

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Драч Костянтин Леонідович

УДК 614.84

ДИСЕРТАЦІЯ

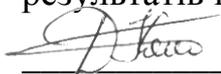
ДИНАМІКА ПОЖЕЖ У ТРАВ'ЯНИХ ЕКОСИСТЕМАХ

Спеціальність 261 – пожежна безпека

Галузь знань 26 – цивільна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

 К.Л. Драч

Науковий керівник Кузик Андрій Данилович, доктор сільськогосподарських наук,
професор

Львів –2020

АНОТАЦІЯ

Драч К.Л. Динаміка пожеж у трав'яних екосистемах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 – пожежна безпека. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, 2020.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуального науково-технічного завдання – розкриття особливостей динаміки розвитку та припинення пожеж у трав'яних екосистемах.

Пожежі у трав'яних екосистемах становлять небезпеку для довкілля, людей і тварин. Їх поширення спричиняє пожежі розташованих поруч об'єктів, зокрема, лісів, сільськогосподарських угідь, будівель і споруд. Є випадки загибелі та травмування людей внаслідок трав'яних пожеж. Займання сухої трави є можливим від недопалка сірника чи цигарки. Вогонь поширюється трав'яним покривом у сухому стані не лише у напрямку вітру, але і в протилежному напрямку.

Процес гасіння трав'яних пожеж є складним та пов'язаним з ризиками для життя і здоров'я рятувальників, а наявні методи та способи пожежогасіння є не завжди ефективними та можливими для реалізації. Зазвичай потрібна значна кількість води, яку не завжди можна своєчасно доставити до місця пожежі.

Для успішного гасіння пожеж у трав'яних екосистемах проаналізовано причини та передумови їх виникнення, встановлено чинники впливу на процеси їх виникнення і поширення, а також запропоновано методи і способи ліквідації.

Використано низку методів досліджень: аналіз літературних джерел з результатами досліджень у галузі трав'яних пожеж; лабораторні методи визначення пожежонебезпечних показників горючих матеріалів рослинного походження – температур займання, самозаймання та тління; коефіцієнтів димоутворення, вологості; термогравіметричний аналіз; кластерний аналіз; кореляційний аналіз; регресійний аналіз; статистичні методи обробки результатів досліджень; експериментальні методи досліджень пожеж на ділянках, вкритих трав'яною

рослинністю; комп'ютерне моделювання процесів виникнення і поширення трав'яних пожеж; експериментальні методи гасіння трав'яних пожеж із застосуванням запропонованих способів і засобів та їх обґрунтування.

В результаті аналізу досліджень у галузі трав'яних пожеж встановлено основні чинники впливу на їх виникнення та розповсюдження: горючий матеріал, погоднокліматичні умови та рельєф. З погоднокліматичних умов найважливішими є потоки вітру, температура та відносна вологість повітря, опади.

Проаналізовано трав'яні екосистеми України, в результаті чого виділяють три основні типи, у яких виникають пожежі: лісові, лучні та степові. Лісові трав'яні екосистеми є елементами лісових екосистем, а їх пожежну небезпеку потрібно розглядати окремо і в поєднанні з іншими складовими (деревостаном, лісовою підстилкою, підростом і підліском). Тому в роботі зосереджено увагу на степові та лучні екосистеми, сформовані переважно трав'яною рослинністю, яка за сухої погоди до початку та після завершення вегетаційного періоду рослин та відсутності снігового покриву становить значну небезпеку.

За результатами аналізу отримано характеристики трав'яних екосистем, зокрема видовий склад рослин, та охарактеризовано пожежну небезпеку. Оскільки пожежонебезпечні властивості різних видів рослин відрізняються між собою, а значне видове різноманіття не дає можливості вивчити кожного представника, для подальших досліджень виділено найбільш поширені трав'яні рослини, які широко зустрічаються практично в усіх екосистемах на території України і утворюють угруповання, а подекуди і суцільні покриття ділянок: конюшину польову, тимофіївку лучну, кострицю лучну, кострицю очеретяну та пирій повзучий.

Вперше досліджено пожежонебезпечні властивості кожної з рослин: динаміку зміни вологості у процесі висушування, рівноважну вологість, температури тління, займання та самозаймання, час займання, зольність та коефіцієнти димоутворення за умов тління та полум'яного горіння. Дослідження цих властивостей проводили упродовж 5 діб після збирання зразків рослин у природних умовах та в процесі природного висушування у лабораторних умовах. Температури тління, займання та самозаймання кожної з досліджених рослин є різними і зменшуються із зменшенням

вологості. На п'яту добу досліджень температура займання становила від 175°C для конюшини польової, 184°C для пирію повзучого, 187°C для костриці лучної, 190°C для костриці очеретяної і до 193°C для тимофіївки лучної, температура тління – від 223°C для костриці лучної, 247°C для конюшини польової, 259°C для костриці очеретяної, 273°C для пирію повзучого і до 287°C для тимофіївки лучної, а температура самозаймання – від 326°C для костриці лучної, 342°C для костриці очеретяної, 358°C для конюшини польової, 374°C для пирію повзучого, і до 380°C для тимофіївки лучної. Вологість рослин становила від 8% для костриці очеретяної, 9% для костриці лучної, 10% для пирію повзучого, 18% для тимофіївки лучної і до 20% для конюшини польової. Відмінності пожежонебезпечних показників зумовлюють різну небезпеку виникнення і поширення пожеж на ділянках, вкритих різними видами трав'яних рослин.

За результатами лабораторних досліджень отримано лінійні регресійні залежності температур тління, займання і самозаймання для досліджених рослин від вологості, які можуть застосовуватися для оцінювання пожежної небезпеки за значенням вологості трав'яного горючого матеріалу.

У лабораторних умовах з використанням дериватографа вперше отримано термогравіметричні криві, які характеризують процеси нагрівання зразків цих матеріалів та термічної деструкції. Криві TG для кожної з досліджених рослин різняться між собою незначно, проте більш істотною є різниця між кривими DTA, що свідчить про відмінності настання екзотермічного та ендотермічного ефектів, а також процесів висушування, піролізу та термічної деструкції під дією високих температур у процесі нагрівання. У процесі термогравіметричних досліджень виділено три стадії, які для кожної з рослин мають різні температурні інтервали. Виявлено відмінності температур першого екзотермічного ефекту, який характеризує термічну стійкість зразків. Для костриці очеретяної цей показник є найбільшим і становить 364°C, нижчими є значення для костриці лучної – 347°C, тимофіївки лучної – 333°C та пирію повзучого – 316°C. А найнижчою є температура першого екзотермічного ефекту для конюшини польової – 300°C.

За результатами кластерного аналізу вперше отримано розподіл цих рослин за групами з урахуванням їх пожежонебезпечних показників. Найбільш близькими за пожежонебезпечними властивостями є костриця очеретяна та костриця лучна, які утворюють окрему групу, а потім до неї приєднується пирій повзучий. Іншою групою схожих за пожежонебезпечними властивостями рослин є конюшина польова і тимофіївка лучна. Встановлено також, що близькими є такі показники, як температури тління та самозаймання, температура займання, зольність та коефіцієнти димоутворення, кожна з яких окремо може характеризувати пожежну небезпеку рослин. Вологість у порівнянні з цими показниками є оберненою величиною і також може окремо застосовуватися для оцінювання пожежонебезпеки горючих матеріалів рослинного походження.

Проведено експериментальні дослідження процесів займання та поширення трав'яних пожеж у польових умовах на території західного лісостепу в осінній період після завершення вегетації. Для дослідження формували дослідні ділянки довжиною 10 м і шириною 3 м, які облаштовували на вкритій трав'яним покривом території таким чином, щоб вітер був у напрямку довшої сторони ділянки, а суміжні площі викошувалися і зволожувалися з метою недопущення неконтрольованого поширення горіння. У результаті польових досліджень встановлено значення лінійної швидкості поширення фронту пожежі для швидкостей вітру від 1-2 до 6-8 м/с та висоти трав'яного покриву 40 см і 60 см. Швидкість поширення пожежі зростала із збільшенням швидкості вітру для ділянок з висотою трав'яного покриву 40 см від 2,5 до 3,5 м/хв, а для висоти трав'яного покриву 60 см від 3,1 до 12,5 м/хв. Виявлено зростання швидкості із збільшенням обидвох цих показників у випадку поширення горіння у напрямку вітру. Проте горіння поширювалося і у напрямку, протилежному до вітру, однак із значно нижчою швидкістю – 0,5-0,7 м/хв. Також встановлено, що у нічний період доби займання було ускладненим і поширення пожежі загалом не відбувалося через зниження температури повітря і збільшення його відносної вологості.

Проведено комп'ютерне моделювання трав'яних пожеж із використанням програмного забезпечення Wildland-Urban Fire Dynamic Simulator (WFDS), яке

створено на базі фізичної моделі поширення пожеж Fire Dynamic Simulator (FDS) для моделювання пожеж у природних екосистемах і є апробованим для трав'яних пожеж. Трав'яний покрив формували з властивостями пирію повзучого, який є найпоширенішою трав'яною рослиною в Україні та має найменшу термостійкість із досліджених злаків. Встановлено, що у випадку екстремально низької вологості трав'яного покриву 6%, яка встановлюється в період екстремальної посухи та після завершення вегетаційного періоду, лінійні швидкості поширення фронту пожежі є значно вищими у порівнянні з отриманими під час експериментальних досліджень, та свідчать про складність гасіння таких пожеж. Виявлено, що в діапазоні висот трав'яного покриву 20-100 см швидкість є найбільшою для 80 см. За результатами моделювання встановлено, що залежність швидкості трав'яної пожежі від висоти трав'яного покриву описується поліноміальною регресійною моделлю $v = 0,0001h^3 - 0,0251h^2 + 1,3591h + 0,7772$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0,9572$. Вітер загалом позитивно впливає на швидкість поширення пожеж, але за швидкостей 4 м/с і вище горіння припинялося, ймовірно, через охолодження горючого матеріалу.

Проаналізовано, що традиційні методи і засоби гасіння трав'яних пожеж базуються здебільшого на використанні води, створенні мінералізованих смуг за допомогою відповідної техніки, а також механічного впливу, що спричиняє збивання полум'я, засипання його ґрунтом за допомогою ручних інструментів. Але для гасіння пожеж у природних екосистемах потрібна значна кількість води, що не завжди можливо забезпечити, а використання ручних інструментів потребує значної кількості рятувальників та фізичних зусиль. Оскільки в процесі комп'ютерного моделювання виявлено, що вітер може сприяти гасінню трав'яної пожежі, запропоновано використання пристроїв, які формують потоки повітря – переносних бензинових повітродувок та обприскувачів. Проведені дослідження особливостей формування потоку повітря обприскувачем від режимів роботи пристрою та відхилення від основного напрямку поширення потоку повітря, які вказують на ефективність способу за застосування режиму середніх обертів двигуна та спрямування потоку повітря в основному напрямку. Обґрунтовано, що ефективним способом гасіння пожеж у трав'яних екосистемах є дія потоків повітря або повітряно-водяної суміші зі

швидкістю 8,1-11,3 м/с на відстані 0,4-1 м від сопла пристрою у напрямку його осі на матеріал, що горить, що призводить до його охолодження та відриву полум'я в осередку горіння. Проведені дослідження з використання обприскувача під час гасіння підрозділом ДСНС України реальної трав'яної пожежі на території Київської обл. підтвердили ефективність такого способу.

Результати досліджень впроваджені у діяльність Головного управління ДСНС України у м. Києві, а отримані в роботі залежності, які характеризують розвитку пожеж у трав'яних екосистемах, використовуються для планування і проведення заходів з пожежогасіння, оцінювання загроз переходу таких пожеж на лісові масиви та різноманітні об'єкти.

В результаті було встановлено особливості впливу різноманітних чинників на динаміку виникнення та припинення пожеж у трав'яних екосистемах та надано рекомендації щодо їх урахування для запобігання й гасіння пожеж.

Ключові слова: трав'яні пожежі, горючий матеріал, процеси займання, поширення пожежі, гасіння пожежі.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. Кузик, А. Д., Драч, К. Л. (2016). Пожежна небезпека найпоширеніших трав'янистих рослин лук Західної України. *Пожежна безпека*, 29, 87-92.
2. Кузик, А. Д., Драч, К. Л., Товарянський, В. І. (2019). Експериментальні дослідження пожеж у трав'яних екосистемах. *Пожежна безпека*, 35, 35-40.
3. Кузик, А. Д., Драч, К. Л., Товарянський, В. І. (2020). Моделювання процесів виникнення і поширення трав'яних пожеж. *Пожежна безпека*, 36, 44-48.

Стаття у науковому виданні країни ЄС, що входить до бази даних Scopus:

4. Drach, K. L., Kuzyk, A. D., Tovarianskyi, V. I., Yemelienenko, S. O. (2020). Fire dangerous properties of the most common plants of grass ecosystems in Ukraine. *Ecologia Balkanica*, 12 (1), 147–154.

Тези доповідей, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Драч, К. Л. (2014). Підходи до класифікації горючих матеріалів рослинного походження та їх пожежонебезпечні властивості. *Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць IX Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (4 квітня 2014 р., м. Львів), 63-64.*
6. Драч, К. Л. (2015). Особливості горіння трав та їх класифікація за пожежонебезпечними властивостями. *Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць X Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (27 березня 2015 р., м. Львів), 37-38.*
7. Драч, К. Л. (2016). Порівняльна характеристика лісових та трав'яних пожеж. *Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (24 березня 2016 р., м. Львів), 21-22.*
8. Кузик, А. Д., Драч, К. Л. (2016). Пожежна небезпека найпоширеніших трав'яних рослин лук Львівщини. *Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації: Зб. наук. праць Міжнар. наук.-практ. конф. (20-21 жовтня 2016 р., Львів), 155-157.*
9. Драч, К. Л. (2017). Фактори впливу на розвиток пожеж в природних екосистемах. *Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (До 70-річчя заснування університету) (23-24 березня 2017 р., м. Львів), 25-27.*
10. Кузик, А. Д., Драч, К. Л. (2019). Пожежна небезпека трав'янистих рослин та її вплив на екосистеми. *Сучасний стан та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації: Зб. наук. праць Міжнар. наук.-практ. конф. (3 нагоди 80-ліття від дня народження професора В.П. Кучерявого) (4-5 квітня 2019 р., м. Львів), 252-254.*

ABSTRACT

Drach K.L. Dynamics of fires in grass ecosystems. – Qualification thesis, manuscript copyright.

Dissertation seeking the Ph.D. scientific degree in the specialty 261 – Fire Safety. Lviv State University of Life Safety, Lviv, 2020.

The dissertation is devoted to solving the actual scientific and technical problem revealing the dynamics of development and cessation of fires occurred in grass ecosystems.

Fires in grass ecosystems pose a danger to the natural environment, humans and animals. Their spread causes conflagration in nearby facilities, including forests, farmland, buildings and structures. There occur deaths and injuries due to grass fires. The dry grass ignition can develop with a simple match striken or from a cigarette butt. The dry grass allows fire spreading throughly not only downwind, but also in the opposite direction.

The process of extinguishing grass fires is complex and involves risks to the lives and health of rescuers, the existing methods and techniques of firefighting being not always effective and feasible. It usually requires a significant amount of water, which not always is accessible for delivering to the fire scene in a timely manner.

To successfully extinguish fires in grass ecosystems, an analysis of their occurrence causes and preconditions, factors influencing their occurrence and spread processes as well as their spread process peculiarities, along with fires extinguishing methods and ways has been carried out.

A number of research methods were used, including analysis of literature sources with results of research in the grass fires field, laboratory methods for determining flammable indicators characteristic to combustible materials of plant origin: temperatures of ignition, spontaneous ignition and decay, coefficients of smoke and humidity, thermogravimetric analysis, cluster analysis, correlation analysis. regression analysis, statistical methods of research results processing, experimental methods of researching fires in areas covered with grass vegetation, computer modeling of grass fires origin and

spread processes, experimental methods to extinguish grass fires using the proposed methods and means and those methods justification.

The analysis of research in grass fires field identified the main factors influencing their occurrence and spread: combustible material, weather and climatic conditions and topography. From weather and climatic conditions the most important are wind currents, temperature and relative humidity, precipitation.

Analyzed are the grass ecosystems of Ukraine at which study result identified are three main ecosystem types where fires occur: forest, meadow and steppe. Forest grass ecosystems are elements of forest ecosystems, and their fire hazard should be considered separately and in combination with other components (stands, forest litter, undergrowth and underwood). Therefore, the paper focuses on steppe and meadow ecosystems, formed mainly by grassy vegetation, which in dry weather before and after the end of plants growing season and in the lack of snow cover poses a significant danger.

According to the literature sources analysis results, the characteristics of grass ecosystems, in particular the plants species composition, are obtained and the fire danger is characterized. Since the fire-hazard properties of different plant species differ from each other, and a significant variety of species does not allow studying each representative of that category, for further research purposes there were identified the most common herbaceous plants, widely present in almost all ecosystems in Ukraine and forming groups (and sometimes continuous vegetative coatings at areas: field clover, timothy grass, meadow fescue, tall fescue and creeping wheatgrass).

For the first time, the fire-hazardous properties of each plant were studied, including the dynamics of humidity change during drying, equilibrium humidity, temperature of smothering, ignition and spontaneous combustion, ignition time, ash content and smoke formation coefficients under smother and flame combustion. Studies of these properties were performed within 5 days after collection of plant samples under natural conditions and during natural drying in the laboratory. The smother, ignition and spontaneous combustion temperatures of each of the studied plants are different and decrease with decreasing humidity. On the fifth day of study the ignition temperature ranged from 175°C for clover, 184°C for creeping wheatgrass, 187°C for meadow fescue,

190°C for tall fescue and up to 193°C for meadow thyme, with smother temperature ranging from 223°C for meadow fescue, 247°C for field clover, 259°C for tall fescue, 273°C for creeping wheatgrass and up to 287°C for meadow thyme, while auto-ignition temperature ranging from 326°C for meadow fescue, 342°C for tall fescue, 358°C for field clover, 374°C for creeping wheatgrass, and up to 380°C for meadow thyme. The plants humidity ranged from 8% for tall fescue, 9% for meadow fescue, 10% for creeping wheatgrass, 18% for meadow thyme and up to 20% for field clover. Differences in fire hazard indexes impose different risks of fires spreading to areas covered with various types of herbs.

According to the results of laboratory studies, linear regression dependences of smother, ignition and spontaneous combustion temperatures on humidity were obtained for the studied plants, which dependencies can be used for fire hazard assessing by the value of combustible herbal material moisture content.

In the laboratory, using a derivatograph, for the first time thermogravimetric curves have been obtained to characterize the processes of these materials samples heating and thermal destruction. The TG curves for each of the studied plants differ slightly, but more significant is the difference between their DTA curves that indicating differences in the occurrence of exothermic and endothermic effects, as well as drying, pyrolysis and thermal destruction processes when samples subjected to high temperatures during heating. In the process of thermogravimetric studies, three consecutive stages have been identified, which have different temperature intervals for each of the plants. The temperature differences of the first exothermic effect, characterizing the samples thermal stability were revealed. For tall fescue this indicator is the largest reaching 364°C, lower values being identified for the meadow fescue(347°C), meadow thyme (333°C) and creeping wheatgrass (316°C). And the lowest first exothermic effect temperature is registered for field clover: 300°C.

According to the cluster analysis results, for the first time these plants distribution by groups taking into account their fire hazard indicators was obtained. The closest in terms of fire-hazardous properties are the group, which includes tall fescue and meadow fescue, next joined by creeping wheatgrass. Another group of plants with similar fire-

hazardous properties includes field clover and meadow thyme. It is also established that such indicators as smother and spontaneous combustion temperatures, ignition temperature, ash content and smoke formation coefficients are close, each of those indicators separately allowing to characterize the fire hazard of plants. Humidity in comparison with these indicators is an inverse value and can also be used separately to assess the fire hazard for combustible materials of plant origin.

There were carried out the experimental studies of the processes of field grass fires ignition and spread in the Western Forest-Steppe in the autumn after the vegetation season end. For that study, 10 m long and 3 m wide research plots have been formed, arranged on a grassy area so that the wind streams in the direction of the plot's longer side, and adjacent areas were mowed and moistened to prevent uncontrolled spread of combustion. As a result of field research, the fire front linear velocity value for wind speeds from 1-2 to 6-8 m/s and the grass cover height of 40 cm and 60 cm was established. For areas with grass height of 40 cm the fire velocity increased with increasing wind speed from 2.5 to 3.5 m/min, and for the grass cover height 60 cm that increase was from 3.1 to 12.5 m/min. An increase in velocity with an increase in both of these indicators when the fire spread aligned to wind direction was registered. However, the combustion spread also in the direction opposite to the wind, but at a much lower speed of 0.5-0.7 m/min. It was also found that during the night the ignition not so readily started and the fire spread did not occur due to lower air temperature and increase in its relative humidity.

Computer simulation of grass fires was performed using Wildland-Urban Fire Dynamic Simulator (WFDS) software, based on the physical fire propagation model Fire Dynamic Simulator (FDS) thus used for simulating fires in natural ecosystems and approved upon testing for grass fires. The given grass cover was formed according to the properties of creeping wheatgrass, which is the most common herbaceous plant in Ukraine and has the lowest heat resistance of the studied cereals. It was found that in the case of extremely low moisture content of 6%, as set during extreme drought and after the herbs growing season, the fire front linear velocities are much higher than those obtained during experimental studies and indicate the difficulty of such fires extinguishing. It was found that in the range of grass cover heights of 20-100 cm the

highest speed is registered for 80 cm. According to the simulation results it is established that the dependence of grass fire rate on grass cover height is described by the polynomial regression model $v = 0,0001h^3 - 0,0251h^2 + 1,3591h + 0,7772$ with the approximation reliability coefficient $R^2 = 0,9572$. The wind generally has a positive effect on the fires spread speed, but at speeds of 4 m/s and above the combustion ceased, probably due to the combustible material cooling.

It is analyzed that traditional methods and means of grass fires extinguishing are based mainly on the use of water, mineralized strips creation using appropriate techniques, as well as mechanical impact to tamp down the fire injecting into fire the soil with hand tools. But fires extinguishing in natural ecosystems requires a significant amount of water, that is not always possible to provide, and the use of hand tools requires a significant amount of rescuers and physical effort. Considering that the computer simulations have shown that wind can help extinguish a grass fire, the use of devices generating air currents – portable gasoline blowers and sprayers – has been suggested. Studies of the peculiarities of air flow formation by the sprayer with respect to such device operation modes and deviations from the main air flow direction which indicate the effectiveness of the method using the average engine speed mode with air flow coordinated along to the main direction. It is substantiated that an effective way to extinguish fires in grass ecosystems is the action of air or air-water mixture flows at a speed of 8.1-11.3 m/s at a distance of 0.4-1 m from the device's nozzle its axis directed on the burning material that leads to its cooling and separation of the flame in the combustion seat. Studies on the use of a sprayer during the real grass fire extinguishing by the squads of the State Service for Emergency Situations of Ukraine in Kyiv region confirmed this method effectiveness.

The research results are implemented in the activities of SSESU Main Directorate in Kyiv city, and the dependences obtained in this study and characterizing the development of fires in grassland ecosystems are used to plan and conduct firefighting measures, assess threats to such fires in forests and various areas' facilities.

As a result, the peculiarities of various factors influence on the dynamics of grass ecosystems fires' occurrence and cessation were identified and recommendations for those factors consideration to prevent and extinguish fires have been provided.

Key words: grass fires, combustible material, ignition processes, fire spread, fire extinguishing.

List of publications of the applicant

Articles in the scientific professional editions of Ukraine, which are included in the international scientometric bases:

1. Kuzyk, A. D., Drach, K. L. (2018). Fire danger of the most common herbal bowplants in Western Ukraine. *Fire Safety*, 29, 87-92.
2. Kuzyk, A. D., Drach, K. L., Tovaryanskyi, V. I. (2019). Experimental research of fires in grassy ecosystems. *Fire Safety*, 35, 35-40.
3. Kuzyk, A. D., Drach, K. L., Tovaryanskyi, V. I. (2020). Modeling of processes of occurrence and spread of fires in grass ecosystems. *Fire Safety*, 36, 44-48.

Article in the scientific edition of the EU country, which is included in the Scopus database:

4. Drach, K. L., Kuzyk, A. D., Tovarianskyi, V. I., Yemelianenko, S. O. (2020). Fire dangerous properties of the most common plants of grass ecosystems in Ukraine. *Ecologia Balkanica*, 12 (1), 147–154.

Proceedings certifying the approbation of the dissertation materials:

5. Drach, K. L. (2014). Approaches to the classification of combustible materials of plant origin and their flammable properties. *Problems and prospects for the development of life safety: Proceedings of the IX International. scientific-practical conf. young scientists, cadets and students (April 4, 2014, Lviv)*, 63-64.
6. Drach, K. L. (2015). Features of burning herbs and their classification according to fire-hazardous properties. *Problems and prospects for the development of life safety:*

Proceedings of the X International. scientific-practical conf. young scientists, cadets and students (March 27, 2015, Lviv), 37-38.

7. Drach, K. L. (2016). Comparative characteristics of forest and grass fires. Problems and prospects for the development of life safety: *Proceedings of the XI International. scientific-practical conf. young scientists, cadets and students (March 24, 2016, Lviv), 21-22.*

8. Kuzyk, A. D., Drach, K. L. (2016). Fire hazard of the most common herbaceous plants of the Lviv region. *Fire and man-made safety. Theory, practice, innovation: Proceedings of the International. scientific-practical conf. (October 20-21, 2016, Lviv), 155-157.*

9. Drach, K. L. (2017). Factors influencing the development of fires in natural ecosystems. *Problems and prospects for the development of life safety: Proceedings of the XII International. scientific-practical conf. young scientists, cadets and students (To the 70th anniversary of the University) (March 23-24, 2017, Lviv), 25-27.*

10. Kuzyk, A. D., Drach, K. L. (2019). Fire hazard of herbaceous plants and its impact on ecosystems. *Current state and prospects of development of landscape architecture, gardening, urban ecology and phytomelioration: Proceedings of the International. scientific-practical conf. (On the occasion of the 80th anniversary of the birth of Professor VP Kucheryavy) (April 4-5, 2019, Lviv), 252-254.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ	19
ВСТУП	20
РОЗДІЛ 1. ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА ТРАВ'ЯНИХ ЕКОСИСТЕМ	27
1.1. Загальна характеристика трав'яних екосистем України та їх пожежна небезпека.....	27
1.2. Фактори впливу на виникнення та розвиток пожеж у трав'яних екосистемах.....	30
1.2.1. Горючий матеріал трав'яних екосистем.....	31
1.2.2. Природні фактори впливу на процеси виникнення і поширення пожеж у трав'яних екосистемах.....	44
1.3. Кількісні показники пожежної небезпеки трав'яної екосистеми та її оцінювання.....	50
1.4. Експериментальні та теоретичні дослідження процесів поширення пожеж у трав'яних екосистемах.....	52
1.5. Методи, засоби та способи гасіння пожеж у трав'яних екосистемах.....	55
1.6. Висновки.....	57
РОЗДІЛ 2. ТРАВ'ЯНІ ЕКОСИСТЕМИ УКРАЇНИ ТА ЇХ ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА	58
2.1. Рослинність трав'яних екосистем України та їх пожежна небезпека.....	58
2.1.1. Лісова трав'яна рослинність.....	58
2.1.2. Лучна рослинність.....	60
2.1.3. Степова рослинність.....	62
2.2. Вологість трав'яних рослин та чинники їх формування	64
2.3. Найпоширеніші трав'яні рослини природно-кліматичних зон України.....	67
2.4. Висновки.....	71

РОЗДІЛ 3. ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГОРЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ТРАВ'ЯНИХ ЕКОСИСТЕМ ТА ДИНАМІКА ЇХ ЗМІН	72
3.1. Обладнання та методи лабораторних досліджень.....	72
3.2. Лабораторні дослідження пожежонебезпечних властивостей фрагментів рослин.....	78
3.3. Термічний аналіз фрагментів рослин та його результати.....	97
3.4. Висновки.....	103
РОЗДІЛ 4. ПОШИРЕННЯ ТРАВ'ЯНИХ ПОЖЕЖ ТА ЇХ ПРИПИНЕННЯ	104
4.1. Методи досліджень.....	105
4.2. Експериментальні дослідження процесів виникнення і поширення пожеж у трав'яних екосистемах	109
4.3. Моделювання процесів виникнення і поширення пожеж у трав'яних екосистемах.....	115
4.4. Застосування сучасних методів та засобів запобігання і припинення пожеж у трав'яних екосистемах	129
4.5. Висновки.....	136
ВИСНОВКИ	138
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	140
ДОДАТКИ	152
ДОДАТОК А. Протокол визначення залежності температури займання та самозаймання від вмісту вологості в рослинах трав'яного походження.....	152
ДОДАТОК Б. Протокол випробувань з визначення коефіцієнта димоутворення речовин і матеріалів згідно з ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».....	158
ДОДАТОК В. Методика-програма проведення випробувань «Термічний аналіз трав'яних рослин».....	166

ДОДАТОК Д. Методика-програма проведення випробувань «Визначення залежності температури займання та самозаймання від вмісту вологості в рослинах трав'яного походження».....	173
ДОДАТОК Е. Методика-програма проведення випробувань з визначення коефіцієнта димоутворення речовин і матеріалів згідно з ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».....	179
ДОДАТОК Ж. Протокол проведення випробувань «Термічний аналіз трав'яних рослин».....	185
ДОДАТОК З. Протокол «Визначення швидкості потоку повітря від бензинового обприскувача на відстані від сопла з урахуванням відхилення від основного напрямку	192
ДОДАТОК И. Акт впровадження результатів дисертаційної роботи від Львівського державного університету безпеки життєдіяльності	197
ДОДАТОК І. Акт впровадження результатів дисертаційної роботи від ГУ ДСНС України у м. Києві.....	199
ДОДАТОК Ї. Список опублікованих праць за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	201

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ

ГТК	гідротермічний коефіцієнт
ДСНС України	Державна служба України з надзвичайних ситуацій
КГП	керівник гасіння пожежі
КП	комплексний показник пожежної небезпеки
DTA	Differential Thermal Analysis – диференціальний термічний аналіз
DTG	Differential Thermogravimetry – диференціальна термогравіметрія
FDS	Fire Dynamic Simulator – Симулятор динаміки пожеж
TG	Thermogravimetry – термогравіметрія
WFDS	Wildland-Urban Fire Dynamic Simulator – Симулятор динаміки пожеж в дикій природі і містах

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Пожежі як один з найпоширеніших видів надзвичайних ситуацій техногенного або природного характеру сьогодні є актуальною проблемою в Україні та світі. Згідно статистики, більшість пожеж відбувається з вини людини [115], зокрема необережного поводження з вогнем, різноманітних порушень технологічних процесів тощо. Особливу увагу привертають пожежі у природних екосистемах [11, 73]. Такі пожежі – це неконтрольований процес горіння, який швидко поширюється у природному середовищі. При цьому відбувається горіння лісових насаджень, чагарників і трав'яної рослинності.

В Україні за останні роки поширення набули лісові пожежі, причинами яких нерідко стає горіння трави на територіях, прилеглих до лісових насаджень та сільськогосподарських угідь. Часто причинами пожеж у трав'яних екосистемах стають сільськогосподарські пали, які часто здійснюють без дотримання заходів безпеки. Виникнення та розповсюдження трав'яних пожеж, незважаючи на менші масштаби та наслідки, становить значну небезпеку для населення, природного середовища та економіки країни. Пожежно-рятувальні підрозділи змушені часто реагувати на виклики, пов'язані з горінням трави, рятуючи розташовані поруч ліси та інші об'єкти народного господарства від пожеж. Тенденція до виникнення трав'яних пожеж є стійкою в осінній та весняний періоди. Наймасштабнішими з них є степові пожежі, проте достатньо часто також спостерігаються випадки горіння трави на всій території держави в природних екосистемах, на землях сільськогосподарського призначення та в урбоекосистемах. Значну небезпеку становлять трав'яні пожежі у Чорнобильській зоні на забруднених радіонуклідами територіях, внаслідок яких займаються лісові масиви, а продукти горіння є радіоактивними та становлять небезпеку для населення і рятувальників.

Тому дослідження динаміки пожеж у трав'яних екосистемах, зокрема умов розвитку трав'яних пожеж, чинників впливу на їх виникнення, а також процесів, які при цьому відбуваються, має наукове і практичне значення та спонукає до постановки наукових завдань, які потребують поглибленого вивчення та вирішення.

Пожежонебезпека трав'яних екосистем залежить від багатьох чинників, які зумовлюють відповідні властивості горючого матеріалу рослинного походження та впливають на перебіг процесів горіння. Найважливішими показниками небезпеки рослинного горючого матеріалу є його стан (живий чи сухий) і вологість, а також геометричні та фізичні показники (висота трав'яного покриву, насипна щільність, щільність, пожежне навантаження тощо). Ці показники залежать від умов зростання рослин (кліматичних зон, погодних і ґрунтових умов) та їх видового складу. 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 формується вологісний стан горючих матеріалів рослинного походження, але й відбувається процес поширення вогню. Окрім того, під час трав'яної пожежі зовнішні природні чинники також впливають на її перебіг, зокрема рельєф місцевості та вітер.

Дослідження трав'яних пожеж проводили У. Мелл, О. А. Тарасенко, О. М. Гришин, А. А. Тишков, К. Сімпсон, К. Оверхолт, А. Дімітракопулос, Д. Скотт, Р. Ротермелл, Р. С. Покровський, М. В. Кустов, В. С. Ткаченко, Д. Морван, К. Моїнуддін, С. Клементс та ін. Результати їхніх досліджень дають змогу оцінити небезпеку виникнення пожеж та їх поведінку. Однак у дослідженнях трав'яних пожеж відсутні чіткі залежності динаміки від сукупності різноманітних чинників, а також залежність пожежної небезпеки від видового складу рослин.

Таким чином, для трав'яних екосистем, які різняться за структурою та видовим складом рослин, характерною є мінливість пожежонебезпечних показників горючого матеріалу під впливом погодних умов, яка зумовлює особливості перебігу процесів виникнення та динаміку поширення пожеж, що також залежать від різноманітних чинників, які можуть враховуватися під час пожежогасіння. Тому встановлення закономірностей виникнення і поширення пожеж у трав'яних екосистемах під дією природних та погодних чинників і їх гасіння є актуальним науковим завданням, вирішенню якого присвячена ця робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота проводилась відповідно до науково-дослідної роботи «Динаміка пожеж у

трав'яних екосистемах», державний реєстраційний номер No0119U002941, у якій здобувач був виконавцем.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є встановлення закономірностей зміни показників, які характеризують виникнення та поширення пожеж у трав'яних екосистемах від властивостей горючого матеріалу, природно-кліматичних та погодних умов та їх урахування в процесах пожежогасіння.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити такі завдання:

- провести аналіз процесів виникнення та поширення трав'яних пожеж, їх основних характеристик і чинників впливу;
- дослідити пожежонебезпечні властивості та їх відмінності для найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України;
- експериментально дослідити динаміку поширення трав'яних пожеж в умовах впливу вітру і рельєфу;
- на основі моделювання пожеж у трав'яних екосистемах отримати залежності їх основних параметрів від висоти трав'яного шару та швидкості вітру;
- обґрунтувати застосування ефективних методів гасіння трав'яних пожеж із використанням технічних засобів, які формують потоки повітря.

Об'єкт дослідження – динаміка процесів виникнення, поширення та припинення пожеж у трав'яних екосистемах.

Предмет дослідження – природні та погодно-кліматичні чинники впливу на пожежну небезпеку горючого матеріалу трав'яних екосистем, процеси виникнення, поширення трав'яних пожеж та їх припинення.

