

*А. Д. Кузик, В. І. Товаряньський, К. Л. Драч  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЖЕЖ У ТРАВ'ЯНИХ ЕКОСИСТЕМАХ

**Постановка проблеми.** Пожежна небезпека трав'яних екосистем залежить від багатьох факторів, які зумовлюють відповідний стан горючого матеріалу та сприяють процесу горіння. Найважливішими показниками безпеки є стан і вологість трав. Основними зовнішніми факторами впливу на виникнення та поширення пожеж у природних екосистемах є: температура та відносна вологість повітря, опади, швидкість вітру. Актуальним завданням є встановлення показників пожежної безпеки, зокрема швидкості поширення пожеж трав'яних екосистем.

**Метою роботи** є встановлення на основі аналізу факторів безпеки та експериментальних досліджень особливостей виникнення і поширення трав'яних пожеж в умовах лісостепу України.

**Методи дослідження.** Дослідження проводили в лісостеповій зоні на території Вінницької обл. 01-03 листопада 2019 р. Ділянки вибирали довжиною 10 м і шириною 3 м з урахуванням вітру, напрям якого був вздовж ділянки. Під час проведення досліджень швидкість вітру становила від 0 до 10 м/с, температура повітря змінювалася вдень від 7 до 14°C, а вночі від -3 до 12°C, а відносна вологість від 52 до 69% вдень і вночі від 72 до 84%. Вологість трави в денний час становила 20-22%, а у нічний – 27-30%. Пожежне навантаження на ділянках становило 4-5 т/га.

**Основні результати дослідження.** Горіння з 19 год вечора до 10 год ранку переважно не відбувалося. Це пояснюємо тим, що трав'яний покрив протягом ночі збільшив вміст вологи у зв'язку із збільшенням відносної вологості та зниженням температури повітря. А вдень після 10 год за ясних умов та наявності вітру вологість трав зменшувалася, що сприяло їх займанню та поширенню вогню. Проте за відсутності вітру поширення вогню не відбувалося.

Швидкість поширення вогню залежала від швидкості вітру та висоти трав і становила: для трав висотою 40 см – від 2,5 м/хв для швидкості вітру 1-2 м/с до 3,5 м/хв для швидкості вітру 6-8 м/с; висотою 60 см – від 3,1 м/хв для швидкості вітру 1-2 м/с до 12,5 м/хв для швидкості вітру 6-8 м/с.

**Висновки.** Швидкість поширення горіння в трав'яних екосистемах залежить від температури і відносної вологості повітря, швидкості вітру, вологості трав, висоти та просторового розміщення. У нічний час висока вологість трав, зумовлена високою відносною вологістю та низькою температурою повітря, утруднює займання і горіння, проте за наявності декількох джерел займання достатньої енергії поширення пожежі може відбуватися за наявності вітру.

**Ключові слова:** трав'яна пожежа, швидкість поширення пожежі, горючий матеріал, погодно-кліматичні умови.

**Постановка проблеми.** Пожежна небезпека трав'яних екосистем залежить від багатьох факторів, які зумовлюють відповідний стан горючого матеріалу та сприяють процесу горіння. Найважливішими показниками безпеки рослинного горючого матеріалу є його стан (живий чи сухий) і вологість. Основними зовнішніми (погодно-кліматичними) факторами впливу на виникнення та поширення пожеж у природних екосистемах є: температура та відносна вологість повітря, опади, швидкість вітру, тощо. Під їх сукупним впливом не лише змінюється вологість горючих матеріалів рослинного походження, але й відбувається процес поширення вогню.

