметру проводили в трьох місцях по довжині шнура в кожній бухті. За результат виміру діаметра приймали найменше і найбільше значення усіх зроблених вимірів.

Для перевірки часу горіння вогнепровідного шнура від кожної бухти, відібраної для випробувань, відрізували 5 відрізків шнура по 600 ± 3 мм кожен.

Досліджувані відрізки шнура спалювали з визначенням часу горіння за допомогою секундоміру, що забезпечує погрішність виміру не більше 1 с.

Під час проведення випробувань фіксували фактичний атмосферний тиск. З отриманих даних відбирали

граничні значення часу горіння відрізків вогнепровідного шнура і обчислювали час горіння, приведений до нормального атмосферного тиску (760 мм рт. ст.) за емпіричною формулою, що наведена в [2].

Розкид часу горіння визначали як різницю між граничними значеннями часів горіння, приведених до нормального атмосферного тиску.

Термічні дослідження зразків під час нагрівання (з реєстрацією DTA- і TGA-кривих) проводили на синхронному термоаналізаторі Shimadzu DTG-60H з платиновими тиглями за наступних умов:

- швидкість нагрівання 10 °C/хв.;
- наважка досліджуваного зразка 7 – 10 мг;
- максимальна температура нагрівання зразка 700 °C.

Для дослідження поведінки зразків в атмосфері з різною відносною вологістю їх поміщали в ексикатори, потрібну вологість в яких створювали водними розчинами сірчаної кислоти різної концентрації.

Дослідження нормативних показників вогнепровідного шнура, що зберігався 30 років за плюсових температур, дали наступні результати (табл. 1). Отримані результати вказують на те, що вогнепровідний шнур, що зберігався 30 років за плюсових температур в герметичній упаковці, відповідає вимогам нормативної документації як знову виготовлений шнур. Цей факт побічно вказує на те, що ізолюючі шари обплетень після 30 років зберігання не змінили своїх вологозахисних властивостей.

#### Термічні дослідження зразків DTA- і TGA-методами

Термічні характеристики компонентів ОША оцінювали за температурами початку розкладання (Тп.р.) і початку інтенсивного розкладання (Тп.і.р.), отриманих за результатами TG–DTA аналізу [3].

Центральна нитка (рис. 1, поз.1).

На DTA-кривій (рис. 2) відмічаємо, що процес розкладання матеріалу центральної нитки починається за температури понад 240,9 °C.

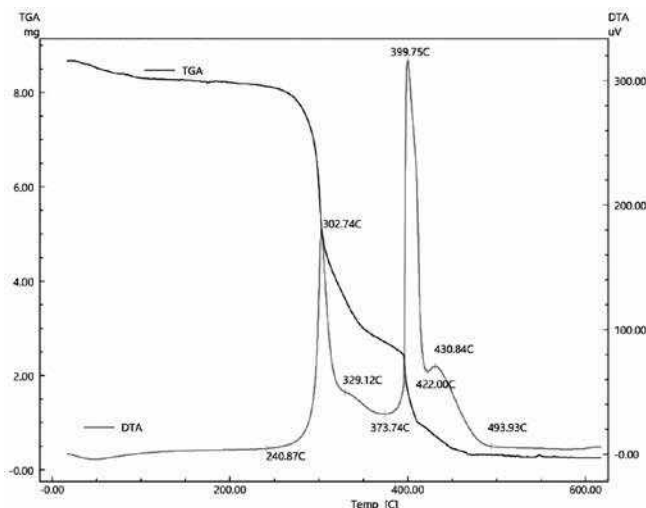


Рис. 2. Термограми DTA і TGA зразка центральної нитки

Сам процес термічного розкладання носить складний характер і є, загалом, трьохстадійним процесом. Відомо [4–6], що перша стадія розкладання целюлози пов'язана

з дегідратацією і декарбоксілюванням целюлози; друга і третя стадії пов'язані з окисленням залишку глюкозидного кільця. Екстремум першої екзотермічної реакції доводиться на температуру 302,7 °C (Тп.і.р.); екстремуми другої і третьої екзотермічних реакцій доводяться на температури 399,8 і 430,8 °C.

