

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ПОЖЕЖ У ПРИРОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ В КЛІМАТИЧНИХ ТА ЕДАФІЧНИХ УМОВАХ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

FEATURES OF FIRE DEVELOPMENT IN NATURAL ECOSYSTEMS UNDER THE CLIMATIC AND EDAPHIC CONDITIONS OF THE LVIV REGION

Андрій Гапало, доктор філософії, начальник сектору охорони праці апарату ДСНС України, andriyop@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3543-4987>

Oksana Telak, Main School of Fire Service, oksana.telak@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6103-3784>

Володимир Коваль, ад'юнкт, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, koval.lviv.ua@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5133-9542>

Назарій Коваль, доктор філософії, проректор з персоналу, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, nazar.k.ua@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7846-2924>

Василь Попович, доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, popovich2007@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2857-0147>

<https://doi.org/10.32447/bcet.2025.33>

Анотація. У цій публікації наведено частину результатів комплексних досліджень пожеж у природних екосистемах, які знайшли відображення у наукових публікаціях та дисертаційному дослідженні. Пожежі у природних екосистемах спричиняють значну екологічну небезпеку для довкілля. Внаслідок виникнення пожеж у природних екосистемах відбувається виділення продуктів горіння (неповного розпаду) у атмосферне повітря, осаджені частинки спричиняють забруднення поверхневих вод та ґрунтів, знищується видовий склад флори і фауни, біота зазнає незворотних змін. Дослідження проводилися на території Львівського Розточчя. Наведено кліматичні та едафічні умови регіону досліджень. Відображено видовий склад дерево-чагарникової рослинності та Результатами наведених досліджень є аналіз та розробка протипожежних заходів внаслідок горіння лучних природних екосистем. Встановлено час займання рослинності за протипожежною мінералізованою смугою і висоту полум'я за різної ширини мінералізованої смуги та змінної висоти сухої лучної рослинності.

Ключові слова: пожежа у природних екосистемах, мінералізована смуга, параметри пожежі, пожежна безпека, екологічна безпека

Abstract. This paper presents some of the results of comprehensive studies of fires in natural ecosystems, which are reflected in scientific publications and dissertation research. Fires in natural ecosystems pose a significant ecological threat to the environment. As a result of fires in natural ecosystems, combustion products (incomplete decomposition) are released into the atmosphere, deposited particles cause pollution of surface waters and soils, the species composition of flora and fauna is destroyed, and the biota undergoes irreversible changes. The research was conducted in the Lviv Roztochya region. The climatic and edaphic conditions of the research region are presented. The species composition of tree and shrub vegetation is reflected. The results of the research are the analysis and development of fire prevention measures due to the burning of natural meadow ecosystems. The time of vegetation ignition behind the firebreak mineralized strip and the height of the flame for different widths of the mineralized strip and variable heights of dry meadow vegetation were established.

Keywords: fire in natural ecosystems, mineralized strip, fire parameters, fire safety, environmental safety

ВСТУП

Пожежі у природних екосистемах є небезпечним чинником погіршення якості довкілля внаслідок міграції небезпечних речовин та продуктів горіння у довкілля. Територія наших досліджень розміщена у геоботанічному регіоні Розточчя. Розточчя – звужене горбисте пасмо 15-20 км завширшки і до 400 м заввишки, яке простягається у напрямі зі Львова на південному-сході до Томашова, Щебрешина і Красніка (Польща) на північному-заході. Над прилеглими рівнинами – Надсянською низовиною на південному-заході і Надбужанською котловиною на північному-сході⁸⁴³. Густою мережею рік характеризується Равське Розточчя, північно-східна та південно-східна частини Янівського Розточчя і східна частина Львівського Розточчя. Клімат Львівського Розточчя відзначається різноманітністю мезокліматів, що зумовлюється неоднорідністю його поверхні і характеризується м'якістю, яка проявляється невеликою різницею температур літа і зими, та високою зволоженістю, про яку свідчать значні річні суми опадів. Регіону не властиві сильні морози чи посухи зате характерні часті відлиги взимку, значна хмарність, обложні дощі та викликані ними літньо-осінні паводки. Радіаційний і тепловий режим зумовлений перерозподілом територією регіону тепла та вологи, і характером місцевості (висота, експозиція схилів, ґрунтово-рослинний покрив)⁸⁴⁴. Територія Львова одержує в рік до 163,3 ккал/см² сумарної радіації (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Розрахункові місячні показники сонячної радіації

