

В. І. Товарянський, канд. техн. наук, І. В. Паснак, канд. техн. наук

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ХВОЇ У ЛАБОРАТОРНИХ ТА ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

Вступ. Здійснено аналіз пожежної небезпеки молодих соснових насаджень. Наведено перелік найбільш поширених джерел займання як чинників виникнення пожежі. Описано приклади досліджень займання твердих горючих матеріалів, зокрема лісової підстилки. Щоб розглянути процес займання твердих горючих матеріалів, запропоновано використовувати розроблений пристрій для дослідження в широкому діапазоні температур процесів займання горючих матеріалів, зокрема лісової підстилки, безпосередньо в середовищі лісу.

Метою роботи є встановлення проміжку часу до займання хвої соснових насаджень, а також лісової підстилки в соснових молодняках шляхом використання пристрою для дослідження займистості горючого матеріалу з використанням електронагрівального елемента.

Опис матеріалу. Виконано лабораторні дослідження проміжку часу до займання хвої сосни звичайної у молодому віці — свіжозірваної, опалі в складі лісової підстилки та висушеної. Проведено експериментальні дослідження проміжку часу до займання лісової підстилки соснових молодняків у польових умовах з використанням запропонованого пристрою.

Наукова новизна. Уперше виявлено, що проміжок часу до займання свіжозірваної хвої перевищує майже в 4 рази значення цієї величини порівняно з висушеною хвоєю. Встановлено, що отримані за результатами польових досліджень значення проміжку часу до займання соснової хвої у складі лісової підстилки, при незначному відхиленні її вологості, є практично однаковими із значеннями, отриманими у лабораторних умовах.

Результати свідчать, що лісова підстилка в соснових молодняках є пожежонебезпечною і може зайнятися з частотою, близькою до $\frac{1}{2}$ від джерела з температурою 450°C в середньому за 25,7 с. Обґрунтовано доцільність застосування розробленого пристрою для дослідження займистості горючого матеріалу з використанням електронагрівального елемента для досліджень показників пожежної небезпеки лісових горючих матеріалів.

Ключові слова: пожежна небезпека, хвоя, соснові молодняки, лісова підстилка, проміжок часу до займання.

Вступ. Лісове середовище — сукупність матеріалів рослинного походження, більшість з яких залежно від своїх фізико-хімічних властивостей є горючими. Відповідно до шкали оцінки природної пожежної небезпеки земельних ділянок лісового фонду України [1], найбільш пожежонебезпечними є хвойні насадження, зокрема соснові у молодому віці — до 40 років включно. У разі виникнення в такому середовищі верхових пожеж деревостан практично повністю пошкоджується, а це спричинює не лише збитки для лісових господарств, а й для економіки країни.

Слід відзначити, що пожежну небезпеку лісового середовища оцінюють за такими критеріями, як наявність великої кількості горючих речовин, шляхи розповсюдження полум'я, а також, в окремих випадках, умови, що ускладнюють гасіння пожежі. Не менш важливим чинником є наявність джерел займання. Джерелом займання прийнято вважати джерело енергії, достатньої для

займання [7]. Згідно з класифікацією, джерела займання поділяють на термічні (відкритий вогонь, іскри); механічні (нагріті до високої температури поверхні); хімічні (хімічна взаємодія з речовинами, здатними спричинити займання) та електричні (електричний розряд, розряд статичної електрики, газовий розряд, коротке замикання). Для дослідження умов займання речовин і матеріалів використовуються відомі на сьогодні методи. Зокрема для дослідження здатності до займання горючих матеріалів лісової підстилки поширення набули лабораторні методи, а також такі, що проводяться безпосередньо у польових умовах. Наприклад, у [5] для дослідження показників займання лісової підстилки використовували експериментальну піч, а в [6] — металеві циліндричні посудини, які нагрівали до заданої температури. Відомі також методи, де в якості джерела займання використовували гексамін (сухий спирт) [7], розжарені вуглецеві частинки [8] тощо. Але тем-

пература полум'я гексаміну іноді є недостатньо високою для займання горючого матеріалу. Застосування спеціальних сумішей [9], які дають змогу отримати вищу температуру полум'я, має ті ж недоліки, що і гексамін, а в окремих випадках температура може бути занадто високою, що в результаті не дасть можливості адекватно оцінити пожежну небезпеку. Для дослідження процесів займання твердих горючих матеріалів ми запропонуємо використовувати розроблений пристрій, з використанням якого можна досліджувати такі процеси, зокрема для лісової підстилки, безпосередньо в середовищі лісу.