Процес розкладання проходить в інтервалах температур:

- 1 стадія – від 240,9 до 329,1 (°C) з максимумом при 302,7 °C;
- 2 стадія – від 329,1 до 422,7 (°C) з максимумом при 399,8 °C;
- 3 стадія – від 422,7 до 493,9 (°C) з максимумом при 430,8 °C.

Втрата маси склала: на першій стадії – 51,9 %; на другій стадії – 33,5 %; на третій стадії – 4,8 %.

Загальна втрата маси в діапазоні температур від 17,6 до 493,9 °C склала 96,4 %, включаючи втрату вологи в діапазоні температур від 17,6 до 119,0 °C близько 4,5 %.

Основа шнура – димний шнуровий порошок (рис. 1, поз. 2).

Димний шнуровий порошок є сумішшю трьох компонентів: нітрат калію – 77,0 % мас.; деревне вугілля – 12,0 % мас.; сірка – 11,0 % мас. Тому криві DTA і TGA, представлені на рис. 3, мають складний характер, на яких відмічені не лише ефекти, пов'язані із взаємодією компонентів димного порошку, але і піки, пов'язані з плавленням сірки (114,1 °C) і нітрату калію (324,8 °C) і зміною форми кристалів нітрату калію (127,7 °C).

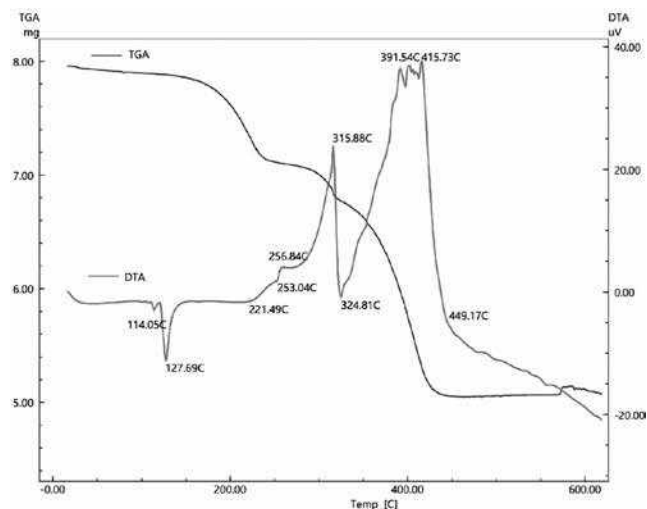


Рис. 3. Термограми DTA і TGA зразка димного порошку

Взаємодія між компонентами димного порошку починається за температур понад 221,5 °C (Тп.р.). До цього моменту втрата маси зразка склала в діапазоні температур від 18 до 110 °C – 0,8 %, що зазвичай пов'язано з втратою вологи; у діапазоні температур від 122 до 258 °C – 9,8 % (випар сірки). Відсутність ендотермічної смуги в діапазоні температур 140 – 221,5 °C за рахунок випару сірки ймовірно пов'язана з накладенням двох процесів: випаром сірки з від'ємним ефектом і окисленням деревного вугілля з позитивним ефектом, що дає в сумі нульовий ефект.

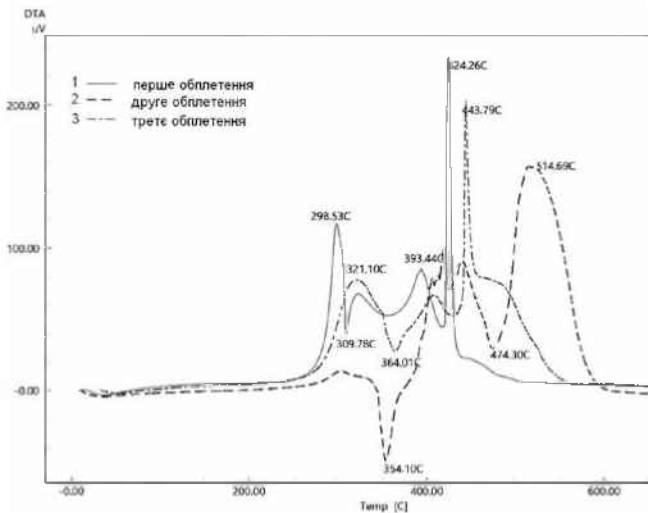
Висока екзотермічна смуга в діапазоні температур від 257,9 °C (Тп.і.р.) до 449,2 °C пов'язана із взаємодією нітрату калію (окисник) і деревного вугілля (пальне),

яка більш інтенсивно протікає після плавлення нітрату калію (324,8 °C).