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Сонячна радіація, Ккал/см ²	4,7	7,5	13,5	17,8	22,1	23,0	22,5	18,8	14,1	9,6	5,8	3,8

Таблиця 2

Дійсна величина сумарної сонячної радіації

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Сонячна радіація, Ккал/см ²	2,4	3,5	5,6	7,9	12,8	13,4	16,6	12,2	8,7	5,4	1,8	1,1

Теплові ресурси виражаються тепловим балансом, до якого, крім радіаційного балансу, належить кількість тепла, яка витрачається на випаровування, на турбулентний теплообмін між поверхнею Землі й атмосферою та на теплообмін у ґрунті⁸⁴⁵. На території міста, яка в поперечнику (схід-захід) сягає близько 15 км, внаслідок значної площі мертвої підстилаючої поверхні спостерігається (особливо в літні місяці) перевищення природного теплового балансу над природним⁸⁴⁶.

Клімат району відноситься до перехідного від атлантичного вологого до континентального типу, в загальному він більш вологий, аніж клімат Малополіської низовини. Кількість опадів досягає 650-700 мм/рік. Середня річна температура повітря дорівнює +7,4°C, середня температура січня у Львові – +4,1°C, Бережанах - +5°C, а середня температура липня відповідно +18,3 – +18,1 °C. Нерідкі пізні весняні заморозки, особливо шкідливі на долинах Розточчя, де бувають навіть у червні,

⁸⁴³ Геренчук К. І. Природа Львівської області. Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1972. 151 с.

⁸⁴⁴ Кучерявий В. П. (2003). Фітомеліорація. Львів: Світ. 540.

⁸⁴⁵ Гродзінський А. М. Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник. Київ, 1990. 544 с.

⁸⁴⁶ Кучерявий В. П. Урбоекологія. Львів: Світ, 1999. 360.

пошкоджуючи дуб, горіх і багато інших порід. Вітри переважають західні, в окремі роки викликають відносні буреломи і вітровали. З несприятливих погодних явищ в цьому районі варто відмітити сніголоми, які особливо часто пошкоджують чисті соснові культури, створені в судібровних типах лісу. Вегетаційний період триває в середньому 210 днів. Район густо заселений (більше 100 жителів на 1 км²), населення головним чином зайняте в сільському господарстві. На території району розташований великий промисловий і науковий центр – м. Львів та ряд невеликих міст, такі, наприклад, як Бібрка, Золочів, Ходорів, Рогатин, Бережани; промисловість в маленьких містах розвинена відносно слабо. Майже всі великі лісові масиви мають добре розвинену мережу покращених ґрунтових та шосейних доріг. Середня забезпеченість транспортними шляхами – 12 км на 1 тис. площі лісового фонду. Вітровий режим характеризується слабкими та помірними вітрами, швидкість яких становить 0–5 м/с (70–90 % за рік). Вітер зі швидкістю 0–1 м/с найчастіше повторюється влітку, зі швидкістю 2–3 м/с однаково протягом року, а зі швидкістю 6–10 м/с – взимку. У холодну пору бувають вітри зі швидкістю 6–10 м/с. Швидкості більші, ніж 10 м/с, спостерігаються в області рідко^{847,848,849}.

Найхолоднішим місяцем зими в області є січень, середньомісячна температура якого на 2–3 °С нижча, ніж у грудні. Для усіх зимових місяців характерна велика мінливість температури повітря. Середньорічні температури повітря коливаються в межах +5,2–+8,0 °С. Амплітуда річних коливань – від +20,7 до +23 °С⁸⁵⁰.