Мета досліджень. Встановлення проміжку часу до займання хвої соснових насаджень, а також лісової підстилки в соснових молодняках шляхом використання Пристрою для дослідження займистості горючого матеріалу з використанням електронагрівального елемента. Обґрунтування доцільності застосування такого пристрою для досліджень показників пожежної небезпеки лісових горючих матеріалів.

Виклад матеріалу. Згідно з даними Національної асоціації протипожежного захисту (NFPA) встановлено, що впродовж 2017 року на території США виникло більше 1,3 млн. лісових пожеж, внаслідок яких постраждало понад 18 тис. осіб [2]. Цьогоріч, восени в американському штаті Каліфорнія, внаслідок виникнення масштабних лісових пожеж загинуло щонайменше 5 осіб, а 150 тис. осіб — евакуйовано у зв'язку з стрімким поширенням полум'я до житлових будинків [3]. Впродовж 2017 року у лісовому фонді України кількість лісових пожеж порівняно з попередніми роками збільшилась у 2,5 раз, а площа, пройдена вогнем — у 5 разів. Також встановлено, що найбільша кількість лісових пожеж виникла у Херсонській (361 пожежа), Дніпропетровській (340 пожеж) та Запорізькій (327 пожеж) областях [4]. Ця інформація окреслює важливість проблеми виникнення пожеж у екосистемах, зокрема в лісових насадженнях, які є складними в ліквідації, а також завдають шкоди довікліно. Тому актуально досліджувати процеси виникнення пожеж лісових насаджень, оскільки запобігти пожежі є простішим завданням ніж її ліквідувати.

Пристрій для дослідження займистості горючого матеріалу з використанням електронагрівального елемента [10] (далі — пристрій) являє собою переносне обладнання, ідея розробки якого виникла за потреби його застосування з метою здійснення заходів з визначення параметрів пожежної небезпеки речовин і матеріалів. Принципову схему роботи пристрою зображено на рис. 1. Джерелом живлення пристрою є акумуляторна батарея напругою 12 В та ємністю 9 А·год.

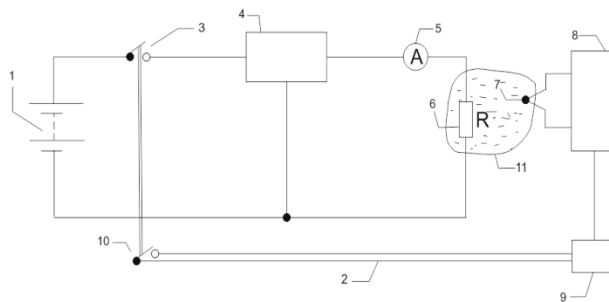


Рисунок 1 – Схема пристрою для дослідження займистості горючих матеріалів:

- 1 – акумуляторна батарея; 2 – з'єднувальні проводи;
- 3, 10 – вимикачі; 4 – стабілізований регулятор струму;
- 5 – амперметр; 6 – електронагрівальний елемент;
- 7 – термомічутливий елемент; 8 – вторинний перетворювач температури; 9 – пристрій обробки і збереження даних; 11 – горючий матеріал

Завдяки використанню у пристрої автономного джерела живлення його можна застосовувати на об'єктах з відсутнім електроживленням. Для можливості змінювати температуру нагрівального елемента в широкому діапазоні пристрій оснащено стабілізованим регулятором постійного струму. Електронагрівальним елементом пристрою є ніхромова спіраль. Таке технічне рішення забезпечує можливість отримувати високу температуру, причому структура ніхрому не зазнає суттєвих деформацій, зберігає стабільну форму, а також свої експлуатаційні характеристики, що в цілому забезпечує надійність та тривалу експлуатацію пристрою у використанні.

Випробування пристрою проводили шляхом проведення експериментальних досліджень. Зокрема досліджували проміжок часу займання хвої сосни звичайної у молодому віці — свіжозірваної, опалі в складі лісової підстилки та висушеної.