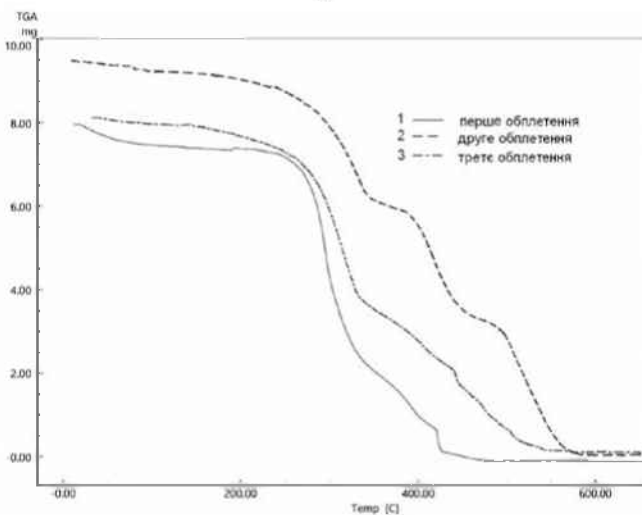
Загальна втрата маси зразка димного шнурового порошу під час нагрівання його до температури 570,8 °C склала 36,3 %.

Вміст води в шнуровому димному порошу за даними TGA-кривої складає 0,8 % мас., що відповідає вимогам нормативної документації на шнуровий порошок (вміст води не більше 1,0 %), і вказує на те, що впродовж 30 років зберігання водозахисний шар не втратив своїх властивостей.

Перше обплетення (рис. 1, поз. 3).



а)



б)

Рис. 4. Термограми DTA (а) і TGA (б) зразків обплетень:

1 – перше обплетення; 2 – друге обплетення;  
3 – третє обплетення

Вузкий і високий екзотермічний пік з максимумом за 424,2 °C ймовірно так само пов'язаний з розкладанням матеріалу центральної нитки (бавовняне волокно) зі зміщенням в дальню область температур. Це уповільнення інтенсивності розкладання (друга стадія розкладання для бавовняного волокна) пов'язане з впливом матеріалів за-

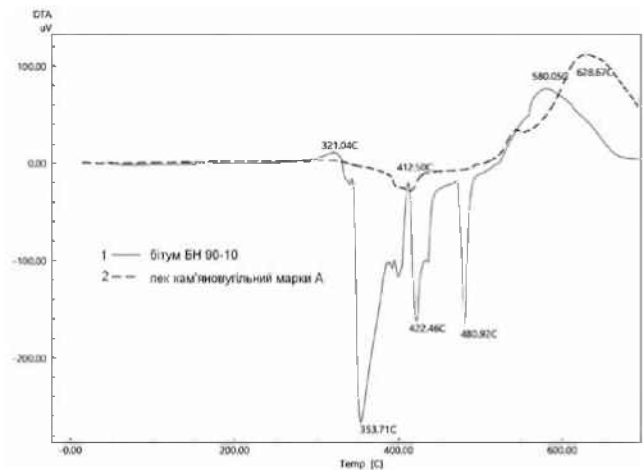
хисного шару, основними з яких є пек кам'яновугільний (перше обплетення) і бітум (друге обплетення). Аналіз термограм пека кам'яновугільного і бітуму (рис. 5) показує, що для цих матеріалів в області температур від 300 до 500 °C характерні ендотермічні процеси: для пека кам'яновугільного – широкий ендотермічний пік з мінімумом за 412,5 °C, а для бітуму – три досить вузьких ендотермічних піки з мінімумами за 353,7, 422,5 і 480,9 °C. За температур понад 500 °C для обох речовин характерні широкі за інтервалом екзотермічні процеси з максимумом за 580,1 °C для бітуму і 628,7 °C для пека кам'яновугільного.