У Розточчі переважну площу займають соснові (42%), дубові (23%) та букові (15%) ліси, зазвичай змішані з домішкою різних листяних порід. З хвойних порід природного походження, окрім сосни звичайної, ще є острівні ділянки ялини європейської та ялиці білої. В лісові культури все ширше вводиться модрина, псевдотсуга тисолиста, сосна веймута та інші високопродуктивні породи.

В поширенні природної деревної рослинності помітні деякі закономірності, а саме: сосново-букові та букові насадження розташовані як правило, на піднесених елементах рельєфу, в містах виходу на поверхню вапняків; у підніжжя схилів, по долинах проростають переважно дубові, сосново-дубові насадження або похідні від них. Корінні сосново-букові і чисто букові насадження характеризуються високою продуктивністю та якістю деревини. Чисті соснові культури, хоч і володіють високою продуктивністю, відрізняються досить низькою стійкістю до сніголомів, які в окремі роки викликають дуже сильні пошкодження⁸⁵¹ (табл. 3).

Таблиця 3

Розподіл площі лісового фонду за типами лісорослинних умов

Тип лісорослинних умов	Всього	У тому числі за ступенем вологості				
		сухі	свіжі	вологі	сирі	мокрі
Розточчя						
Бір	0,7	-	0,4	0,3	-	-
Субір	7,0	-	4,4	1,8	0,8	-
Сугруди	65,9	-	54,1	9,9	1,9	-
Груди	26,4	-	23,3	3,1	-	-
Всього:	100.0	-	82.2	15.1	2.7	-

⁸⁴⁷ Геренчук К. І. Природа Львівської області. Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1972. 151 с.

⁸⁴⁸ Попович В. В. 2014. Фітомеліорація згасаючих териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну. Монографія. Львів. 174.

⁸⁴⁹ Попович В. В. 2009. Вплив кліматичних умов на розвиток рослинності техногенних ландшафтів Малого Полісся у зимовий період. Науковий вісник НЛТУ України. 19.3. 37-42.

⁸⁵⁰ Геренчук К. І. Природа Львівської області. Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 1972. 151 с.

⁸⁵¹ Кучерявий, В. П. (2010). Загальна екологія. Львів : Світ. 520.

Лісокультурні заходи, які входять в загальну систему, мають передбачати відношення висаджених деревних порід конкретним типам лісу. Оскільки в районі переважають родючі ґрунти, наявні сприятливі кліматичні умови, створювані насадження мають бути змішаними, ні в якому разі неприпустимо утворення чистих соснових, ялинових чи дубових насаджень, які часто вражаються хворобами та шкідниками, пошкоджуються при вітровалах, буреломах та пожежах, що призводить до їх передчасної загибелі. Чисті насадження можна утворювати тільки з бука в свіжих та вологих бучинах та з вільхи чорної – в мокрих грудах⁸⁵².

У межах Львівського Розточчя виділяють п'ять угруповань рослинності: лісову, лучну, болотну, скельну і степову. Найбільше представлені перші три групи.

Найпоширеніші типи лісу і типи зрубів представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Типи лісу і типи зрубів на Львівському Розточчі

Типи лісу	Типи зрубів
Сосняк лишайниковий	Куничниковий
Сосняк сфагновий	–
Грабово-дубово-соснові (свіжі)	Куничниковий
Грабово-дубово-соснові (вологі)	Ожинові
Грабово-дубово-соснові (сирі)	Моховий
Грабово-дубові (свіжі)	Ліщиново-знітові
Грабово-букові (вологі)	Ситниковий
Грабово-букові (свіжі)	Знітові

В залежності від ґрунтово-кліматичних умов та рельєфу, в цьому лісогосподарському районі формуються різні типи лісорослинних умов та типів лісу. В Опіллі панують груди з незначною сумішшю сугрудків, в Розточчі переважають сугрудки і меншою кількістю представлені дібровами і суборами.

На території досліджень виникають численні пожежі у природних екосистемах та на антропогенно порушених ландшафтах⁸⁵³. Пожежі спричиняють виділення значної кількості небезпечних речовин у довкілля^{854,855}. Особливо небезпечними явищами є горіння сміттєзвалищ, які у регіоні дослідження спостерігаються у значній кількості^{856,857}.