Методи досліджень. У дисертаційній роботі були використані методи аналізу результатів наукових досліджень, які стосуються пожеж в природних екосистемах і пожежонебезпечних властивостей речовин і матеріалів; лабораторні методи визначення пожежонебезпечних властивостей горючих матеріалів, зокрема стандартні методи визначення температур займання, самозаймання та тління, показників димоутворення та зольності, ваговий метод визначення вологості, термогравіметричний метод; експериментальні методи дослідження пожеж у

трав'яних екосистемах; методи визначення метеорологічних показників на місцевості, методи статистичного, кластерного, регресійного аналізу та математичної обробки результатів досліджень; метод комп'ютерного моделювання процесів займання та поширення трав'яної пожежі; експериментальні методи дослідження параметрів потоків повітря, сформованих механічними пристроями.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в отриманні залежностей, які характеризують процеси виникнення і поширення трав'яних пожеж, під впливом природних та погодно-кліматичних умов і сформованих під їх впливом пожежонебезпечних властивостей горючого матеріалу рослинного походження, а також обґрунтовують методи і способи їх гасіння.

Вперше:

- експериментально встановлено зростання пожежонебезпеки у процесі природного висушування для найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України – костриці лучної, костриці очеретяної, тимофіївки лучної, пирію повзучого та конюшини польової, зокрема отримано залежності зниження температур займання, самозаймання і тління із зниженням вологості зразків, а також визначено неоднакові показники пожежної небезпеки кожної з таких рослин;

- за результатами термогравіметричного аналізу встановлено, що для досліджених зразків найпоширеніших трав'яних рослин втрата маси під дією температури відбувається неоднаково, а максимумами першого екзотермічного ефекту змінюються від 300°C для конюшини польової до 364°C для костриці очеретяної;

- за результатами комп'ютерного моделювання у програмі WFDS отримано залежності швидкостей поширення фронту трав'яної пожежі від вітру і висоти трав у екосистемах та встановлено, що за екстремальної вологості горючого матеріалу 6% цей показник є найбільшим для висоти трав'яного покриву 40 см та швидкості вітру 3 м/с і становить 27,5 м/хв, а найнижчим – за відсутності вітру та висоти трав'яного покриву 60 см;

- за результатами експериментальних досліджень та математичного моделювання обґрунтовано метод гасіння трав'яних пожеж з використанням переносних пристроїв, які формують потік повітря чи повітряно-водяної суміші зі

швидкістю 8,1-11,3 м/с на відстані 0,4-1 м від сопла для охолодження осередку пожежі та відриву полум'я.

Набули подальшого розвитку:

- методи лабораторних досліджень пожежної небезпеки горючих матеріалів рослинного походження;

- методи визначення параметрів трав'яної пожежі за результатами її комп'ютерного моделювання у WFDS;

Удосконалено:

- методи прогнозування динаміки пожеж у трав'яних екосистемах на основі експериментальних досліджень та комп'ютерного моделювання у WFDS.

Практичне значення і реалізація отриманих результатів

Отримані під час виконання дисертаційної роботи результати дають змогу здійснювати порівняльну оцінку пожежонебезпеки трав'яних екосистем залежно від стану та виду горючого матеріалу, планувати заходи для зниження небезпеки трав'яних пожеж, прогнозувати та враховувати особливості процесів поширення пожеж під час їх ліквідації пожежно-рятувальними підрозділами.

Результати роботи впроваджено в діяльність підрозділів Головного управління ДСНС України у м. Києві для планування та реалізації заходів з ліквідації трав'яних пожеж.

Отримані результати також впроваджено в освітній процес Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, зокрема на кафедрі пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт в навчальну дисципліну «Пожежна тактика» та на кафедрі екологічної безпеки в навчальну дисципліну «Пожежі в природних екосистемах», а саме теоретичні положення та методичні підходи до визначення чинників пожежної небезпеки, особливості процесів виникнення та поширення трав'яних пожеж.

Особистий внесок здобувача полягає у аналізі літературних джерел, присвячених дослідженню пожеж у природних екосистемах, пожежонебезпечних властивостей речовин і матеріалів, формулюванні наукового завдання, мети та завдань, об'єкта і предмета досліджень, самостійному плануванні й проведенні

експериментальних досліджень пожеж у трав'яних екосистемах, плануванні та проведенні лабораторних досліджень пожежонебезпечних властивостей горючих матеріалів рослинного походження, формуванні вхідних параметрів для комп'ютерного моделювання та участь у його реалізації з використанням програмного забезпечення WFDS, узагальненні та систематизації, математичній обробці та інтерпретації результатів досліджень,

Участь автора у роботах, опублікованих у співавторстві: у роботі [1] проведено аналіз літературних джерел, присвячених дослідженню пожеж у природних екосистемах, здійснено відбір найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України, здійснено планування і проведено лабораторні дослідження їх пожежонебезпечних властивостей, сформульовано частину висновків; у роботі [2] сплановано і проведено експериментальні дослідження у польових умовах; у роботі [3] сформовано вхідні параметри для комп'ютерного моделювання та проведено моделювання, визначено параметри пожежі за результатами моделювання, обґрунтовано вплив вітру на поширення трав'яної пожежі; у роботі [4] проведено термогравіметричні дослідження фрагментів найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України, сформульовано частину висновків; у роботі [8] проведено лабораторні дослідження пожежонебезпечних властивостей трав'яних рослин; у роботі [10] проаналізовано пожежну небезпеку трав'яних рослин.

Апробація результатів досліджень. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались на наукових семінарах кафедри екологічної безпеки, Навчально-наукового інституту цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, на Науково-технічній раді Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, а також на наукових конференціях: IX Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності» (Львів, 2014), X Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності» (Львів, 2015), XI Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та

перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності» (Львів, 2016), Міжнародна науково-практична конференція «Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації» (Львів, 2016), XII Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності» (до 70-річчя заснування університету) (Львів, 2017), Міжнародна науково-практична конференція «Сучасний стан та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекотлогії та фітомеліорації (з нагоди 80-ліття від дня народження професора В.П. Кучерявого)» (Львів, 2019).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 10 наукових праць, з яких 3 статті у наукових виданнях України, включених до Переліку фахових видань, 1 стаття у закордонному науковому виданні ЄС, що входить до міжнародної наукометричної бази Scopus, та 6 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та 10 додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 151 сторінку та включає 51 рисунок, 24 таблиці та 129 літературних джерел.

РОЗДІЛ 1. ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА ТРАВ'ЯНИХ ЕКОСИСТЕМ

1.1. Загальна характеристика трав'яних екосистем України та їх пожежна небезпека

Екосистема – це сукупність живих організмів, які пристосувалися до спільного проживання в певному середовищі існування, утворюючи з ним єдине ціле. Екосистеми поділяють на природні і штучні [25].

Залежно від природних і кліматичних умов можна виділити три групи (рис. 1.1) і ряд типів природних екосистем. В основі класифікації для наземних екосистем лежить тип природної (вихідної) рослинності, для водних екосистем – гідрологічні та фізичні особливості [58].

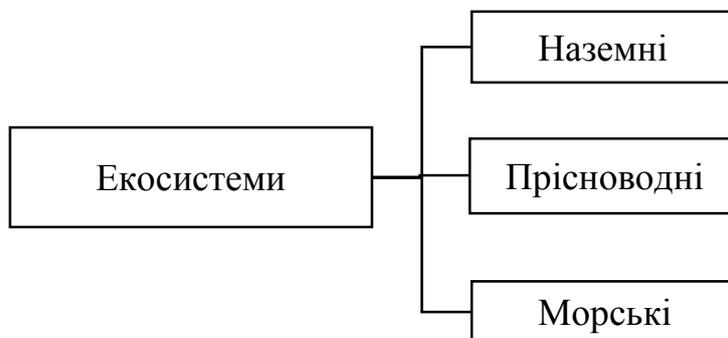


Рисунок 1.1 – Поділ природних екосистем на групи

Очевидно, що в Україні наявні екосистеми усіх груп, проте з точки зору пожежної небезпеки найбільш небезпечними є лише наземні екосистеми, хоча трапляються і пожежі надводної рослинності.

Наземні екосистеми розділяють на декілька типів: тундра (арктична і альпійська); бореальні хвойні ліси (тайга); листяні ліси помірної зони (широколистяні ліси); степ помірної зони; чапараль (райони з дощовою зимою і посушливим літом); тропічні злаковники і савана; пустеля (трав'яниста і чагарникова); напіввічнозелений сезонний тропічний ліс (райони з вираженими вологим і сухим сезонами); вічнозелений тропічний дощовий ліс [57]. Зі згаданих вище, на території України трапляються три типи екосистем: бореальні хвойні ліси (північні області), листяні ліси помірної зони (північні та центральні області) та степи помірної зони (південні області).

Пожежі в природних екосистемах України є досить поширеним явищем. До таких пожеж відносять лісові та торф'яні пожежі, пожежі на відкритих територіях (ландшафтні, степові, трав'яні), а також пожежі на сільськогосподарських угіддях (полях зернових і технічних культур тощо) [55]. За аналогією з лісовою пірологією [11], що досліджує пожежі в лісах, науку, яка вивчає пожежі на відкритих природних територіях, називають степовою пірологією [74].

Трав'яні пожежі чи пали часто переходять в лісові і навпаки. А низова лісова пожежа може мати вигляд трав'яної [22]. Пожежна небезпека трав'яних екосистем має сезонний характер і залежить від природно-кліматичних чинників та погодних аномалій. На розповсюдження таких пожеж істотним є вплив різноманітних факторів: фізичних властивостей горючого матеріалу, швидкості вітру та нахилу поверхні, якою поширюється пожежа. Ці фактори зумовлюють інтенсивність горіння, висоту полум'я та його нахил до поверхні поширення пожежі [47].

Особливу увагу привертають трав'яні екосистеми. На планеті Земля їх сумарна площа – 52.5 млн кв. м, що становить 40,5% території усієї суші, за винятком Антарктиди і Гренландії [119]. У другій половині ХХ ст. близько 80-86% охоплених вогнем територій природних екосистем планети становили трав'яні екосистеми [102]. В Україні трав'яні екосистеми представлені переважно сіножатями та пасовищами, частка яких становить близько 13% площі всіх земель (рис. 1.2), степи, частка яких станом на 2018 рік зменшилась із 40% до 3 %, а також перелоги на колишніх орних землях [54].

Пожежі у трав'яних екосистемах виникають також доволі часто і в окремих випадках можуть завдавати значних збитків [73]. Наприклад, збитки від пожежі в заповіднику Асканія-Нова, що сталася 7 червня 2014 року, склали близько 4 млн грн. За даними Управління з питань надзвичайних ситуацій Херсонської облдержадміністрації площа цієї пожежі становила близько 200 га, а збитки, завдані пожежею, оцінені з розрахунку 20 тис. грн на 1 га. Пожежею знищено близько 200 видів рідкісних рослин, серед яких ковила, перистий устюк, лишайники. Пожежно-рятувальними підрозділами ДСНС України і працівниками заповідника за допомогою пожежної техніки пожежу вдалося ліквідувати за 6 годин [7], тому

актуальним є створення систем виявлення прогнозування розповсюдження пожеж у природних екосистемах [70].

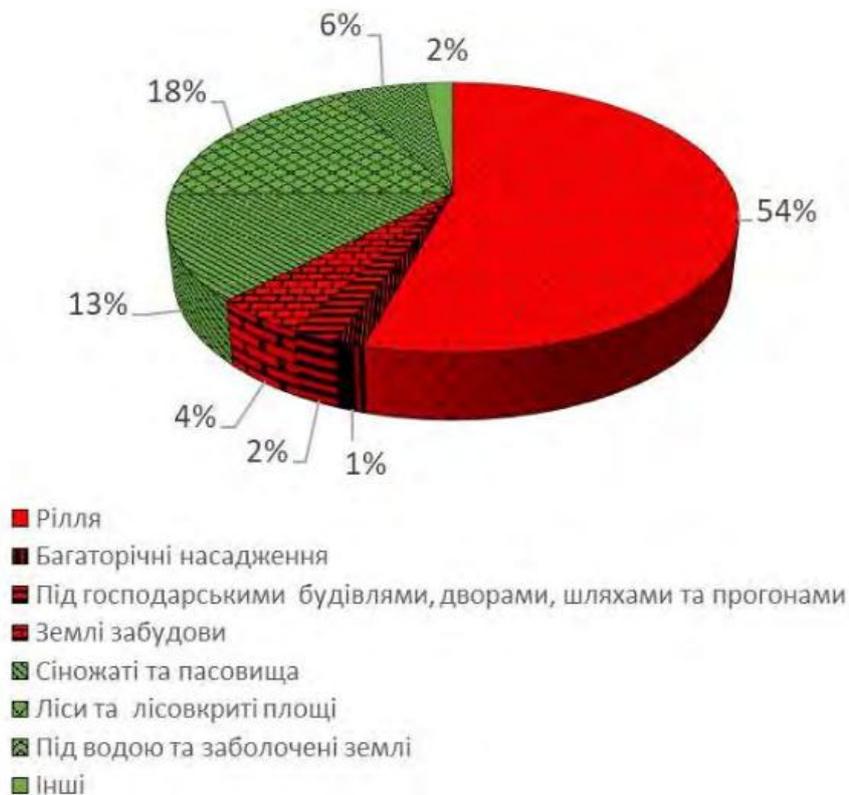


Рисунок 1.2 – Розподіл земель на території України за типами [54]

В Україні не ведеться окрема статистика трав'яних пожеж, попри те, що на відкритих територіях, більшість з яких вкрита трав'яною рослинністю, щороку виникає значна кількість пожеж (табл. 1.1) [69].

Таблиця 1.1

Основні показники статистики пожеж на відкритих територіях в Україні за 2013–2016 роки [69] та за 10 місяців 2020 р.* [4]

Статистичний показник	Рік				
	2013	2014	2015	2016	2020*
Кількість пожеж та загорянь, од.	4390	5698	10475	10893	51468
Загинуло, людей	8	9	14	15	0
Травмовано, людей	12	14	19	13	0

Основними причинами виникнення пожеж у трав'яних екосистемах України є випалювання сухої рослинності, недотримання заходів пожежної безпеки та підпали, тобто людський фактор.

У цій ситуації територіальні органи ДСНС зобов'язані разом з органами влади, лісокористувачами та власниками земельних ділянок і торфовищ вжити у сферах відповідальності вичерпних заходів щодо захисту природних екосистем від пожеж.

1.2. Фактори впливу на виникнення та розвиток пожеж у трав'яних екосистемах

На процеси виникнення та розвиток пожеж у трав'яних екосистемах впливають різноманітні чинники, з яких можна виокремити три ключові: погодно-кліматичні, рельєф місцевості та горючий матеріал рослинного походження (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Фактори впливу на пожежі в природних екосистемах (фото автора)

Під дією цих факторів формуються складові стандартного трикутника горіння в природних умовах [127].

1.2.1. Горючий матеріал трав'яних екосистем

Горючим матеріалом у трав'яних екосистемах є фрагменти органічного походження (трав'яних рослин, іноді чагарників, мохів) у живому або мертвому стані, що здатні займатися і горіти. Горючий матеріал характеризується різноманіттям видів, кількості, розмірів, форми, розміщення та структури [21].

При дослідженнях пожежної небезпеки рослин з метою виявлення їх особливостей враховують багато факторів. До прикладу, рослини поділяють за відношення до вікових груп на:

- ювенільні – перебувають в стані первинного спокою (насіння, цибулини);
- виргінільні – від проростків до дорослих особини, що не мають насіння;
- генеративні – дорослі особини, що мають насіння;
- сенільні – сухі рослини [64].

Пожежне навантаження, яке утворюють горючі матеріали, залежить від природно-кліматичних умов та інших умов формування екосистеми і може становити до 7-14 т сухої трави на гектар [77, 48]. Пожежна небезпека горючого матеріалу трав'яних екосистем залежить від його фізичних та хімічних властивостей, просторових характеристик, сформованих в умовах впливу зовнішніх чинників, аналіз яких дає змогу спрогнозувати можливі варіанти розвитку пожежі з одночасним урахуванням погодно-кліматичних та топографічних факторів.

Комплексний підхід до аналізу горючого матеріалу рослинного походження першочергово передбачає його поділ на три великі групи за рівнями розміщення: підземний, наземний, надземний.

Класифікація типів рослинності і визначення їх характеристик є досить складним завданням, виконання якого потребує значних затрат часу, однак це реально. Яскравим прикладом виконання подібної роботи є створення «Альбому типів рослинності (з фотографіями) регіону Скелястих гір США» [123].

Наземний горючий матеріал властивий більше лісовим екосистемам, оскільки є сукупністю живих і мертвих фрагментів, розташованих на верхніх ярусах деревостану, включаючи стовбури, гілки, листя та інші компоненти. У трав'яних екосистемах дерева можуть зрідка траплятися, проте є нехарактерними та істотно не впливають на трав'яні пожежі [35, 37, 38].

До наземного горючого матеріалу відносять усі матеріали, розміщені безпосередньо на поверхні ґрунту або у безпосередній близькості до нього: живі трав'яні рослини, мертві трав'яні рослини та їхні фрагменти. Вони становлять основне пожежне навантаження під час трав'яної пожежі, характеризуються меншою компактністю, аніж підземний горючий матеріал і їм притаманні властивості, що сприяють швидкому поширенню горіння. До наземного горючого матеріалу відносимо також низькорослі чагарники висотою до 2 м, які нерідко трапляються у трав'яних екосистемах. Наземний горючий матеріал зазнає впливу вітрів і отримує тепло від сонця, що сприяє його швидкому висушуванню після опадів. Вітер також зумовлює зміну напрямку та швидкості розповсюдження фронту полум'я трав'яних пожеж, яка коливається в досить широких межах. Більшість пожеж у трав'яних екосистемах розпочинається із займання наземного матеріалу, тому саме цей вид горючого матеріалу потребує найретельнішого дослідження.

Всі займисті матеріали, що залягають в товщі ґрунту, є підземним горючим матеріалом (коріння, частково перегнилі рештки рослин тощо). Через високу щільність, переважно високий вміст вологи та недостатній вміст кисню горіння цих матеріалів є можливим, проте характеризується повільним розповсюдженням, наявністю тління і може не враховуватися для оцінювання і прогнозування поведінки трав'яних пожеж, однак за умов пожежі на торфовищах підземний горючий матеріал необхідно брати до уваги, а гасіння пожеж у цьому випадку значно ускладнюється.

Відомі дослідження пожежної небезпеки окремих видів рослин для США [117], країн Середземномор'я [95], Південної Африки [124]. В Україні проводились дослідження пожежонебезпечних властивостей трав'яних рослин лісових екосистем [38].

Основними властивостями горючого матеріалу в трав'яних екосистемах є: суха маса, розміри і форма, густина і насипна щільність, структура, хімічний склад, вологість. Від вологості горючого матеріалу залежить здатність до його займання [88].

Вплив особливостей горючого матеріалу рослинного походження на розвиток та поширення пожежі відображено на рис. 1.4.

Суха маса – це маса абсолютно сухого (висушеного в печі) матеріалу. Ця величина характеризує пожежне навантаження і значно залежить від виду горючого матеріалу. Суха маса на одиницю площі може коливатися у великому діапазоні – від 0,5 до 2,5 т/га для трав, а для чагарників – від 1 до 40 т/га.

Важливе значення має хімічний склад горючого матеріалу, зокрема його зольність, яка істотно впливає на ранні стадії процесу займання, оскільки мінеральні речовини не горять та не сприяють горінню сумішей [120].

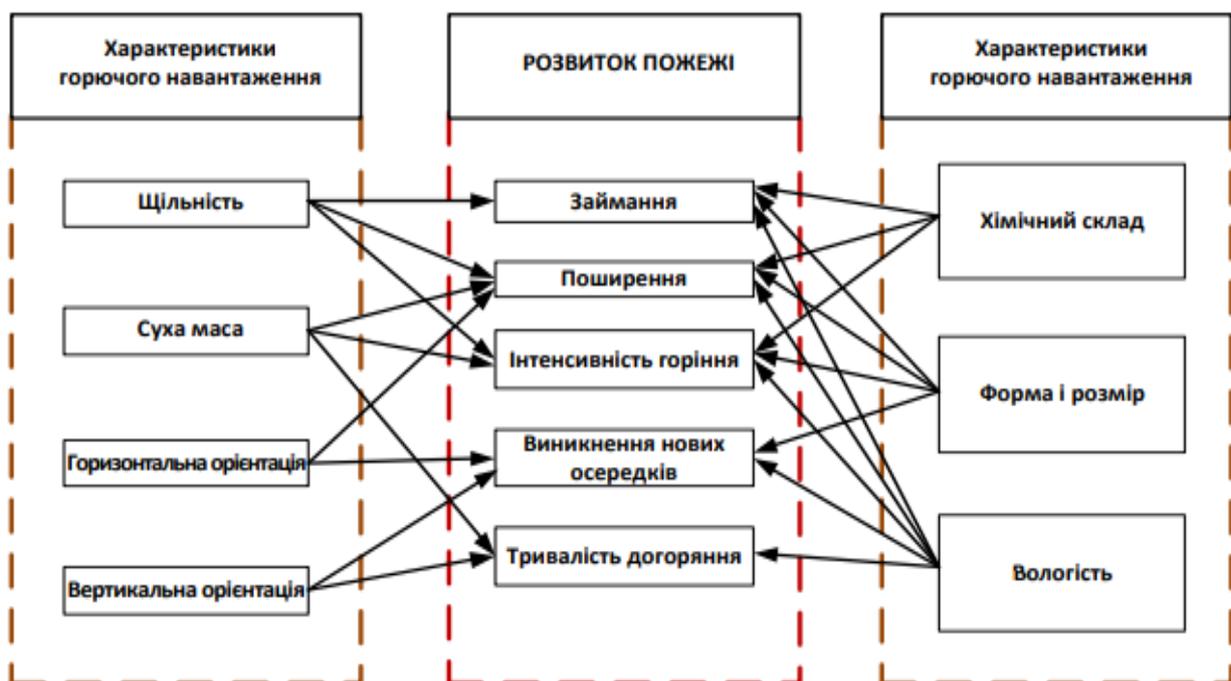


Рисунок 1.4 – Вплив властивостей горючого матеріалу на розвиток пожежі [43].

Відмерлі та живі фрагменти рослин класифікують за розмірами. Їх поділяють на 4 класи [81]:

- 1) суха трава та фрагменти рослин з діаметром стебла до 6 мм;
- 2) хмиз і сухі гілки дерев діаметром 6-25 мм;

- 3) гілки дерев діаметром 25-75 мм;
- 4) великі гілки та колоди діаметром понад 75 мм.

Моделі горючого навантаження рослинного походження враховують співвідношення відмерлих фрагментів різних розмірів (1-4 класи) та живих рослин. У трав'яних екосистемах наявні фрагменти першого та другого класів, однак за наявності поодиноких дерев можуть траплятися й горючі матеріали інших класів. Слід зазначити, що горючі матеріали рослинного походження різняться за пожежонебезпечними властивостями і неоднаково поширюють горіння. А окремі параметри пожежі, що характеризують її різні аспекти, можуть описуватися більш або менш адекватно. Тому для дослідження процесів горіння в природних екосистемах необхідно класифікувати горюче навантаження за допомогою стандартизованих моделей. Основні характеристики моделей горючого навантаження у природних екосистемах наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Характеристика моделей горючого навантаження природних екосистем [81]

Модель	Горючі матеріали	Суха маса, т/га				Товщина горючого шару, м	Вологість, %
		1 клас	2 клас	3 клас	Живі		
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Моделі трав'янистої рослинності</i>							
1	Низькі трави (до 50 см)	1,5	0	0	0	0,5	12
2	Трави та лісова підстилка	4,2	2,2	1,1	1	0,5	15
3	Високі трави (1 м)	6,4	0	0	0	1	25
<i>Моделі кущів та чагарників</i>							
4	Чапараль (2 м)	10	8,1	4	10,3	2	20
5	Низькорослі кущі	2	1,2	0	4,2	0,7	20
6	Кущі та дрібні лісоматеріали	3	5,5	4,3	0	1	25
7	Тропічні високі трави та чагарники	2,3	4	3,1	0,9	1	40

Таблиця 1.2 (продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Моделі горючого навантаження, представленого дрібними лісоматеріалами</i>							
8	Листя, хвоя, хмиз	3,1	2,1	5,3	0	0,1	30
9	Листя, хвоя, хмиз, гілки дерев	5,9	1	0,3	0	0,1	25
10	Листя, хвоя, хмиз, великі гілки	6,1	4,2	10,1	4,1	0,3	25
<i>Моделі горючого навантаження, представленого великими лісоматеріалами</i>							
11	Дрібні колоди	3,1	10	13	0	0,3	15
12	Середні колоди	8,3	31	35	0	0,5	20
13	Великі колоди	15,2	50,5	62	0	1	25

Для оцінювання параметрів трав'яної пожежі найбільше значення має суха маса наземного горючого матеріалу, зокрема фрагменти відмерлих та живих рослин. Повне горюче навантаження місцевості може бути значним, проте частина матеріалів не можуть поширювати полум'я у зв'язку із розташуванням у важкодоступних місцях або високою вологістю.

Моделі горючих матеріалів використовують для побудови карт з використанням, зокрема, засобів дистанційного зондування. У Європі найбільш поширеними є моделі трав, чагарників і ґрунтової підстилки [85, 82].

У роботах А. Д. Кузика [37] наведено детальний аналіз моделей лісових пожеж, представлений у роботах Р. Вебера [128]. У свою чергу, моделі, що стосуються лісових пожеж поділено на два класи:

- моделі поширення пожежі;
- моделі оцінки умов виникнення горіння.

Максимальний масовий вміст (у %) фрагментів горючого матеріалу кожного класу для кожної з чотирьох груп моделей наведено на рис. 1.5.

У випадку трав'яних пожеж актуальною здебільшого є перша група моделей. Як видно з табл. 1.2 та рис. 1.5 найбільший вміст фрагментів відмерлих рослинних

матеріалів дрібного розміру (до 100%) є характерним саме для цієї групи моделей горючого навантаження.

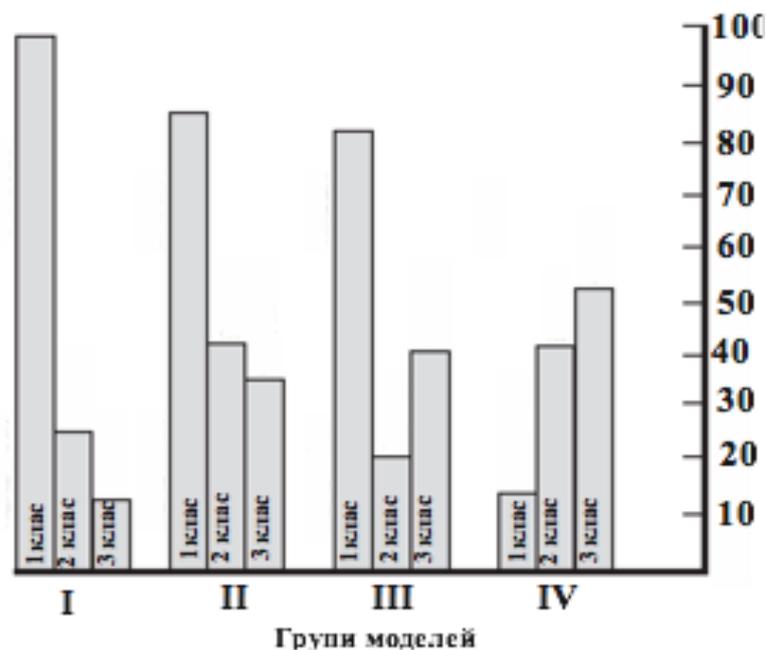


Рисунок 1.5 – Максимальний масовий вміст фрагментів горючого матеріалу для груп моделей горючого навантаження [81]

Тому зосередимо увагу на моделях горючого навантаження, які відносяться до першої групи – трьох видів (див. табл. 1.2) трав'яних рослин та їх фрагментів, кожен з яких має відмінності, які впливають на процеси горіння і поширення пожеж.

Модель 1 відображає здебільшого низькі трави висотою до 0,5 м (клас 1), які характеризуються невисокою щільністю та вертикальною орієнтацією, можуть легко займатися і швидко поширювати вогонь. Дерев та чагарники на місцевості, представленій цією моделлю, трапляються доволі рідко (рис. 1.6). Така структура горючого матеріалу у випадку незначних перепадів висот на місцевості сприяє безперешкодному руху пожежних автомобілів безпосередньо до місця пожежі, що дозволяє ефективно здійснювати вибір місця розташування сил і засобів гасіння пожеж.

В Україні місцевості з відповідним пожежним навантаженням розташовані переважно у степовій зоні (південні області) [78], але трапляються і в інших частинах країни.

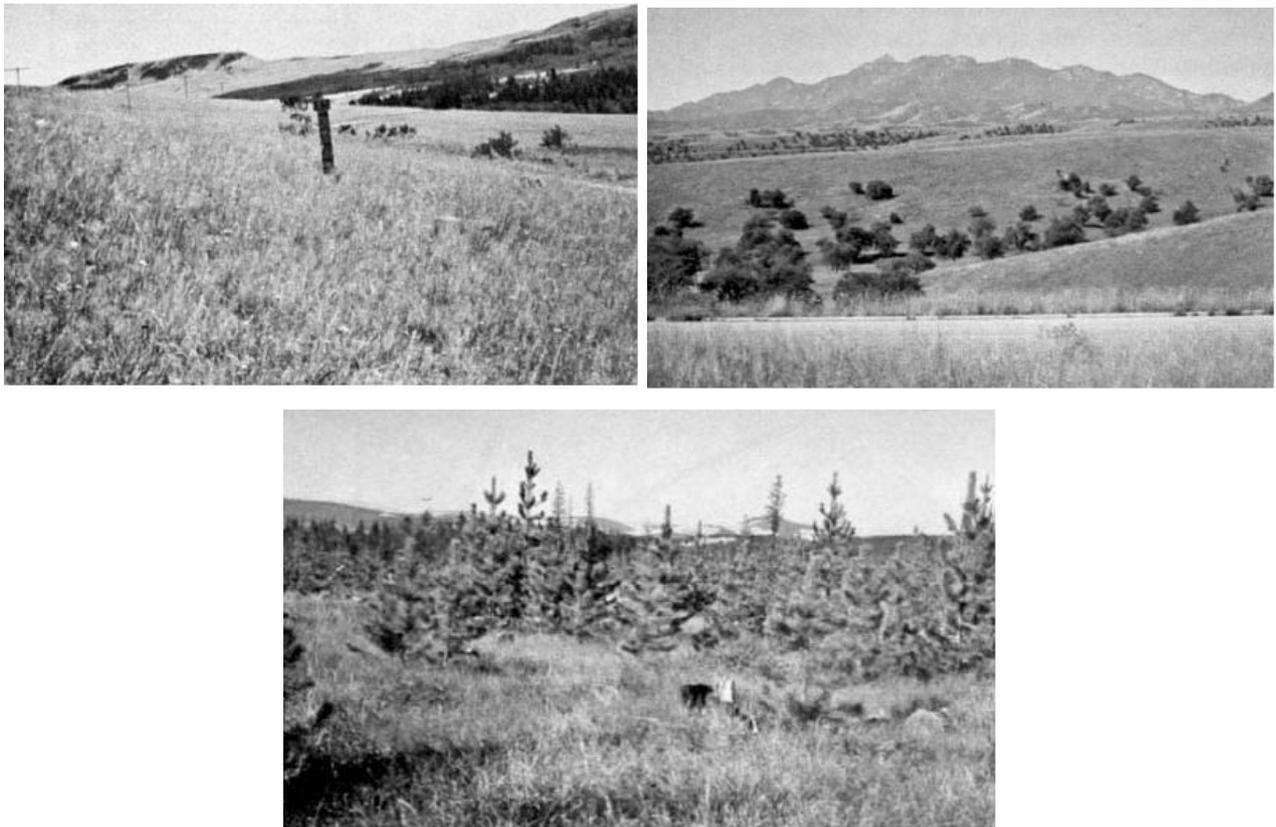


Рисунок 1.6 – Приклад місцевості, представленої моделлю 1 [81]

Модель 2 описує горючий матеріал, характерний для зони лісостепу і досить поширений на території України [20]. Для такого матеріалу, окрім трав'яних рослин, у його структурі наявні дрібні фрагменти дерев (листя, кора, дрібні гілки), які дещо сповільнюють поширення вогню, але збільшують його інтенсивність (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Приклад місцевості, представленої моделлю 2 [81]

Найхарактернішим прикладом такої моделі в природних умовах є відкриті лісові галявини. Середня висота таких трав, як і в попередній моделі, становить 0,5 м, проте, окрім фрагментів класу 1, до складу горючого матеріалу входять опале листя, насіння дерев, дрібні гілки, а також деякі чагарники.

У випадку пожеж на ділянках з горючим матеріалом моделі 2 слід врахувати, що для ліквідації таких пожеж можливість доїзду аварійно-рятувальної техніки є обмеженою.

Горючий матеріал моделі 3 становлять високі трави (до 1 м) та незначна частка чагарників і дерев. Ця модель більш характерна для саван та тропіків, проте на території України в степовій зоні (Херсонська та Миколаївська області) трапляються території з високими травами (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Приклад місцевості, представленої моделлю 3 [81]

Можливість доїзду аварійно-рятувальної техніки до місця пожежі на таких ділянках є здебільшого ускладнена. Горіння такого горючого матеріалу дуже швидко поширюється, особливо у вітряну погоду і може охоплювати значні території [20].

Окрім толерантності до зволоження та багатства ґрунтів, основними ознаками, від яких залежить пожежонебезпека трав'яних рослин, можна вважати товщину стебла та листків, їх м'ясистість [67], а також видову належність [53].

Однією з властивостей горючого матеріалу, що характеризує форму, є відношення площі поверхні до об'єму – безрозмірна величина, що характеризує пожежну небезпеку. Із збільшенням цієї величини пожежна небезпека горючого матеріалу зростає, оскільки матеріал у цьому випадку буде тоншим, що сприятиме його швидшому висиханню, займанню та горінню. Найбільшим відношення площі поверхні до об'єму буде для трав (1 клас) і може становити від 2780 м^{-1} (трави з круглими стеблами діаметром до 2 мм) до 20000 м^{-1} (трави з плоским листям). Для гілок і стовбурів чагарників (клас 2) цей показник є меншим і становить від 1070 м^{-1} (гілки діаметром 2-6 мм) до 2780 м^{-1} (гілки діаметром 0-2 мм) [109]. У зв'язку з наявністю в трав'яній екосистемі різноманітних рослин, для проведення моделювання беруть усереднене значення цього параметра, а саме 9770 м^{-1} [96, 108]. Оскільки таке велике співвідношення площі поверхні та об'єму властиве травам, які мають у структурі плоскі листки, це зумовлює потребу меншої кількості тепла для випаровування вологи і нагрівання до температури займання горючих матеріалів, які відносяться до 1 класу і краще займаються та підтримують горіння. Це виражається в тому, що за зростання цього показника відбувається збільшення швидкості поширення фронту пожежі, зменшується час, необхідний для займання, зростає масова швидкість вигорання, проте зменшується час горіння [124].

Розміри і форма фрагментів горючого матеріалу впливають на поширення пожежі та виникнення нових осередків займання. Дрібні та плоскі частинки під час горіння швидко займаються, однак продукують незначну кількість тепла і не можуть підтримувати горіння впродовж тривалого часу. Тому при переміщенні потоками повітря навіть на незначні відстані такі фрагменти встигають охолонути і згаснути. У випадку займання часток циліндричної форми вони здатні горіти довше і у випадку підняття потоком повітря можуть спричинити займання ділянки, яка не вкрита вогнем.

Насипна щільність характеризує відстань між частинками горючого матеріалу. На відміну від густини, яку визначають для суцільного матеріалу як відношення маси до об'єму, ця величина означає масу неспресованого матеріалу, який займає одиницю об'єму. Насипна щільність впливає на процеси займання і швидкість поширення полум'я. Із зростанням насипної щільності швидкість поширення вогню та масова швидкість вигорання збільшуються, а час горіння зменшується [124].

Насипна щільність залежить від взаємного розташування у просторі трав'яних рослин, яке можна охарактеризувати за допомогою шкали О. Друде, яка виділяє такі групи [51]: soc – трави зникаються надземними частинами; sor3 – дуже щільні рослини; sor2 – щільні трави; sor1 – відносно щільні трави; sp – рідкі трави; sol – одиночні трави.