Дослідження впливу різноманітних погодних факторів на пожежі в природних екосистемах описані в низці робіт. В [1] наведено результати досліджень залежності відносної вологості повітря та його температури на швидкість поширення пожеж

у природних екосистемах на різних етапах їх розвитку. Встановлено, що ці фактори є визначальними на стадії виникнення пожежі. Зокрема температура і вологість повітря на пожежу після 10 хв її розвитку значним чином не впливають, але у перші хвилини виникнення пожежі підвищення вологості і зниження температури сповільнюють швидкість поширення її фронту. У спекотні або посушливі дні (температура повітря понад 20°C та вологість менша 70 %) виникають сприятливі умови для виникнення пожеж у природних екосистемах. У моделі McArthur, розробленій для визначення індексу пожежної безпеки австралійських трав'яних екосистем, цей показник залежить від вологісного стану, вираженого процентною часткою сухості, температури і вологості повітря, а також швидкості вітру. Удосконалена версія моделі додатково враховує пожежне навантаження, виражене масою горючого матеріалу на одиниці площі, та визначає величину

вологості горючого матеріалу. Формули для обчислення індексу пожежної безпеки, а також швидкості поширення фронту пожежі, наведені в [2]. Ця модель також адаптована для визначення безпеки трав'яних пожеж у США [3].

**Метою роботи** є встановлення на основі аналізу факторів безпеки та експериментальних досліджень особливостей виникнення і поширення трав'яних пожеж в умовах лісостепу України.

**Методи досліджень.** Експериментальні дослідження виникнення та поширення трав'яних пожеж проводили на території Вінницької обл. на рівнинній місцевості в період з 1-го до 3-го листопада 2019 р. Ділянки вибирали довжиною 10 м і шириною 3 м з урахуванням вітру, напрям якого був вздовж ділянки. З метою уникнення неконтрольованого поширення вогню межі ділянок обкошувалися та зволожувалися. Підпалювання відбувалося з використанням газового пальника в точці, розташованій посередині меншої із сторін ділянки. Для кожного діапазону швидкостей вітру та висоти трави досліди виконувалися тричі. В окремих випадках застосовували декілька джерел займання, розміщуючи у відповідних місцях суху траву та підпалюючи її. Швидкість вітру та мікрокліматичні умови визначали з допомогою метеостанції Kestrel 4000. Вологість визначали ваговим методом. Відстань вимірювали з допомогою рулетки, а час – секундоміром. Фотофіксацію здійснювали цифровою фотокамерою. Для планування часу досліджень дані про метеорологічні умови для місцевості дослідження брали з [4].

**Викладення основного матеріалу.** Вітер є визначальним кліматичним фактором розвитку пожежі. Швидкість вітру впливає на форму пожежі (чим більша швидкість – тим більше витягнутим буде фронт), а зміна напрямку практично завжди

супроводжується збільшенням площі горіння. Середні швидкості вітру на території України влітку варіюють в діапазоні від 3 до 6 м/с, а взимку вітри сильніші та досягають 5-8 м/с. Вплив місцевих природних умов на швидкість вітру виявляється у меншій швидкості в зоні мішаних лісів, завдяки залісненості, та більшій – у степовій та лісостеповій зонах. Окрім гірських районів Карпат і Криму, високі швидкості вітру характерні для південного сходу країни, зокрема Донецької і Приазовської височин, берегів морів і водосховищ [5]. Додатковим фактором безпеки є властивість розповсюдження вітром іскор та палаючих частинок. Механізм впливу вітру на поширення пожежі є загалом складним, оскільки він впливає на процеси передавання тепла в умовах пожежі. Швидкість вітру визначає кут нахилу полум'я, створюючи відповідний радіаційний тепловий потік для попереднього підігріву горючого матеріалу [6], а горизонтальний та вертикальний конвективний потоки повітря його охолоджують. Під час проведення досліджень швидкість вітру становила від 0 до 10 м/с.

Температура, відносна вологість повітря, пряме сонячне проміння, опади також чинять вплив на стан і властивості горючого матеріалу рослинного походження, змінюючи його вологість. Температура повітря в дні проведення досліджень змінювалася вдень від 7 до 14°C, а вночі від -3 до 12 °C, а відносна вологість від 52 до 69% вдень і вночі від 72 до 84%.

Основними характеристиками горючого матеріалу в трав'яних екосистемах є: вологість, суха маса, розмір і форма, щільність, структура, хімічний склад. Вплив особливостей горючого навантаження рослинного походження на розвиток та поширення пожеж в трав'яних екосистемах зображено на рис. 1.