Втрата маси матеріалу першого обплетення склала за кривою TGA в інтервалах температур:

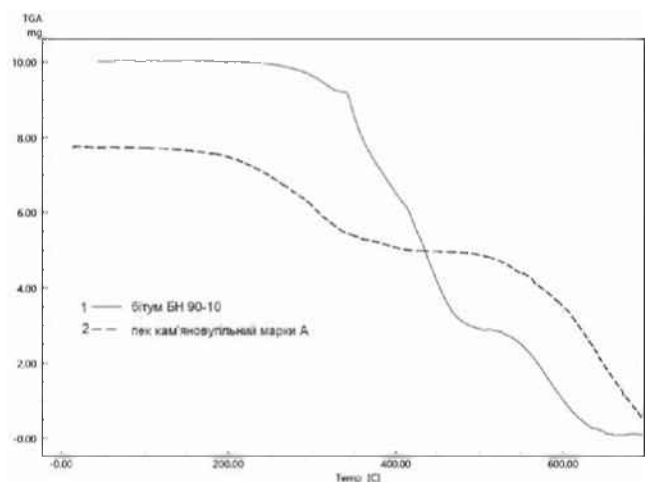
від 13,7 до 120,8 °C – 5,1 %;  
від 120,8 до 331,1 °C – 62,0 %;  
від 331,1 до 428,0 °C – 29,9 %;  
від 428,0 до 570,0 °C – 2,8 %.

Загальна втрата маси склала в діапазоні температур від 13,7 до 493,9 °C 99,9 %, включаючи втрату води в діапазоні температур від 13,7 до 120,7 °C 5,1 %.

Температура початку розкладання зразка першого обплетення складає близько 241,7 °C (Тп.р.).



а)



б)

Рис. 5. Термограми DTA (а) і TGA (б) зразків бітуму БН 90-10 (крива 1) і пека кам'яновугільного марки А (крива 2)

Друге обплетення з першим захисним шаром (рис. 1, поз. 4).

Зразок другого обплетення включає власне бавовняну нитку і перший захисний шар із смоли, пека і бітуму, тому форма DTA і TGA термограм, представлених на рис. 4, має складнішу конфігурацію, ніж форма DTA і TGA термограм центральної нитки. Формально процес розкладання зразка другого обплетення можна розглядати як такий, що проходить в три стадії, не враховуючи процес в інтервалі температур до 120,8 °C, пов'язаний з видаленням вологи у кількості 2,9 % мас.

На першій стадії в інтервалі температур від 120,8 до 352,6 °C з максимумом за температури 303,0 °C (Тп.і.р.) проходить процес випару матеріалів першого захисного шару і розкладання матеріалу другого обплетення.

Другій стадії розкладання (інтервал температур 352,6 – 474,3 °C) передує ендотермічний пік з мінімумом за 354,1 °C, пов'язаний з розм'якшенням матеріалів першого захисного шару. Розкладання на цій стадії носить складний характер з максимумами піків за температур 406,1; 412,6; 419,1 і 439,3 °C.

Третя стадія розкладання розпочинається за температури в печі від 474,3 °C і закінчується за температури 663,4 °C з максимумом екзотермічного піку за температури 514,7 °C, що пов'язано з розкладанням речовин захисного шару, на що вказує термограма цього захисного шару.

Втрата маси склала за кривою TGA в інтервалах температур:

- від 8,7 до 120,8 °C – 2,9 %;
- від 120,8 до 352,6 °C – 30,8 %;
- від 352,6 до 481,1 °C – 29,9 %;
- від 481,1 до 663,4 °C – 33,1 %.

Загальна втрата маси склала в діапазоні температур від 8,7 до 663,4 °C 96,7 %, включаючи втрати вологи в діапазоні температур від 8,7 до 120,8 °C 2,9 %.

Температура початку розкладання зразка другого обплетення з першим захисним шаром складає близько 241,7 °C (Тп.р.).

Третє обплетення з другим захисним шаром (рис. 1, поз. 5).

Зразок третього обплетення складається з бавовняної нитки і другого захисного шару із смоли, пека, парафіну і тальку, тому форма DTA і TGA термограм, представлена на рис. 4, має таку ж складну конфігурацію, як термограма другого обплетення з першим захисним шаром.