Товщина горючого шару – один із показників, який пов'язаний із насипною щільністю горючого матеріалу. Цей показник дає змогу розподілити горючий матеріал за орієнтацією. За вертикальної орієнтації товщина горючого шару буде більшою. Типовим прикладом шару горючого матеріалу з вертикальною орієнтацією є прямостоячі трав'яні рослини (наприклад, злаки) та низькорослі чагарники. Горизонтальна орієнтація горючого матеріалу властива полеглим травам (наприклад, осокові) та чагарникам і зумовлює дещо меншу товщину горючого шару та збільшення насипної щільності. На графіку (рис. 1.9) наведено залежності товщини горючого шару матеріалу рослинного походження від сухої маси. Для трав'яних екосистем (трави і чагарники) відзначено лише вертикальну орієнтацію, середні товщини шару трав становлять 0,25 – 0,63 м, а чагарників – від 0,5 до 1,5 м. Горюче навантаження загалом зростає, хоча для трав висотою 0,25 м воно може бути дещо більшим, ніж для товщини горючого шару 0,63 м.

Структура горючого матеріалу визначає розподіл його фрагментів різного розміру, хімічного складу та вологості в горизонтальному та вертикальному напрямках. У [1] встановлено, що на характер розвитку пожежі впливають не тільки неоднорідності макромасштабу, але і малі (некартографовані) неоднорідності шару лісових горючих матеріалів.

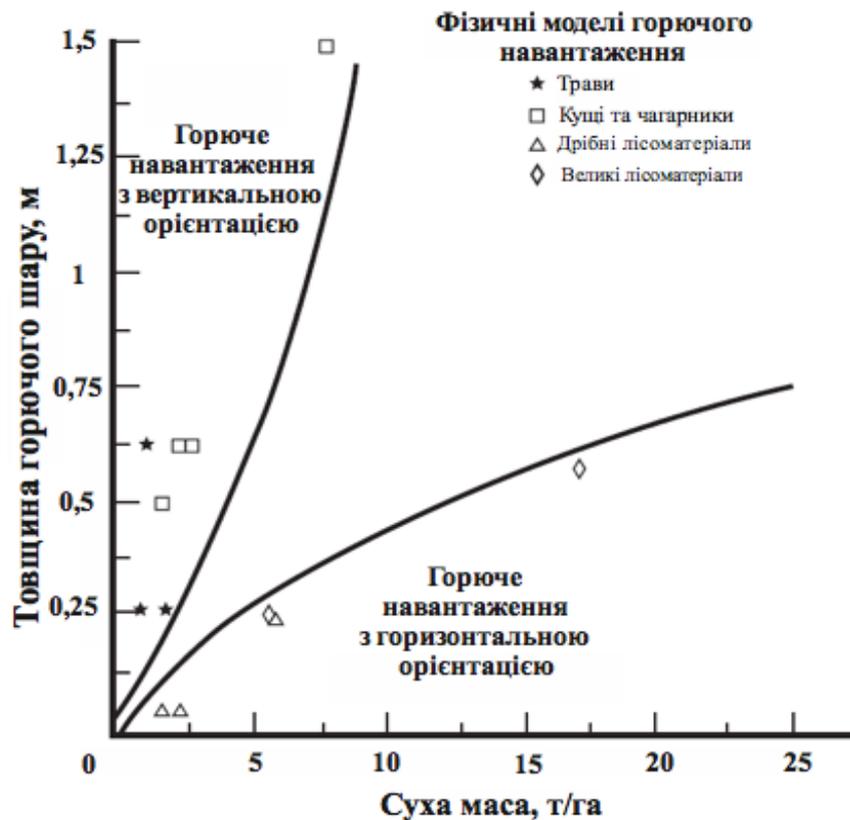


Рисунок 1.9 – Залежність товщини горючого шару від сухої маси для різних видів горючих матеріалів [81]

У структурі трав'яної екосистеми найбільше значення для поширення має кількість у ній горючого матеріалу 1 класу на одиницю певної площі та його вологість, оскільки ці показники є ключовими для визначення напрямку та швидкості поширення можливої пожежі. За достатньої кількості та рівномірного горизонтального розміщення трав'яного покриття пожежі можуть поширюватися за напрямком вітру на значні площі.

Хімічний склад горючого матеріалу трав'яних екосистем представлений органічними та мінеральними речовинами, які можуть відповідно підсилювати чи послаблювати горіння. Для аналізу пожежонебезпечних властивостей розглядають домінуючі рослини у складі екосистеми [95]. У складі сухої маси трав'яних рослин в середньому міститься біля 45% вуглецю, 42% кисню, 6,5% водню, 1,5% азоту та 0,5% золи [79]. Хімічні сполуки, які входять до складу трав родин злакових і бобових, наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Хімічний склад трав'яних рослин у % до сухої маси [75]

Трав'яні рослини	Зола	Білки	Вуглеводи		Лігнін	Ліпіди, дубильні речовини
			Целюлоза	Геміцелюлоза та ін.		
Злакові	5-10	5-12	25-40	25-35	15-20	2-10
Бобові	5-10	10-20	25-30	15-25	15-20	2-10

Рослини родини злакових мають дещо менший вміст білків порівняно з бобовими, але містять більше вуглеводів, зокрема геміцелюлозу. Інші хімічні сполуки в складі рослин цих родин загалом приблизно однакові.

До складу золи входять мінеральні речовини. Їх присутність у складі горючого матеріалу сприяє зменшенню здатності поширювати горіння. А значна кількість летких речовин – ефірних олій, характерна для деяких видів рослин і чагарників та здатна посилювати горіння [19].

Вологість горючого матеріалу є властивістю, яка істотно впливає на пожежну небезпеку. Вологість – це кількість води у матеріалі, виражена у відсотковому співвідношенні її маси до сухої маси матеріалу (абсолютна вологість). Іноді визначають також і відносну вологість як відсоткове співвідношення маси води до сумарної маси горючого матеріалу та води, що міститься у ньому. Щоб охарактеризувати значення вологості рослинного горючого матеріалу переважно використовують абсолютну вологість. Для відмерлих фрагментів рослин характерна вологість становить 0-30%, а для живих – 30-300% залежно від біологічного виду та стадії його життєвого циклу [49] (табл. 1.4).

Таблиця 1.4

Вологість рослинного горючого матеріалу трав'яних екосистем
на різних стадіях життєвого циклу [49]

Вегетаційний стан	Вологість, %
Молоді трави та листя чагарників на ранній стадії життєвого циклу (березень-травень)	300
Зрілі трави та листя чагарників, що продовжують ріст (травень-червень)	200
Зрілі трави та листя чагарників, що припинили ріст (червень-липень)	100
Зрілі трави та листя чагарників, у яких виявляються ознаки зміни забарвлення (для трав – липень-вересень)	50
Повністю сухі трави та листя чагарників (жовтень-листопад)	до 30

Горючий матеріал класу 1, зокрема трави та листя чагарників, є ключовою причиною поширення пожеж у трав'яних екосистемах. В процесі оцінювання пожежної небезпеки цього класу одним із важливих аспектів є визначення співвідношення живих та мертвих (сухих) рослин, оскільки мертві рослини не лише легко займаються і підтримують горіння, але й забезпечують енергією процеси висушування живих рослин. Для того, щоб місцевість можна було охарактеризувати як пожежонебезпечну, необхідна наявність в структурі її горючого матеріалу не менше 30% мертвих рослин [49].

Трав'яні рослини у зв'язку з особливостями структури, хімічного складу, просторового розташування та вмісту вологи мають неоднакові пожежонебезпечні властивості за однакових кліматичних та метеорологічних показників середовища. У трав'яних екосистемах, як і в інших природних екосистемах, їх можна поділити на пожежонебезпечні, слабкозаймісті та вогнестійкі [39]. До пожежонебезпечних трав відносять насамперед різноманітні види злакових, для яких характерним є високе та тонке стебло-соломинка, яке швидко висихає на корені після завершення вегетаційного періоду, особливо за умов посухи. Пожежонебезпечними, проте в

меншій мірі у порівнянні із злаковими, є рослини родини осокових. Осокам характерна дещо вища температура займання, порівняно зі злаками, але в сухому стані вони швидко займаються і поширюють горіння, оскільки мають тонкі довгі листки і зростають здебільшого щільними групами. Вогнестійкі рослини, на відміну від пожежонебезпечних та слабкозаймистих, мають товстіші стебла та листя, що сповільнює їх висушування, ускладнюючи займання і горіння. До них належать трав'яні рослини рядів: бобовоцвіті, губоцвіті, зонтичні, плауновидні, папоротеподібні, хвощевидні, деякі розоцвітні, вересоцвітні та жовтецевоцвітні [39]. Тому для кожної трав'яної екосистеми актуальним є встановлення пожежонебезпечних показників рослин, які входять до неї та становлять значну частку.

Зауважимо, що під час пожеж у природних екосистемах не всі наявні види горючого матеріалу вигорають повністю. Проте для трав'яних пожеж експериментально встановлено, що ступінь вигорання трав під час пожеж є загалом значним і може досягати 100% [127].

Таким чином, на виникнення пожежі та її розвиток впливають суха маса, розмір і форма, хімічний склад і вологість, а на інтенсивність і поширення горіння найбільший вплив мають насипна щільність, суха маса, структура, розмір та форма, хімічний склад і вологість.

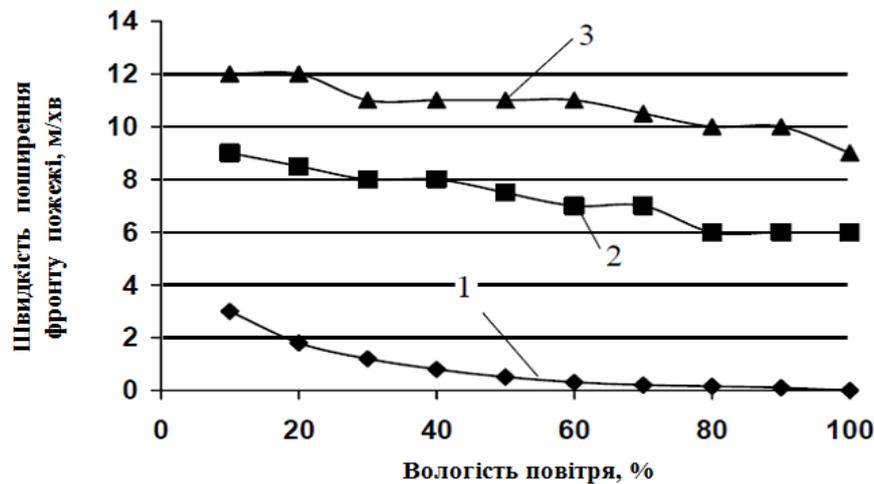
1.2.2. Природні фактори впливу на процеси виникнення і поширення пожеж у трав'яних екосистемах

До природних факторів впливу на пожежну небезпеку трав'яних екосистем, її динаміку упродовж року, відносять клімат, погоду та рельєф місцевості.

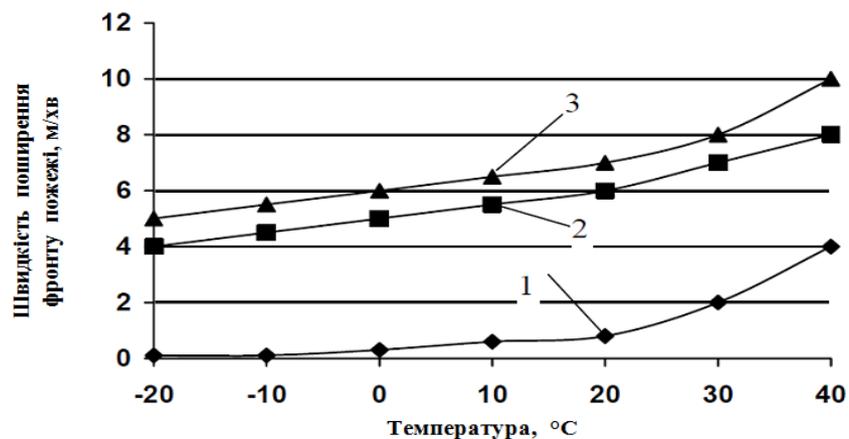
Погодно-кліматичні фактори. Основними погодно-кліматичними факторами впливу на виникнення та розвиток пожеж у трав'яних екосистемах є: температура повітря, відносна вологість повітря, опади, швидкість вітру [84].

Кожен з таких факторів зумовлює не лише розвиток рослин, але й вологісний стан горючого матеріалу, а також процеси займання і горіння.

Вологість повітря та його температура є визначальними факторами впливу на стадії виникнення пожежі. У [49] досліджено вплив цих показників на швидкість поширення пожеж у трав'яних екосистемах на різних етапах їх розвитку. Цей вплив описують залежності лінійної швидкості поширення фронту трав'яної пожежі на різних етапах її розвитку від вологості та температури повітря (рис. 1.11).



а



б

Рисунок 1.11 – Залежність швидкості поширення фронту пожежі трави від вологості (а) та температури (б) повітря на різних етапах пожежі [49]:

1 – 0-10 хв; 2 – 10 – 30 хв; 3 – після 30 хв

З наведених залежностей бачимо, що на параметри трав'яної пожежі після 10 хвилин її розвитку температура і вологість повітря значним чином не впливають, проте у перші 10 хвилин з моменту її виникнення підвищення вологості і пониження температури призводять до сповільнення швидкості поширення її фронту. У спекотні

та посушливі дні (температура повітря понад 20°C, а вологість нижча за 70%) виникають сприятливі умови для виникнення пожеж у трав'яних екосистемах [31].

Зауважимо, що в різних природних та кліматичних умовах України в окремій місцевості та окремі сезони спостерігається іноді додатний, а іноді від'ємний кореляційний зв'язок між температурою повітря і його відносною вологістю [63]. Також вологість повітря і температура істотно залежать від опадів. Очевидно, що недавні опади знижують температуру повітря, підвищують його відносну вологість, а відтак суттєво знижують пожежну небезпеку трав'яних екосистем.

Вітер є визначальним кліматичним фактором розвитку пожежі. На етапі виникнення він може запобігти виникненню пожежі, проте на подальших етапах сприяє поширенню вогню. Швидкість вітру впливає на форму пожежі (із збільшенням швидкості зростає витягнутість у напрямку фронту), а зміна напрямку вітру практично завжди спричиняє збільшення площі горіння через зміну фронту. Додатковим фактором небезпеки є здатність розповсюдження вітром іскор і палаючих частинок – фрагментів рослин. Як і у випадку лісових пожеж, збільшення швидкості вітру призводить до зростання швидкості поширення фронту трав'яної пожежі (рис. 1.12). Середня швидкість вітру на території України влітку варіює в діапазоні від 3 до 6 м/с, а середнє значення становить біля 5 м/с. Взимку загалом вітри сильніші та досягають в середньому 5-8 м/с.

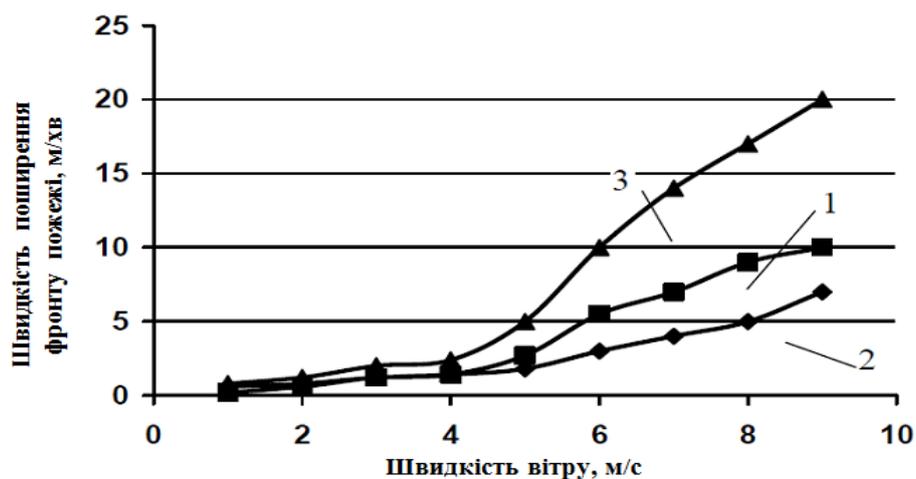


Рисунок 1.12 – Залежність швидкості поширення фронту горіння від швидкості вітру для різних видів пожеж у природних екосистемах [49]:

1 – степова пожежа, 2 – лісова низова пожежа, 3 – лісова верхова пожежа

Вплив місцевих природних умов на швидкість вітру виявляється у дещо меншій його середній 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, тобто Донецької і Приазовської височин, берегів морів і водосховищ [8].

Виділити найбільш пожежонебезпечні регіони за метеорологічними показниками можна також за допомогою гідротермічних коефіцієнтів. Гідротермічний коефіцієнт – це відношення річної кількості опадів до випаровуваності (кількості вологи, яка може випаруватися за даних температурних умов) за той самий період.

$$\text{ГТК} = \frac{\sum p}{0,1 \sum t}, \quad (1.1)$$

де $\sum p$ – сума атмосферних опадів; $\sum t$ – сума температур за період з середньою добовою температурою вищою за $+10^\circ\text{C}$. Нормальним вважається значення ГТК = 1. За менших його значень місцевість вважається посушливою. В Україні найбільш посушливими регіонами є АР Крим, Херсонська область, південні частини Одеської, Миколаївської та Запорізької областей (ГТК = 0,5...0,7), а саме в цих регіонах найвища ймовірність виникнення пожеж у природних екосистемах. Також посушливими є Дніпропетровська, Кіровоградська, Луганська, Донецька області та північні частини Одеської, Миколаївської і Запорізької областей (ГТК = 0,7...1). Київська, Черкаська, Сумська, Вінницька, Харківська області вважаються недостатньо вологими та теплими регіонами (ГТК = 1...1,3), решта ж території України, в тому числі і Львівська область, є вологою, помірно теплою зоною (ГТК = 1,3...2), де ймовірність виникнення пожеж у трав'яних екосистемах значно менша [3].

Також для поточної оцінки пожежонебезпеки полів, лісів, степів та торфовищ використовують комплексний показник пожежної небезпеки КП, який розраховують за методикою В.Г. Нестерова [54] за формулою

$$\text{КП} = \sum_1^n K_v \cdot T \cdot (T - t), \quad (1.2)$$

де K_v – коефіцієнт, що враховує погодні фактори, T – температура повітря $^\circ\text{C}$, t – температура точки роси, $^\circ\text{C}$. Розрахунок КП здійснюють за метеорологічними

даними [65], розпочинають після останнього дощу і проводять за даними кожного дня (n) близько полудня. Результати кожного дня додають і значення показника зростає аж до наступного дощу. Зменшення пожежної небезпеки відбувається у випадку опадів, що випали за добу, та залежить від сумарного значення КП станом на цю ж добу. За випадіння значної кількості опадів цей показник стає рівним нулю і відлік починається знову після завершення опадів. У випадку значного зростання значення КП зниження загрози пожеж відбувається у разі опадів.

Таким чином, для оцінювання пожежної небезпеки окремої території, вкритої трав'яною рослинністю, та динаміки трав'яних пожеж необхідно використовувати показники, які враховують кількість опадів, вологість та температуру повітря і характеризують вплив метеорологічних і кліматичних факторів на процеси формування пожежонебезпечного стану екосистеми.

Рельєф місцевості. Вплив рельєфу місцевості на виникнення і розвиток пожеж може бути як прямим (безпосередньо сприяти або перешкоджати поширенню горіння), так і непрямим (впливати на інші фактори пожежної небезпеки, наприклад, вітер, а також формувати кліматичні зони, пов'язані з висотою місцевості над рівнем моря, зумовлюючи видовий склад рослин і параметри наземного рослинного шару). Для більш детального аналізу виділимо основні топографічні компоненти, які впливають на розвиток пожеж в природних екосистемах, а саме: наявність схилів та їх експозиція; наявність нерівностей поверхні; наявність протипожежних перешкод.

За наявності ухилу, нагріте від поверхні землі повітря піднімається вгору вздовж схилу, створюючи постійні висхідні вітрові потоки, які сприяють швидшому випаровуванню вологи і збільшенню ймовірності виникнення пожежі. Аналогічні процеси спостерігаються і під час горіння: нагріті до високої температури продукти горіння піднімаються вгору схилом і швидко прогривають розташовану вище місцевість, завдяки чому пожежа поширюється значно швидше. У нічний час ситуація буде протилежна. Повітря охолоджується і опускається вниз, тому вночі наявні низхідні вітри. Також слід зазначити, що швидкість

розповсюдження вогню на схилі з ухилом 15° збільшується в два рази у порівнянні з горизонтальною площиною [26].

Швидкість низхідних вітрів рідко буває вищою за 3-5 км/год, тоді як висхідні мають швидкість 10-15 км/год. Із зростанням крутизни схилу швидкість вітру зростає. Зміна напрямку вітру відбувається поступово, тому із заходом сонця на схилах можна спостерігати безвітряну погоду, яка може тривати від однієї до кількох годин [26].

Експозиція схилу є важливою характеристикою, оскільки від неї залежить кількість отриманої сонячної радіації, яка спричиняє нагрівання і висушування горючого матеріалу рослинного походження. Найбільше тепла отримують схили, орієнтовані в південному або південно-західному напрямку. Краще прогрівання сприяє швидшому зменшенню вологості та зростанню температури. Відтак, південні та південно-західні схили є більш пожежонебезпечними порівняно зі схилами іншої експозиції [26].

Нерівності поверхні також впливають на формування повітряних потоків. Їх значення дещо менше, ніж схилів, проте також спричиняє відмінності умов нагрівання та висушування рослинного горючого матеріалу.

Протипожежними перешкодами у природних екосистемах можуть бути: скелі, ділянки з нульовою рослинністю; річки, озера, струмки, болота та ділянки ґрунту з підвищеною вологістю; автомобільні шляхи, залізничні колії; ділянки місцевості із горючим матеріалом значної вологості; попередньо вигорілі території. Їх вплив на поширення трав'яних пожеж істотний і повинен враховуватись для запобігання виникнення та гасіння. Проте перешкоди з горючим матеріалом значної вологості за відповідних умов та після завершення і до початку вегетаційного періоду можуть стати провідниками горіння.

Із зміною висоти над рівнем моря можуть формуватися трав'яні екосистеми, характерні для відповідної природно-кліматичної зони, наприклад, альпійські луки. Характерні особливості таких екосистем зумовлюють відмінності їх пожежонебезпечного стану: видового складу, густоти рослин в угрупованнях,

геометричних і фізичних показників, а також настання й завершення вегетаційного періоду, зволоження внаслідок опадів і висихання.

Тому сукупний вплив погодно-кліматичних факторів та рельєфу з урахуванням рослинності на процеси виникнення і поширення пожеж, є важливим і повинен враховуватись під час оцінювання пожежної небезпеки трав'яних екосистем.

1.3. Кількісні показники пожежної небезпеки трав'яної екосистеми та її оцінювання

Показники пожежної небезпеки екосистеми – це кількісні відображення поєднання факторів пожежної небезпеки окремої території у визначений момент часу [11]. За їх допомогою можна оцінити ймовірність виникнення пожежі, її параметри та вживати заходів для запобігання пожежам. До прикладу, В. Стівен [126] за абсолютною вологістю – відношення маси води до маси речовини у сухому стані, класифікує пожежну небезпеку лісової підстилки. Також слід зауважити, що при горінні рослин, кількість виділеного тепла залежить, в першу чергу, від їх вологості і теплотворної здатності [66, 5]. Окрім наведених вище показників ГТК та КП, які характеризують вплив погодно-кліматичних факторів на виникнення пожежі, виділяють також низку інших показників, зокрема різноманітні індекси: займистості, горючості, поширення полум'я, теплоутворення та вологості.

Індекс займистості відображає ймовірність того, що контакт горючого матеріалу з джерелом запалювання призведе до займання, і кількісно виражається у відсотках від 0 до 100. Найбільший вплив на значення цього індексу мають погодні умови і стан горючого матеріалу. Залежно від отриманих значень індекс може бути класифікований як низький (0-5); середній (6-15); високий (16-29); дуже високий (30-45) та надзвичайно високий (більше 45).

Індекс горючості відображає потенційну кількість сил і засобів (особового складу), яку необхідно задіяти для локалізації пожежі. Аналогічно попереднім показникам, виділяють такі індекси горючості: низький (0-13); середній (14-27); високий (28-41); дуже високий (42-53) і надзвичайно високий (більше 53).

Індекс поширення полум'я кількісно відображає ймовірну швидкість поширення фронту пожежі (у м/хв) і залежить від погодних умов та моделі горючого навантаження. Залежно від значень буває: низьким (0-3); середнім (3-10); високим (10-15); дуже високим (15-20) і надзвичайно високим (більше 20).

Індекс теплоутворення виражається густиною теплового потоку (у кВт/м²) фронту полум'я. Як і у вищеописаних випадках розрізняють такі значення цього показника: низький (до 1); середній (1-2); високий (2-3); дуже високий (3-4) і надзвичайно високий (більше 4).

Індекс вологості кількісно виражає кількість годин, яку необхідно затратити на те, щоб різниця вологості між горючим навантаженням і атмосферою зменшилася на 63% [100].

Актуальним є оцінювання небезпеки виникнення та поширення трав'яних пожеж з урахуванням одночасно декількох факторів: які характеризують стан рослин у складі екосистеми та зовнішні (погодні умови). Дослідження впливу різноманітних погодних факторів на пожежі в природних екосистемах описані в низці робіт. У [56] наведено залежності впливу 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 на пожежу після 10 хв її розвитку температура і вологість повітря 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 за 70 %) виникають сприятливі умови для виникнення пожеж у природних екосистемах. У моделі McArthur, розробленій для визначення індексу пожежної небезпеки австралійських трав'яних екосистем, цей показник залежить від вологості горючого матеріалу, вираженого відсотком сухості, температури і вологості повітря та швидкості вітру. Удосконалена версія моделі додатково враховує пожежне навантаження, виражене масою горючого матеріалу на одиниці площі, та дає змогу визначити величину вологості горючого матеріалу. Розроблення моделі проведене за результатами аналізу значної кількості пожеж у

природних екосистемах та погодних умов під час їх виникнення та розвитку. Формули для обчислення індексу пожежної небезпеки та визначення швидкості поширення фронту пожежі наведені в [116]. Реалізація цієї моделі є дуже простою та здійснюється з допомогою кишенькового калькулятора [90]. Ця модель у [122] була адаптована для визначення небезпеки трав'яних пожеж у США.

Отже, для оцінювання небезпеки виникнення пожеж у трав'яних екосистемах України доцільно запозичити зарубіжний досвід оцінювання небезпеки, зокрема застосовувати індекс пожежної небезпеки.

1.4. Експериментальні та теоретичні дослідження процесів поширення пожеж у трав'яних екосистемах

Одним із важливих напрямів досліджень пожеж у трав'яних екосистемах є встановлення закономірностей їх поширення залежно від виду, стану та просторового розміщення горючого матеріалу рослинного походження, метеорологічних умов навколишнього середовища. [15]. Саме параметри пожежі дають можливість оцінити реальну загрозу від неї та врахувати у процесі гасіння. В умовах реальної трав'яної пожежі проведення досліджень є складним і недоречним, оскільки вимагає попередньої підготовки, а пожежа потребує гасіння. Тому вивчають переважно наслідки пожеж або проводять експериментальні пали у природному середовищі [74]. Часто ділянки з сухою травою з метою формування якісних пасовищ чи використання для збирання кормів піддають дії вогню [106]. Відпали трав та інших рослин здійснювалися і у минулому, проте результати таких дій можуть бути як корисними для господарської діяльності, так і шкідливими [105]. Результати польових досліджень процесів поширення трав'яних пожеж та їх наслідків наведені в наукових працях вітчизняних та зарубіжних вчених. Найбільш відомими є експериментальні польові дослідження трав'яних пожеж в Австралії під впливом різноманітних факторів, зокрема властивостей горючого матеріалу, погодних умов та висоти полум'я [87]. У цій роботі наведено багато важливих результатів, які характеризують процеси поширення пожеж. Зокрема експериментально встановлено залежності швидкості поширення фронту пожежі від

виду горючого матеріалу (двох видів трав), його фізичних параметрів (пожежного навантаження, насипної щільності, висоти, вологості), а також швидкості та напрямку вітру. Виявлено, що істотний вплив на поширення має не напрям, який змінювався під час експерименту, а середня швидкість вітру. В [89] описані результати експериментальних досліджень трав'яних пожеж у США, штат Техас. На дослідній ділянці зростали декілька типів трав. Досліджувалися такі параметри пожежі, як швидкість поширення фронту пожежі, температура полум'я, тепловий потік та випаровування води. За допомогою метеостанцій виявлено виникнення потоку повітря, спричиненого пожежею. Розподіл температур по вертикалі вказує на те, що більші значення цього показника є на більших висотах, що спричинене нахилом фронту полум'я у напрямку поширення. У [125] наведено результати досліджень 40 експериментальних пожеж у США (штати Вашингтон і Каліфорнія) в трав'яних екосистемах. Описано параметри горючого матеріалу (висота трав'яного покриву, пожежне навантаження, відношення площі поверхні до об'єму, вологість), швидкість вітру та ухил місцевості. Визначено швидкість поширення фронту пожежі, ширину зони горіння, висоту полум'я.

Але вогневі дослідження в природних екосистемах є небезпечними та потребують погодження зі службами відомств, якими здійснюється нагляд щодо захисту довкілля. Тому актуальними методами досліджень трав'яних пожеж є математичне та комп'ютерне (імітаційне) моделювання, використання яких дає змогу отримувати достовірні результати щодо параметрів та передбачати поведінку таких пожеж.

На сьогодні описано значну кількість різноманітних моделей поширення пожеж у природних екосистемах. Найвідомішою є модель Ротермелла [121], яка дає можливість визначати параметри трав'яної пожежі. Моделі поширення контурів ландшафтних пожеж (в тому числі й трав'яних), описані в [71, 72], дають можливість прогнозувати переміщення контура та планувати процес ліквідації. Подібні моделі для прогнозування поширення лісових пожеж наведені в [18]. У [1, 13, 28, 60 та 93] також описані моделі для низових пожеж у лісах. Якщо основним горючим матеріалом низової лісової пожежі є суха трава, а повнота лісу незначна, то процеси

поширення та результати моделювання будуть дуже схожими до трав'яних пожеж на відкритих ділянках. Певний вплив може мати вітер та нерівномірність розподілу вологості.

У [6, 11, 14] основу таких моделей контурів пожеж покладено здебільшого принцип Гюйгенса-Френеля для поширення хвиль, який полягає в тому, що кожна точка контура є джерелом хвиль, які поширюються у напрямі перпендикуляра до кривої, яка описує цей контур. Проте моделі поширення контура пожежі є здебільшого емпіричними і потребують уточнення окремих параметрів для використання у різних умовах. Тому більшу увагу привертають фізичні моделі, в основу яких покладено рівняння математичної фізики процесів тепломасообміну в умовах пожежі. Математичне моделювання теплового потоку від полум'я у [45]. У [91] встановлено, що емпіричні моделі для пожеж у природних екосистемах працюють в діапазоні вхідних даних і загалом не можуть застосовуватися поза їх межами, а фізичні дають добрі уявлення про механізми поширення горіння, залежність поведінки пожежі від стану горючого матеріалу та можуть використовуватися для отримання спрощених моделей оперативного прогнозування поведінки вогню за умови належного рівня розробки моделі.

Математичний опис однієї з фізичних моделей наведено в [114]. Розв'язування систем рівнянь моделі здійснюється чисельними методами. До таких моделей належить і Wildland-Urban Fire Dynamics Simulator (WFDS) [108, 109, 129], розроблена як програмне забезпечення, що є розширенням для відомої програми FDS, яке застосовують для досліджень пожеж у природних екосистемах, зокрема й особливостей поширення трав'яних пожеж [111].

Отже, результати експериментальних досліджень пожеж у трав'яних екосистемах дають можливість встановити основні характеристики пожеж та застосувати їх для прогнозування поширення, моделювання для визначених природно-кліматичних та погодних умов. Це дає можливість планувати застосування сил і засобів для успішного пожежогасіння.

1.5. Методи, засоби та способи гасіння пожеж у трав'яних екосистемах

Пожежі у трав'яних екосистемах є різновидом пожеж на відкритій місцевості. Їх гасіння здійснюється пожежно-рятувальними підрозділами, відомчими та добровільними пожежними формуваннями. Така діяльність підрозділів ДСНС України регламентується [17] Статутом дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж, згідно з яким КГП під час гасіння пожеж на відкритій місцевості зобов'язаний: визначити вірогідність поширення пожежі на населені пункти та інші об'єкти; проводити розвідку, провести розрахунки та визначити необхідність залучення додаткових сил та засобів. Основним методом гасіння таких пожеж є створення мінералізованої смуги, реалізація якого покладається на підрозділ та додаткові сили і засоби під керівництвом КГП спільно з представниками адміністрації.

У [17] виділяють засоби і методи гасіння пожеж на відкритій місцевості, які не відрізняються від тих, що застосовуються для гасіння низових пожеж. До них відносять збивання полум'я хлопавками (гіллям), заливання водою з ранцевих вогнегасників та подавання води від автоцистерн і мотопомп. У разі швидкого поширення пожежі рекомендується застосовувати відпалювання, а рубежами для пуску вогню вибирати дороги, стежки, річки або мінералізовані смуги, створені за допомогою ґрунтообробної техніки і шанцевого інструменту. Відпалювання рекомендується проводити у вечірні години з обов'язковим вартуванням локалізованої кромки пожежі протягом ночі і наступного дня. В окремих випадках є можливим застосування авіації. Розрахунок сил і засобів для таких пожеж проводиться за загальноприйнятою методикою.

Основними методами боротьби з трав'яними пожежами в Австралії є гасіння водою з флангів та фронту, якщо це можливо, створення протипожежних розривів для запобігання поширенню вогню, а також застосування зустрічного відпалу [86].

Розрахунок витрат води для гасіння пожеж у природних екосистемах виконано в [104].

Гасіння пожеж у трав'яних екосистемах відбувається переважно за недостатнього забезпечення водою. Тому актуальними є методи та засоби, які

дозволяють забезпечити достатню кількість води, мінімізувати її витрати, або і взагалі не застосовувати воду. Цього можна досягти використанням автоцистерн, які доставляють значну кількість води, використанням перекиривних стволів та інших способів і засобів дозування води. Одними із методів зменшення витрати води є застосування хімічних речовин, які покращують змочування горючого матеріалу та сприяють його швидшому гасінню.

Для гасіння пожеж у природних екосистемах розробляють і застосовують нові засоби і методи. У США запропоновано використовувати для гасіння вогнегасні кулі, які вибухають від нагрівання полум'ям, внаслідок чого вогнегасний порошок, який міститься в них, під дією ударної хвилі гасить пожежу. Такі кулі можна скидати безпосередньо у вогонь трав'яної пожежі з допомогою безпілотного літального апарата. Експериментальні дослідження довели ефективність такого методу для гасіння невеликих трав'яних пожеж [83].

В [100] запропоновано та обґрунтовано швидке створення протипожежних бар'єрів за допомогою вибуху для локалізації та гасіння трав'яних пожеж.

Проте використання методів, які базуються на вибуху, є небезпечним і тому їх доцільно застосовувати лише за умови безпеки для осіб, які здійснюють гасіння пожежі чи перебувають поблизу.

В [32] для гасіння трав'яних пожеж рекомендують використовувати ранцеві лісові вогнегасники, які вміщують 20 л води, а також повітродувки, які містять незначний запас води і можуть формувати повітряно-водяний струмінь для гасіння, або й не використовувати воду взагалі. Рекомендується формувати струмінь з повітродувки на відстані до 1 м від полум'я, оскільки на більших відстанях буде виникати зворотній ефект – збільшення інтенсивності горіння.