Зміна клімату посилює умови для лісових пожеж, але бракує доказів щодо глобальних тенденцій екстремальної пожежної активності. У роботі⁸⁵⁸ визначено енергетично екстремальні події лісових пожеж, обчислюючи щоденні кластери сумарної радіаційної потужності пожеж, використовуючи 21 рік супутникових даних, показуючи, що частота екстремальних подій ($\geq 99,99$ -й перцентиль) зросла в 2,2 рази з 2003 по 2023 рік, причому останні 7 років включають 6 найекстремальніших.

⁸⁵² Кучерявий, В. П. (2010). Загальна екологія. Львів : Світ. 520.

⁸⁵³ Popovych, V., Gapalo, A. Monitoring of Ground Forest Fire Impact on Heavy Metals Content in Edaphic Horizons. Journal of Ecological Engineering, 22(5), 2021. 96-103. <https://doi.org/10.12911/22998993/135872>

⁸⁵⁴ Попович В. В., Кучерявий В.П. 2012. Горіння полігонів твердих побутових відходів як загроза здоров'ю людини та фактор техногенного навантаження на довкілля. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. 1. 162-166

⁸⁵⁵ Попович В. В., Кучерявий В.П. 2012. Вплив продуктів горіння полігонів твердих побутових відходів на організм людини та біоту. Пожежна безпека. 20. 60-66.

⁸⁵⁶ Попович В. В. 2012. Пожежна безпека стихійних сміттєзвалищ та полігонів твердих побутових відходів. Пожежна безпека. 21. 140-147.

⁸⁵⁷ Кучерявий В.П., Попович В. В. 2012. Полігони твердих побутових відходів Західного Лісостепу України та проблеми їх фітомеліорації. Науковий вісник НЛТУ України. 22.2. 56-66.

⁸⁵⁸ Cunningham, C.X., Williamson, G.J. & Bowman, D.M.J.S. Increasing frequency and intensity of the most extreme wildfires on Earth. Nat Ecol Evol 8, 1420–1425 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02452-2>

Протягом останніх двох десятиліть частота невеликих (< 500 акрів) лісових пожеж, спричинених людиною, зростала найшвидше, і вони широко поширені в центральній та західній Каліфорнії. Сезон лісових пожеж подовжився, а пікові місяці перемістилися з серпня на липень. Щодо змінних, пов'язаних з ризиком виникнення лісових пожеж, вирішальне значення мають температура, дефіцит вологи, трав'яний покрив та відстань до доріг⁸⁵⁹.

Результати⁸⁶⁰ показують, що після столітнього спаду, активність лісових пожеж зросла з 2005 року, що збіглося з різким розворотом тенденції зволоження у 20 столітті. Навіть за умови, що рівень опадів залишається високим, дефіцит вологи збільшився через швидке потепління та збільшення потреби у випаровуванні. Чинники "знизу вгору" додатково впливають на активність лісових пожеж, оскільки минулі лісових пожеж, спалахів комах та практики землекористування постійно впливають на режими пожеж. Найбільш смертоносні та руйнівні лісові пожежі, 90% з яких були спричинені людиною, переважно траплялися восени, тоді як найбільші лісові пожежі, 56% з яких були спричинені людиною, здебільшого траплялися влітку⁸⁶¹.

Антропогенна зміна клімату сприяла стійким екстремальним погодним умовам для пожеж, оскільки середня температура в Канаді з травня по жовтень у 2023 році була на 2,2 °C вищою за середній показник за 1991–2020 років. Наслідки: було евакуйовано понад 200 громад, мільйони людей зазнали впливу небезпечної якості повітря від диму, а також виникли додаткові вимоги до ресурсів пожежогасіння. Сезон лісових пожеж 2023 року в Канаді не лише встановив нові рекорди, але й підкреслив зростаючі проблеми, що виникають через лісові пожежі в Канаді⁸⁶².

Половина великих лісових пожеж (площею >500 га), що сталися на Піренейському півострові між 2001 і 2021 роками, демонструють значне збільшення порівняно, що пояснюється глобальним потеплінням⁸⁶³. Через глобальне потепління площа з умовами, схильними до пожеж, збільшиться на 29%, переважно в бореальній (+111%) та помірній (+25%) зонах, де також може спостерігатися значне подовження потенційного сезону пожеж.