Для проведення експериментальних досліджень у лабораторних умовах хвоєю соснових молодняків у віці 15 років зірвали на території Пустомитівського р-ну Львівської обл. У лабораторії пожежної безпеки з зразки свіжозірваної хвої масою 2,5 г кожен розташовували на лабораторному столі в окремих посудинах. Паралельно з цим дослідили вологість кожного зразка з використанням методики [11]. Після встановлення значень вологості кожен зразок досліджували на здатність до займання. Температуру електронагрівального елемента запропонованого пристрою налаштовували до значення 450°C. Після цього електронагрівальний елемент прикладали до хвої, розташованої на керамічній основі, та вмикали пристрій. Проміжок часу до займання визначали з використанням лабораторного секундоміра. Фотофіксацію здійснювали з використанням цифрової фотокамери. Аналогіч-

но виконали дослідження для зразків сухої хвої, яку отримали в результаті висушування свіжозірваної хвої у лабораторній шафі за температури $100 \pm 5^\circ\text{C}$ протягом 2 годин. Загальний вигляд проведення дослідження у лабораторних умовах зображено на рис. 2.

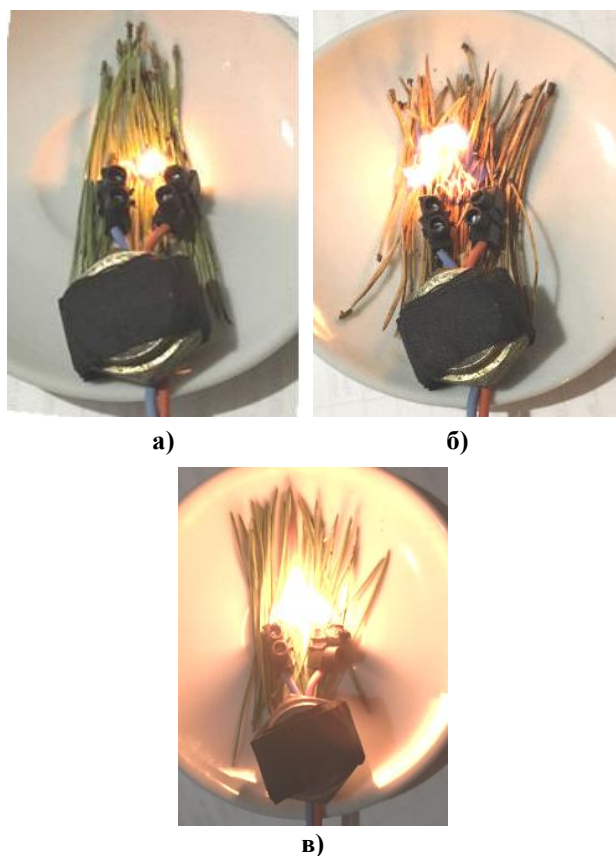


Рисунок 2 – Проведення досліджень проміжку часу до займання соснової хвої у лабораторних умовах:
а) – свіжозірвана хвоя;
б) – опала хвоя; в) – висушена хвоя

За результатами проведення лабораторних досліджень отримано значення проміжку часу до займання хвої сосни звичайної у молодому віці (табл. 1).

Встановлено, що найкраще займалась висушена хвоя. Займання опалої хвої, середнє значення вологості якої становило $14,27 \pm 2\%$, відбулось на 25-ій с від початку ввімкнення пристрою. Для свіжозірваної хвої властиве тління, проте зафіксовано короточасне займання без подальшого полум'яного горіння одного з її зразків на 50-ій с від початку ввімкнення пристрою.

Щоб порівняти значення проміжку часу до займання хвої молодих соснових насаджень, отриманих за результатами лабораторного експерименту, ми провели подібні дослідження у польових умовах. Займання підстилки соснових молодяків досліджували в соснових насадженнях віком 15–20 років. Товщина підстилки відрізнялась незначно і становила 1,5–2,5 см. Перед проведенням досліджень за методикою [11] визначили вологість хвої, відібраної з фрагмента підстилки, розташованої поруч з місцем займання. Середнє значення вологості хвої — $12,95 \pm 2\%$. Температура повітря — $+22^\circ\text{C}$. Експеримент здійснювали на 5 вибраних випадковим чином ділянках підстилки. Електронагрівальний елемент розміщували на поверхні підстилки (рис. 3).