Таким чином, поряд із традиційними засобами, методами і способами гасіння пожеж у трав'яних екосистемах актуальним є застосування таких, що забезпечать збільшення ефективності пожежогасіння, зменшать витрати води та трудомісткість цього процесу.

1.6. Висновки

1. Результати проведеного аналізу свідчать, що пожежі трав'яних екосистем в Україні – досить поширене явище. Такі пожежі завдають значних збитків народному господарству, довкіллю і населенню, знищують цінні і рідкісні види рослин, а ліквідація пожеж є небезпечною та потребує залучення великої кількості сил та засобів.

2. Основними факторами, що впливають на виникнення і розвиток пожеж в трав'яних екосистемах, є погодно-кліматичні умови, рельєф і властивості горючого матеріалу, причому перших два фактори визначають стан третього.

3. Виникнення і розвиток на початковій стадії усіх пожеж є неможливим без наявності 1 класу горючого матеріалу (фрагментів рослин з малим діаметром стебла), причому інтенсивнішому розвитку горіння сприяє вертикальна орієнтація горючого навантаження. За тривалої посухи вологість трав знижується найінтенсивніше і в результаті горіння ці рослини вигорають повністю.

4. Дослідження показників пожежної безпеки трав'яних рослин є актуальним і дає можливість прогнозувати швидкість поширення пожеж у природних екосистемах, а також розробляти та удосконалювати засоби із запобігання їх виникненню. Для оцінювання пожежної безпеки трав'яних екосистем потрібно встановити показники, які зумовлюють займання рослинного матеріалу та поширення горіння.

5. Для оцінювання безпеки поширення трав'яних пожеж потрібно провести експериментальні дослідження та моделювання для оцінювання параметрів пожежі.

6. Для боротьби з пожежами, які виникають у трав'яних екосистемах, актуальним завданням є вибір та обґрунтування таких методів, засобів і способи, які забезпечать ефективне гасіння в умовах недостатнього забезпечення водою та людськими ресурсами.

РОЗДІЛ 2. ТРАВ'ЯНІ ЕКОСИСТЕМИ УКРАЇНИ ТА ЇХ ПОЖЕЖНА НЕБЕЗПЕКА

Горючим матеріалом трав'яних екосистем є фрагменти рослин. У зв'язку з природно-кліматичними особливостями конкретної ділянки їх пожежонебезпечні властивості, просторове розташування різняться між собою та можуть змінюватися у часі впродовж року. Істотний вплив на пожежну небезпеку має вид рослини, який зумовлює фізико-хімічні властивості фрагментів горючого матеріалу, входження рослин у склад угруповань, властивості просторового розташування, які впливають на пожежне навантаження. Зміни, зумовлені сезонами, а також погодно-кліматичні умови, впливають на пожежну небезпеку ділянок трав'яної екосистеми, зумовлюючи її динаміку.

2.1. Рослинність трав'яних екосистем України та їх пожежна небезпека

В зв'язку зі значним різноманіттям рослин у трав'яних екосистемах, виникає необхідність їх класифікації та узагальнення з урахуванням пожежної небезпеки.

Територія України має значну протяжність з півдня на північ і з заходу на схід. Трав'яна рослинність може входити до різних екосистем (ліси, степи, луки, пасовища та ін.), які зумовлюють структуру та видовий склад трав.

Відмінність кліматичних показників та території країни спричиняє відмінності фенологічних фаз розвитку рослин, зокрема початок і завершення вегетаційного періоду, а також моменти настання та тривалість періодів літньої посухи та опадів. Все це зумовлює мінливість пожежонебезпечних властивостей трав'яного горючого матеріалу.

2.1.1. Лісова трав'яна рослинність

Рослини, що утворюють трав'яний ярус у різних типах лісу, перебувають в неоднакових умовах освітленості, забезпечення мінеральними речовинами і водою, а також температурного чинника. Видовий склад трав'яного та чагарникового

ярусу лісів визначається належністю до лісорослинних умов [36], які визначають властивості ґрунтів, а саме їх вологість та гранулометричний склад [10].

У хвойних лісах рівень освітленості протягом року залишається приблизно однаковим. Рослини нижнього ярусу в таких лісах отримують більше світла, ніж у листяних. Тому там ростуть більш світлолюбні рослини (верес, простріл, котяча лапка дводомна). Під кронами темнохвойних порід можуть рости тільки тіньові і тіньовитривалі рослини (чорниця, брусниця, воронець, кислиця звичайна, грушанка). Багато з рослин, які ростуть у хвойних лісах – вічнозелені (брусниця, грушанка, ліннея північна) [13]. Іноді хвойні ліси можуть бути майже повністю позбавлені трав'яного ярусу з причин високої сухості та бідності ґрунтів. У цьому випадку поверхня ґрунту суцільно вкрита сухою хвоєю і лишайником. Пожежна небезпека трав'яного горючого матеріалу є високою навесні до початку вегетаційного періоду, а також восени і взимку за тривалої відсутності опадів. У разі незначної зімкнутості крон (коефіцієнт зімкнутості до 0,5-0,6) влітку за тривалої посухи трав'яні рослини, як і на відкритих ділянках, швидко втрачають вологу і стають більш пожежонебезпечними. Значна зімкнутість крон сприяє збереженню вологи в ґрунті, що сповільнює висихання рослин за посухи і тривалої відсутності опадів та зменшує їх пожежну небезпеку. Слід зауважити, що окремі рослини наземного ярусу соснових лісів є пожежонебезпечними і у живому стані, наприклад, чорниця [40].

У листяних лісах світловий режим різниться протягом року. Особливо яскраво це виявляється в широколистяних лісах, де влітку створюються сильне затінення і тому вологість повітря під шатром є підвищеною у порівнянні з відкритою місцевістю. У широколистяних лісах зростають: осока волосиста, яглиця звичайна, зеленчук жовтий, медунка неясна. Особливо інтенсивно трави ростуть навесні, коли дерева ще не вкрилися листям. У цей час цвітуть анемона, пролісок, ряст, чистяк весняний, гусяча цибуля. Через 2-3 тижні після цвітіння у них дозріває насіння та відмирають надземні пагони. Такі рослини відносять до групи ефемероїдів [78]. У цей період в наземному ярусі лісу пожежна небезпека трав поступово знижується і досягає мінімуму після початку інтенсивної вегетації інших трав'яних рослин.

Загалом під шатром листяних лісів вологість є вищою у порівнянні з хвойними, особливо за високої зімкнутості крон (коефіцієнт зімкнутості понад 0,7), що сприяє зменшенню пожежної небезпеки горючого матеріалу наземного ярусу. Окрім того, наявність опалого листя у траві сприяє також незначному зменшенню пожежонебезпеки, зумовленому відмінностями швидкостей висушування листя у порівнянні з травною та інтенсивностей горіння [13].

На лісових галявинах видовий склад і рясність трав'яних рослин визначається переважно властивостями ґрунтів. Пожежна небезпека таких ділянок визначається рослинним складом, його густотою, вегетаційним періодом і є схожою до інших типів трав'яних екосистем на відкритій місцевості. Проте оточення лісом спричиняє зменшення швидкості вітру, що теж впливає на процеси висушування горючого матеріалу.

Таким чином, пожежна небезпека вкритих травною ділянок у лісових насадженнях, формується в залежності від типів лісу, зімкнутості крон, початку та тривалості вегетаційного періоду та природно-кліматичних умов території.

2.1.2. Лучна рослинність

Лучна рослинність визначається природно-кліматичними факторами і належністю до груп, двома головними групами є [76]:

- справжні (свіжі) луки,
- заболочені (болотисті або вологі) луки.

Справжні луки займають низькі ділянки з супіщаними, подекуди з шаром намулу ґрунтами. Справжні луки річкових заплав найчастіше представлені угрупованнями костриці лучної, тонконога лучного, пирію повзучого. Місцями наявні формації лисохвосту лучного та тимофіївки лучної, поширення яких обмежують бідні ґрунти. Також можна зустріти цілу низку типових лучно-степових видів: волошка лучна, коронарія – зозулин цвіт, чорноголівка звичайна, цибуля гранчаста, лядвенець український, горошок мишачий та горошок тонколистий, конюшина польова, мітлиця велетенська, стоколос безостий, грястиця збірна, рутвиця жовта та блискуча, золототисячник звичайний, куничник тростиновий,

льонок звичайний, кравник звичайний, вероніка колосиста, перстач гусячий, перстач сріблястий, куколиця біла, гадючник звичайний, конюшина повзуча, жовтець їдкий та багатоквітковий [10].

Залежно від кількості опадів у літній період склад угруповань трав'яних рослин змінюється. У місцевостях зі значними опадами переважають представники різнотрав'я, у посушливих – злакові. Пожежна небезпека таких ділянок є значною до початку та після завершення вегетаційного періоду, а також за тривалої літньої посухи.

Заболочені (болотисті або вологі) луки характеризуються угрупованнями кількох типів:

- угруповання гадючника в'язолистого – вологі угруповання берегів річок;
- угруповання молінії блакитної;
- угруповання калюжниці;
- угруповання стожильника;
- угруповання лисохвосту лучного.

Варто відзначити, що угруповання заболочених лук становлять незначну частку території і характерні для берегів водойм та острівців, тому значної пожежної небезпеки не становлять.

Звичайними рослинами різних типів болотистих лук є м'ята водяна та довголиста, вовконіг європейський та високий, шоломниця звичайна та списолиста, чистець болотяний, плакун прутовидний, алтея лікарська, водяний перець, хвощ болотяний та річковий, а також жовтець повзучий [68].

Осокові угруповання заплачних боліт є невід'ємною складовою заболочених лук. Ці угруповання представлені осокою гострою, рідше – лепешняком великим. Наявні також гідрофільні види, а саме гадючник в'язолистий, щавель кінський, хвощ річковий, вербозілля звичайне, плакун верболистий, очеретянка звичайна, основу ж складають теліптеріс-очерет, осока псевдосмикавцева, півники болотяні, осока прибережна, осока гостра, осока лисяча, очеретянка [68].

Пожежна небезпека заболочених лук є переважно низькою з причин високої вологості ґрунтів, а також пожежонебезпечних властивостей рослин, зокрема осок, яким властива значно вища температура займання порівняно зі злаковими [68]. У

випадку тривалої посухи та висихання ґрунтів небезпека виникнення пожеж на заболочених луках буде зростати.

Таким чином, пожежна небезпека трав'яних лучних екосистем залежить від належності їх до груп, вегетаційного періоду та кліматичних факторів. Високий рівень небезпеки притаманний справжнім лукам за умов тривалої посухи, а також після закінчення і до початку вегетаційного періоду за відсутності опадів.

2.1.3. Степова рослинність

Степова рослинність на території України є зональним типом. Видовий склад рослинності визначається ґрунтами та кліматом степу, який має відмінності у широтному напрямку. Середньорічна температура повітря коливається у межах від +6 - +7°C до +8 - +9°C, річна кількість опадів становить 400-500 мм у північно-західній частині та 150-300 мм на сході та півдні.

У складі степових рослинних угруповань [68] переважають трав'янисті багаторічні види (щільнокущові дернинні, рихлокущові, короткокореневищні, довгокореневищні, стрижнекореневі). Значно менше напівчагарників, чагарничків і маленьких чагарників. Переважаючими видами є злаки. За видовим різноманіттям трав'яних рослин у степах виділяють три основні зони:

- різнотравно-типчаково-ковилові стеги;
- типчаково-ковилові стеги;
- пустельні полиново-злакові стеги.

Із зміною широти з півночі на південь спостерігаються такі зміни рослинності:

- густина угруповань зменшується;
- зменшується біологічна продуктивність, а відтак і суха маса горючого навантаження;
- збільшується кількість видів з коротким вегетаційним періодом;
- збільшується ксероморфність і ксерофільність основних компонентів фітоценозів;
- зменшується кількість видів з широким ареалом поширення.

Різнотравно-типчакowo-ковилові степи формуються у північній частині степу. У рослинному покриві домінують ковила волосиста Лессінга і українська, поширені – костриця борозниста або типчак, кипець гребінчастий, а також житняк гребінчастий, тонконіг вузьколистий, тимофіївка степова та деякі види родів костриць, пирій. У складі рослинності можна відзначити різнотрав'я бобових. Це конюшина гірська і альпійська, люцерна румунська, а також такі види, як горицвіт весняний, синяк Попова, бедринець ломинекаменевий, катран татарський, тюльпан Шренка. З чагарників зустрічається зіновать руська, а з напівчагарників – полин австрійський. Ефемери та ефемероїди представлені великою кількістю видів: косянець зонтичний, піщанка чебрецелиста, веснянка весняна, крупка дібровна, тонконіг бульбистий, гіацинтик блідий [10].

Типчакowo-ковилові степи розташовані південніше різнотравно-типчакowo-ковилових. У їх складі виділяються ксерофітні злаки – ковила Лессінга, українська, волосиста, а також різні види костриці. Велике значення мають довгокореневищний колосняк гіллястий, рихлочагарникові житняк гребінчастий і осока вузьколиста. На відміну від північного степу, тут відсутня різноманітність різнотрав'я. Воно представлене ксерофітними рослинами – кермеком сарептським ферулою східною, роговиком українським, пижмом тисячolistим, рясткою Гуссона, тюльпанами, полином австрійським, підмаренником руським, жабрицею рівнинною. В мікропониженнях зустрічаються різак звичайний, шавлія степова, дивина фіолетова [10].

На прибережній смузі Чорного та Азовського морів переважають **полиново-злакові степи**. Їх утворення пов'язане з наявністю світло-каштанових дещо солонцюватих і темно-каштанових сильносолонцюватих ґрунтів. Домінуючими видами є костриця овеча, житняк гребінчастий, ковила волосиста, полин сантонінський і кримський. На сильно засолених ділянках пустельного полиново-злакового степу формуються фітоценози з галофітних рослин – солонцю європейського, содника простертого, сарсазана шишкуватого, кермеку Мейера, покісниці Фоміна [10].

Пожежна небезпека степових ділянок, вкритих рослинністю, є найвищою з усіх видів трав'яних екосистем. Це зумовлено більш сухим кліматом, особливо південної частини степової зони, та наявністю значної частки злакових, які становлять більшу небезпеку з причин нижчої температури займання [60]. Рослини степової зони на ділянках, що не використовуються для потреб сільського господарства, утворюють практично суцільне покриття, яке за посухи та після завершення вегетаційного періоду є особливо пожежонебезпечним, а пожежа легко виникає від такого джерела займання, як недопалок сірника чи цигарки. Переважно рівнинна поверхня без протипожежних перешкод сприяє швидкому поширенню вогню на значні площі, особливо за наявності вітру.

Отже, небезпека виникнення і поширення трав'яних пожеж у степах України зумовлена кліматичними факторами, наявністю значного пожежного навантаження – щільного покриття трав'яною рослинністю та є високою практично у всіх його частинах.

2.2. Вологість трав'яних рослин та чинники їх формування

Під час пожеж у трав'яних екосистемах трав'яні рослини займаються і підтримують горіння, але переважно в сухому стані. Висушена трава легко займається. Її теплота згоряння – 16652,32 кДж/кг. Температура самозаймання аерогеля 180°C, аерозоля 490°C; температура тління 204°C [33]. Але такі довідкові дані є узагальненими, а для рослин різних видів будуть відхилення пожежонебезпечних показників. Тому для оцінювання пожежної небезпеки трав'яних екосистем важливо мати показники для окремих рослин, які формують трав'яне покриття.

Однією із найважливіших пожежонебезпечних показників трав'яних рослин є їх вологість. Жива рослина у вегетаційний період містить вологу, що утруднює або робить неможливим її займання та поширення горіння. Вміст вологи у живій рослині залежить від її виду, а також наявності вологи у ґрунтах та від опадів. В Україні значна протяжність території із сходу на захід та з півночі на південь, географічне положення та рельєф зумовлюють відмінності клімату. Вегетаційний

період рослин настає за середніх температур понад 5°C , а активна вегетація відбувається за середніх температур, вищих за 10°C . Проаналізуємо середньомісячні температури для південної, центральної, східної та західної частин України за даними [30] (рис. 2.1).

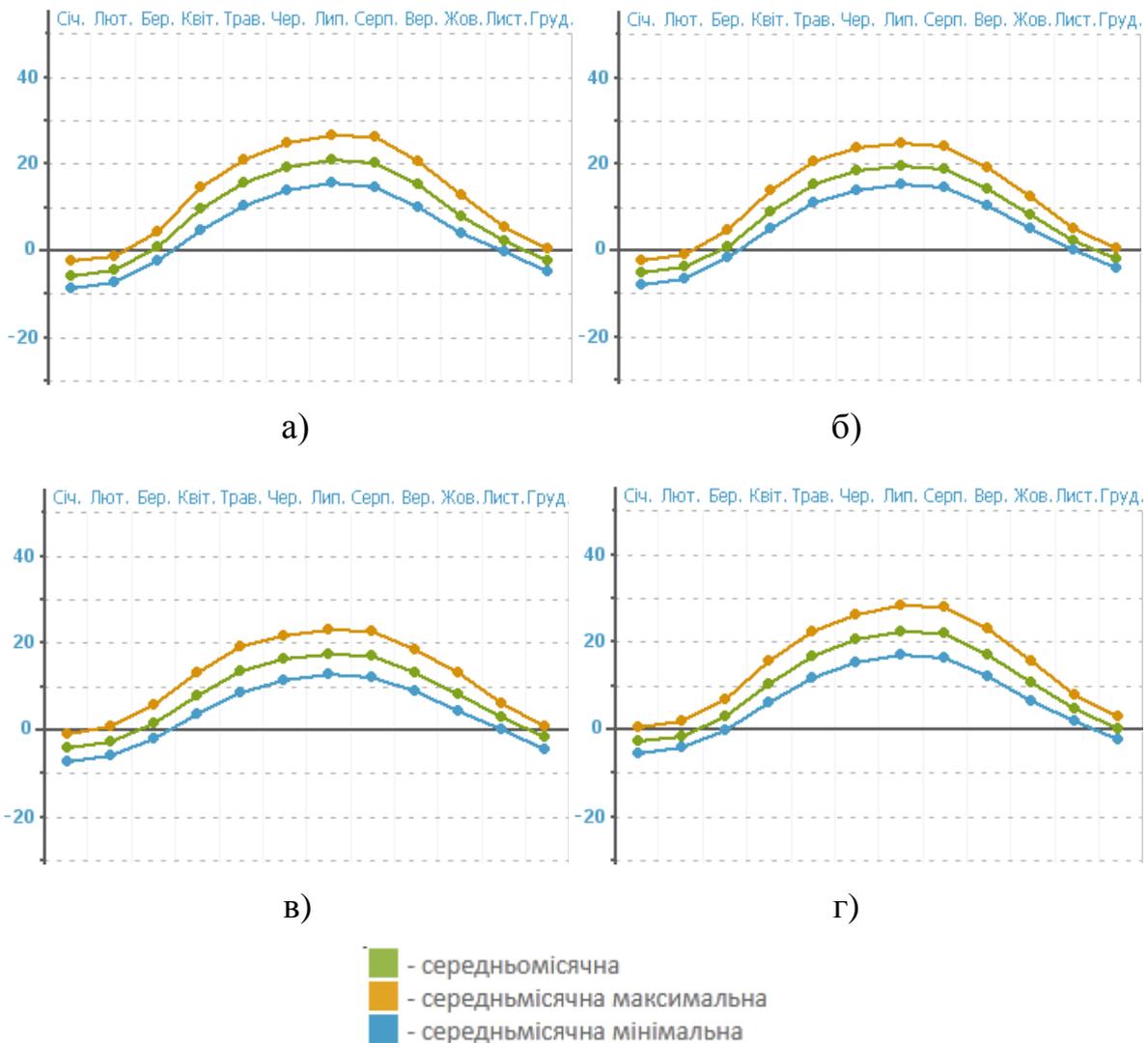


Рисунок 2.1 – Середні місячні температури за період з 1899 р. по 2010 р. [30]:

а – м. Донецьк; б – м. Київ; в – м. Львів; г – м. Миколаїв

Початком вегетаційного періоду в Україні переважно є кінець березня – початок квітня, а кінцем – кінець жовтня (для Півдня – листопад). Початком інтенсивного вегетаційного періоду в середньому є квітень (для заходу – початок травня). Проте у зв'язку з мінливістю середньомісячних багаторічних температур є можливими відхилення термінів початку і завершення вегетаційного (інтенсивного вегетаційного)

періоду в сторону збільшення чи зменшення. Зокрема початок вегетаційного періоду може змінюватися від березня до квітня, у західній частині – від лютого до травня і на Півдні України – від лютого до квітня. Кінець вегетаційного періоду може змінюватися від жовтня до листопада, а у південній частині – з жовтня до грудня. У гірській місцевості також спостерігаються зміни від початку до кінця вегетаційного періоду. У зв'язку з цим за відсутності опадів пожежонебезпечні періоди в трав'яних екосистемах можуть змінюватися та є різними для природно-кліматичних зон.

В останні роки в Україні спостерігаються зміни клімату, які призводять до збільшення в усі місяці середньомісячних температур у порівнянні з нормативними. В період з 2014 по 2019 рр. збільшилася кількість днів з дуже високими температурами (понад 30-35°C) на Півдні України з 30-40 до 50-65, а на Півночі та заході з 10 до 15-30. Зменшилася також за останні десятиліття і кількість опадів, особливо у липні та серпні (на 15-27% менше за норму) що спричинило значні літні посухи [2].

В сухому стані після завершення вегетаційного періоду або за тривалої посухи рослини мають низький вміст вологи, значення якої може зростати після опадів, а після їх завершення – знижуватися.

Значне різноманіття рослин у різних природно-кліматичних зонах зумовлює відмінності геометричних властивостей, просторового розташування, фізичних, хімічних та біологічних властивостей, що визначають їх пожежну небезпеку. Пожежонебезпечні властивості рослин є неоднаковими для різних видів і залежать від пори року та погодно-кліматичних умов. Навіть у сухому стані температура займання, самозаймання, масова швидкість вигорання будуть різнитися. Процеси втрати вологи також будуть різнитися для різних видів рослин, а тому знання динаміки цих процесів є важливими для прогнозування настання пожежонебезпечного стану. Саме тому важливо дослідити пожежну небезпеку окремих видів рослин. Але значна кількість видів рослин в трав'яних екосистемах та відмінності видової структури та кількісних показників рослин на окремих ділянках зумовлюють або проведення досліджень для кожного виду, або виділення найтипівіших представників природно-кліматичних зон і дослідження їх пожежонебезпечних властивостей.

2.3. Найпоширеніші трав'яні рослини природно-кліматичних зон України

Для досліджень пожежонебезпеки рослин трав'яних екосистем виділимо найпоширеніші, що домінують у різних природно-кліматичних зонах України. Аналіз видового різноманіття трав'яних рослин полісся, лісостепу, степу та гірських лук Карпат і Криму дає можливість виділити найпоширеніших представників, дослідження показників пожежної небезпеки яких сформує загальну характеристику кожної природно-кліматичної зони. Такими рослинами є: конюшина польова, костриця лучна, костриця очеретяна, пирій повзучий та тимофіївка лучна. За довідниковими даними проаналізуємо їх біологічні особливості, які зумовлюють їх геометричні показники, здатність утворювати угруповання, типові місця зростання, а також вегетаційний період.

Конюшина польова (*Trifolium arvense* L.) – це однорічна трав'яна рослина родини бобових. Трапляється на луках, узліссях, переважно на піщаних ґрунтах по всій території України. Стебло тонке, прямостояче, іноді висхідне, одиничне, розгалужене, 10-20 см заввишки. Листки трійчасті, стеблові, нижні рано відмирають. Форма листя лінійно-довгаста, дрібнозубчаста, іноді виїмчаста, до 20 мм завдовжки і до 4 мм завширшки. Квітки дрібні, неправильні, сидячі, блідо-рожеві, у головчастих суцвіттях; головки м'яковолохаті, щільні, видовженоциліндричні, на ніжках, що виходять з пазух листків. Цвіте у травні-вересні. Має плоди – боби. Трава конюшини польової містить глікозид трифолін, дубильні речовини (до 5%), ефірну олію, кверцетин, смолисті речовини, незначну кількість алкалоїдів та інші речовини [50].

Розповсюджена в Україні на сухих схилах, у лучних степах, світлих лісах [16]. Урожайність сіна, зібраного на ділянці, вкритій кострицею лучною, становить 50-80 ц/га [80].

Оскільки небезпечною для виникнення пожеж рослина є у сухому стані, оцінимо пожежне навантаження на ділянках, вкритих конюшиною польовою з урахуванням урожайності сіна. Провівши обчислення, отримуємо, що цей показник становить 0,5-0,8 кг/м². З урахуванням висоти рослин можемо оцінити й інший показник – насипну щільність, яка для конюшини польової в сухому стані буде в діапазоні 0,05-0,16 кг/м³.

Структура рослини та її фрагментів, форма, просторове розміщення та хімічний склад сприяють її швидкому висушуванню та легкому займанню. Проте у вегетаційний період за умов доброго зволоження незначна висота рослини та відносно широкі листки сприяють затіненню поверхні ґрунту та збереженню вологи, що ускладнює процеси займання та поширення горіння.

Костриця лучна (*Lolium pratense* Huds.) – багаторічний пухкокущовий злак із численними прикореневими яскраво-зеленими пагонами, що досягають висоти 80–100 см. Листя широке, гладеньке, блискуче. Суцвіття – розлога волоть. Колоски багатоквіткові, плід – зернівка. Коренева система мичкувата, проникає в ґрунт на глибину більше 1,5 м, тому рослина добре росте на суходільних луках. Стійка до частого скошування на висоті 4-5 см, швидко відростає, інтенсивно кущиться. Навесні відростає рано, витримує ранні та пізні весняні заморозки. Повного розвитку досягає на 2-3 рік життя. Рослина морозостійка, помірно тіневитривала, витримує нетривалі затоплення водами. В умовах посухи слабо кущиться. Вибаглива до ґрунтових умов, але за умов достатнього зволоження костриця лучна може рости на різних ґрунтах. Погано росте на супіщаних і піщаних ґрунтах. У травостані в чистому виді зберігається до 8 років, а на родючих ґрунтах – до 12 років [62].

Висота рослини становить 30-100 см. Листя плоске шириною 3-5 мм. На території України костриця лучна поширена у лісових районах та в лісостепу на рівнинах і у гірській місцевості на луках, галявинах, узліссях та зрубках лісів, рідше зустрічається у степовій місцевості, особливо у південній частині. Утворює угруповання рослин. Субдомінує на луках Полісся і Лісостепу, вторинних луках Карпат, гірських луках Криму, в степах рівнинної території України. На осушених болотах утворює густий трав'яний шар [27].

Урожайність сіна, зібраного на ділянці, вкритій кострицею лучною, становить 35-50 ц/га [80].

За значеннями урожайності отримуємо, що пожежне навантаження на ділянках, вкритих кострицею лучною в сухому стані, є в межах 0,35-0,5 кг/м², а з урахуванням висоти рослин насипна щільність може становити 0,1-0,5 кг/м³.

Костриця очеретяна (*Festuca arundinacea* Schreb.) (костриця тростиноподібна або костриця східна (*Festuca orientalis* (Hack.) V. Krecz. Et Bobr.) [27]) – рослина з широким листям, висота вегетативних пагонів 20–30 см. На коричневих важкосуглинистих ґрунтах Південного берега Криму утворює зімкнутий травостій, де проективне покриття становить 80–90%. У США цей вид застосовують при створенні грубих газонів для дернування схилів на транспортних магістралях [62]. Верховий рихлокущовий багаторічний злак. Коренева система мичкувата, іноді з короткими кореневищами, добре розвинена в шарі ґрунту. Стебла прямі, іноді нахилені, міцні, потовщені, голі, світло-зелені, рідше антоціанові, 100-160 см заввишки. Листя широколінійні, великі, порівняно жорсткі, шорсткі. Суцвіття – велика (18-24 см) розгалужена, іноді одногрива волоть. Цвіте у червні, дозріває у липні-серпні. Відрізняється від костриці лучної вищим ростом [34].

Висота костриці очеретяної становить 50-120 см, листя плоске та довге шириною 5-11 мм, а суцвіття має довжину 20-30 см. Поширена на всій території України, особливо на північному сході [16].

Урожайність сіна, зібраного на ділянці, вкритій кострицею очеретяною, становить 40-80 ц/га [80].

Провівши обчислення, отримуємо, що пожежне навантаження на ділянках, вкритих кострицею очеретяною в сухому стані, становить 0,4-0,8 кг/м², а насипна щільність – 0,2-0,96 кг/м³.

Пирій повзучий (*Elymus repens* (L.) Gould) – багаторічний кореневищний злак із кореневою системою, яка неглибоко проникає в ґрунт. Генеративні пагони в сприятливих умовах досягають висоти 100-110 см. Листя лінійне, плоске, широке. Злак швидкорослий, добре відростає після скошування. Повного розвитку досягає на 3-ій рік. У травостані зберігається до 20-30 років. Розмножується насінням і кореневищем. Суцільної дернини не утворює. Стійкість до витоптування середня. Добре зростає в умовах відсутності зрошування. Надає перевагу рихлим (пухким) супіщаним і суглинистим родючим ґрунтам при помірній вологості. Добре витримує засолення ґрунту. Весняні заморозки і зимові морози витримує добре.

Весною з'являється порівняно пізно. Має довге до 0,5 м кореневище, яке знаходиться у верхньому 10 см шарі ґрунту [62].

Пирій повзучий поширений практично на всій території України. Утворює угруповання. Зустрічається у заплавах річок лісостепу та входить до складу лучних і степових асоціацій. Використовується також як кормова культура у для заготовлення сіна у тваринництві із значним вмістом білка (до 7%), а урожай сіна становить в середньому 20-30 центнерів з гектара [76].

Поширений на луках в степах, солончаках та пісках, на лісових галявинах, узліссях, зрубках, рідких лісах, вздовж доріг. На сільськогосподарських угіддях є бур'яном, який негативно впливає на культурні рослини [16]. Тому значно поширений і на сільськогосподарських ділянках, які не обробляються.

На ділянці, вкритій пирієм повзучим в сухому стані, пожежне навантаження може становити 0,2-0,3 кг/м², а насипна щільність – 0,12-0,36 кг/м³.

Тимофіївка лучна (*Phleum pratense* L.) – багаторічний пухко-кущовий злак із неглибокою кореневою системою, заввишки 20-80 см, шершавим зеленим або сіро-зеленим листям із загостреними широкими листовими пластинками, здебільшого сіро-зеленими суцвіттями завдовжки 5-10 см. Цвіте в травні-серпні. Добре розвивається на достатньо багатих суглинистих і глинистих ґрунтах. Вологолюбна. Успішно зростає в помірно вологих умовах. Дуже сухих умов не витримує. Стійка до затоплення. Зимостійка, світлолюбна, кущиться слабо. Росте повільно. Повного розвитку досягає на 2-й рік. У травостані тримається 4-16 років. У природних умовах росте на луках, лісових галявинах, у розріджених лісах, на кам'янистих схилах [62].

Висота рослини становить 20-80 см. Утворює угруповання на луках Полісся і лісостепу та є однією з домінуючих рослин. Тимофіївка лучна поширена також на луках Карпат і в Криму. В степовій зоні трапляється рідше [27]. Місцями поширення є луки, лісові галявини, розріджені ліси, степові та кам'яністі схили. [16].

Урожай сіна тимофіївки лучної становить 80 центнерів з гектара [80].

Провівши обчислення, отримаємо, що на ділянці, вкритій тимофіївкою лучною в сухому стані після завершення вегетаційного періоду, пожежне навантаження становить біля 0,8 кг/м², а насипна щільність – 0,16-0,64 кг/м³.

Таким чином, відібрані для досліджень найпоширеніші трав'яні рослини екосистем України різняться між собою геометричними показниками, та кількісними характеристиками, зумовлюючи неоднакове пожежне навантаження та насипну щільність – показники, які впливають на пожежну безпеку.

2.4. Висновки

1. Небезпека виникнення і поширення пожеж у трав'яних екосистемах України залежить від вегетаційного періоду та погодно-кліматичних умов і є найвищою в степах України, що зумовлено кліматичними факторами, наявністю значного пожежного навантаження – щільного покриття трав'яною рослинністю.

2. Значне різноманіття рослин у різних природно-кліматичних зонах зумовлює відмінності геометричних властивостей, просторового розташування, фізичних, хімічних та біологічних властивостей, що визначають їх пожежну безпеку.

3. Пожежонебезпечні властивості рослин та динаміка їх змін є неоднаковими для різних видів і залежать від пори року та погодно-кліматичних умов, зумовлюючи проведення відповідних досліджень або для кожного виду чи угруповання окремо, або для виокремлених найтипівіших представників природно-кліматичних зон.

4. Найпоширеніші трав'яні рослини екосистем України, до яких віднесли тимофіївку лучну, кострицю лучну, кострицю очеретяну, конюшину польову та пирій повзучий, різняться між собою структурою та кількісними характеристиками, зумовлюючи неоднакове пожежне навантаження та насипну щільність – показники, які впливають на пожежну безпеку, а також інші пожежонебезпечні показники, які потрібно дослідити окремо.

РОЗДІЛ 3. ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГОРЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ТРАВ'ЯНИХ ЕКОСИСТЕМ ТА ДИНАМІКА ЇХ ЗМІН

Основними параметрами, що характеризують пожежну небезпеку трав'яних рослин є температура займання, температура самозаймання та температура тління. Оскільки властивості горючих матеріалів рослинного походження змінюються у процесі висушування чи набуття вологи, важливо отримати не лише окремі показники, але й динамічні властивості в процесі термічного впливу на них, зокрема показники втрати маси.

3.1. Обладнання та методи лабораторних досліджень

Дослідження пожежонебезпечних показників рослин здійснювали для фрагментів їх надземних частин.

Висушування зразків, визначення їх вологості, температур займання самозаймання, тління, коефіцієнтів димоутворення, зольності проводили в Науково-дослідній лабораторії Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Масу зразків визначали за допомогою лабораторних електронних ваг WPT 03/06 C4 4 класу точності.

Вологість зразків (абсолютну вологість W , %) визначали ваговим методом за формулою

$$W = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100, \quad (3.1)$$

де m – маса зразка, а m_0 – його маса в абсолютно сухому стані.

Для досягнення абсолютно-сухого стану зразків їх досушування проводили за допомогою сушильної камери 2В151.

Оскільки відсутні стандартні методики визначення пожежонебезпечних показників рослин, дослідження температур займання, самозаймання та тління проводили відповідно до ДСТУ Б. В. 2.7-19-95 [24]. Для визначення температур тління, самозаймання та займання використовували прилад ОТП (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Прилад ОТП з додатковим обладнанням (фото автора)

Прилад ОТП – це вертикальна електропіч з двома коаксіально розташованими циліндрами, виготовленими з кварцового скла. Один із циліндрів з внутрішнім діаметром 80 ± 3 мм та висотою 240 мм є реакційною камерою; а другий циліндр такої ж висоти має внутрішній діаметр 101 ± 3 мм. На циліндри навито спіральні електронагрівачі загальною потужністю не менше 2 кВт, що дає змогу створювати температуру робочої зони 600°C за час не більший, ніж 40 хв.

Для розміщення зразка досліджуваного матеріалу передбачено контейнер діаметром 45 ± 1 мм та висотою $18,0 \pm 0,4$ мм, виготовлений зі сталеві сітки або сталевого листа товщиною не більше 0,5 мм. Контейнер встановлюють в кільце тримача діаметром $49,0 \pm 0,6$ мм. Тримачем є металева трубка із жаростійкої сталі з привареним у нижній частині кільцем для розміщення контейнера.

Газовий пальник – це трубка з внутрішнім діаметром 6 ± 1 мм із жаростійкої сталі, запаяна знизу та з отвором на бічній поверхні діаметром $0,8 \pm 0,1$ мм на відстані $5,0 \pm 0,3$ мм від запаяного кінця.

Ламінатор виготовлений із листової жаростійкої сталі в формі конуса з верхнім діаметром не більше, ніж 78 мм, нижнім – не більше ніж 11 мм та довжиною 500 ± 5 мм і призначений для подачі природного потоку повітря в реакційну камеру.