Таким чином, питання пожеж у природних екосистемах на території Розточчя є актуальним із точки зору збереження біологічного різноманіття як однієї зі складових сталого розвитку.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Експерименти проводилися 24.07.2021 року у сонячну безвітряну погоду. Температура довкілля становила +23°C. Координати розташування дослідних ділянок: 50.157599, 23.786120. Для експерименту було використано мірні лінійки довжиною 2 м і 4,5 м; вологомір ґрунту МГ-44; секундомір; зразки сухої рослинності. Дослідна ділянка до початку випробувань наведена на рис. 1.

⁸⁵⁹ Li, S., Banerjee, T. Spatial and temporal pattern of wildfires in California from 2000 to 2019. *Sci Rep* 11, 8779 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88131-9>

⁸⁶⁰ Parisien, M.A., Barber, Q.E., Bourbonnais, M.L. et al. Abrupt, climate-induced increase in wildfires in British Columbia since the mid-2000s. *Commun Earth Environ* 4, 309 (2023). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00977-1>

⁸⁶¹ Kumar, M., AghaKouchak, A., Abatzoglou, J.T. et al. Compounding effects of climate change and WUI expansion quadruple the likelihood of extreme-impact wildfires in California. *npj Nat. Hazards* 2, 17 (2025). <https://doi.org/10.1038/s44304-025-00067-6>

⁸⁶² Jain, P., Barber, Q.E., Taylor, S.W. et al. Drivers and Impacts of the Record-Breaking 2023 Wildfire Season in Canada. *Nat Commun* 15, 6764 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51154-7>

⁸⁶³ Senande-Rivera, M., Insua-Costa, D. & Miguez-Macho, G. Climate change aggravated wildfire behaviour in the Iberian Peninsula in recent years. *npj Clim Atmos Sci* 8, 19 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41612-025-00906-3>



Рисунок 1. Досліджувана ділянка протипожежних бар'єрів у вигляді мінералізованих смуг

Передбачено встановити час займання рослинності за протипожежною мінералізованою смугою і висоту полум'я за різної ширини мінералізованої смуги та змінної висоти сухої лучної рослинності. Повторюваність дослідів для кожної ширини протипожежної мінералізованої смуги 5-ти разова.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

За умови ширини протипожежної мінералізованої смуги 0,1 м, займання сухої лучної рослинності вистояло 0,1 м за смугою відбулося через 7 с після початку проведення експерименту. Із зростанням висоти сухостою час займання сухої лучної рослинності за смугою зменшувався та при висоті 0,4 м і 0,5 м становив 3 с (рис. 2).