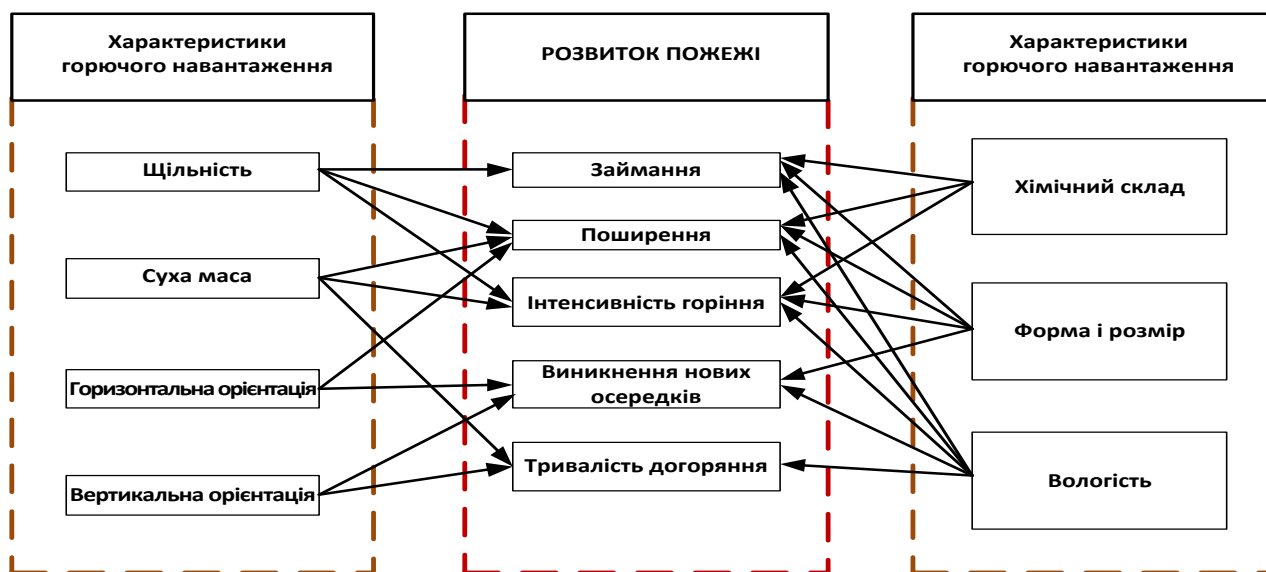


Рисунок 1 – Характеристики горючого навантаження та їх вплив на розвиток пожежі

Вологість горючого навантаження – це кількість води у горючому матеріалі, виражена у процентному співвідношенні її маси до сухої маси матеріалу. Таку вологість називають абсолютною. Під час проведення досліджень вологість трави в денний час становила 20-22%, а у нічний час – 30-35%. Зауважимо, що вологість сухих рослин є нерівномірною та зменшується з висотою від поверхні ґрунту. Тому горіння може іноді поширюватися верхнім шаром трав, а нижні будуть догоряти довше, або і не згорять.

Для опису щільності розташування в просторі трав'яних рослин застосовують шкалу О. Друде, яка поділяє їх на такі групи:  $сор_3$  – трави, які примикають до ґрунту;  $сор_2$  – дуже щільні рослини;  $сор_1$  – відносно щільні трави;  $sp$  – рідкі трави;  $sol$  – одиночні трави [7]. Порівняно з лісовими фітоценозами, трав'яним властива висока щільність розміщення рослин, практично 100 % проективне покриття та відсутність фрагментарності. На дослідних ділянках рослини були розміщені дуже щільно і повністю вкривали поверхню ґрунту.

Від щільності трав залежить і пожежне навантаження [8], яке характеризує маса їх надземної

частини на одиниці площі, що залежить від вологості. На ділянках пожежне навантаження становило 4-5 т/га.