Для вимірювання температури в печі і температури зразків використовують термоелектричні перетворювачі з діаметром термоелектродів не більше, ніж 0,5 мм. Термоперетворювач для вимірювання температури зразка розташовували таким чином, щоб забезпечувався контакт з дном і стінкою контейнера. Термоелектричний перетворювач для контролю і регулювання температури печі розташовано всередині реакційної камери на відстані 140 ± 5 мм від верхнього краю камери і 5 ± 1 мм від стінки камери.

Для спостереження за зразком усередині камери застосовували дзеркало.

Загальна будова приладу ОТП наведена на рис. 3.2.

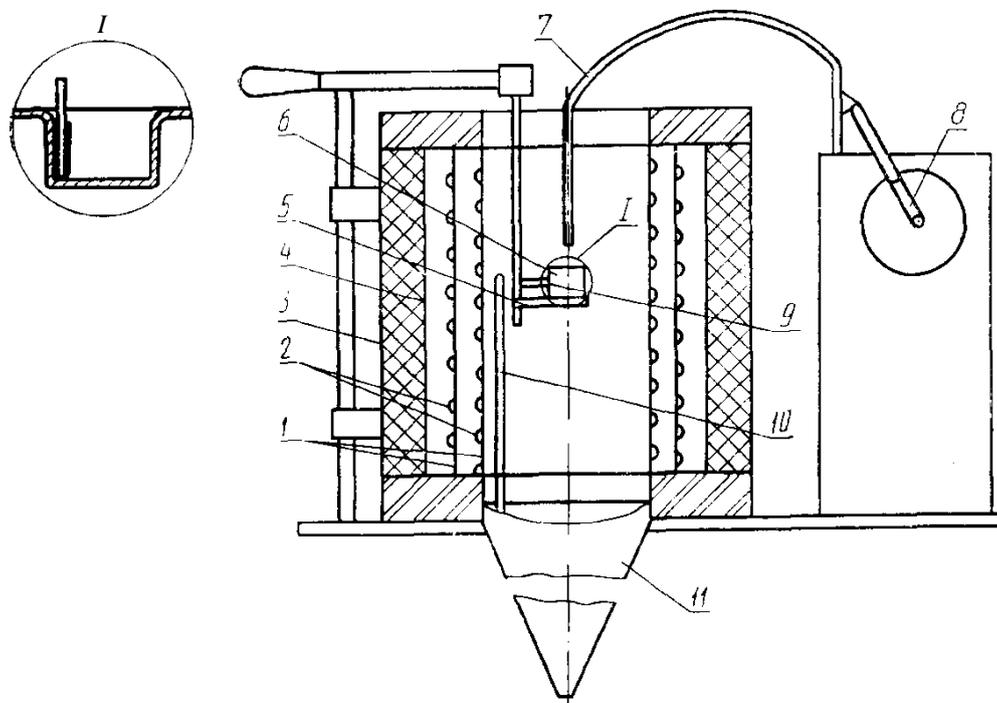


Рисунок 3.2 – Будова приладу ОТП [24]

- 1 – скляні циліндри; 2 – спіральні електронагрівачі; 3 – теплоізоляційний матеріал;
 4 – сталевий екран; 5 – тримач зрізця; 6 – контейнер; 7 – газовий пальник;
 8 – електропривод пальника; 9, 10 – термоелектричні перетворювачі; 11 – ламінатор

Час від початку дослідження зразка до моменту займання визначали за допомогою секундоміра з похибкою вимірювання не більше 1 с.

Прилад ОТП встановлено у витяжній шафі. Робоче місце оператора під час досліджень обладнане згідно з вимогами електробезпеки і санітарно-гігієнічними вимогами.

Коефіцієнт димоутворення визначали за допомогою відповідного приладу за стандартною методикою [12].

Зольність визначали методом спалювання зразків у муфельній печі.

Термічний аналіз зразків [75] проводили в лабораторії Національного університету «Львівська політехніка» з такими ж зразками фрагментів рослин, які висушували, та для яких визначали температури займання, самозаймання та тління. З обладнання використовували дериватограф Q-1500D системи «Паулік – Паулік – Ердей» [11] з реєстрацією аналітичного сигналу втрати маси та теплових ефектів за допомогою комп'ютера. Дослідження здійснювали в динамічному режимі зі швидкістю нагрівання 5°C/хв в атмосфері повітря. Дослідження термічної стійкості зразків проводили в діапазоні температур 20-1000 °C. Еталонною речовиною був оксид алюмінію.

Підготовка дослідних зразків. Дослідженню передувало збір зразків та їх доставляння до лабораторії.

Відбір надземних частин рослин (конюшини польової, костриці лучної, костриці очеретяної, пирію повзучого та тимофіївки лучної) здійснено в природних умовах у травні 2018 р. на лучній ділянці поблизу Львова (49°53'42.2"N 24°03'52.5"E). Свіжоскошені фрагменти доставлено в лабораторію за короткий проміжок часу (до 15 хв), щоб запобігти їх висиханню. Сформовано зразки приблизно однакової маси для кожного виду рослин (приблизно 0,05 кг). Частину зразків використовували для визначення вологості ваговим методом, а іншу частину – для визначення пожежонебезпечних показників – температур займання, самозаймання та тління. Після первинного зважування зразки розміщено на горизонтальній площині для забезпечення подальшого висушування природним шляхом (рис. 3.3) [41]. Температура повітря в лабораторії була в межах 20±2°C.



Рисунок 3.3 – Висушування трави природним шляхом в лабораторії (фото автора)

Щодоби проводилось вимірювання маси зразків кожного виду трав та визначалось значення температур займання, самозаймання і тління. Вимірювання здійснювали до досягнення зразками рівноважної вологості.

Початком досліджень вважали вимірювання необхідних показників у перший день досліду. Після того, як маса зразків трав кожного з виду набувала постійного значення (не змінювалася порівняно з попередньою добою), дослідження припиняли. Після цього зразки досушували у сушильній камері за температури $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ упродовж трьох годин. Після завершення висушування у сушильній камері визначали суху масу зразків. Цей показник використовували для розрахунку вологості зрізів кожної доби досліджень.

Для визначення пожежонебезпечних показників за допомогою ОТП з відібраних зразків готували дослідні зразки масою $0,003\pm 0,0001$ Кг. Для зручності розміщення в контейнері приладу їм надавали циліндричної форми з діаметром 45 ± 1 мм (рис. 3.4). Отримані результати фіксували і вносили до протоколу випробувань.



Рисунок 3.4 – Випробувальні зразки (фото автора)

Дослідження повторювали тричі для кожного із зразків (рис.3.5).



Рисунок 3.5 – Проведення досліду (фото автора)

Обробку результатів здійснювали для середніх значень величин, отриманих протягом кожного виду досліджень.

Отже, обладнання та умови лабораторії дають можливість встановити пожежонебезпечні властивості трав'яних рослин.

3.2. Лабораторні дослідження пожежонебезпечних властивостей фрагментів рослин

Визначення температури тління. Тління – безполуменеve горіння твердої речовини (матеріалу) при порівняно низьких температурах (400-600 °C), що часто супроводжується виділенням диму. Температура тління – температура речовини, при якій відбувається різке збільшення швидкості екзотермічних реакцій окислення, що закінчуються виникненням тління [23].

За вимогами стандарту [12] метод реалізується за температур від 25 до 600 °C. Для визначення температури тління фрагментів рослин реакційну камеру приладу ОТП нагріли до температури 400°C.

З реакційної камери виймали прогрітий контейнер, поміщали в нього підготовлені та подрібнені зразки рослин і повертали в реакційну камеру.

Якщо при температурі випробування зразок тлів (спостерігалось світіння) більше 5 с, то випробування припиняли, контейнер виймали з камери і проводили випробування з новим зразком при меншій температурі. Крок зменшення температури становив 50 °C.

Якщо протягом 20 хв зразок не тлів, випробування припиняли. Далі методом послідовних наближень зменшували інтервал. За температуру тління приймали середнє арифметичне значення двох температур, що відрізняються не більше ніж на 10°C, при одній з яких спостерігалось тління трьох зразків, а при іншій – не спостерігалось.

Визначення температури займання. Займання – полум'яне горіння речовини, ініційоване джерелом запалювання і яке триває після його видалення. Температура займання – найменша температура речовини, при якій в умовах спеціальних випробувань речовина виділяє горючі пари і гази з такою швидкістю, що за впливу на них джерела запалювання спостерігається займання [23].

Під час проведення досліджень реакційну камеру нагрівали до 400°C.

Регулюванням подачі газу формували полум'я газового пальника у вигляді клина довжиною 10 ± 2 мм.

У попередньо розігрітий контейнер розміщали зразок фрагментів рослин, повертали його в реакційну камеру та вмикали електропривод газового пальника у заданий режим роботи. Із періодичністю 10 с газовий пальник підводили до поверхні зразка на відстань 10 мм і за допомогою дзеркала спостерігали за зразком.

Коли зразок займався, випробування припиняли, пальник зупиняли в положенні "поза піччю" і виймали з камери контейнер зі зразком. Наступне випробування проводили з новим зразком за меншої температури. Крок пониження становив 50°C .

Якщо протягом 20 хв займання зразка не відбувалося або раніше цього часу повністю припинялося димоутворення, випробування припиняли і фіксували відмову. За температуру займання приймали покази термоелектричного перетворювача, що вимірював температуру зразка. Методом послідовних наближень, використовуючи нові зразки і змінюючи температуру випробування, визначали мінімальну температуру зразка, за якої за час витримки в реакційній камері не більше 20 хв зразок займався і підтримував горіння понад 5 с після видалення пальника, а при пониженні температури на 10°C займання вже не відбувалося.

За температуру займання зразків приймали середнє арифметичне двох температур, що відрізнялися не більше ніж на 10°C , при одній з яких спостерігалось займання трьох зразків, а при іншій – три відмови.

Визначення температури самозаймання. Самозаймання – різке збільшення швидкості екзотермічних процесів в речовині, що приводить до виникнення полум'яного горіння. Температура самозаймання – найнижча температура навколишнього середовища, при якій в умовах спеціальних випробувань спостерігається самозаймання речовини [23].

Спочатку робочу камеру розігрівали до температури 550°C та встановлення в об'ємі камери стаціонарного температурного режиму [12, 52].

Після цього виймали розігрітий контейнер і поміщали в нього зразок. Якщо за заданої температури спостерігалось самозаймання, то наступне випробування

проводили за меншої температури. Як і у попередніх випадках крок пониження становив 50 °С.

Якщо протягом 20 хв самозаймання зразка не відбувалося або раніше цього часу повністю припинялося димоутворення, випробування припиняли і фіксували відмову. Методом послідовних наближень, використовуючи нові зразки і змінюючи температуру випробування, визначали мінімальну температуру зразка, за якої протягом часу витримки в реакційній камері не більше 20 хв зразок самозаймався і горів довше 5 с, а після зниження температури на 10 °С самозаймання вже не відбувалося.

За температуру самозаймання зразків приймали середнє арифметичне двох температур, що відрізнялися не більше ніж на 10 °С, за однієї з яких спостерігалось самозаймання трьох зразків, а за іншої – три відмови.

Результати лабораторних досліджень та їх аналіз. На 5-ий день досліджень [41] зразки всіх рослин втратили вологу і досягли рівноважної вологості, маси зразків рослин набули практично сталих значень, а в наступні дні практично не змінювалися. Після цього зразки досушували у сушильній камері при температурі 105°С протягом трьох годин.

Результати вимірювань маси наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Середні значення мас зразків у процесі дослідження

Назва рослини	Маса, г					Абсолютно сухий стан
	День дослідю					
	1	2	3	4	5	
Костриця очеретяна	20,002	13,461	10,239	6,220	5,263	4,909
Костриця лугова	10,008	6,058	3,957	2,422	2,328	2,074
Пирій повзучий	15,006	7,713	3,891	2,995	2,288	2,054
Тимофіївка лугова	10,009	8,616	6,211	4,067	3,401	2,651
Конюшина польова	10,008	7,161	5,293	3,090	2,384	1,750

Протягом досліджень маса зразків кожного виду зменшувалась по-різному. Це пояснюємо різницею в будові кожного виду рослини. Кожен з п'яти видів має різні геометричні параметри, а саме різні висоти стебла, товщини, листя, і тому вміст вологи в кожній рослині та інтенсивність її втрати у процесі висушування різняться за однакових умов [42].

Ці особливості і зумовлюють зміну вологості фрагментів рослин, яку обчислювали за формулою (3.1) (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Вологість зразків рослин у процесі їх висушування

Абсолютна вологість, %					
Назва рослини	День досліду				
	1	2	3	4	5
Костриця очеретяна	307,46	174,21	108,58	26,71	8,03
Костриця лугова	382,55	192,09	90,79	16,78	9,00
Пирій повзучий	460,57	214,51	59,22	22,34	10,37
Тимофіївка лугова	277,56	225,01	134,29	53,41	17,59
Конюшина польова	441,56	308,97	202,28	76,47	19,59

За результатами досліджень визначено температури тління, займання та самозаймання фрагментів рослин. Представимо їх у вигляді графіків за середніми значеннями.

Залежності температур займання фрагментів рослин від часу сушіння протягом 5 діб наведено на рис. 3.6. Порівнюючи температуру займання та час займання протягом досліджень, спостерігаємо, що ці показники для тимофіївки лугової та пирію повзучого протягом усього дослідження мали середні значення. Найвищу температуру займання в перший день дослідження мала костриця очеретяна – 230°C, а найнижчу – пирій повзучий – 216°C.

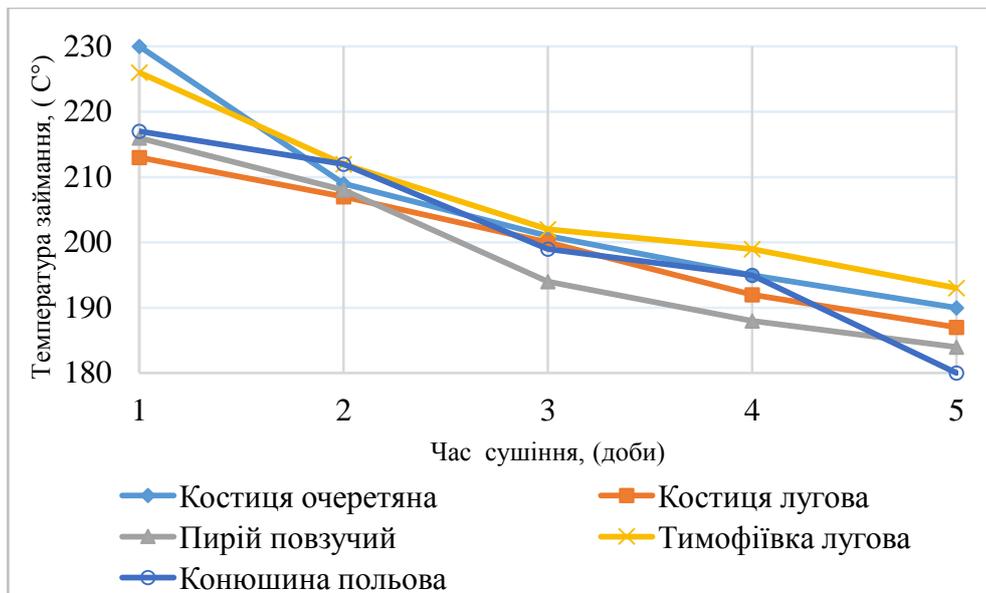


Рисунок 3.6 – Залежності температури займання п'яти найпоширеніших трав лук від часу сушіння

Ця залежність не зберігається протягом усього дослідження, оскільки зразки різняться зовнішнім виглядом, геометричними розмірами та вмістом вологи, яку втрачають неоднаково.

Залежності температур самозаймання фрагментів рослин від часу сушіння протягом 5 діб наведені на рис. 3.7.

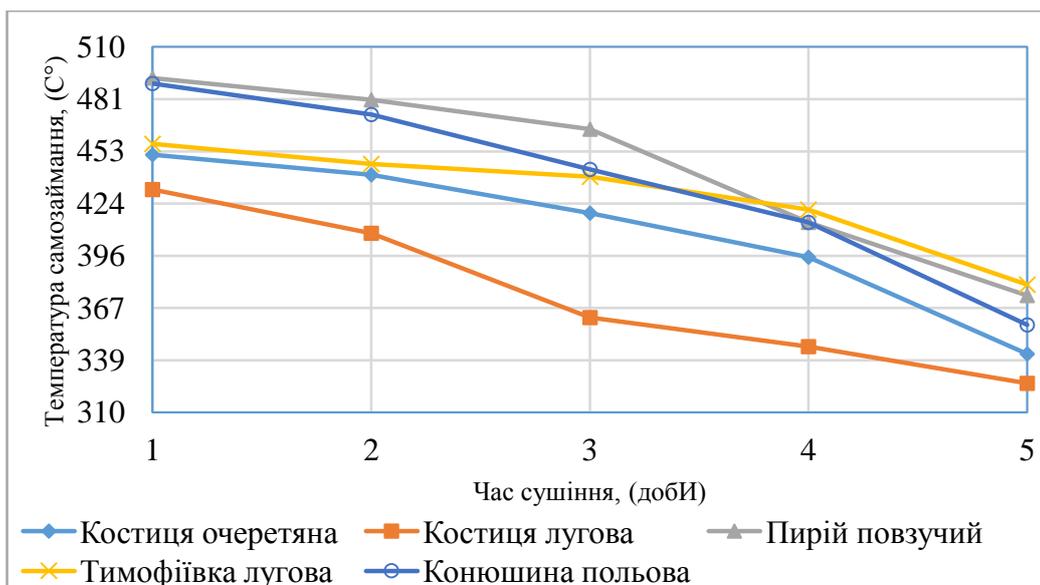


Рисунок 3.7 – Залежності температури самозаймання п'яти найпоширеніших трав'яних рослин від часу висушування

З досліджених рослин пирій повзучий має одну з найбільших температур самозаймання кожної доби, окрім 5-ї, та становить в першу добу одразу після збору рослин 493°C , далі знижуючись аж до 374°C . Незначно поступається пирію повзучому конюшина польова, температура самозаймання якої упродовж 5 діб змінюється від 490°C до 358°C . Тимофіївка лучна та костриця очеретяна в першу та другу – 451°C , що є середнім значенням для досліджуваних зразків.

Залежності температури тління від часу сушіння наведено на рис. 3.8.

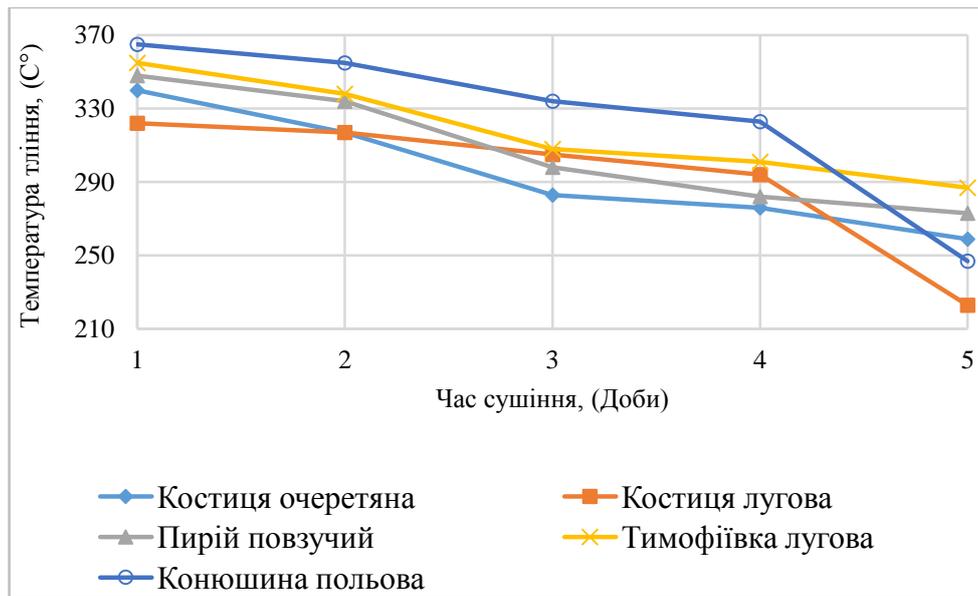


Рисунок 3.8 – Залежності температури тління п'яти найпоширеніших трав лук від часу сушіння

Найвищою є температура тління протягом 4-ох днів дослідження в конюшини польової – від 365°C до 323°C . Але на п'ятий день цей показник різко зменшився до 247°C . Це пояснюємо сухим станом листя цієї трави, адже тління починалось саме з них.

Пожежну небезпеку горючих матеріалів характеризують не лише значення температур займання, самозаймання чи тління, але й період, за який відбулося відповідно займання, самозаймання чи тління – час займання, час самозаймання чи час тління. Середні значення часу виникнення самозаймання, займання та тління, отримані в процесі досліджень відповідно для кожного виду трав, згруповано та

внесено до таблиць 3.3-3.7. Ці показники визначали також і для абсолютно сухого стану фрагментів рослин.

Таблиця 3.3

Параметри пожежної небезпеки костриці очеретяної

Костриця очеретяна			
День дослідю	Час, (с)		
	займання	тління	самозаймання
1	165	132	262
2	159	128	248
3	145	115	238
4	141	111	237
5	121	95	218
Абсолютно сухий стан	112	88	195

Як видно з табл. 3.3 і 3.4, показники пожежної небезпеки костриці очеретяної та костриці лучної, які належать до одного роду, є близькими між собою, проте більшу небезпеку, виражену в нижчих значеннях часу займання та тління за однакових умов, становить костриця лучна у порівнянні з кострицею очеретяною. Основною причиною цього, на нашу думку, є більші розміри костриці очеретяної та її фрагментів, що сповільнює процеси висушування та займання.

Таблиця 3.4

Параметри пожежної небезпеки костриці лучної

Костриця лучна			
День дослідю	Час, (с)		
	займання	тління	самозаймання
1	152	108	256
2	149	105	248
3	141	97	245
4	135	92	234
5	119	87	233
Абсолютно сухий стан	101	81	201

Час самозаймання в перший день досліджень є вищим для костриці очеретяної, на другий день ці показники для обох видів є однаковими, а далі зразкам костриці лучної властиві дещо вищі показники, що може бути зумовлене особливостями хімічного складу.

Таблиця 3.5

Параметри пожежної небезпеки пирію повзучого

Пирій повзучий			
День досліду	Час, (с)		
	займання	тління	самозаймання
1	195	117	273
2	172	114	268
3	163	104	265
4	150	95	259
5	145	85	246
Абсолютно сухий стан	119	79	209

Пирій повзучий характеризується вищими значеннями часу займання, самозаймання і тління у порівнянні з кострицею лучною та кострицею очеретяною, але час тління є близьким до відповідних показників костриці лучної.

Таблиця 3.6

Параметри пожежної небезпеки тимофіївки лучної

Тимофіївка лучна			
День досліду	Час, (с)		
	займання	тління	самозаймання
1	189	123	256
2	168	120	253
3	161	116	246
4	146	112	242
5	115	106	233
Абсолютно сухий стан	104	87	206

Тимофіївка лучна має у порівнянні з пирієм повзучим менші значення часу займання і самозаймання упродовж всього періоду досліджень, але час тління є нижчим.

Таблиця 3.7

Параметри пожежної небезпеки конюшини польової

Конюшина польова			
День досліду	Час, (с)		
	займання	тління	самозаймання
1	185	112	265
2	178	102	238
3	168	96	229
4	161	86	219
5	125	75	215
Абсолютно сухий стан	98	70	193

Конюшина польова має у відповідні дні менші значення часу тління у порівнянні з тимофіївкою лучною, а значення часу займання є вищими, окрім 5-го дня досліджень. Час самозаймання конюшини польової є вищим лише в перший день досліджень, а у наступні дні він є вищим для тимофіївки лучної. Такі відмінності, на нашу думку, зумовлені не лише відмінностями структури рослин, але і їх хімічним складом, оскільки конюшина польова належить до родини бобових, а інші рослини, які досліджували, – до родини тонконогових.

Загалом дослідження залежності часу займання та часу самозаймання від тривалості сушіння, показали, що пирій повзучий має найбільший час займання – 195 с в перший день та найбільший час самозаймання протягом усього досліду – від 273 до 246 с. Найменший час займання та час самозаймання має костриця лугова – 152 с та 256 с відповідно. Зміна досліджуваних показників протягом досліду відбувалася по-різному, що свідчить про відмінності пожежної небезпеки рослин в процесі висушування.

Як слідує з результатів досліджень, найбільш пожежонебезпечними рослинами можна вважати кострицю очеретяну та кострицю лучну, оскільки за однакових умов

сушіння, вони займаються або самозаймаються найшвидше з усіх досліджуваних видів. В абсолютно сухому стані ж найшвидше займається конюшина польова.

Причинами неоднакових показників для різних рослин та відмінності їх динаміки можуть бути неоднакова структура зразків, хімічний склад [46].

Окрім цього, для кожного досліджуваного виду рослин було встановлено залежності показників пожежонебезпеки, а саме температур займання, самозаймання і тління від вологості горючого матеріалу. Ці залежності, отримані за результатами досліджень упродовж 5 днів, зображено у вигляді графіків. Для кожного з показників побудовано рівняння лінійної регресії.

На рис. 3.9 наведено залежності температур займання, самозаймання і тління від вологості, отримані для костриці очеретяної.

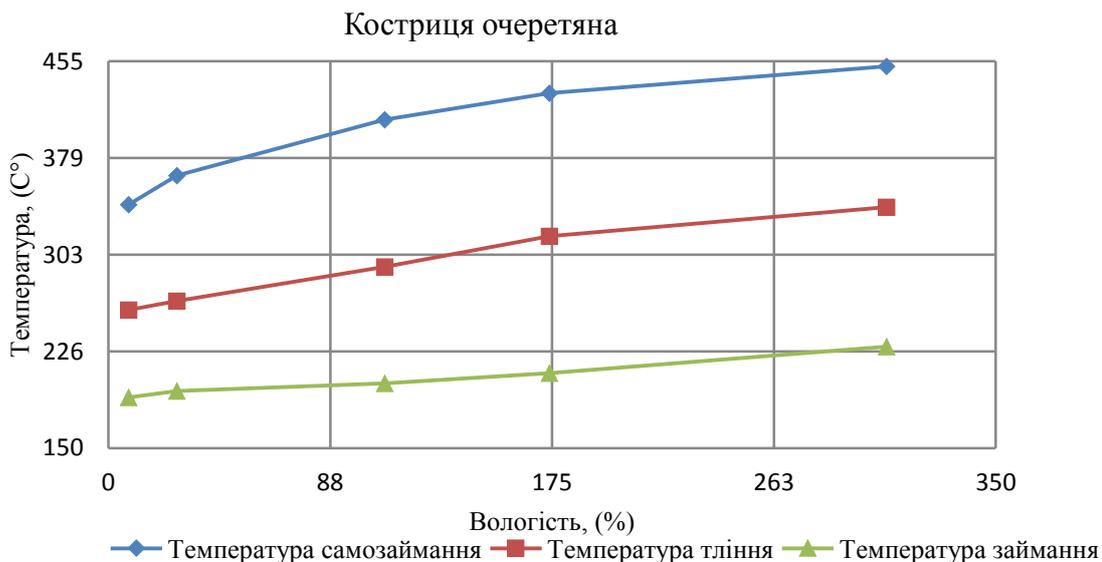


Рисунок 3.9 – Залежність температур тління, займання та самозаймання від вологості для костриці очеретяної

Отримані залежності відображають зниження температур займання, самозаймання та тління із зниженням вологості і наближаються до лінійних.

За даними, отриманими в результаті лабораторних досліджень, побудовано лінійні рівняння регресій, що описують залежності температур займання, самозаймання та тління зразків костриці очеретяної від їх вологості (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Регресійні залежності температур займання, самозаймання і тління костриці очеретяної від вологості

Температури	Костриця очеретяна	
Самозаймання	$y = 0,3525x + 355,34$	$R^2 = 0,9186$
Тління	$y = 0,2768x + 260,4$	$R^2 = 0,9736$
Займання	$y = 0,1277x + 189,03$	$R^2 = 0,9813$

Залежності температур займання, самозаймання та тління від вологості для конюшини польової наведено на рис. 3.10.

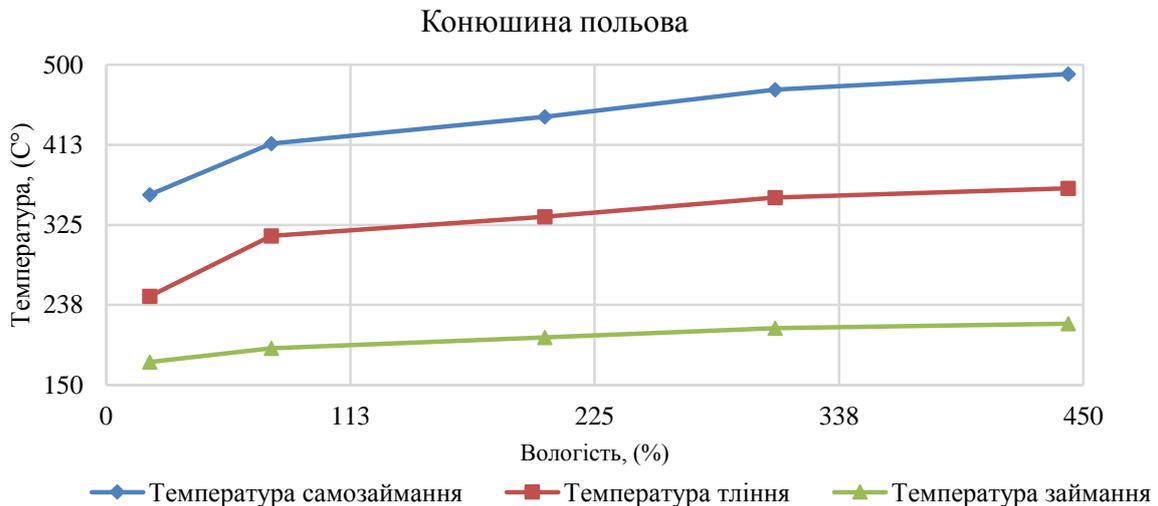


Рисунок 3.10 – Залежність температур тління, займання та самозаймання від вологості для конюшини польової

Як видно з графіків, зниження вологості призводить до зменшення температур займання, самозаймання та тління. Протягом перших 4 днів від початку досліджень ці показники майже лінійно знижуються із зниженням вологості, а на п'ятий день досліджень відбулося дещо більше зниження, особливо температур тління та самозаймання.

Рівняння регресій, що описують залежності цих показників пожежонебезпеки конюшини польової від вологості, наведено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Регресійні залежності температур займання, самозаймання
і тління конюшини польової від вологості

Температура	Конюшина польова	
Самозаймання	$y = 0,2874x + 375,3$	$R^2 = 0,9043$
Тління	$y = 0,2425x + 271,93$	$R^2 = 0,7898$
Займання	$y = 0,0815x + 183,51$	$R^2 = 0,9140$

Залежності температур займання, самозаймання та тління від вологості для костриці лучної наведено на рис. 3.11.

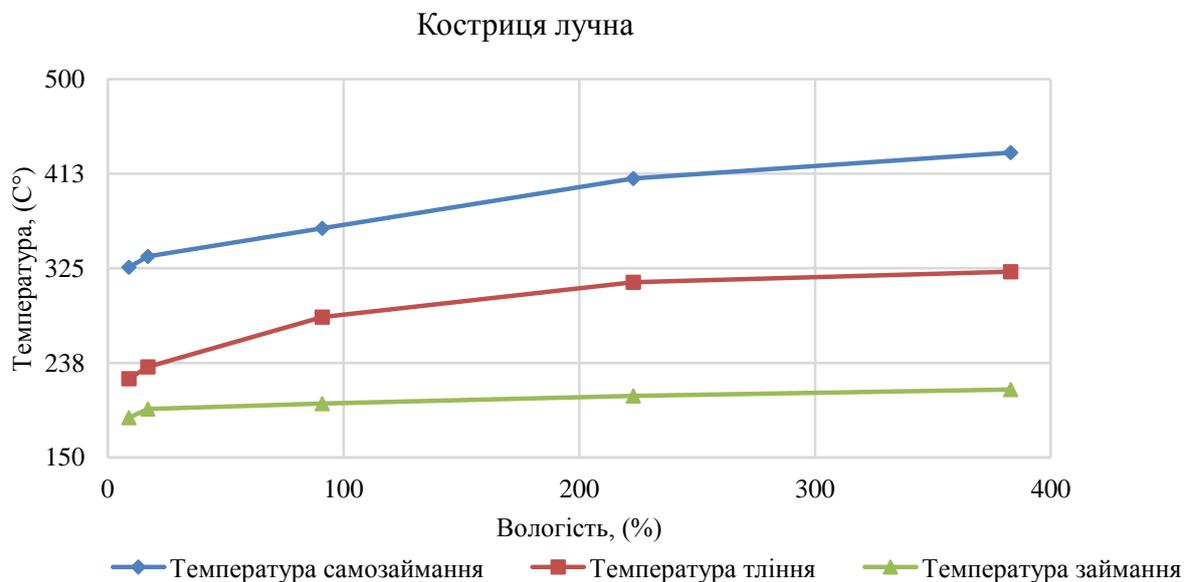


Рисунок 3.11 – Залежність температур тління, займання та самозаймання від вологості для костриці лучної

Ці показники, як і у випадку конюшини польової, також знижуються упродовж перших 4 днів досліджень майже лінійно із зниженням вологості, а на 5-ий день – дещо швидше, ніж за лінійною залежністю, а вологість при цьому зменшується незначно, що свідчить, що вологість зразків на 5-ий день наближається до рівноважної.

Рівняння регресій, що описують показники пожежонебезпеки костриці лучної, наведені в табл.3.10.

Таблиця 3.10

Регресійні залежності температур займання,
самозаймання і тління костриці лучної від вологості

Температура	Костриця лучна	
Самозаймання	$y = 0,2835x + 331,81$	$R^2 = 0,9610$
Тління	$y = 0,2598x + 236,63$	$R^2 = 0,8500$
Займання	$y = 0,0602x + 191,7$	$R^2 = 0,9052$

Залежності температур займання, самозаймання та тління від вологості для пирію повзучого наведено на рис. 3.12.

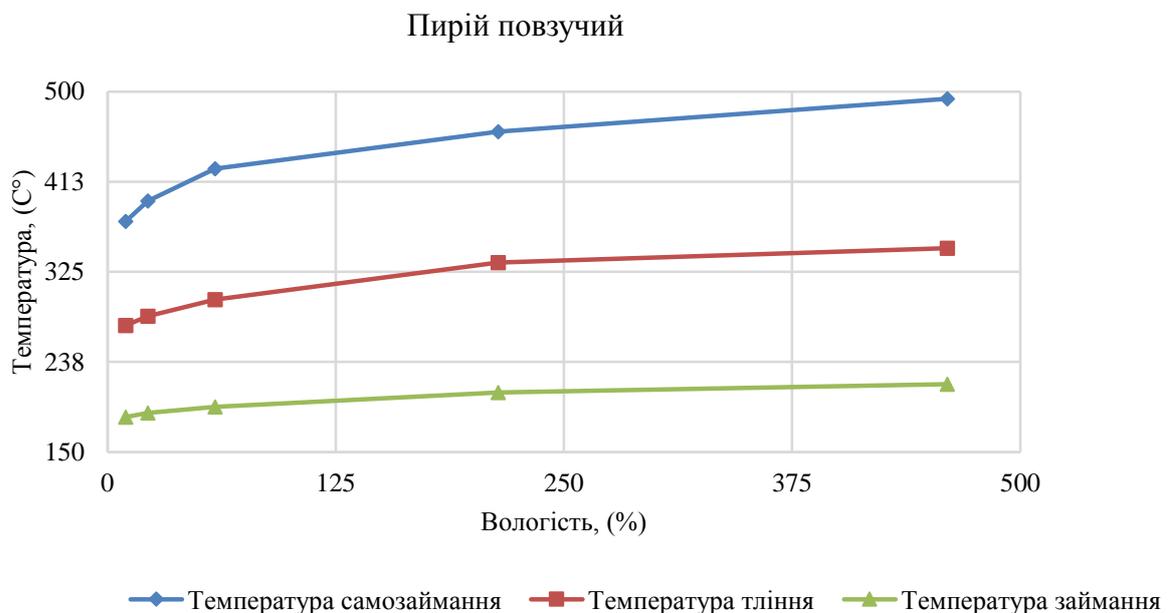


Рисунок 3.12 – Залежність температур тління, займання та самозаймання від вологості для пирію повзучого

Поведінка цих залежностей є подібною до костриці лучної, але сповільнення процесів висушування спостерігається швидше – після 3-х днів досліджень.