Рисунок 3 – Загальний вигляд процесу визначення проміжку часу до займання у польових умовах з використанням розробленого пристрою

Таблиця 1

Результати досліджень проміжку часу до займання соснової хвої у лабораторних умовах

Вид хвої	Дослід, № з/п	Займання	Проміжок часу до займання, с	Частота займання	Середнє значення проміжку часу до займання, с
Свіжозірвана	1.1	–	–	1/3	50,28
	1.2	Відбулось	50,28		
	1.3	–	–		
Опала	2.1	–	–	1/3	25,14
	2.2	Відбулось	25,14		
	2.3	–	–		
Висушена	3.1	Відбулось	13,12	3/3	13,46
	3.2	Відбулось	12,75		
	3.3	Відбулось	14,43		

Таблиця 2

Результати досліджень займання лісової підстилки в польових умовах

Номер ділянки	Дослід, № з/п	Займання	Проміжок часу до займання, с	Частота займання	Середній час до займання, с
1	1.1	–	–	1/3	37,18
	1.2	–	–		
	1.3	Відбулось	37,18		
2	2.1	–	–	1/3	23,23
	2.2	–	–		
	2.3	Відбулось	23,23		
3	3.1	Відбулось	27,03	2/3	20,40
	3.2	Відбулось	13,77		
	3.3	–	–		
4	4.1	Відбулось	22,11	1/3	22,11
	4.2	–	–		
	4.3	–	–		
5	5.1	Відбулось	31,36	2/3	25,79
	5.2	Відбулось	20,22		
	5.3	–	–		

На кожній з 5 ділянок займання проводили тричі. Всього провели 15 дослідів. Отримані результати дослідження наведено в табл. 2.

За результатами проведення експерименту в польових умовах зауважено, що підстилка соснових молодняків, основою якої була опала хвоя, займалась не завжди. У майже половини випадків відбувалося тління хвої, яке тривало більше ніж 60 с, після чого експеримент припиняли. У решті випадків виникало полуменеве горіння.

Отримані значення проміжку часу до займання хвої соснових насаджень, що входить до складу лісової підстилки, при незначному відхиленні її вологості, є практично однаковими. Проведені дослідження дають підставу стверджувати, що запропонований пристрій доцільно використовувати для дослідження показників пожежної небезпеки з метою планування заходів протипожежного захисту у хвойних, зокрема соснових насадженнях.

Висновок. За результатами лабораторних досліджень займання соснової хвої встановлено, що проміжок часу до займання свіжозірваної хвої перевищує майже в 4 рази значення цієї величини порівняно з висушеною хвоєю. Результати проведення польових досліджень свідчать, що лісова підстилка в соснових молодняках є пожежонебезпечною і може зайнятися з частотою, близькою до ½ від джерела з температурою 450°C в середньому за 25,7 с.

Список літератури:

1. Про затвердження Правил пожежної безпеки в лісах України. Наказ Держлісгоспу від 27.12.2004 № 278. Київ. Офіційний вісник України, 2005. С. 321.

2. Publications of National Fire Protection Association (NFPA). — Fire Loss in the United States 2017. — Sept. 2018.

3. Лісові пожежі в Каліфорнії: 5 загиблих і 150 тисяч евакуйованих [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

<https://www.bbc.com/ukrainian/news-46157552>.

4. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2017 році [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

[http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202017\(%D0%9A%D0%9C%D0%A3\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202017(%D0%9A%D0%9C%D0%A3).pdf)

5. Dupuy J. L., Marechal J., Morvan D. Fires from a cylindrical forest fuel burner: combustion dynamics and flame properties. *Combustion and Flame*. 2003. Vol. 135. P. 65—76.

6. Liodakis S., Bakirtzisa D., Dimitrakopoulos A. Ignition characteristics of forest species in relation to thermal analysis data. *Termochim acta*. 2002. Vol. 390. Pp. 83—91.

7. Flammability and Carpet Safety: Technical Bulletin N. 1. 2015. Pp. 1—4.

8. Захаревич А. В., Барановський Н. В., Максимов В. И. Зажигание лесных горючих материалов одиночными, нагретыми до высоких температур частицами. *Пожаровзрывобезопасность*. Москва, 2012. Т. 21, № 4. С. 13—16.