Основним показником розміру горючого матеріалу трав'яних екосистем є висота трав. Цей показник залежить від виду рослин. Часто спостерігається поєднання декількох видів рослин з різною висотою. У такому випадку використовують середнє значення висоти трав на певній площі. Досліджувані ділянки вибирали з середньою висотою трав 40 см і 60 см.

Горіння з 19 год вечора до 10 год ранку переважно не відбувалося. Це пояснюємо тим, що трав'яний покрив протягом ночі збільшив вміст вологи у зв'язку із збільшенням відносної вологості та зниженням температури повітря. А вдень після 10 год за ясних умов та наявності вітру вологість трав зменшувалася, що сприяло їх займанню та поширенню вогню. Проте за відсутності вітру поширення вогню не відбувалося.

Поширення вогню за різних швидкостей вітру, а також в напрямку проти вітру в денний час зображено на рис. 2.



а)



б)



в)



г)



д)



е)



е)



ж)



з)



и)

**Рисунок 2** – Поширення вогню на дослідних ділянках:  
а, б) – проти вітру;

в, г) – в напрямку вітру, швидкість якого становила 1–2 м/с;

д, е) – в напрямку вітру, швидкість якого становила 2–4 м/с;

є, ж) – в напрямку вітру, швидкість якого становила 4–6 м/с;

з, и) – в напрямку вітру, швидкість якого становила 6–8 м/с

Проведені дослідження у польових умовах дали змогу отримати значення швидкостей поширення трав'яної пожежі залежно від швидкості вітру. Узагальнені результати досліджень в денний період наведені в табл. 2.

Як уже зазначалося, увечері після 19 год за швидкості вітру від 0 до 4 м/с горіння трави не

відбувалося, а за швидкості вітру від 4 до 10 м/с займання та горіння відбувалося, але за достатньої енергії джерел запалювання, які розташовували в ряд на відстані 0,5 м одне від одного. У такому випадку вдавалося підпалити траву та спостерігати поширення пожежі, швидкість якої сягала до 10 м/хв.

Таблиця 2

Швидкість поширення трав'яної пожежі в денний час для різних швидкостей вітру та висоти трав

Швидкість поширення фронту пожежі, м/хв		
Швидкість вітру, м/с	Висота, см	
	40	60
0	–	–
1-2	2,5	3,1
2-4	2,9	3,3
4-6	3,1	9,3
6-8	3,5	12,5

### Висновки

Швидкість поширення горіння в трав'яних екосистемах залежить від температури і відносної вологості повітря, швидкості вітру, вологості трав, висоти та просторового розміщення.

У нічний час висока вологість трав, зумовлена високою відносною вологістю та низькою температурою повітря, утруднює займання і горіння, проте за наявності достатньої енергії декількох джерел займання поширення пожежі може відбуватися за наявності вітру.

### Список літератури

1. Кустов М. В., Калугин В. Д. Влияние травяного покрова на природную пожарную опасность в лесу // Проблемы пожарной безопасности. 29. с. 102–109.
2. Noble I. R., Bary G. A. V., Gill A. M. McArthur's fire-danger meters expressed as equations. Australian Journal of Ecology. 5. Pp. 201–203.
3. Schreck M.-B., Howerton P. J., Cook K. R. Adapting Australia's Grassland Fire Danger Index for the United States' Central Plains // Central Region Technical Attachment No.10-02.May, 2010.
4. Розклад погоди. Погода в 243 країнах світу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rp5.ua/>
5. Кліматичні показники та їх розподіл по території України. Географічний портал. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.geograf.com.ua/physical-school-course/448-klimat-ukrajini>

6. Кузык А. Д., Трусевич О. М. Математичне моделювання інтенсивності теплового потоку від полум'я у формі похилого конуса // Пожежна безпека : зб. наук. праць. 28. С. 73–80.

7. Лукаткин А. С., Левин А. С., Лещанкина В. В. [и др.]. Полевые методы исследования растений. Саранск : Изд-во. Морлов. Ун-та, 2004. 160 с.