Рівняння регресій, що описують показники пожежонебезпеки пирію повзучого, наведені в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Регресійні залежності температур займання, самозаймання і тління пирію повзучого від вологості

Температура	Пирій повзучий	
Самозаймання	$y = 0,2384x + 392,93$	$R^2 = 0,9044$
Тління	$y = 0,1608x + 282,4$	$R^2 = 0,8737$
Займання	$y = 0,068x + 187,59$	$R^2 = 0,9080$

Залежності температур займання, самозаймання та тління від вологості для тимофіївки лучної наведено на рис. 3.13.

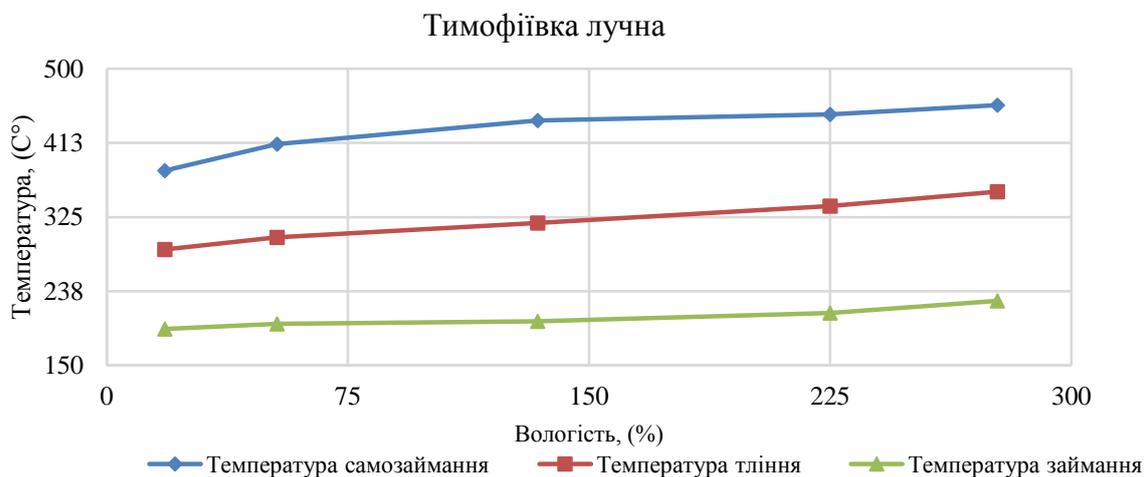


Рисунок 3.13– Залежність температур тління, займання та самозаймання від вологості для тимофіївки лучної

Всі три залежності є найбільш близькими до лінійних та знижуються із зниженням вологості зразків, а відповідні рівняння лінійних регресій, що описують показники пожежонебезпеки тимофіївки лучної, наведені в табл. 3.12.

Очевидним є те, що температура самозаймання для кожного виду є найвищою серед температур, які характеризують пожежну небезпеку. Також для всіх видів трав за всіма показниками спостерігається підвищення пожежної небезпеки в 4-ий та 5-ий дні дослідження. Температури займання досліджених рослин упродовж 5-ти днів із зменшенням вологості знижувалися повільніше, ніж

температури самозаймання чи тління. Про це свідчать відповідні коефіцієнти лінійної регресії біля змінної x . Найбільшими були швидкості зменшення температур займання для тимофіївки лучної і костриці очеретяної.

Таблиця 3.12

Регресійні залежності температур займання, самозаймання і тління тимофіївки лучної від вологості

Температура	Тимофіївка лучна	
Самозаймання	$y = 0,2637x + 389,31$	$R^2 = 0,9111$
Тління	$y = 0,2479x + 284,74$	$R^2 = 0,9922$
Займання	$y = 0,1128x + 190,45$	$R^2 = 0,9211$

Загалом з наведених на рис. 3.9-3.13 залежностей видно відмінності швидкостей зниження вологості зразків упродовж 5-ти днів досліджень. У більшості рослин втрата вологості була найбільшою упродовж перших двох днів, а далі сповільнювалася. Особливо повільно на 5-ий день досліджень втрачалася вологість для пирію повзучого і костриці лучної, зумовлюючи при цьому відчутне зниження температур займання, самозаймання і тління.

За результатами досліджень можна зробити висновок, що з високими значеннями коефіцієнтів детермінації зміни показників пожежонебезпеки найпоширеніших трав'яних рослин із зменшенням вологості можна описати лінійними регресійними залежностями, які можна представити у загальному вигляді

$$y = Ax + B, \quad (3.2)$$

де A і B – сталі коефіцієнти для кожного виду рослин.

За отриманими значеннями сталих A і B сформовано підсумкову довідкову таблицю 3.13. Провівши аналогічні дослідження для інших видів рослин, цю таблицю можна доповнювати аналогічними даними.

Як уже зазначалося, із збільшенням значення коефіцієнта A стрімкіше зменшуються відповідні температури в процесі сушіння. Тому за значенням сталої A можна оцінити динаміку змін пожежонебезпечних властивостей рослин, що досліджувалися.

Таблиця 3.13

Значення коефіцієнтів лінійної регресії, що характеризує залежність температур тління, займання та samozаймання фрагментів рослин від їх вологості

№ з/п	Назва рослини	Т тління		Т займання		Т samozаймання	
		A	B	A	B	A	B
1	Костриця лучна	0,2598	236,63	0,0602	191,70	0,2835	331,81
2	Костриця очеретяна	0,2768	260,40	0,1277	189,03	0,3525	355,34
3	Конюшина польова	0,2425	271,93	0,0815	183,51	0,2874	375,30
4	Пирій повзучий	0,1608	282,40	0,0680	187,89	0,2384	393,93
5	Тимофіївка лучна	0,2479	284,74	0,1128	190,45	0,2637	389,31

Отримана таблиця значень, які можна застосовувати для оцінювання небезпеки виникнення пожеж на ділянках, вкритих відповідними рослинами, за зміни їх вологості. Цю таблицю можна розширювати і вносити до неї значення для інших рослин.

В лабораторних умовах також досліджували зольність і коефіцієнти димоутворення під час тління та горіння зразків найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України. Результати досліджень коефіцієнта димоутворення під час тління наведені в табл. 3.14. Найвищі значення коефіцієнта димоутворення під час тління зразків отримані для тимофіївки лучної, нижчими є ці коефіцієнти для конюшини польової та костриці лучної, далі – для пирію повзучого, а найнижчі – для костриці очеретяної.

Таблиця 3.14

Значення коефіцієнта димоутворення під час тління зразків
найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України

№ з/п	Тимофіївка лучна		Пирій повзучий		Костриця лучна		Костриця очеретяна		Конюшина польова	
	Маса, г	Е, %	Маса, г	Е, %	Маса, г	Е, %	Маса, г	Е, %	Маса, г	Е, %
1	0,469	98,0	0,438	72,3	0,462	80,8	0,465	73,4	0,447	86,5
2	0,494	87,2	0,451	79,4	0,485	83,5	0,493	65,5	0,487	88,2
3	0,472	93,4	0,436	77,8	0,492	84,1	0,455	78,2	0,469	89,7
4	0,465	98,0	0,433	77,1	0,472	81,1	0,445	75,9	0,467	87,5
5	0,477	86,8	0,467	75,8	0,490	84,3	0,484	69,1	0,496	85,9
Середнє	0.475	92.7	0.445	76.5	0.480	82.8	0.468	72.4	0.473	87.6

Результати досліджень коефіцієнтів димоутворення під час спалювання зразків наведені в табл. 3.15.

Таблиця 3.15

Значення коефіцієнтів димоутворення в процесі спалювання зразків
найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України

№ з/п	Тимофіївка лучна		Пирій повзучий		Костриця лучна		Костриця очеретяна		Конюшина польова	
	Маса, г	Е, %	Маса, г	Е, %	Маса, г	Е, %	Маса, г	Е, %	Маса, г	Е, %
1	0,493	97,2	0,408	98,8	0,462	97,3	0,521	96,4	0,443	98,1
2	0,491	97,8	0,454	97,3	0,452	97,5	0,456	98,5	0,416	87,2
3	0,482	98,1	0,417	98,5	0,503	96,3	0,477	97,2	0,469	87,7
4	0,477	97,6	0,482	97,3	0,432	95,9	0,435	95,9	0,482	86,5
5	0,419	95,8	0,434	95,8	0,454	95,7	0,424	96,1	0,436	85,9
Середнє	0,472	97,3	0,439	97,5	0,461	96,5	0,463	96,8	0,449	89,1

Цей показник не значно відрізняється за абсолютною величиною для всіх досліджених зразків рослин. На відміну від коефіцієнта димоутворення під час тління, значення коефіцієнта димоутворення під час спалювання розташовані в дещо іншому порядку і є найвищими для пирію повзучого, далі йдуть тимофіївка лучна, костриця лучна, костриця очеретяна, а найнижчим цей показник є для конюшини польової.

Результати досліджень зольності зразків найпоширеніших рослин трав'яних екосистем наведені в табл. 3.16.

Найбільші значення зольності отримано для пирію повзучого, а найменші – для костриці лучної.

Таблиця 3.16

Значення зольності зразків найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України

№ з/п	Тимофіївка лучна		Пирій повзучий		Костриця лучна		Костриця очеретяна		Конюшина польова	
	%	сер,%	%	сер,%	%	сер,%	%	сер,%	%	сер,%
1	12,4	12,1	13,1	13	8,2	8,3	9,3	9,1	8,6	9,0
2	11,3		12,6		8,1		9,1		9,2	
3	10,9		12,5		8,8		9,5		9,5	
4	13,1		13,9		7,4		8,9		8,5	
5	12,9		12,8		9,1		9		9	

Для групування за схожістю пожежонебезпечних властивостей рослин та схожістю самих пожежонебезпечних властивостей проведено кластерний аналіз. Кластерний аналіз з подібною метою використовували у [124] та [40]. Аналіз проводили на основі даних, отриманих у результаті лабораторних досліджень пожежонебезпечних показників найпоширеніших видів рослин трав'яних екосистем України: середні значення вологості зразків, температур займання, самозаймання і тління, зольності та коефіцієнтів димоутворення. Результати кластерного аналізу наведено на рис. 3.14.

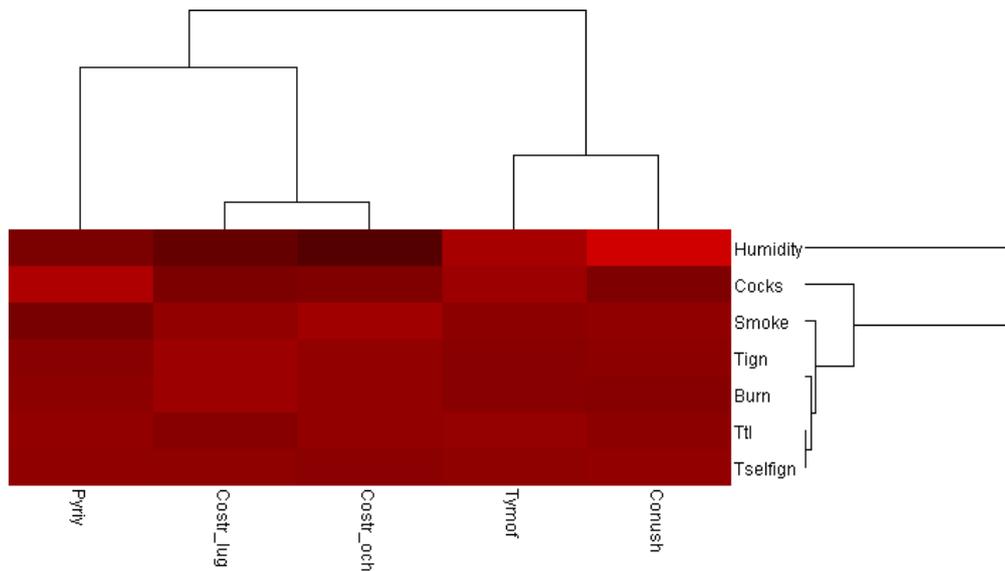


Рисунок 3.14 – Кластерний аналіз найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України (Conush – конюшина польова; Costr_lug – костриця лучна; Costr_och – костриця очеретяна; Ryty – пирій повзучий; Tymof – тимофіївка лучна; Humidity – вологість; Cosks – зольність; Smoke – коефіцієнт димоутворення під час тління; Tign – температура займання; Burn – коефіцієнт димоутворення під час полум'яного горіння; Ttl – температура тління; Tselfign – температура самозаймання)

З пожежонебезпечних показників досліджених рослин найбільш близькими між собою є температури самозаймання і тління, до яких приєднується група температур займання і коефіцієнт димоутворення для полум'яного горіння під час спалювання, далі приєднується показник димоутворення в процесі тління, а потім зольність після спалювання. Вологість рослин виділяється окремо, оскільки між цим пожежонебезпечним показником та іншими наявний обернений зв'язок.

Як слідує з результатів кластерного аналізу, найбільш близькими за пожежонебезпечними властивостями є група, до якої входить костриця очеретяна та костриця лучна, а потім до неї приєднується пирій повзучий. Іншою групою схожих за пожежонебезпечними властивостями рослин є конюшина польова і тимофіївка лучна.

Отже, за результатами лабораторних досліджень встановлено відмінності пожежонебезпечних показників найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України, зокрема температур займання, самозаймання та тління. Пожежна небезпека за значеннями температур займання, самозаймання та тління залежить від вологості

рослин, яка зменшується в процесі висушування, і за високої вологості може бути нижчою для одних видів рослин, а за низької – для інших. Неоднакова пожежна небезпека рослин може впливати на виникнення пожежі внаслідок займання, а також на швидкість поширення вогню в трав'яних екосистемах. Отримані лінійні регресійні залежності цих показників від вологості зразків рослин дають можливість оцінити їх пожежну небезпеку в природних умовах за вологістю. Трав'яні рослини за пожежонебезпечними показниками можуть бути близькими, що дає змогу об'єднувати їх у групи. Для оцінювання пожежонебезпеки рослин з досліджених показників найдоцільніше застосовувати або вологість, або один з інших показників, який зручно визначати, наприклад температуру самозаймання.

3.3. Термічний аналіз фрагментів рослин та його результати

Для більш детальних досліджень причин відмінностей пожежонебезпечних показників фрагментів рослин та динаміки втрати маси під дією термічного впливу проведено комплексний термічний аналіз зразків [97], який є ефективним у дослідженні пожежонебезпечних властивостей рослинних фрагментів [103]. Цей метод дає можливість швидко визначати зольність фрагментів [75, 110] результати якого представлені у вигляді термограм (рис. 3.15).

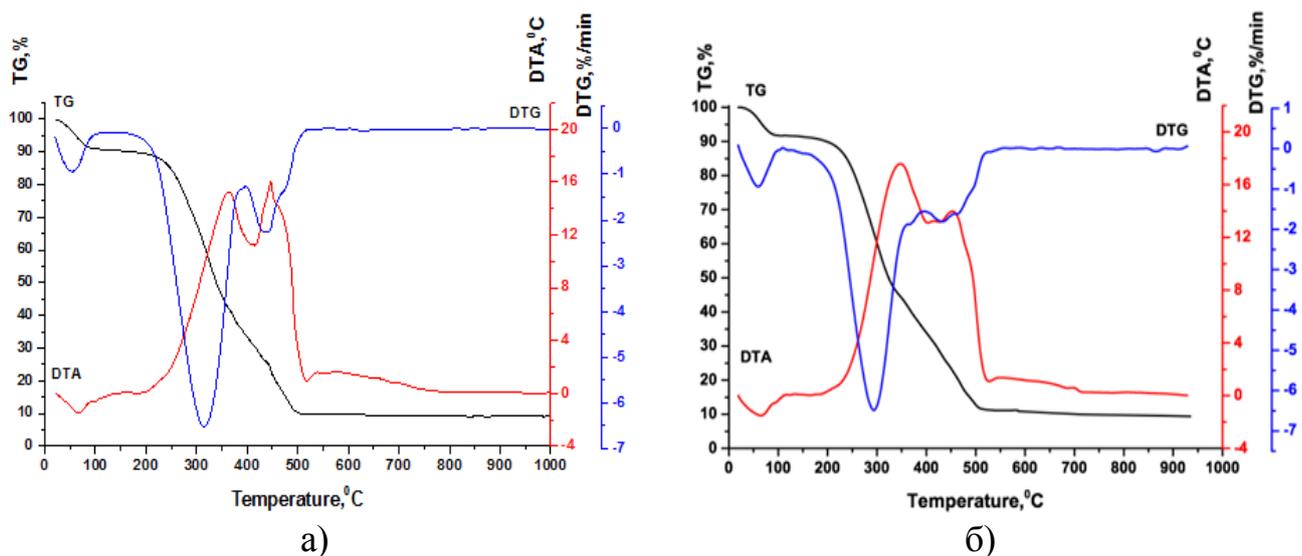


Рисунок 3.15 – Термограми найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України

а – костриці очеретяної; б – костриці лучної; в – пирія повзучого;

г – тимофіївки лучної; д – конюшини польової

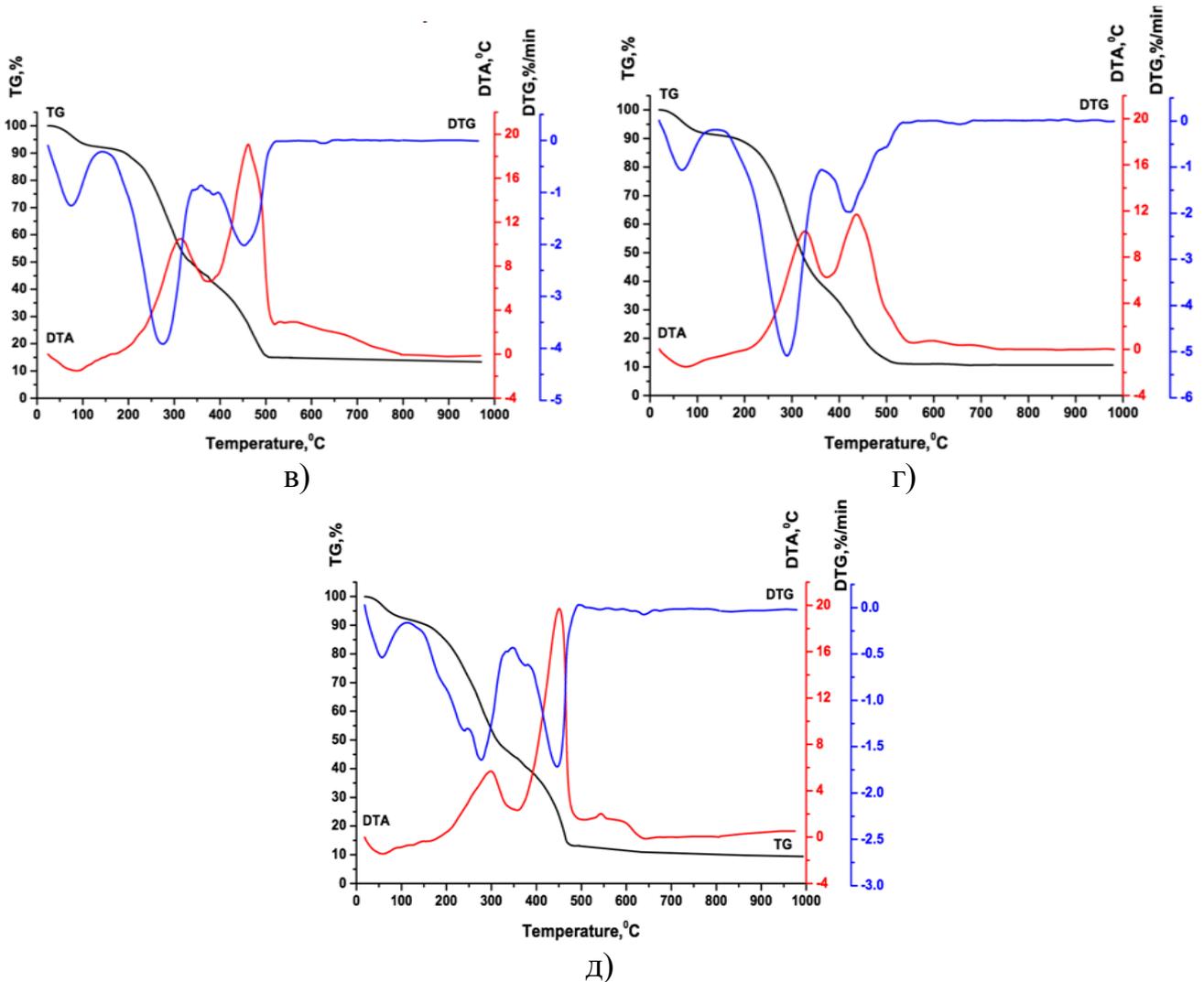


Рисунок 3.15 (продовження)

Маса зразків становила в середньому 100 мг.

Термогравіметричні криві TG ілюструють втрату маси зразків в процесі нагрівання. Криві диференційного термічного аналізу DTA вказують знак та величину теплового ефекту процесу. А криві диференційного термогравіметричного аналізу DTG є результатом диференціювання кривих TG і відповідають швидкості втрати маси зразків за відповідної температури. Поведінки цих кривих для зразків рослин кожного виду різняться, подекуди досить істотно, що свідчить про відмінності їх хімічної структури та пожежної небезпеки. Проаналізуємо ці відмінності, нанісши криві одного виду на один рисунок.

На рис. 3.16 зображено для порівняння криві TG досліджених зразків рослин.

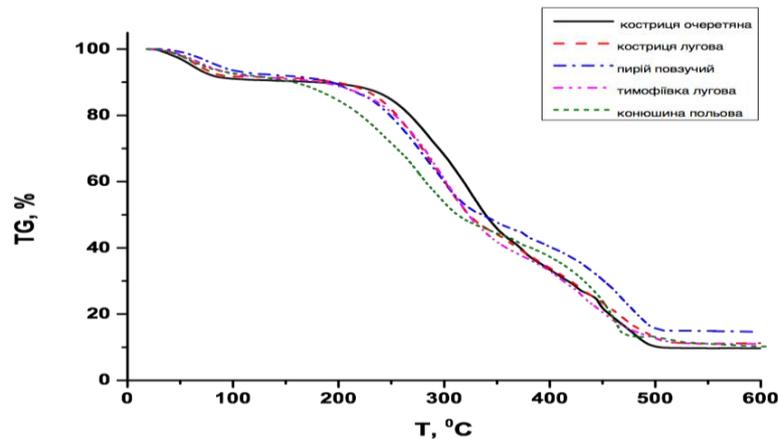


Рисунок 3.16 – Криві TG зразків рослин

Найшвидше починає втрачати масу зразок костриці очеретяної, а далі цей процес сповільнюється у порівнянні з іншими зразками. Зокрема після 160°C найменшою є маса зразка конюшини польової, потім після 330°C – тимофіївки лучної, чергуючись з тимофіївкою лучною і кострицею очеретяною, і лише після 480°C зразок костриці очеретяної знову є першим споміж усіх за втраченою масою.

Найбільшу з усіх зразків масу на початковій стадії (від 20 до 160°C) має пирій повзучий. Далі найбільшу масу має костриця очеретяна (до 340°C), а від 340°C до 600°C знову пирій повзучий зберігає найбільшу масу.

На рис. 3.17 зображено для порівняння криві DTA всіх досліджених зразків.

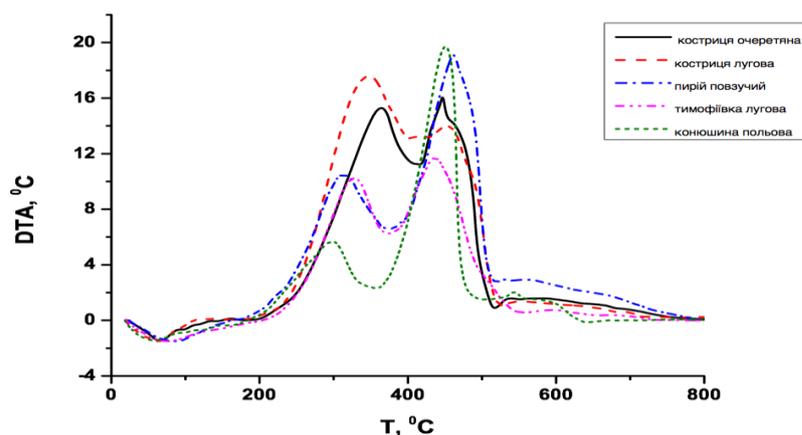


Рисунок 3.17 – Криві DTA зразків рослин

Криві DTA для зразків різних рослин різняться більш істотно. За загальної схожої форми екстремуми цих кривих відрізняються як абсолютними значеннями,

так і значеннями температур, за яких вони досягаються. Зокрема максимуми ДТА свідчать про екзотермічний, а мінімуми – про ендотермічний ефекти.

У табл. 3.17 наведені результати термогравіметричного аналізу зразків та температури максимуму першого екзотермічного ефекту (T_{max} , °C), який відповідає полуменевому горінню зразків. Для кожного виду рослин визначено три стадії, які характеризують їх відповідні пірологічні властивості. Відмінності температурних інтервалів настання цих стадій для кожного виду рослин свідчать про їх неоднакові пожежонебезпечні властивості.

У всіх досліджених зразках в діапазоні температур від 20 до 245°C (I стадія) відбувається перебіг ендотермічних процесів, які супроводжуються втратою маси зразків. В цьому температурному інтервалі відбувається випаровування незв'язаної води та виділення конституційної води, яка входить до складу рослинного матеріалу. Слід відмітити, що зразок конюшини польової відзначається найбільшим вмістом незв'язаної та конституційної води (15,01%), яка втрачається в температурному інтервалі 20–197°C.

Таблиця 3.17

Результати термогравіметричного
та диференційного термічного аналізів зразків рослин

Зразок рослини	Стадія	Температурний інтервал, °C	Втрата маси, %	Максимум першого екзотермічного ефекту T_{max} , °C
1	2	3	4	5
Костриця очеретяна	I	20 – 183	10,08	364
	II	183 – 397	55,64	
	III	397 – 1000	25,12	

Таблиця 3.17 продовження

1	2	3	4	5
Костриця лучна	I	20 – 184	10,10	347
	II	184 – 400	56,24	
	III	400 – 1000	26,03	
Пирій повзучий	I	20 – 195	10,21	316
	II	195 – 366	44,45	
	III	366 – 1000	32,46	
Тимофіївка лучна	I	20 – 211	12,29	333
	II	211 – 373	49,94	
	III	373 – 1000	25,62	
Конюшина польова	I	20 – 197	15,01	300
	II	197 – 349	40,27	
	III	349 – 1000	35,54	

Найменша кількість води міститься в зразку костриці очеретяної (10,08%), яку вона втрачає в температурному інтервалі 20–183°C. Отримані результати добре узгоджуються з даними щодо визначення вологості зразків в процесі їх висушування:

Інтенсивна деструкція зразків на другій стадії, яка ілюструється швидкою втратою маси, починається за температур понад 183-211°C. Характери екстремумів на кривих DTA та DTG зразків істотно відрізняються, що свідчить, як уже зазначалося, про відмінності в їх хімічному складі.

В температурному інтервалі 183-400°C відбувається ряд складних процесів: поряд з ендотермічними процесами піролізу зразків відбувається перебіг екзотермічних окислювальних процесів, які завершуються горінням продуктів термічного розкладу. На кривих DTA у цьому температурному інтервалі з'являються чіткі екзотермічні ефекти.

Зауважимо також, що зразок конюшини польової характеризується найменшою термостійкістю. Термоокисні процеси в цьому зразку перебігають за більш низьких температур (рис. 3.16), максимум екзотермічного ефекту (300°C), який відповідає полуменовому горінню продуктів розкладу зразка, у порівнянні з іншими зразками, зміщений в область нижчих температур (рис. 3.17).

Зразкам костриці очеретяної та костриці лучної характерна найвища термостійкість. Температурний інтервал інтенсивної втрати маси, яка відповідає згоранню продуктів розкладу цих зразків, зміщений в область вищих температур (рис. 3.16). Максимуми екзотермічного ефекту цих зразків проявляються на кривих ДТА за найбільш високих температур у порівнянні з іншими зразками (рис. 3.17). Для зразка костриці очеретяної він спостерігається за температури 364°C , а для зразка костриці лучної – за температури 347°C . Зразки пирію повзучого, тимофіївки лучної виявляють середню термостійкість. Максимуми екзотермічних ефектів цих зразків відповідають температурам 316°C та 333°C . А найнижчим є цей показник для конюшини польової – 300°C .

Результати термічного аналізу задовільно узгоджуються з даними, отриманими в дослідженнях з визначення температур самозаймання зразків.

У температурному інтервалі $349\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ (III стадія) відбувається згорання карбонізованого залишку, сформованого в процесах полуменового горіння зразків. На кривих ДТА зразків спостерігається поява яскраво вираженого екзотермічного ефекту, екстремуми якого, як і на II стадії, також різняться між собою і свідчать про відмінність хімічного складу. По завершенню згорання зразків залишається невеликий залишок – зола. Для зразків пирію повзучого та тимофіївки лучної сформований залишок є найбільшим.

Отже, в результаті лабораторних термогравіметричних досліджень встановлено, що найбільша термостійкість з огляду на екзотермічний ефект властива костриці очеретяній та костриці лучній. Найбільшим є залишок золи для пирію повзучого і тимофіївки лучної, що вказує на їх меншу здатність до займання у порівнянні з іншими видами досліджених рослин [97].

3.4. Висновки

1. Незважаючи на відмінності структури і щільності досліджуваних зразків трав'яних рослин, протягом висушування спостерігається збільшення пожежної небезпеки за всіма показниками, які різняться для різних видів рослин.

2. Причинами неоднакових пожежонебезпечних показників для різних рослин та відмінності їх динаміки є неоднакова структура зразків, фізичні та хімічні властивості.

3. Оскільки залежності температур займання, самозаймання та тління фрагментів досліджених рослин від вологості добре описуються лінійними функціями, за результатами досліджень запропоновано зводити дані про всі рослини до таблиць у вигляді емпіричних сталих А і В рівнянь регресії. Зведення даних до однієї довідкової таблиці полегшить розрахунки пожежонебезпечних показників для кожного виду на практиці. Такі уніфіковані довідкові дані можуть бути використані для розроблення програмного забезпечення, призначеного для моніторингу та оцінювання пожежної безпеки природних екосистем.

4. Відмінності пожежонебезпечних властивостей досліджених рослин підтверджуються результатами термічного аналізу, в результаті якого виявлено відмінності інтенсивностей втрати маси під час нагрівання, температур настання першого екзотермічного ефекту (від 300°C до 364°C), які характеризують термостійкість зразків, та зольності.

5. Рослини з нижчою пожежною небезпекою можна застосовувати для створення трав'яного покриття на ділянці місцевості, яке може сповільнити поширення вогню.

РОЗДІЛ 4. ПОШИРЕННЯ ТРАВ'ЯНИХ ПОЖЕЖ ТА ЇХ ПРИПИНЕННЯ

Пожежну небезпеку трав'яних екосистем характеризують не лише пожежонебезпечні показники горючих матеріалів рослинного походження, але й інші показники, які характеризують процеси поширення пожеж. Тому для розуміння динаміки трав'яних пожеж слід проводити дослідження процесів поширення горіння. Такі дослідження можуть проводитись під час реальних пожеж, в ході експериментальних досліджень на дослідних ділянках, а також на основі моделювання процесів займання та поширення пожеж.

Дослідження реальних пожеж є складним завданням, оскільки важко передбачити час і місце виникнення пожежі, повідомлення про такі пожежі надходить переважно після охоплення вогнем значних площ і виникнення реальної загрози для розташованих поруч об'єктів, для прибуття на місце пожежі потрібний час, упродовж якого триває розвиток пожежі, а також існує загроза для життя і здоров'я дослідників. Під час реальних пожеж складним завданням є отримання інформації про рослинний горючий матеріал та його властивості.

Більш ефективним є проведення експериментальних досліджень на дослідних ділянках, що дає змогу заздалегідь встановити властивості горючого матеріалу, його просторову структуру, вибрати дату і час проведення відповідно до прогнозу метеорологічних умов та для досягнення потрібного стану горючого матеріалу, врахувати напрям та швидкість вітру, а також забезпечити дотримання вимог безпеки. Однак проведення таких досліджень становить небезпеку і не завжди можливо відтворити заплановані умови навколишнього середовища і трав'яного покриву.

Моделювання трав'яних пожеж дає можливість реалізувати різноманітні сценарії з заданням стану та властивостей горючого матеріалу, погодних умов та джерел запалювання. Такий метод досліджень не є загрозливим для життя, здоров'я та довкілля. Результати моделювання можна порівняти з результатами експериментальних досліджень або з реальними пожежами. У випадку доведення адекватності моделі результати моделювання можна використовувати для

прогнозування поширення трав'яних пожеж у процесі їх ліквідації. Проте моделям властиве спрощення, зосередження на окремих значимих аспектах явища та нехтування іншими, а тому будь-яка модель не зможе врахувати абсолютно всі умови та абсолютно точно відтворити процес поширення трав'яної пожежі.

Припинення пожежі є можливим без втручання людини у випадку вигорання трав'яного шару, досягнення смугою горіння перешкоди (водойми, ділянки, вільної від горючих матеріалів та ін.), яка запобігає подальшому її поширенню, зміни властивостей горючих матеріалів, метеорологічних умов, зокрема зниження температури та зростання відносної вологості повітря внаслідок добових коливань, настання опадів, зміни напрямку та швидкості вітру.

Для боротьби з трав'яними пожежами застосовують різноманітні методи та засоби пожежогасіння, які впливають на перебіг процесів горіння та/або на властивості горючого матеріалу, в результаті чого горіння й поширення вогню сповільнюється, локалізується та припиняється.

4.1. Методи досліджень

Для проведення досліджень поширення пожеж та їх припинення використовували низку методів із використанням відповідного обладнання.

Експериментальні дослідження пожеж у польових умовах [43] проводили за запропонованою методикою. Дослідні ділянки довжиною 10 м і шириною 3 м облаштовували на вкритій трав'яним покривом території таким чином, щоб вітер був у напрямку довшої сторони ділянки (рис. 4.1). З метою недопущення неконтрольованого поширення вогню суміжні ділянки обкошувалися та зволожувалися. Під час експерименту також були наявні первинні засоби пожежогасіння та асистенти.

Швидкість вітру та мікрокліматичні умови визначали з допомогою метеостанції Kestrel 4000. Вологість горючого матеріалу визначали ваговим методом за формулою (2.1) як співвідношення маси вільної та зв'язаної вологи в рослинах до їх сухої маси. Відстані та висоту трав'яного покриву вимірювали рулеткою, а час – секундоміром. Фотофіксацію проводили цифровою фотокамерою.