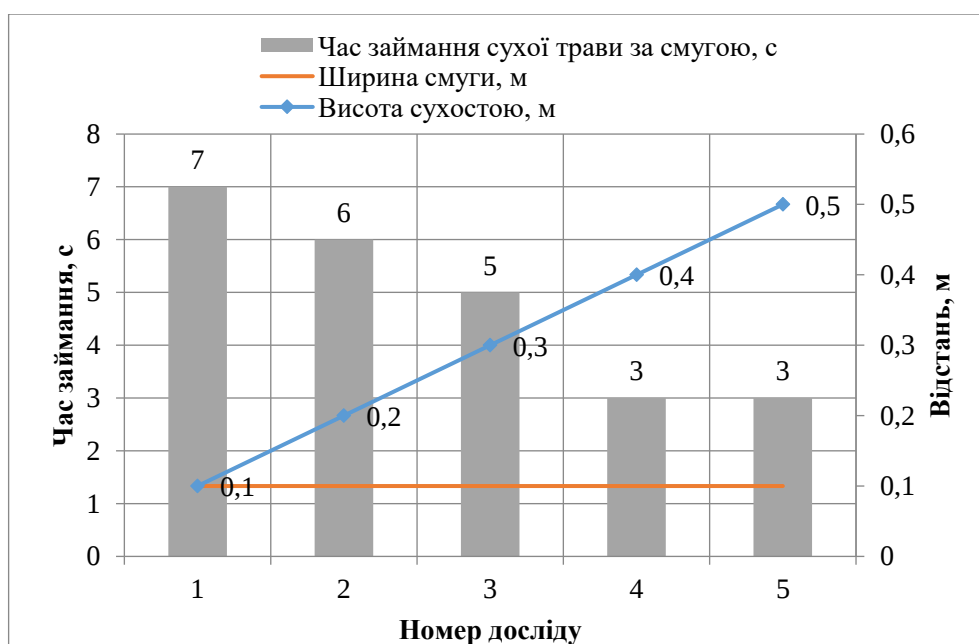


Рисунок 2. Час займання сухої лучної рослинності при ширині мінералізованої смуги 0,1 м

За умови ширини протипожежної мінералізованої смуги 0,2 м, займання сухої лучної рослинності вистюю 0,1 м, 0, 2 м, 0,3 м за смугою не відбувалося. Займання відбулося через 10 с після початку проведення експерименту з висотою сухою 0,4 м. При висоті сухою 0,5 м час займання сухої лучної рослинності становив 7 с (рис. 3).

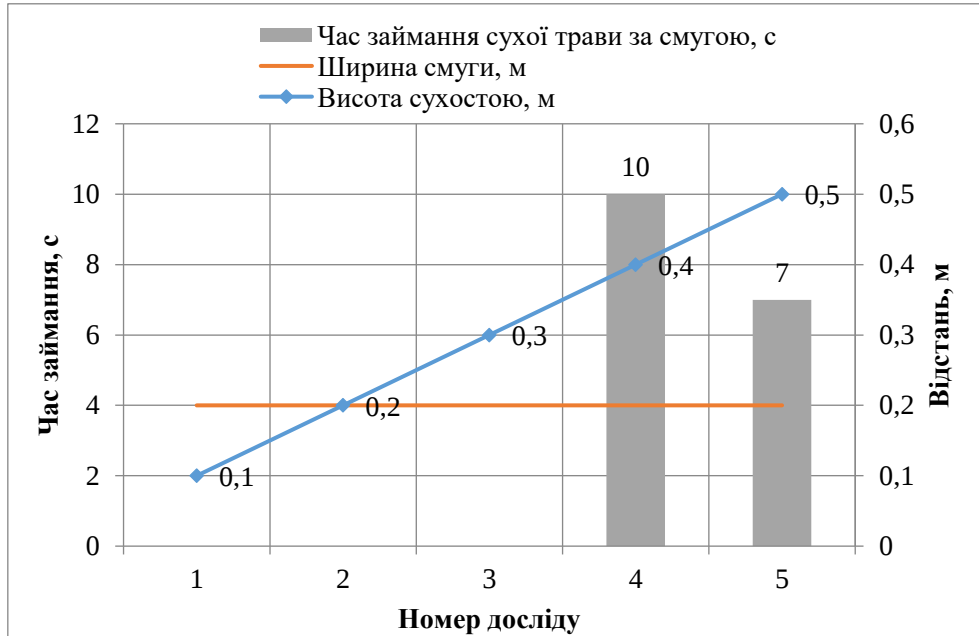


Рисунок 3. Час займання сухої лучної рослинності при ширині мінералізованої смуги 0,2 м

За умови ширини протипожежної мінералізованої смуги 0,3 м, займання сухої лучної рослинності вистюю 0,1 м, 0, 2 м, 0,3 м за смугою не відбувалося. Займання відбулося через 8 с після початку проведення експерименту з висотою сухою 0,4 м. При висоті сухою 0,5 м час займання сухої лучної рослинності становив 10 с (рис. 4).