8. Драч К. Л. Підходи до класифікації горючих матеріалів рослинного походження та їх пожежонебезпечні властивості // Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності : зб. наук. праць Міжнар. наук.-практ. конф. – Львів, 2014 – С. 63-64.

### References

1. Kustov M. V., Kalugin V. D. Influence of grass cover on the natural fire hazard in the forest // Fire Safety Issues. 29. Pp. 102-109.
2. Noble I. R., Bary G. A. V., Gill A. M. McArthur's fire-danger meters expressed as equations. Australian Journal of Ecology. Pp. 201-203.
3. Schreck M.-B., Howerton P. J., Cook K. R. Adapting Australia's Grassland Fire Danger Index for the United States' Central Plains // Central Region Technical Attachment No.10-02.May, 2010.
4. Wait. Weather in 243 countries. rp5.ua. Retrieved from <https://rp5.ua/>
5. Climatic indicators of that of rozpodil in the territory of Ukraine. Geographical portal. Retrieved from <http://www.geograf.com.ua/physical-school-course/448-klimat-ukrajini>
6. Kuzyk A. D., Trusevich O. M. Mathematical modeling of the heat flux intensity half a month in the form of a dwindled cone // Fire safety №28. Pp. 73-80.
7. Lukatkin A. S., Levin A. S., Leshankin V. V. [et al.]. Field methods for the study of plants. Saransk: Publishing House. Morlov. Univ., 2004.160 p.
8. Drach K. L. Approach the classification of combustible materials of the old age and that of the unsecured authorities // Problems and prospects for the development of unprotected lifeless care: zb. sciences. praz Mizhnar. science.-practical. conf. - Lviv, 2014 – Pp. 63-64.

A. D. Kuzyk, V. I. Tovarynskyi, K. L. Drach

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF FIRES IN GRASSY ECOSYSTEMS

**Formulation of the problem.** The fire hazard of grass ecosystems depends on many factors that determine the proper condition of the combustible material and support the burning process. The most important indicators of danger are the condition and humidity of grass. The main external factors of influence on the occurrence and spread of fires in natural ecosystems are: air temperature and air relative humidity, precipitation, wind speed. The urgent task is to determine the rate of spread of fires in grassy ecosystems.

**The purpose of this work** is to establish the features of occurrence and spread out of grass fires in the forest-steppe conditions of Ukraine on the basis of fire hazard analysis and experimental studies.

**Research methods.** The studies were conducted in the forest-steppe zone in the Vinnytsia region on November 1-3, 2019. The plots with 10 m in length and 3 m in width were chosen, taking into account the wind direction along the plot. During the studies, the wind speed was in a range of 0 to 10 meters per second, the air temperature varied from 7

to 14 Celsius degrees during the day and from -3 to 12 Celsius degrees at night. The air humidity varied from 52 to 69 per cent during the day and from 72 to 84 per cent at night. The humidity of the grass was 20-22 per cent in the daytime, and 27-30 per cent at night. The fire load on the sites was 4-5 t/ha.

**The main results of the study.** Combustion mostly did not happen since 19 p.m. till 10 a.m. because the grass cover during the night increased the moisture content due to the relative humidity increasing and drop of temperature. After 10 a.m. in clear conditions and in the presence of wind, the humidity of the grasses decreased, which facilitated their ignition and spread of fire. However, in the absence of wind, ignition did not happen.

The fire spreading rate depended on wind speed and grass height. For grasses 40 cm high the fire spread rate was from 2.5 m/min (wind speed 1-2 m/s) to 3.5 m/min (wind speed 6-8 m/s). For grasses 60 cm high the fire spread rate was from 3.1 m/min (wind speed 1-2 m/s) to 12.5 m/min (wind speed 6-8 m/s).

**Conclusions.** The rate of fire spread in grassy ecosystems depend on temperature and relative humidity, wind speed, grass humidity, height and spatial location. At night, the high humidity of grasses, caused by high relative humidity and low air temperature, hinders ignition and burning, but the fire may occur in the presence of wind in the presence of several sources of ignition with sufficient energy.

**Keywords:** grass fire, fire spread rate, combustible material, weather and climatic conditions.