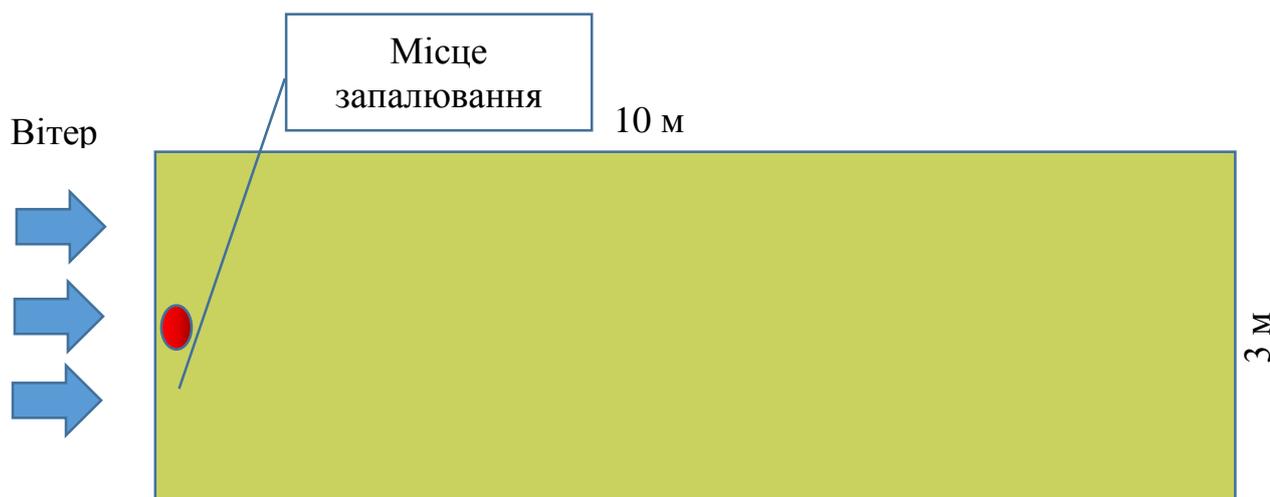


Рисунок 4.1 – Схема дослідних ділянок для дослідження процесів виникнення і поширення трав'яних пожеж

Підпалювання здійснювали з використанням газового пальника у точці, розташованій посередині меншої із сторін ділянки (рис. 4.2). Для кожного діапазону швидкостей вітру та висоти трав'яного шару досліди виконувалися тричі. В окремих випадках під час досліджень застосовували одночасно декілька джерел запалювання, розміщуючи у відповідних місцях суху траву та підпалюючи її газовим пальником.



Рисунок 4.2 – Осередок займання під час експерименту на дослідній ділянці (фото автора)

Для планування часу досліджень дані про прогноз метеорологічних умов для обраної місцевості дослідження брали з [74]. Геометричні розміри полум'я визначали візуально та за фотографіями з урахуванням рекомендацій [92].

Моделювання трав'яної пожежі проводили з використанням програмного забезпечення WFDS [129]. Для моделювання горючого матеріалу рослинного походження у цьому програмному забезпеченні застосовується механізм часток, властивості та процеси горіння яких є аналогічними до горіння пористих горючих матеріалів, якими є трав'яний покрив. Моделювання у WFDS здійснюється всередині обчислюваного домену у формі прямокутного паралелепіпеда. Розміри обчислювального домену становили 10 м у довжину, 6 м у ширину та 3 м у висоту. Для досягнення прийнятної точності моделювання проводили на обчислювальній сітці з однаковою відстанню між вузлами по довжині, ширині та висоті – 0,05 м.

Поширення пожеж вивчали для ділянок з трав'яним покривом, сформованим піриєм повзучим. Дослідні ділянки для моделювання вибирали прямокутної форми з довжиною 10 м і шириною 4 м (рис. 4.3).

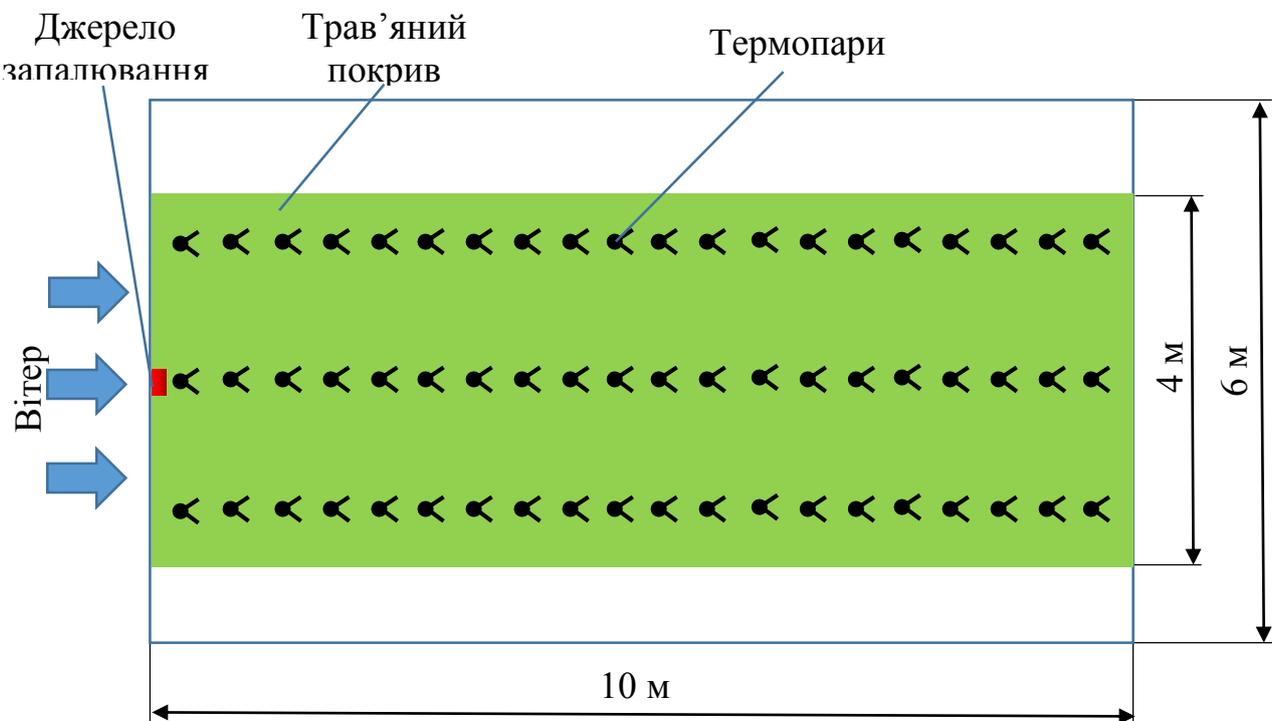


Рисунок 4.3 – Схема дослідної ділянки для моделювання трав'яної пожежі у середовищі WFDS

Для проведення моделювання у середовищі WFDS формували вхідний файл, у якому задавали фізичні властивості горючого матеріалу на ділянці, зокрема, геометричні розміри рослинного покриву, хімічний склад, вологість, щільність, насипну щільність, відношення площі поверхні до об'єму, початкову температуру повітря та горючого матеріалу, а також розташування джерела запалювання і його властивості, початок і тривалість дії джерела запалювання, швидкість і напрямок вітру, початок і тривалість його дії та інші показники.

Підпалювання здійснювали на початку ділянки з допомогою одного джерела запалювання. Джерело запалювання у WFDS задається у вигляді отвору квадратної форми із стороною 0,1 м, розташованого на поверхні ґрунту на межі домену, з якої починалося горіння, та посередині трав'яного покриву. Початок і тривалість дії джерела запалювання задавали, відповідно 0,7 с і 5,8 с. Для визначення температури полум'я під час моделювання пожежі та моніторингу процесу поширення горіння у середовищі WFDS застосовували засіб – термопари, розміщуючи їх у три ряди за площею рослинного покриву на висотах 0; 0,25; 0,5; 0,75 та 1 м від поверхні ґрунту, відстань між термопарами у рядах становила 0,5 м, перші термопари у кожному ряді розміщувалися на відстані 0,25 м від межі домену, з якої починалося горіння, а відстань між рядами становила 1,5 м (див. рис. 4.3).

Візуалізацію перебігу процесу моделювання пожежі спостерігали в програмі Smokeview.

Швидкість поширення пожежі визначали візуально у Smokeview та з урахуванням досягнення температури займання горючого матеріалу у точках розміщення термопар.

Тривалість процесу комп'ютерного моделювання пожежі обмежували величиною 300 с.

Дослідження з обґрунтування параметрів і способу застосування технічних засобів, які формують потоки повітря, для гасіння трав'яних пожеж проводили для обприскувача Stihl SR 430 з бензиновим двигуном. Під час безвітряної погоди на відкритій ділянці намітили лінії напрямків потоку 0° , 30° і 45° (рис 4.4) та нанесли на них позначки з кроком 0,2 м, починаючи з точки виходу повітря з обприскувача назовні.

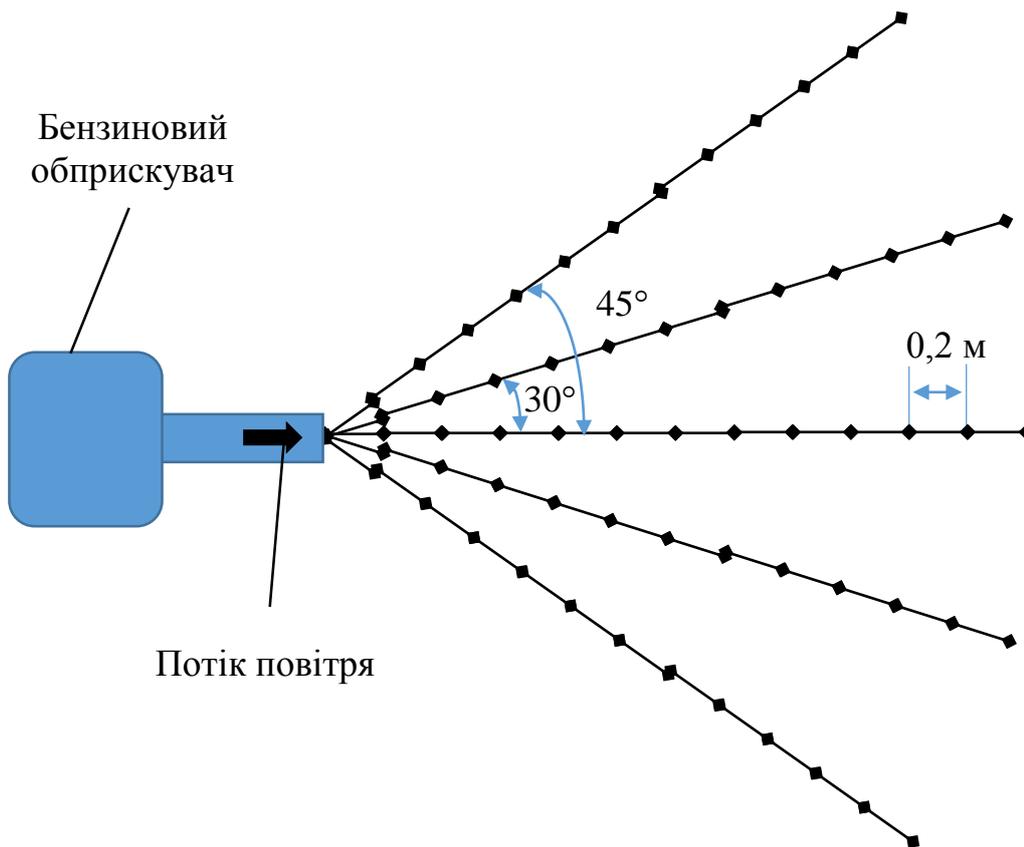


Рисунок 4.4 – Схема досліджень потоків повітря, сформованих бензиновим обприскувачем

Швидкість сформованого потоку у відповідних точках визначали з допомогою анемометра HOLDPEAK 866B.

4.2. Експериментальні дослідження процесів виникнення і поширення пожеж у трав'яних екосистемах

Найбільш ефективним і достовірним методом дослідження процесів виникнення і поширення трав'яних пожеж є експериментальні дослідження в природних умовах на дослідних ділянках. За допомогою таких досліджень можна отримати інформацію про швидкість поширення пожеж у напрямках фронту, тилу та флангів, інтенсивність тепловиділення, висоту полум'я, ширину смуги горіння та встановити закономірності впливу на ці показники параметрів шару горючого матеріалу, а також метеорологічних показників.

Експериментальні дослідження процесів виникнення і поширення трав'яних пожеж [43] проводили в умовах лісостепу України (Вінницька обл.) на рівнинній місцевості 1-3 листопада 2019 р. В цей час завершився вегетаційний період і трав'яна рослинність була в сухому стані.

Вітер є одним з визначальних погодно-кліматичних факторів впливу на розвиток пожежі. Швидкість вітру впливає на форму пожежі (із збільшенням швидкості вітру фронт пожежі буде більш витягнутим), 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 загалом 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, тобто Донецької і Приазовської височин, берегів морів і водосховищ [7]. Додатковим фактором небезпеки є здатність розповсюдження вітром іскор та палаючих частинок. Механізм дії вітру на поширення пожежі є загалом складним, оскільки він впливає на процеси передачі тепла в умовах пожежі. Швидкість вітру визначає кут нахилу полум'я, змінюючи відповідно інтенсивність радіаційного теплового потоку для попереднього підігрівання горючого матеріалу [59], а горизонтальний і вертикальний конвективні 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 впливають на стан і властивості горючого матеріалу рослинного походження, змінюючи його вологість. Температура повітря у 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%.

Вологість горючого матеріалу рослинного походження визначали ваговим методом. Під час проведення досліджень вологість трави у денний час доби становила 20-22%, а у нічний – 30-35%. Зауважимо, що вологість сухих рослин є

нерівномірно розподіленою та знижується з висотою від поверхні ґрунту, а тому горіння може іноді поширюватися верхнім шаром трав, а нижні будуть догоряти довше, або і не згорять.

Для опису густоти трав'яного покриття трав'яних рослин застосовували шкалу О. Друде [127]. На відміну від лісових трав'яних екосистем, лучним властива висока густина трав'яних рослин, близьке до суцільного проективне покриття та відсутність фрагментарності. На дослідних ділянках рослини розміщувалися дуже щільно та повністю вкривали поверхню ґрунту.

Від щільності трав залежить пожежне навантаження, яке характеризує маса їх надземної частини на одиниці площі, що також залежить від вологості. На дослідних ділянках пожежне навантаження становило 4-5 т/га.

Основним показником розміру горючого матеріалу трав'яних екосистем є висота трав'яного покриву. Цей показник залежить від виду рослин, періоду їх дозрівання, кліматичних і ґрунтових умов. У трав'яних екосистемах часто спостерігається поєднання декількох видів рослин з різною висотою. Для оцінювання висоти трав'яного покриву дослідних ділянок використовували середні значення висот трав на певній площі. Дослідні ділянки вибирали із середньою висотою трав 40 см і 60 см.

Дослідження проводили у денний та нічний час доби. Займання у період з 19:00 вечора до 10:00 ранку було ускладнене, а поширення горіння переважно не відбувалося. Це пояснюємо тим, що трав'яний покрив увечері та 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'яних рослин зменшувалася, що сприяло їх займанню та поширенню вогню. За відсутності вітру поширення вогню не відбувалося.

Фотографії досліджень поширення горіння за різних швидкостей вітру наведено на рис. 4.5.



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рисунок 4.5 – Поширення вогню на дослідних ділянках:
у напрямку вітру, швидкість якого становить:
а, б – 1-2 м/с; в, г – 2-4 м/с; д, е – 4-6 м/с; є, ж – 6-8 м/с



є)



ж)

Рисунок 4.5 (продовження)

Поширення вогню спостерігалось і у напрямку, протилежному до напрямку вітру. Інтенсивність горіння у цьому випадку була невисокою, що виражалось у невеликій висоті полум'я (рис. 4.6).



а)



б)

Рисунок 4.6 – Поширення вогню на дослідних ділянках:

а, б – проти вітру

Узагальнені результати значень лінійної швидкості поширення фронту пожежі, отримані в процесі експериментальних досліджень у трав'яних екосистемах для швидкостей вітру 0-8 м/с та висот трав'яного покриву 40 см і 60 см у денний період доби, наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Швидкість поширення трав'яної пожежі у денний час доби для різних швидкостей вітру та висоти трав'яного покриву

Швидкість вітру, м/с	Швидкість поширення фронту пожежі у м/хв за висоти трав'яного покриву, 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

Як уже зазначалося, увечері після 19:00 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 лише за використання декількох джерел запалювання, які розташовували в ряд на відстані 0,5 м одне від одного. За допомогою трьох джерел займання вдавалося підпалити траву та спостерігалось поширення пожежі, швидкість якої сягала до 10 м/хв.

Поширення горіння відбувалося і в напрямку, протилежному до напрямку вітру. У цьому випадку швидкість поширення вогню була в межах 0,5-0,7 м/хв.

Швидкість поширення горіння у трав'яних екосистемах залежить від температури і відносної вологості повітря, швидкості вітру, вологості трав, їх висоти та просторового розміщення [43]. Горіння може поширюватися і у напрямку, протилежному до напрямку вітру. У нічний час висока вологість трав, зумовлена високою відносною вологістю та низькою температурою повітря, утруднює займання і горіння, проте за наявності декількох потужних джерел займання поширення пожежі може відбуватися, але за наявності вітру. Недоліком експериментального методу

дослідження трав'яних пожеж є неможливість відтворити всі можливі випадки виникнення і поширення пожеж з причин залежності від наявного трав'яного покриву на дослідній ділянці, стан якого визначається погодними умовами та наявним видовим складом.

4.3. Моделювання процесів виникнення і поширення пожеж у трав'яних екосистемах

Експериментальні дослідження трав'яних пожеж не дають можливості врахувати всі можливі випадки зміни факторів впливу на процеси їх виникнення та поширення у зв'язку з труднощами та подекуди неможливістю їх задання під час експерименту. Це стосується переважно погодних умов і вологості горючого матеріалу. Тому для виявлення залежностей показників трав'яної пожежі від властивостей горючого матеріалу та погодних умов застосовано метод комп'ютерного моделювання з використанням програмного забезпечення WFDS, яке є розширенням FDS та базується на математичній моделі, яка описує процеси тепломасоперенесення під час пожежі. Апробована для трав'яних пожеж комп'ютерна модель WFDS, яка є розширенням моделі FDS, для опису горючого матеріалу рослинного походження використовує наявний у FDS механізм часток. Основним фізичним припущенням для моделювання пожеж в природних екосистемах у WFDS є те, що горіння відбувається переважно над поверхневим шаром горючого матеріалу [108].

Для опису процесів тепломасоперенесення у FDS використовують метод чисельного інтегрування системи диференціальних рівнянь [107], описаних нижче.

Рівняння перенесення описує в кожній точці простору масові частки Z_α (повітря Z_A , горючого матеріалу Z_F і продуктів горіння Z_p)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Z_\alpha) + \nabla \cdot (\rho Z_\alpha \mathbf{u}) = \nabla \cdot (\rho D_\alpha \nabla Z_\alpha) + \dot{m}_\alpha''' + \dot{m}_{b,\alpha}''', \quad (4.1)$$

де ρ – густина, $\mathbf{u}=(u, v, w)$ – вектор швидкості потоку (частки), D_α – коефіцієнт дифузії, \dot{m}_α''' – швидкість виділення кожного компонента внаслідок хімічної реакції горіння і $\dot{m}_{b,\alpha}'''$ – швидкість виділення кожного компонента в результаті випаровування крапель часток.

Рівняння

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h_s) + \nabla \cdot (\rho h_s \mathbf{u}) = \frac{D\bar{p}}{Dt} + \dot{q}''' - \dot{q}_b''' - \nabla \cdot \dot{q}'' \quad (4.2)$$

описує консервацію енергії, у якому h_s – чутлива ентальпія, \bar{p} – фоновий тиск, який входить в рівняння стану ідеального газу $\bar{p} = \frac{\rho RT}{W}$, де R – універсальна газова стала, T – абсолютна температура, \dot{q}''' – інтенсивність тепловиділення з одиниці об'єму внаслідок хімічної реакції, \dot{q}_b''' – енергія, перенесена у краплю чи частку, \dot{q}'' – кондуктивний, дифузійний і радіаційний тепловий потік.

Рівняння консервації моменту транспортування записується у вигляді

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} - \mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega} + \nabla H - \tilde{p} \nabla \left(\frac{1}{\rho} \right) = \frac{1}{\rho} [(\rho - \rho_0)g + f_b + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}], \quad (4.3)$$

де \tilde{p} – збурення тиску, g – прискорення вільного падіння, f_b – сила опору, яку чинять частки та краплі, $\boldsymbol{\tau}$ – в'язкий стрес, ρ_0 – початкова густина.

Інтенсивність тепловиділення в одиниці об'єму внаслідок горіння розраховують за формулою

$$\dot{q}''' = - \sum_{\alpha} \dot{m}_{\alpha} \Delta h_{f,\alpha}, \quad (4.4)$$

де $\Delta h_{f,\alpha}$ – відповідні формування теплоти кожною часткою.

Виділення тепла внаслідок теплового випромінювання описується рівнянням

$$\dot{q}_r''' = k(x)[U(x) - 4\pi I_b(x)], \quad (4.5)$$

де $k(x)$ – коефіцієнт абсорбції, $I_b(x)$ – джерело, $U(x) = \int_{4\pi} I(x, s') ds'$, а функція $I(x, s)$ є розв'язком рівняння

$$s \cdot \nabla I(x, s) = k(x)[I_b(x) - I(x, s)].$$

Розв'язування рівнянь (4.1)-(4.5) здійснюється в програмі FDS чисельними методами на вузлах обчислювальної сітки в обчислювальному домені, у якому задається просторове розміщення навколишніх об'єктів та їх пожежонебезпечні та фізичні властивості.

Оскільки властивості горючого матеріалу рослинного походження залежать від виду рослин, моделювання загалом можна проводити для кожного виду трав окремо. Але у зв'язку із значним різноманіттям рослин трав'яних екосистем України

дослідимо поширення пожеж для однієї з обраних нами для досліджень пожежонебезпечних рослин – пирію повзучого, якому властиві середні значення температур займання, самозаймання та тління з досліджених нами п'яти найпоширеніших видів рослин. Пирій повзучий поширений практично всюди на території України на рівнині і в гірській місцевості, у дикій природі та на землях сільськогосподарського призначення. Тому моделювання поширення пожеж з метою встановлення показників пожеж проведено на прикладі цієї рослини для різних висот рослинного покриву та швидкостей вітру.

Дослідження процесів займання та поширення горіння [45] проводили для ділянок, вкритих пирієм повзучим із середньою висотою від 20 до 100 см з інтервалом 20 см. Швидкість вітру значеннями 0, 1, 2, 3, 4, 6, 8 м/с застосовували для кожного значення висоти трав.

Для проведення моделювання зробили певні припущення, зокрема:

- бічні та верхня грані обчислюваного домену є відкритими для конвективних потоків та радіаційного теплового випромінювання, нижня грань – закрита і теплоізольована;
- початкова температура повітря та горючого матеріалу становить 20°C;
- трав'яне покриття є шаром однорідного за властивостями горючого матеріалу у формі прямокутного паралелепіпеда, висота якого дорівнює висоті трав'яних рослин;
- густина горючого матеріалу, хімічний склад, насипна щільність, вологість у початковий момент часу є сталими величинами;
- напрямок вітру збігається з напрямком поширення горіння, а швидкість вітру не змінюється з висотою.

Початкові дані – пожежонебезпечні властивості горючого матеріалу вибирали за літературними даними, за результатами проведених експериментальних досліджень або використовували усереднені значення відповідних показників (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Пожежонебезпечні властивості горючого матеріалу на дослідній ділянці

Початкова температура, °С	Відношення площі поверхні до об'єму, м ⁻¹	Вологість, %	Щільність, кг/м ³	Насипна щільність, кг/м ³
20	4000	6	514	0,626

Для моделювання задавали початкову вологість горючого матеріалу 6%, оскільки така низька вологість спостерігається за екстремальної посухи та зумовлює значні масштаби трав'яних пожеж і труднощі їх гасіння.

Хімічний склад горючого матеріалу рослинного походження задавали у вигляді формули $C_{3,4}H_{6,2}O_{2,5}$, питому теплоту згорання – 17700 кДж/кг, а інтенсивність тепловиділення на одиницю площі джерела запалювання – 500 кВт/м² [12]. Інші фізичні показники для процесу моделювання встановлювали відповідно до [49] та за результатами власних досліджень [8].

Важливе значення для процесу розвитку пожежі має вітер. У [74] встановлено, що за відсутності вітру в межах фронту пожежі виникають потоки, швидкість, яких збільшується пропорційно збільшенню інтенсивності пожежі. Проте не завжди інтенсивність пожежі сприяє процесам тепломасоперенесення з тих чи інших причин. Тому важливим було виявити, як змінюється швидкість пожежі залежно від приросту швидкості вітру та із збільшенням висоти трав'яного покриву – а, отже, із збільшенням горючого навантаження. Дія вітру розпочиналася на 0,5 с після початку моделювання і тривала постійно.

Результати моделювання WFDS зберігає у вихідних файлах відповідно до команд, наведених у вхідному файлі. У зв'язку з цим для подальшого аналізу перебігу пожежі у вхідному файлі задавали виведення моменту часу моделювання, значень термопар та інтенсивність тепловиділення від пожежі. Висоту полум'я оцінювали за візуалізацією у програмі Smokeview (рис. 4.7).

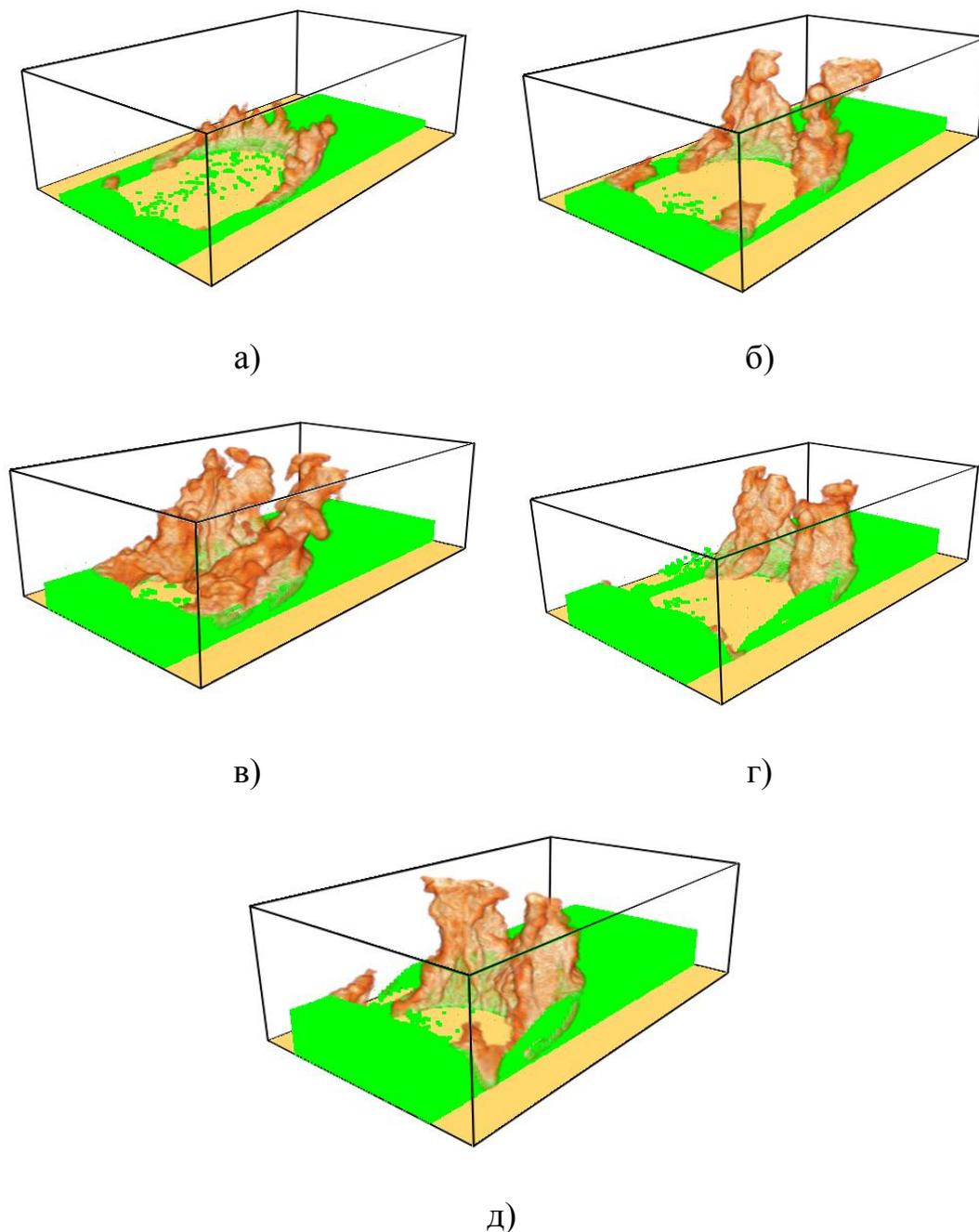


Рисунок 4.7 – Візуалізація процесу моделювання трав'яної пожежі на дослідній ділянці залежно від висоти трав'яного покриву у програмі Smokeview:

а – 20 см; б – 40 см; в – 60 см; г – 80 см; д – 100 см

Результати моделювання, збережені у вихідних файлах, аналізували для отримання значень параметрів пожежі за числовими даними, а також, оскільки найбільша швидкість поширення пожежі спостерігалася посередині ділянки,

отримані значення температур на термопарах середнього ряду зображали за відповідними табличними даними у вигляді графіків. Приклад такого графіка для висоти трав'яного покриву 20 см і швидкості вітру 2 м/с наведено на рис. 4.8.

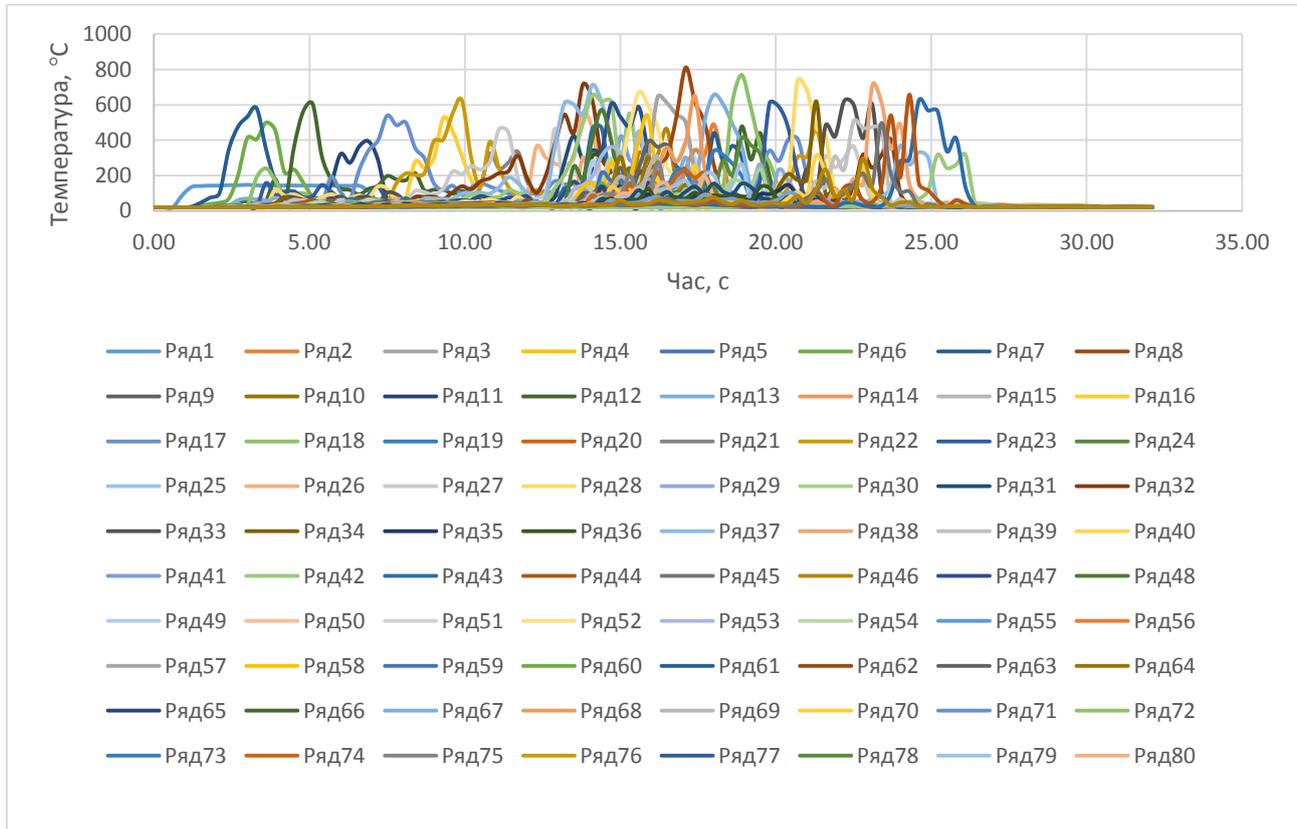


Рисунок 4.8 – Значення температур, визначених термопарами середнього ряду за результатами моделювання трав'яної пожежі на ділянці з висотою трав'яного покриву 20 см і швидкістю вітру 2 м/с

Аналіз максимальних значень показів кожної з термопар середнього ряду здійснювали також за допомогою нанесених на координатній площині точок, однією з координат яких є максимальна температура, а іншою – момент часу. Приклад такого графіка для висоти трав'яного покриву 20 см і швидкості вітру 2 м/с наведено на рис. 4.9.

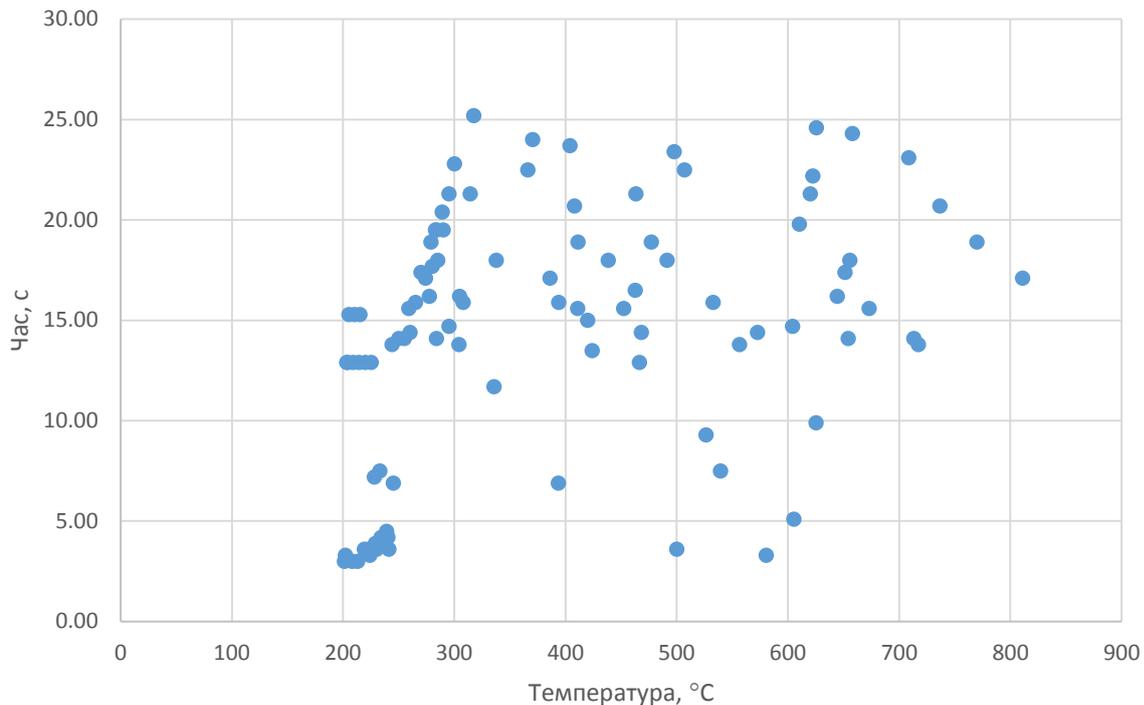


Рисунок 4.9 – Залежності максимальної температури від часу для термопар середнього ряду за результатами моделювання трав'яної пожежі на ділянці з висотою трав'яного покриву 20 см і швидкістю вітру 2 м/с

Максимальним значенням температури під час цього моделювання є $810,9^{\circ}\text{C}$, яке досягається на 17,1 с. Температуру понад 700°C фіксували 5 разів у інтервалі часу від 13 до 23 с, від 600 до 700°C – 13 разів у інтервалі від 5 до 25 с, від 500 до 600°C – 7 разів у інтервалі часу від 3 до 23 с, від 400 до 500°C – 14 разів у інтервалі часу від 3 до 24 с, від 300 до 400°C – 13 разів у інтервалі часу від 6 до 26 с, а від 200 до 300°C – решту разів у інтервалі часу від 3 до 22 с.