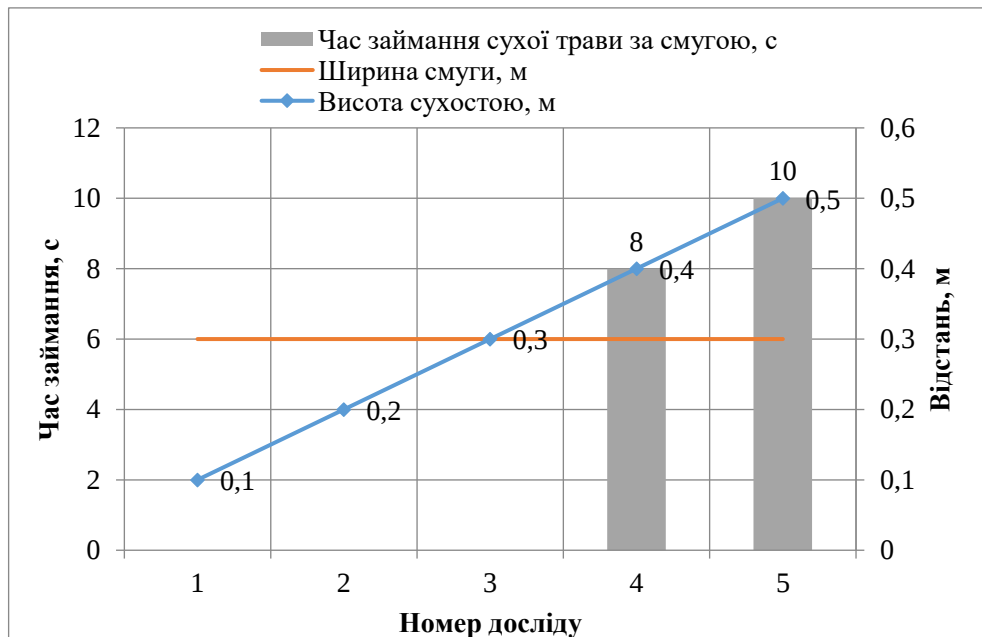


Рисунок 4. – Час займання сухої лучної рослинності при ширині мінералізованої смуги 0,3 м

За умови ширини протипожежної мінералізованої смуги 0,4 м, займання сухої лучної рослинності висотою 0,1 м, 0,2 м, 0,3 м за смугою не відбувалося. Займання відбулося через 48 с після початку проведення експерименту з висотою сухостою 0,4 м. При висоті сухостою 0,5 м час займання сухої лучної рослинності становив 56 с (рис. 5).

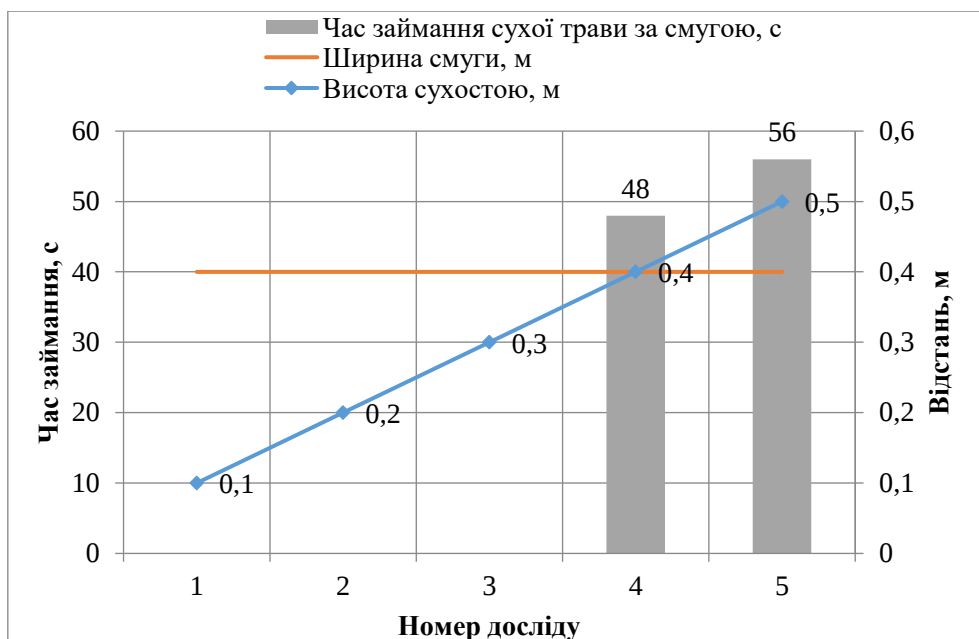


Рисунок 5. Час займання сухої лучної рослинності при ширині мінералізованої смуги 0,4 м