9. High temperature solid fire starter. United States Patent, Barthel, Nov. 29, 1983. [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

<https://www.google.com/patents/US4417900>

10. Патент на корисну модель 106652 Україна, МПК51 (2016.01) G01N 25/00. Пристрій для дослідження займистості горючого матеріалу з використанням електронагрівального елемента. Бюл. №8. 2016.

11. Кузык А. Д., Товарянський В. И. Оценка влажности хвой сосны обыкновенной как фактора пожарной опасности по измерению ее диэлектрической проницаемости. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. Józefów*, 2015. Vol. 39, Issue 3. Pp. 111—117.

References

1. On approval of rules of fire safety in the forests of Ukraine. State Forestry Order of 27.12.2004 number 278. Kyiv. Official Bulletin of Ukraine. 2005. P.321.

2. Publications of National Fire Protection Association (NFPA). – Fire Loss in the United States 2017. — Sept. 2018.

3. Forest fires in California: 5 dead and 150,000 evacuated. Retrieved from <https://www.bbc.com/ukrainian/news-46157552>.

4. Report on the main results of the State Service of Ukraine for Emergencies in 2017. Retrieved from [http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202017\(%D0%9A%D0%9C%D0%A3\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202017(%D0%9A%D0%9C%D0%A3).pdf).

5. Dupuy J. L., Marechal J., Morvan D. Fires from a cylindrical forest fuel burner: combustion

dynamics and flame properties. *Combustion and Flame*. 2003. Vol. 135. P. 65—76.

6. Liodakis S., Bakirtzisa D., Dimitrakopoulos A. Ignition characteristics of forest species in relation to thermal analysis data. *Termochim acta*. 2002. Vol. 390. Pp. 83—91.

7. Flammability and Carpet Safety: Technical Bulletin N. 1. 2015. Pp. 1—4.

8. Zakharevich A.V., Baranovsky N.V., Maksimov V. I. Ignition of forest combustible materials with single particles heated to high temperatures. Fire and explosion safety. Moscow, 2012. Vol. 21, No. 4. P. 13—16.

9. High temperature solid fire starter. United States Patent, Barthel, Nov. 29, 1983. Retrieved from <https://www.google.com/patents/US4417900>.

10. Patent of Ukraine No.106652, MPC51 (2016.01) G01N 25/00. Device for Research Flammability of Combustible Materials with use Electric Heating Element Bull. No. 8, 2016.

11. Kuzyk A. D., Tovaryansky V. I. Pine needles humidity dependence of factor in the fire hazard on the dielectric constant. Safety & Fire Technique Journal: Józefów, 2015. Vol. 39, Issue 3. Pp. 111—117.

V. I. Tovarianskyi, I. V. Pasnak

EXPERIMENTAL STUDIES OF FIRE HAZARD OF PINE NEEDLES IN LABORATORY AND FIELD CONDITIONS

Introduction. The fire hazard analysis of young pine stands was carried out. There are listed the most common sources of ignition as factors of influence on the occurrence of a fire. There is described the examples of studies on solid combustible materials` ignition, particularly, forest litter. The device developed is proposed for studying the process of forest fuels combustion.

The aim of the work is determine the time to ignition of pine needles, as well as the forest litter in young pine stands by using a Device for the study of flammable material combustion using an electric heating element.

Material statement. Laboratory studies have been done to ignite three types of needles of young pine plantations: fresh, inherent in the composition of forest underlay and dried needles. There was conducted an experimental studies of the time interval to the ignition of pine stands forest litter in the field condition with the use of the proposed device.

Scientific novelty. It for the first time was established that the time interval before ignition of freshly cut needles exceeds by almost 4 times the meaning of this value in comparison with the dried needles. It was established that the value of the time to ignition of pine needles fallen in the forest litter, obtained from the results of field studies, with a slight deviation of its moisture, is almost the same with the values obtained in laboratory conditions.

The results indicate that the forest litter in pine stands is fire-hazardous and can deal with a frequency close to ½ of a source with a temperature of 450°C, on average 25,7 seconds. There has been substantiated the expediency of using the device for the study of flammable material combustion using an electric heating element for investigating indicators of forest combustible materials` fire hazard.

Key words: fire hazard, pine needles, young pine stands, forest litter, electric heating element, time to ignition.