До температури нагріву зразка 331,3 °C (умовно перша стадія розкладання) відбувається видалення вологи до температури 120,0 °C у кількості 2,1 % від маси досліджуваного зразка і розкладання матеріалу третього обплетення (екзотермічний максимум за 321,1 °C (Тп.і.р.)) із загальною втратою маси 51,9 %.

В інтервалі температур 331,3 – 429,0 °C відбувається в основному розкладання сумішевого матеріалу другого захисного шару з екзотермічним максимумом за 408,0 °C з втратою маси на цьому етапі 20,2 %.

В інтервалі температур 429,0 – 570,8 °C відбувається в основному інтенсивне розкладання матеріалу обплетення з екзотермічним максимумом за 443,8 °C і менш

інтенсивне розкладання його до температури 570,8 °C з втратою маси на цьому етапі 25,9 %.

Загальна втрата маси в діапазоні температур до 570,8 °C склала 98,7 %.

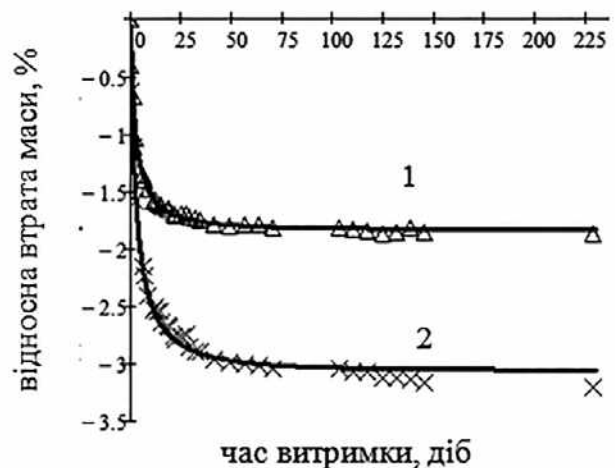
Температура початку розкладання зразка третього обплетення з другим захисним шаром складає близько 244,7 °C (Тп.р.).

Аналіз отриманих термограм за Тп.р. і Тп.і.р. показує, що компоненти ОША в процесі 30-річного герметичного зберігання не зазнають значних змін за вказаними показниками порівняно з аналогічними за природою матеріалами [4–9].

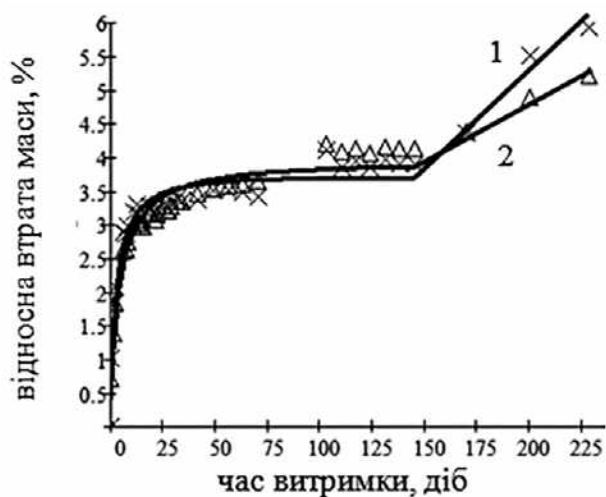
#### ПОВЕДІНКА ЗРАЗКІВ У ВОЛОГІЙ АТМОСФЕРІ

Поведінка зразків в атмосфері з різною відносною вологістю досліджували в ексикаторах, потрібну вологість в яких створювали водними розчинами сірчаної кислоти. У кожен ексикатор поміщали по 4 зразки вогнепровідного шнура, три з яких були загерметизовані шаром бітуму з обох торців (герметичний зразок), а четвертий зразок залишився не загерметизованим з обох торців (негерметичний зразок). Сорбцію парів води (паропоглинання) досліджували за відносних вологостей 62 і 92 %, а десорбцію – за відносною вологістю 0 %. Результати фіксували у вигляді кінетики поглинання або кінетики видалення вологи. Отримані результати представлені на рис. 6. Крім того, на різних етапах витримки зразків визначали час горіння відрізків шнура.