Таким чином, на поширення ландшафтних пожеж в лучних екосистемах мають вирішальне значення 2 параметри – ширина мінералізованої протипожежної смуги та висота сухої лучної рослинності. Чим більша висота сухої лучної рослинності, тим ймовірність займання сусідньої аналогічної ділянки є вищою. Важливим показником для розробки протипожежних заходів та попередження горіння лучної рослинності є висота полум'я у залежності від висоти сухої лучної рослинності (рис. 6).



Рисунок 6. Експериментальні дослідження висоти полум'я під час горіння лучної рослинності

Встановлено, що на висоті 0,1 м сухої лучної рослинності за умови виникнення пожежі висота полум'я може досягати 0,65 м. При висоті 0,2 м сухої лучної рослинності за умови виникнення пожежі висота полум'я може досягати 0,75 м. Відповідно – при 0,3 м – висота полум'я 1,3 м; при 0,4 м – висота полум'я 1,6 м; при 0,5 м – висота полум'я 1,7 м (рис. 7).

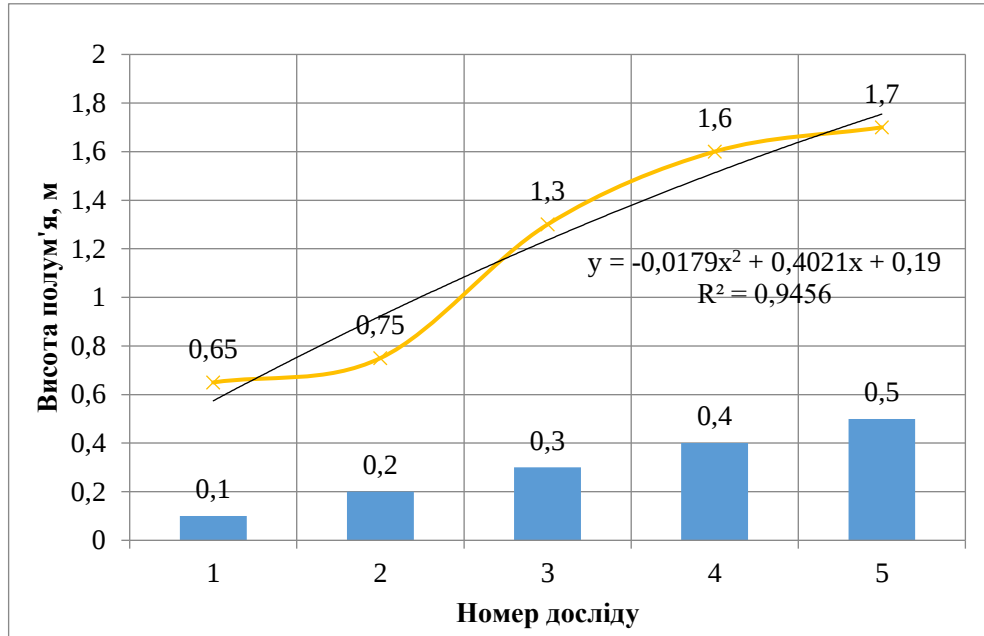


Рисунок 7. Залежність висоти полум'я від висоти сухою лучної рослинності під час пожежі

Залежність висоти полум'я від висоти сухою лучної рослинності під час пожежі можна описати за допомогою рівняння:

$$H_n = -0,0179h^2 + 0,4021h + 0,19, \quad (1)$$

де h – висота сухої лучної рослинності.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що на поширення ландшафтних пожеж в природних лучних екосистемах мають вирішальне значення параметри ширини мінералізованої протипожежної смуги та висоти сухої лучної рослинності. Чим більша висота сухої лучної рослинності, тим ймовірність займання сусідньої аналогічної ділянки є вищою. Експериментально встановлена висота полум'я у залежності від висоти сухої лучної рослинності, що є важливим показником для розробки протипожежних заходів та попередження горіння лучної рослинності у природних екосистемах.