Аналіз результатів за впливом відносною вологості повітря на міру паропоглинання (рис. 6) показує, що за 0 % вологості зразки схильні до сушки, причому більшою мірою негерметичний зразок; за вологості 92 % зразки схильні до зволоження, причому більшою мірою негерметичний зразок. За відносною вологості повітря 92 % після 150 діб витримки починається прискорений набір вологи, без зміни швидкості горіння вогне-провідного шнура. Це, ймовірно, пов'язано з втратою водоізолюючих властивостей другого захисного шару – набір вологи третім обплетенням, а не димним порошком. За відносною вологості повітря 62 % процес є нестационарним. Зразки на початку витримки (до 5 діб) набирають 0,2 – 0,4 % маси, ймовірно за рахунок зволоження поверхні обплетення. Потім процес стає стаціонарним (зміна маси практично не відбувається).



а)



б)

Рис. 6. Кінетика сушки зразків вогнепровідного шнура за 0 % відносною вологістю (а) і зволоження за 92 % відносною вологістю (б):

1 – герметичний; 2 – негерметичний зразки

Для кожного типу зразків і відносною вологістю (0 % і 92 %) повітря розраховували коефіцієнти дифузії  $D$  парів води для двох етапів (до 150 діб і після) за формулами [10]. Розраховані значення коефіцієнтів дифузії досліджуваних зразків представлені в табл. 2.

Таблиця 2

#### Коефіцієнти дифузії парів води в різних умовах

| зразок (вологість, %) | коефіцієнти дифузії парів води, $\text{см}^2/\text{с}$ |                      |
|-----------------------|--|----------------------|
|                       | для першого етапу                                      | для другого етапу    |
| герметичний           | (0) $2,65 \cdot 10^{-8}$                               | $1,59 \cdot 10^{-9}$ |
| негерметичний         | (0) $1,92 \cdot 10^{-8}$                               | $1,85 \cdot 10^{-9}$ |
| герметичний           | (92) $1,98 \cdot 10^{-8}$                              | $1,36 \cdot 10^{-9}$ |
| негерметичний         | (92) $3,51 \cdot 10^{-8}$                              | $1,00 \cdot 10^{-9}$ |

Зразки періодично відбиралися з ексікаторів для визначення часу горіння відрізків вогнепровідного шнура після витримки в атмосфері відповідної відносною вологістю. Результати зміни швидкості горіння від часу витримки для різних відносних вологостей представлені в табл. 3.

Таблиця 3

#### Зміна швидкості горіння зразків від часу їх витримки для різних відносних вологостей повітря

| час витримки, діб   | час горіння за відносною вологістю, с |      |      |
|---------------------|---------------------------------------|------|------|
|                     | 0 %                                   | 62 % | 92 % |
| 56                  | 68,8                                  | 69,4 | 69,0 |
| 161                 | 68,0                                  | 69,8 | 65,2 |
| 228 (герметичний)   | 69,6                                  | 71,0 | 62,1 |
| 228 (негерметичний) | 66,9                                  | 71,1 | 67,7 |

Отримані значення за швидкістю горіння вогнепровідних шнурів вказують на те, що їх швидкості горіння

відповідають вимогам нормативної документації під час витримки їх у вологій атмосфері до 200 діб. На підставі цього можна зробити висновок про можливість використання вогнепровідного шнура впродовж 200 діб після порушення герметичності упаковки.

#### ВИСНОВКИ

Досліджені характеристики вогнепровідного шнура марки ОША, що тривало зберігався в герметичних умовах, після закінчення гарантійних термінів зберігання. Показано, що вогнепровідний шнур після 30 років зберігання за плюсових температур і в герметичних умовах має показники (швидкість горіння, тепло- і холодо-стійкість, водозахисні властивості ізолюючого шару) на рівні вимог нормативної документації як на знову виготовлений шнур. Це може бути основою для внесення змін до нормативної документації стосовно термінів їх службової придатності.

Проведені дослідження термічних характеристик компонентів вогнепровідного шнура ОША. Аналіз отриманих термограм показує, що компоненти ОША в процесі 30-річного герметичного зберігання не зазнають значних змін.

Проведені дослідження поведінки зразків в атмосфері з різною відносною вологістю повітря для оцінки якості водозахисних шарів ОША. На підставі отриманих результатів встановлено, що вогнепровідний шнур можна використати впродовж 200 діб після порушення герметичності упаковки.

#### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. СОУ МПП 71.100.30-300:2010 Порохи димні. Загальні технічні умови. Київ. 2010. 46 с.
2. ГОСТ 3470-80 Изменение № 1. Шнур огнепроводный. Технические условия. М. 1983. 16 с.
3. Васин А.Я., Маринина Л.К., Аносова Е.Б. О методике определения температуры начала интенсивного термического разложения твердых веществ и материалов с помощью ДТА. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. 2006. Т. 15. № 6. С. 11—14.
4. Вершинин М.С., Гараева М.Р., Мингазова В.К. Исследование термических характеристик целлюлоз, полученных из растительного сырья. Приволжский научн. вестн. 2017. № 3(67). С. 10—13.
5. Kuthi, F.A.A., Norzali, N.R.A. & Badri, K.H. (2016). Thermal characteristics of microcrystalline cellulose from oil palm biomass. Malaysian J. of Analytical Sciences. Vol. 20. No. 5. Pp. 1112—1122. <https://doi.org/10.17576/mjas-2016-2005-17>.
6. Szcześniak, L., Rachocki, A. & Tritt-Goc, J. (2008). Glass transition temperature and thermal decomposition of cellulose powder. Cellulose. Vol. 15. Pp. 445—451. <https://doi.org/10.1007/s10570-007-9192-2>.
7. Chambrion, P., Bertau, R. & Ehrburger, P. (1996). Characterization of bitumen by differential scanning calorimetry. Fuel. Vol. 75. Iss. 2. Pp. 144—148. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(95\)00178-6](https://doi.org/10.1016/0016-2361(95)00178-6).
8. Kumari, D. (1990). The enthalpy of crystallization of asphalts. Thermochimica Acta. Vol. 158. Iss. 1. Pp. 71—77. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(90\)80053-2](https://doi.org/10.1016/0040-6031(90)80053-2).

9. Буллер М.Ф., Белова Л.А., Ярманова С.П. Оценка совместимости дымного и нитроглицеринового порохов. Вісн. НТУУ «КПІ». Сер. «Гірництво». 2011. Вип. 20. С. 44—48.
10. Буллер М.Ф., Роботко В.А. Длительное влияние воды на баллистичные составы. Вопросы химии и химической технологии. 2019. № 3. С. 109—115. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2019-124-3-109-115>.

## REFERENCES

1. Organization Standard of Ukraine (2010), “71.100.30-300:2010 Porokhy dymni. Zagalni tekhnichni vumogy” [71.100.30-300:2010 Black gunpowder. General technical specifications], K. 46 p.
2. State Standard of USSR (1983), “3470-80 Shnur ogneprovodnyi. Tehnicheskie usloviia [3470-80. Igniting fuse. Technical specifications], M. 16 p.
3. Vasin, A.J., Marinina, L.K. & Anosova, E.B. (2006), “O metodike opredeleniia temperatury nachala intensivnogo termicheskogo razlozheniia tverdyh veshchestv i materialov s pomoshchiu DTA” [About a determination technique of the beginning temperature of intensive thermal decomposition of solid substances and materials by means of DTA], Pozharovzryvobezopasnost veshchestv i materialov. Vol. 15. No. 6. Pp. 11—14.
4. Vershinin, M.S., Garaeva, M.R. & Mingazova, V.K. (2017), “Issledovanie termicheskikh harakteristik celli-uloz, poluchennykh iz rastitelnogo syria” [Research of celluloses thermal characteristics which was produced from plant raw materials], Privolzhskii nauchnyi vestn. No. 3(67). Pp. 10—13.
5. Kuthi, F.A.A., Norzali, N.R.A. & Badri, K.H. (2016). Thermal characteristics of microcrystalline cellulose from oil palm biomass. Malaysian J. of Analytical Sciences. Vol. 20. No. 5. Pp. 1112—1122. <https://doi.org/10.17576/mjas-2016-2005-17>.
6. Szcześniak, L., Rachocki, A. & Tritt-Goc, J. (2008). Glass transition temperature and thermal decomposition of cellulose powder. Cellulose. Vol. 15. Pp. 445—451. <https://doi.org/10.1007/s10570-007-9192-2>.
7. Chambrion, P., Bertau, R. & Ehrburger, P. (1996). Characterization of bitumen by differential scanning calorimetry. Fuel. Vol. 75. Iss. 2. Pp. 144—148. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(95\)00178-6](https://doi.org/10.1016/0016-2361(95)00178-6).
8. Kumari, D. (1990). The enthalpy of crystallization of asphalts. Thermochemica Acta. Vol. 158. Iss. 1. Pp. 71—77. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(90\)80053-2](https://doi.org/10.1016/0040-6031(90)80053-2).
9. Buller, M.F., Belova, L.A. & Jarmanova, S.P. (2011), “Otsenka sovместimosti dymnogo i nitroglicerinovogo porohov” [Estimation of compatibility of black and double-base gunpowder], Visn. NTUU «KPI». Ser. «Girnyc-tvo». No. 20. Pp. 44—48.
10. Buller, M.F. & Robotko, V.A. (2019), “Dlitelnoe vliianie vody na ballisticheskie sostavy” [Long-term influence of water on double-base propellants], Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii. No. 3. Pp. 109—115. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2019-124-3-109-115>.

**Buller M., Robotko V., Novobranets O.**

**ABOUT SERVICE-LIFE TERMS OF ASPHALTED IGNITING FUSE**

*This work has investigated the physicochemical (heat resistance, frost resistance, water resistance) and specific (burning time of the cord segment) characteristics of the asphalted igniting fuse after 30 years of storage at above-zero temperatures in hermetic packaging. Such an igniting fuse after long storage showed characteristics which completely correspond to normative and technical documentation. The thermic investigations of the materials have been put into practice by the TG-DTA method, which make the construction of an igniting fuse (the central thread, the smoke cord powder, the first braid, the second braid, the third braid) on characteristics of temperature of the beginning of thermal decomposition and temperature of the beginning of intensive decomposition. The obtained results showed that the studied thermal characteristics did not change during 30 years of storage. The behavior of igniting fuse samples in unsealed packaging in an atmosphere of different relative humidity and its influence on the fuse burning rate have been studied. According to the obtained results, the coefficients of moisture diffusion are calculated, which are, depending on the relative humidity of the atmosphere,  $(1,92 - 3,51) \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ . It was also found that the insulating layers of the igniting fuse have properties capable of resisting the penetration of moisture for at least 200 days in a humid atmosphere (92 % relative humidity) to maintain its burning rate.*

**Keywords:** igniting fuse, shelf life, moisture absorption, thermal characteristics.

**Відомості про авторів:**

**Буллер Михайло Фридрихович**

доктор технічних наук, професор  
професор кафедри Шосткинського інституту Сумського державного університету  
м. Шостка, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-2591-205X>  
e-mail: buller\_mih@ukr.net

**Роботко Валерій Анатолійович**

кандидат технічних наук,  
начальник лабораторії Державного науково-дослідного інституту хімічних продуктів  
м. Шостка, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-3895-5019>  
e-mail: robotkovaleriy@gmail.com Valerii Robotko

**Новобранець Ольга Олександрівна**

інженер Державного науково-дослідного інституту хімічних продуктів  
м. Шостка, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-2279-5193>  
e-mail: Novob\_Olga@ukr.net

**Information about the authors:****Mykhaylo Buller**

Doctor of Technical Sciences, Professor  
Department Professor of Chemical Technology of High-  
molecular Compounds of Shostka Institute of Sumy State  
University  
Shostka, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-2591-205X>  
e-mail: [buller\\_mih@ukr.net](mailto:buller_mih@ukr.net)

**Robotko Valery**

Candidate of technical sciences  
Chief of laboratory of State Scientific-Research Institute of  
Chemical Products  
Shostka, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3895-5019>  
e-mail: [robotkovaleriy@gmail.com](mailto:robotkovaleriy@gmail.com)

**Olga Novobranets**

engineer of State Scientific-Research Institute of Chemical  
Products  
Shostka, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-2279-5193>  
e-mail: [Novob\\_Olga@ukr.net](mailto:Novob_Olga@ukr.net)

Стаття надійшла до редколегії 27.05.2021.