За отриманими в результаті моделювання трав'яної пожежі показниками термопар та візуально визначали моменти займання горючого матеріалу, початку і завершення поширення пожежі трав'яним покривом. Зокрема середню швидкість поширення визначали як відношення різниці відстаней між останньою та першою термопарами, розташованими в одному ряді, до часового інтервалу, протягом якого відбувалось займання горючого матеріалу, за найшвидшим досягненням температури займання хоча б однієї з термопар, розташованих на однаковій відстані від бічної грані, зі сторони якої відбувається поширення горіння. За

результатами моделювання отримано значення швидкості поширення фронту пожежі (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Швидкість поширення фронту трав'яної пожежі на пробній ділянці залежно від висоти трав'яного покриву та швидкості вітру

Швидкість вітру, м/с	Швидкість поширення фронту трав'яної пожежі у м/хв за висоти трав'яного покриву, см				
	20	40	60	80	100
0	-	-	5,23	6,96	14,96
1	-	16,91	19,31	20,11	19,50
2	19,79	20,00	24,38	25,32	21,77
3	23,21	27,46	21,15	26,00	22,94
4	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-

У процесі моделювання виявлено, що розвиток і поширення пожежі відбувалися не завжди, оскільки за деяких значень швидкості вітру та висоти полум'я вогонь згасав. Як видно з табл. 4.3, швидке поширення трав'яної пожежі притаманне для швидкості вітру 2-3 м/с. За швидкості вітру 0 м/с пожежа поширювалась для трав'яного покриву висотою 60 см і більше, а за 4 м/с – не поширювалась, причому процес горіння припинявся. Зокрема за відсутності вітру горіння трави висотою 20 см припинялось на 5-6 с від моменту підпалу, а для трави висотою 40 см – на 9-10 с. Найбільшою є швидкість пожежі за висотою трав'яного

покриву 40 см при швидкості вітру 3 м/с, а найменшою – за висоти трав'яного покриву 60 см та швидкості вітру 0 м/с. Варто відзначити, що у випадку швидкості вітру 4 м/с і більше горіння трави відбувалося впродовж часу дії джерела запалювання, який становив 5 с. Зауважимо також, що найбільша пожежна небезпека пірію повзучого, виражена максимальною швидкістю поширення пожежі, спостерігається для висоти трав'яного покриву 40 см та швидкості вітру 3 м/с, що в понад 5 разів перевищує цей показник порівняно з висотою трави 60 см за відсутності вітру [44].

Оскільки WFDS не дає можливості сформувати узагальнені залежності за результатами окремих досліджень, проведено аналіз цих результатів із застосуванням математичних методів обробки результатів. За отриманими результатами побудовано залежність усередненого значення швидкості поширення трав'яної пожежі від висоти трав'яного покриву за змінних швидкостей вітру в діапазоні 0-3 м/с (рис. 4.10).

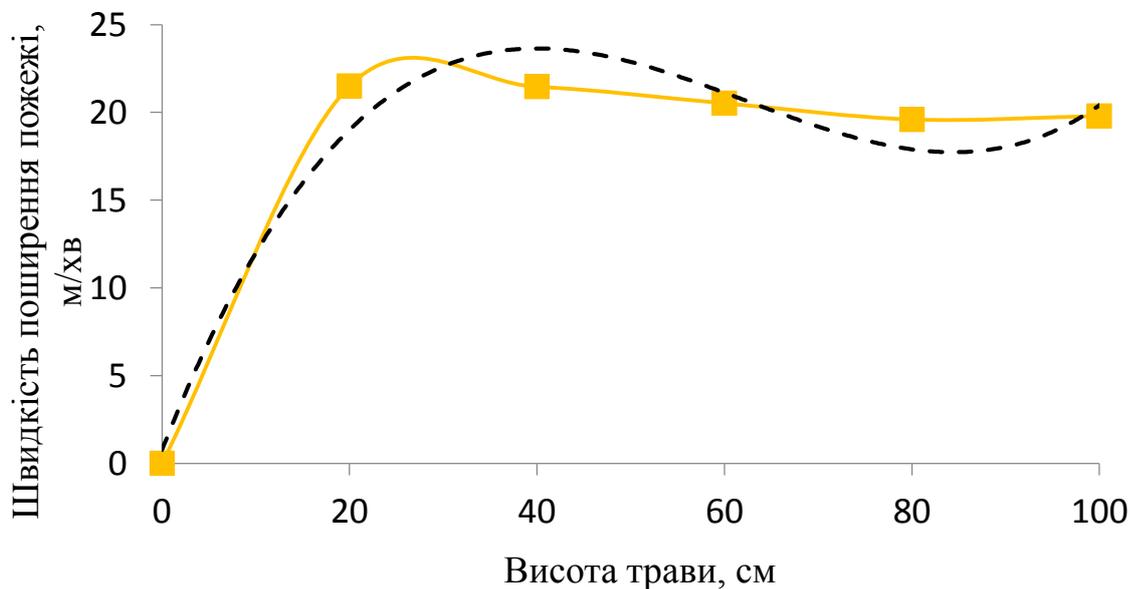


Рисунок 4.10 – Залежність середньої швидкості поширення трав'яної пожежі на дослідній ділянці від висоти трав'яного покриву для значень вітру в діапазоні 0-3 м/с

Залежність середньої швидкості трав'яної пожежі від висоти трав'яного покриву описується поліноміальною регресійною моделлю

$$v = 0,0001h^3 - 0,0251h^2 + 1,3591h + 0,7772 \quad (4.6)$$

з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0,9572$, де v – середня швидкість поширення пожежі, м/хв, h – висота трав'яного покриву, см.

Для значень вітру в діапазоні 0-3 м/с середня швидкість трав'яної пожежі за висоти трав'яного покриву 20-40 см досягає максимальних значень 21,5 м/хв, проте для висот у діапазоні 40-100 см цей показник зменшується до 19,5-19,8 м/хв.

Побудуємо також функцію лінійної множинної регресії для результатів досліджень, яка описує залежність швидкості поширення пожежі від швидкості вітру та висоти трав'яного покриву. Ця функція має вигляд

$$v = 4,7811v_B + 0,0323h + 9,4251, \quad (4.7)$$

де v_B – швидкість вітру. Коефіцієнт апроксимації R^2 становить 0,72 та свідчить про те, що отримана залежність може використовуватися для визначення швидкості поширення фронту пожежі для інших значень швидкості вітру та висоти трав'яного покриву.

Під час трав'яної пожежі відбувається різна кількість виділення тепла у навколишнє середовище, яка залежить, в першу чергу, від їх вологості і теплотворної здатності [9].

За допомогою WFDS є можливість отримати показники, які характеризують виділення тепла в процесі горіння у кожен момент часу. Залежності потужності тепловиділення під час пожежі від часу для висоти трав'яного покриву 20 см наведено на рис. 4.11.

Як видно з графіків, для швидкостей вітру 2 м/с і 3 м/с відбувається майже однакове зростання потужності тепловиділення від початку моделювання і до 13,5 с, проте у випадку швидкості вітру 2 м/с тепловиділення змінюється незначно, коливаючись у межах 2589-3267 кВт аж до 29 с, а далі різко знижується. За швидкості вітру 3 м/с, починаючи з 13,5 с зростання тепловиділення продовжується і досягає

найбільшого значення 5580 кВт на 17,1 с, а далі, незначно коливаючись, тепловиділення знижується, причому загалом на 4 с раніше, ніж за швидкості вітру 2 м/с.

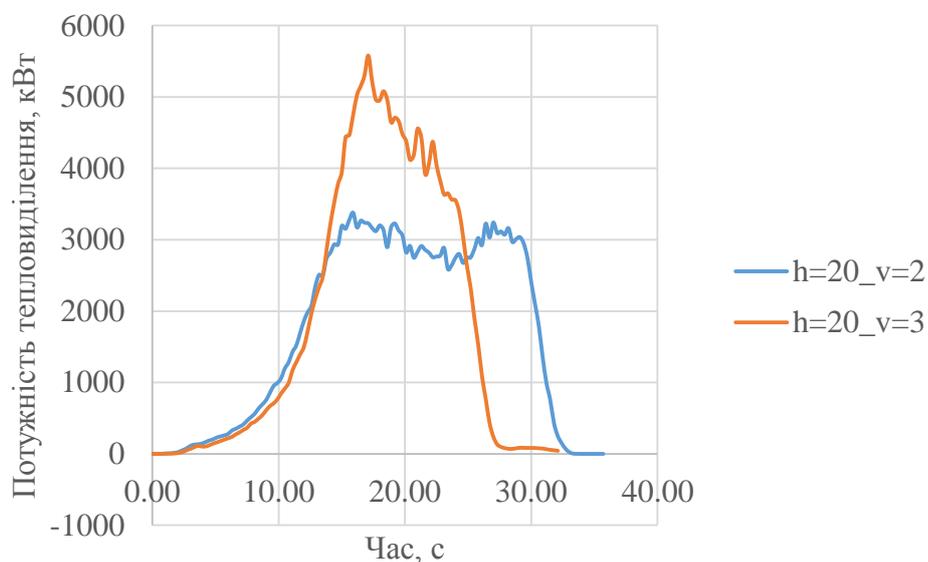


Рисунок 4.11 – Залежності від часу потужності тепловиділення від пожежі трав'яного покриву висотою 20 см для швидкостей вітру 2 м/с і 3 м/с

Для висоти трав'яного покриву 40 см залежності потужності тепловиділення від часу за швидкостей вітру 1 м/с, 2 м/с і 3 м/с наведені на рис. 4.12.

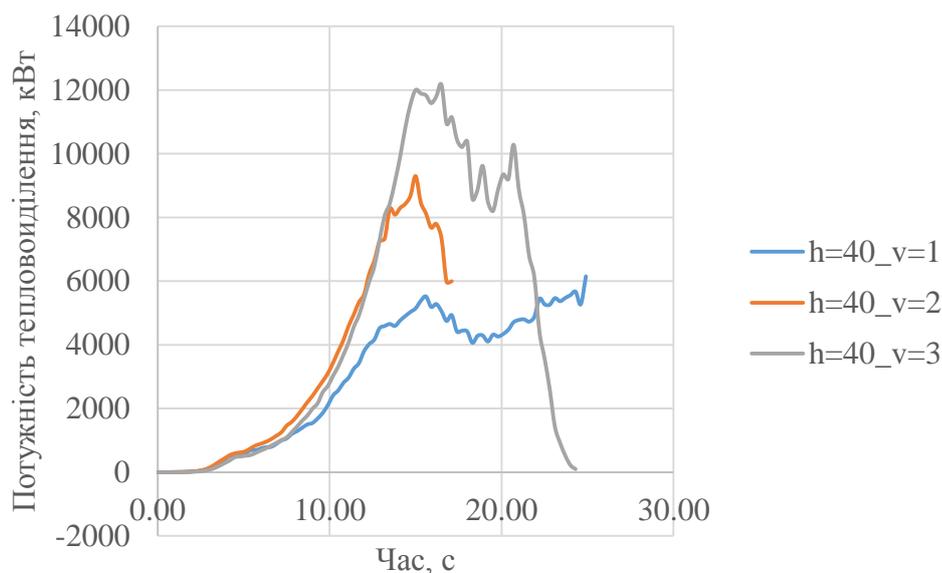


Рисунок 4.12 – Залежності від часу потужності тепловиділення від пожежі трав'яного покриву висотою 40 см для швидкостей вітру 1 м/с, 2 м/с і 3 м/с

Загалом поведінка графіків є схожою до залежностей, отриманих для висоти трав'яного покриву 20 см, однак перший максимум тепловиділення для швидкостей вітру 1, 2 і 3 м/с є більшим і становить, відповідно, 5281 кВт, 9299 кВт і 12168 кВт, а тривалість від початку моделювання до моменту його досягнення є меншою.

На рис. 4.13 наведено аналогічні залежності для випадку висоти трав'яного покриву 60 см і швидкостей вітру 0, 1, 2 і 3 м/с. У цьому випадку максимальна потужність тепловиділення досягає значень першого максимуму для швидкостей вітру 0 м/с, 1 м/с і 2 м/с, відповідно 5354 кВт, 9561 кВт і 13706 кВт. За відсутності вітру (швидкість 0 м/с) другий максимум досягається пізніше і перевищує перший.

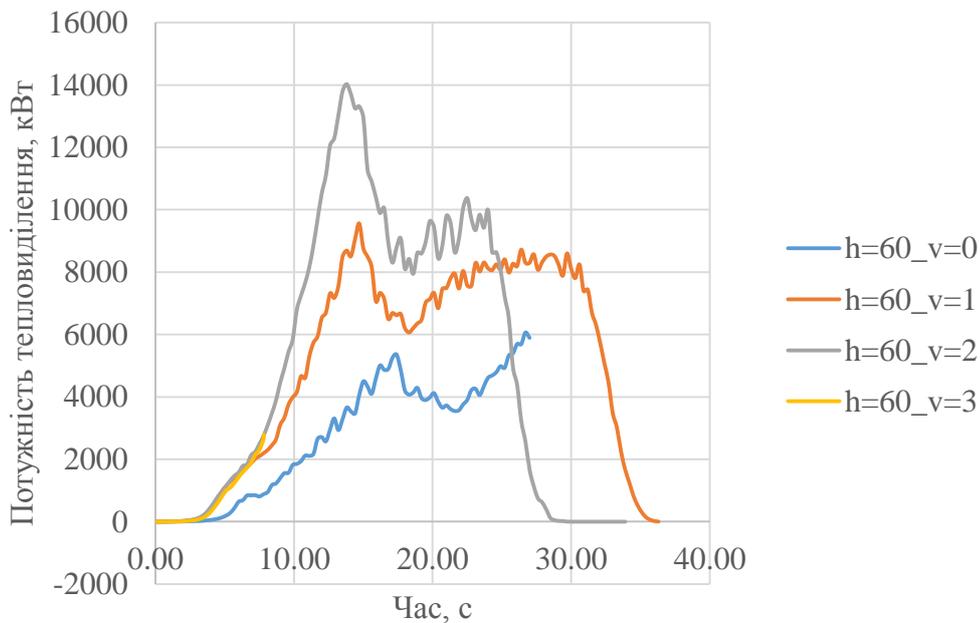


Рисунок 4.13 – Залежність від часу потужності тепловиділення пожежі трав'яного покриву висотою 60 см і швидкостей вітру 0 м/с, 1 м/с, 2 м/с і 3 м/с

Для трав'яного покриву висотою 80 см та швидкостей вітру 0, 1, 2 і 3 м/с потужність тепловиділення в кожен момент часу зображена на рис. 4.14.

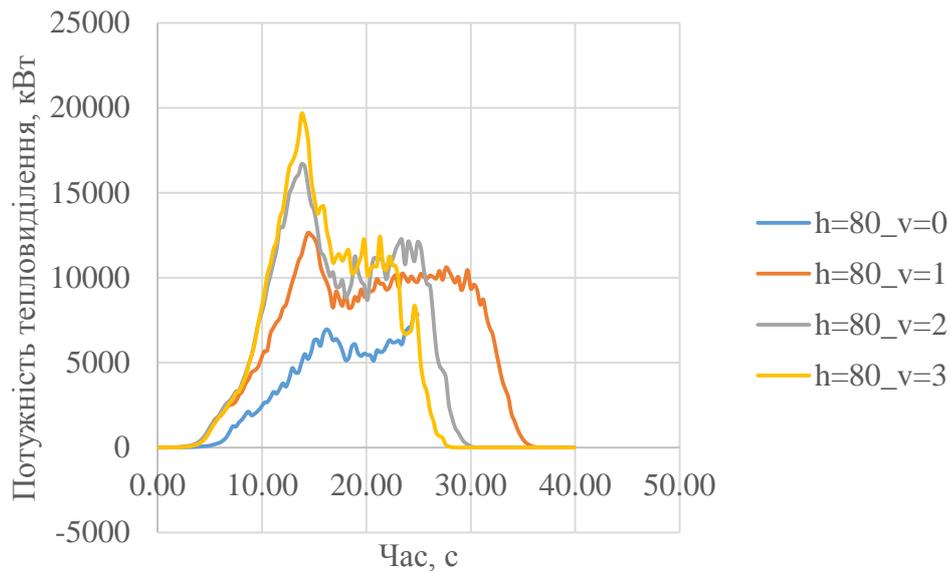


Рисунок 4.14 – Залежність від часу потужності тепловиділення пожежі трав'яного покриття висотою 80 см і швидкостей вітру 0 м/с, 1 м/с, 2 м/с і 3 м/с

Як і у випадках менших значень висоти трав'яного покриття, тепловиділення зростає до першого максимуму, а далі зазнає коливань і досягає дещо меншого за величиною другого максимуму за швидкостей вітру 1 м/с, 2 м/с і 3 м/с. За відсутності швидкості вітру зростання тепловиділення після початку моделювання йде повільніше, досягає першого максимуму і далі другого, значення якого перевищує перший.

Для висоти трав'яного покриття 100 см і швидкостей вітру 0, 1, 2 і 3 м/с залежності потужності тепловиділення від пожежі наведено на рис. 4.15.

Залежності та їх поведінка для пожежі трав'яного покриття висотою 100 см практично ідентичні до випадку, коли висота становить 80 см.

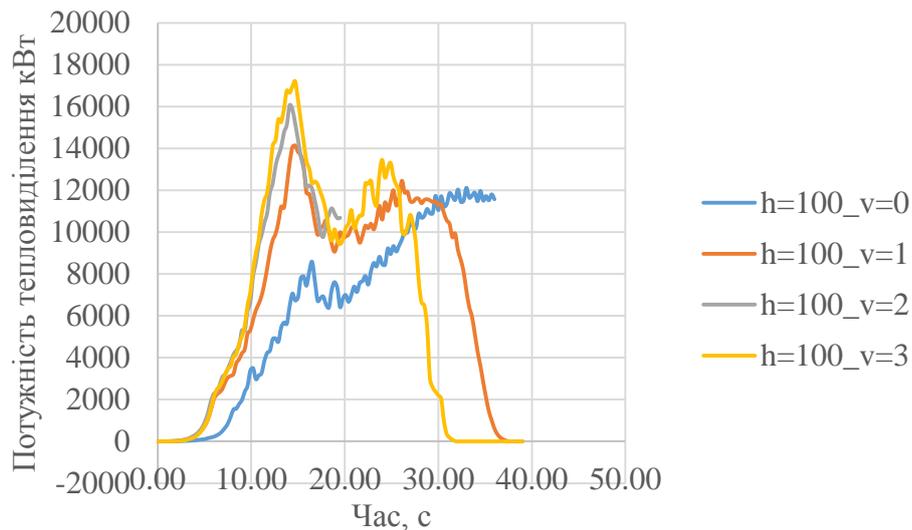


Рисунок 4.15 – Залежність від часу потужності тепловиділення пожежі трав'яного покриву висотою 100 см і швидкостей вітру 0 м/с, 1 м/с, 2 м/с і 3 м/с

Як загалом видно з усіх графіків на рис. 4.6-4.10, потужність тепловиділення від пожежі зростає з часом, а після проходження вогнем ділянки спадає, досягаючи при цьому одного-двох максимумів. Для сталої висоти трав'яного покриву із зростанням швидкості вітру ця величина набуває більших значень і дещо швидше відбувається перебіг пожежі, а тому потужність тепловиділення для вищих значень швидкості вітру спадає також швидше. Зауважимо також, що за однакових швидкостей вітру максимальні значення потужності тепловиділення зростають із збільшенням висоти трав'яного покриву, досягаючи максимальних значень 19146,5 кВт за швидкості вітру 3 м/с та висоти трав'яного покриву 80 м і дещо зменшуються для висоти трав'яного покриву 100 см, досягаючи при цьому найбільшого значення 16957,9 кВт. Це пояснюємо тим, що із зростанням висоти трав'яного покриву вогонь поширюється і у вертикальному напрямку, підігріваючи горючий матеріал перед займанням, що потребує додаткової енергії.

Отже, на основі моделювання у WFDS процесів поширення трав'яної пожежі на ділянках, вкритих пирієм повзучим, встановлено, що найбільша пожежна небезпека за швидкістю поширення фронту пожежі спостерігається за висоти

трав'яного покриву 40 см та швидкості вітру 3 м/с та понад в 5 разів перевищує цей показник порівняно з висотою трав 60 см та за відсутності вітру. При цьому максимальна температура сягає значень понад 800°C, а максимальна потужність тепловиділення досягається для висоти трав'яного покриву 80 см і швидкості вітру 3 м/с та становить 19146,5 кВт.

4.4. Застосування сучасних методів та засобів запобігання і припинення пожеж у трав'яних екосистемах

Запобігання трав'яним пожежам полягає у проведенні організаційно-технічних заходів, які запобігають виникненню і поширенню горіння, прогнозуванні пожежонебезпечного стану трав'яних екосистем з урахуванням погодно-кліматичних умов, моніторингу територій щодо виникнення осередків займання, проведенні навчань й інших форм підготовки населення та підрозділів до ліквідації пожеж, а також профілактично-роз'яснювальної роботи з різними групами населення.

Про ще один із методів запобігання виникнення таких пожеж сказано в [94, 99, 101, 112], де наведено перелік вогнестійких рослин, рекомендованих для ландшафтів і присадибних територій поруч із лісом з метою захисту від поширення пожежі. В [53] І.С. Мелехов поділяє їх на пожежонебезпечні, слабкозаймісті та вогнестійкі. У [99] займистими вважають рослини за такими ознаками: вічнозелене листя або голки; мале або мереживне жорстке листя; вміст летких олив, терпенів, ароматизаторів; випрямлені та сухі; будь-які трави у сухому стані; такі, що горять, а не тліють, під час нагрівання сірником. У [101] до них відносять рослини з тонким твердим листям (склерофіти), представниками яких є різноманітні злаки. А сповільнюють горіння рослини, вкриті широким м'ясистим листям, з високим вмістом солі. До прикладу, рослина така як толокнянка не займається від сірника [53], оскільки містить достатній запас вологи у стеблі та листках. Окрім цього, пожежна небезпека рослин залежить від їх видової належності, сухого стану, місця зростання і кількості днів без дощу [67].

А вже традиційні організаційні та технічні методи і способи припинення пожеж у трав'яних екосистемах базуються на:

- застосуванні води та піни для гасіння;
- створенні мінералізованих смуг;
- здійсненні зворотного відпалу,
- використанні ручного інструменту для збивання полум'я та засипання його

грунтом на початкових стадіях та за незначної інтенсивності пожежі.

Основні труднощі полягають у потребі значної кількості води, яку не завжди є можливість доставити до місця пожежі, потужної техніки для створення мінералізованих смуг та великої кількості осіб, забезпечених відповідним захисним одягом та ручним інструментом, задіяних до пожежогасіння.

КГП повинен своєчасно і правильно застосувати наявні сили і засоби для пожежогасіння, враховуючи особливості рельєфу місцевості, погодні умови, зокрема напрямок і швидкість вітру, наявність природних і штучних перешкод поширенню горіння, наявність вододжерел, шляхів доставляння сил і засобів та інші необхідні чинники.

При плануванні заходів з гасіння трав'яної пожежі КГП потрібно прогнозувати поведінку пожежі з урахуванням впливу наявних чинників, визначити швидкість поширення фронту пожежі

Тому актуальним є пошук нових засобів, методів і способів гасіння таких пожеж та своєчасне запобігання їх виникненню.

Одним із перспективних та сучасних методів гасіння трав'яних пожеж є використання переносних бензинових повітродувних пристроїв і обприскувачів. В основі такого методу є спосіб дії на вогонь, який полягає в утворенні повітряного потоку відповідної швидкості, який охолоджує поверхню горючого матеріалу та здуває полум'я. За наявності відповідної швидкості потоку повітря, що підтверджують проведені експериментальні дослідження та результати моделювання, пожежа не поширюється, чим і досягається її гасіння. У випадку використання обприскувача додатково горючий матеріал зволюється, що ускладнює його горіння.

Цей метод та обладнання – обприскувач Stihl SR 430 був застосований автором під час гасіння трав'яних пожеж у м. Києві (як з використанням води, так і лише потоком повітря) та довів свою ефективність (рис. 4.16). З досвіду застосування обприскувача зауважимо, що результат дії на вогонь залежить від способів використання обприскувача та швидкості потоку, яка задається обертами двигуна та відстанню від сопла до вогню.



Рисунок 4.16 – Використання обприскувача з бензиновим двигуном для гасіння трав'яної пожежі (фото ГУ ДСНС у Київській області)

Для обґрунтування застосування таких пристроїв проведено експериментальні дослідження залежностей швидкості потоку повітря, який створює такий пристрій, від обертів двигуна, відстані від сопла та відхилення від напрямку потоку. Експериментальні дослідження проводили на базі Науково-дослідної лабораторії Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Дослідження проводили для горизонтального напрямку потоку повітря та під кутом до поверхні ґрунту в робочому положенні (ранець на плечі рятувальника).

Результати вимірювань швидкості потоку повітря для горизонтального напрямку потоку повітря 0° та відхилень від нього на 30° і 45° наведені на рис. 4.17.

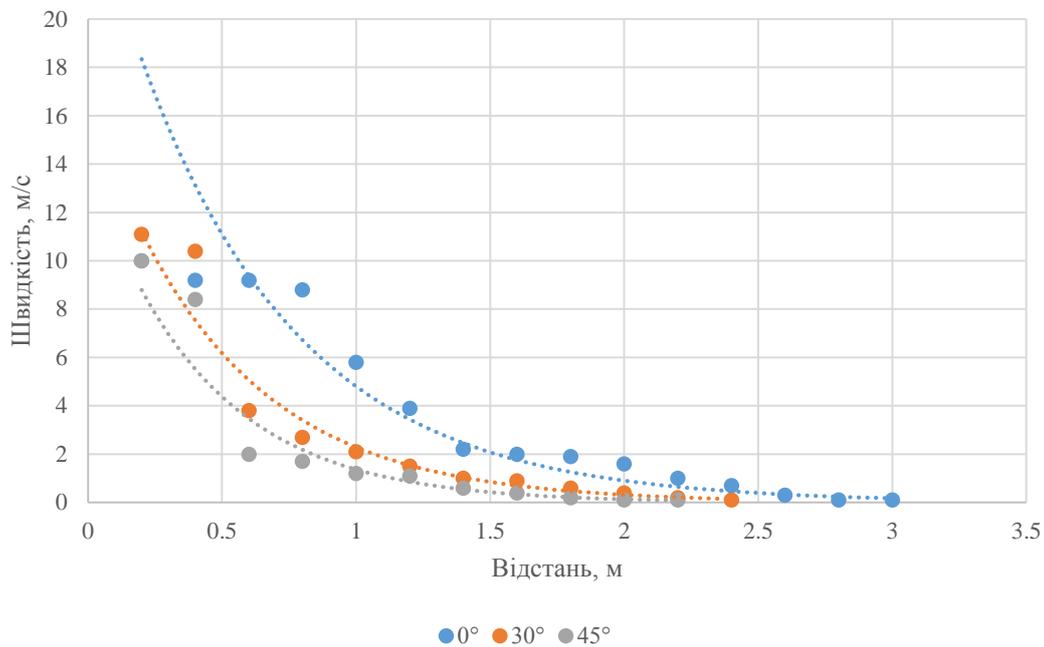


Рисунок 4.17 – Залежність швидкості потоку повітря від обприскувача Stihl SR430 від відстані за потоку повітря в горизонтальній площині для основного напрямку потоку 0° та відхилень від нього на 30° і 45°

Як видно з графіків залежностей, на відстані до 0,5 м значення швидкостей різняться незначно. Проте після 0,5 і до 2 м більші значення швидкості потоку властиві для напрямку 0° , особливо у діапазоні 0,5-1.2 м. Це свідчить про те, що дія потоку повітря від обприскувача на пожежу має локальний характер.

Отримані залежності можуть бути подані у вигляді рівнянь регресій, описаних за допомогою експоненціальних функцій:

$$v = 25,648 \cdot e^{-1,675l} \quad (R^2=0,9757) \quad (4.8)$$

для напрямку 0° ,

$$v = 16,665 \cdot e^{-1,986l} \quad (R^2=0,9254) \quad (4.9)$$

для напрямку 30° і

$$v = 14,009 \cdot e^{-2,329l} \quad (R^2=0,9679) \quad (4.10)$$

для напрямку 45° , де v – швидкість потоку повітря, м/с, l – відстань до сопла, м.

Оскільки процес гасіння трав'яних пожеж є тривалим, важливе значення має режим роботи двигуна обприскувача. У випадку роботи на максимальних обертах двигун може перегріватися, що призводить до зменшення терміну експлуатації пристрою. Тому актуальним завданням є дослідження сформованих потоків повітря на максимальних, середніх та мінімальних обертах двигуна. Результати дослідження залежності швидкості потоку повітря, створеного обприскувачем, в горизонтальній площині від відстані за різних обертів двигуна та основного напрямку потоку 0° наведено на рис. 4.18.

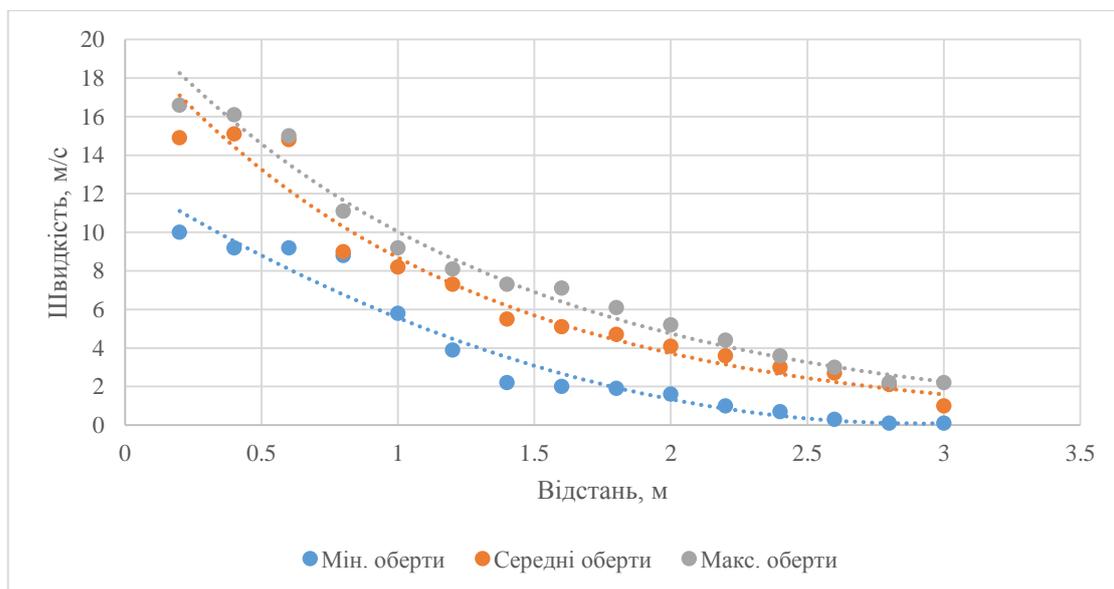


Рисунок 4.18 – Залежність швидкості потоку повітря від обприскувача Stihl SR430 від відстані за горизонтального напрямку потоку повітря в основному напрямку та різних обертів двигуна

З графіків видно, що практично у всьому дослідженому діапазоні відстаней (0,2-3 м) швидкості потоку повітря за середніх обертів двигуна є дещо меншими, ніж за максимальних, проте незначно (найбільші відхилення становлять 2,1 м/с і спостерігаються на відстані 0,8 м), що свідчить про можливість ефективної експлуатації пристрою в режимі середніх обертів. Отримані залежності опишемо у вигляді рівнянь регресій:

$$v = 1,4922l^2 - 8,7054l + 12,781 \quad (R^2=0,9524) \quad (4.11)$$

для мінімальних обертів,

$$v = 20,265 \cdot e^{-0,847l} \quad (R^2=0,9519) \quad (4.12)$$

для середніх обертів і

$$v = 21,218 \cdot e^{-0,749l} \quad (R^2=0,9844) \quad (4.13)$$

для максимальних обертів.

Для мінімальних обертів залежність швидкості потоку повітря від відстані краще апроксимується поліномом другого степеня, а для середніх і максимальних обертів – експоненціальними функціями.

Залежність швидкості потоку повітря для основного напрямку потоку 0° та відхилень від нього на 30° і 45° за робочого положення обприскувача (ранець на плечах рятувальника) наведено на рис. 4.19.

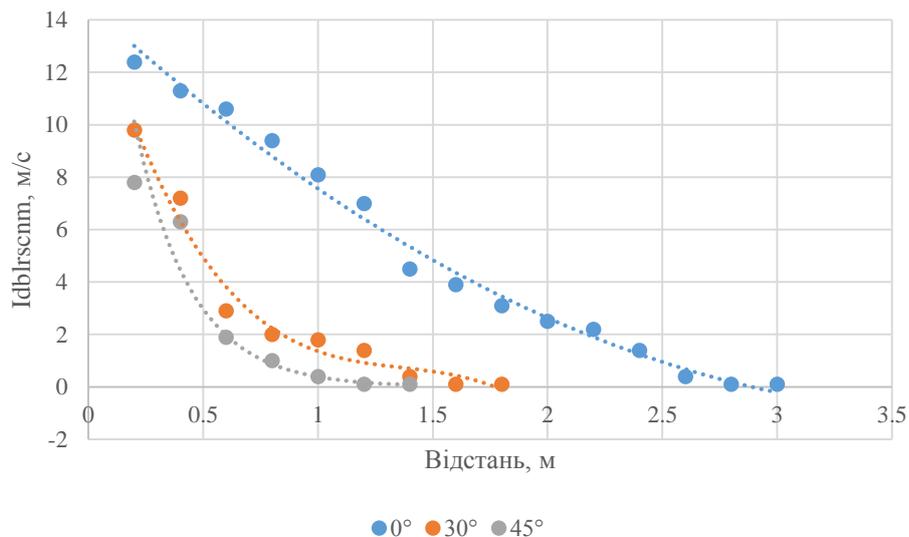


Рисунок 4.19 – Залежність швидкості потоку повітря, створеного обприскувачем Stihl SR430 від відстані за різного відхилення від напрямку потоку та похилого напрямку потоку повітря

З рисунка 4.19 видно, що за експлуатації пристрою в реальних умовах відзначається значне переважання швидкостей потоку в напрямку 0° порівняно з відхиленнями від цього напрямку на кути 30° і 45° . Тому під час гасіння трав'яних пожеж таким пристроєм потрібно чітко спрямовувати потік повітря в осередок

горіння, оскільки швидкість потоку повітря буде знижуватися із відхиленням від напрямку 0° .

Отримані залежності можуть бути подані у вигляді таких рівнянь регресій:

$$v = 1,0403l^2 - 8,0505l + 14,574 \quad (R^2=0,9885) \quad (4.14)$$

для напрямку 0° ,

$$v = 5,0715l^3 + 20,845l^2 - 29,557l + 15,137 \quad (R^2=0,9743) \quad (4.15)$$

для напрямку 30° і

$$v = 22,938 \cdot e^{-4,092l} \quad (R^2=0,9704) \quad (4.16)$$

для напрямку 45° .

Для основного напрямку 0° залежність швидкості потоку повітря від відстані краще апроксимується поліномом другого степеня, для 30° – третього степеня і для відхилення на 45° – експоненціальною функцією.

Відповідно, досліджено залежності швидкостей потоку повітря від відстані для робочого положення обприскувача за різних обертів двигуна (рис. 4.20).

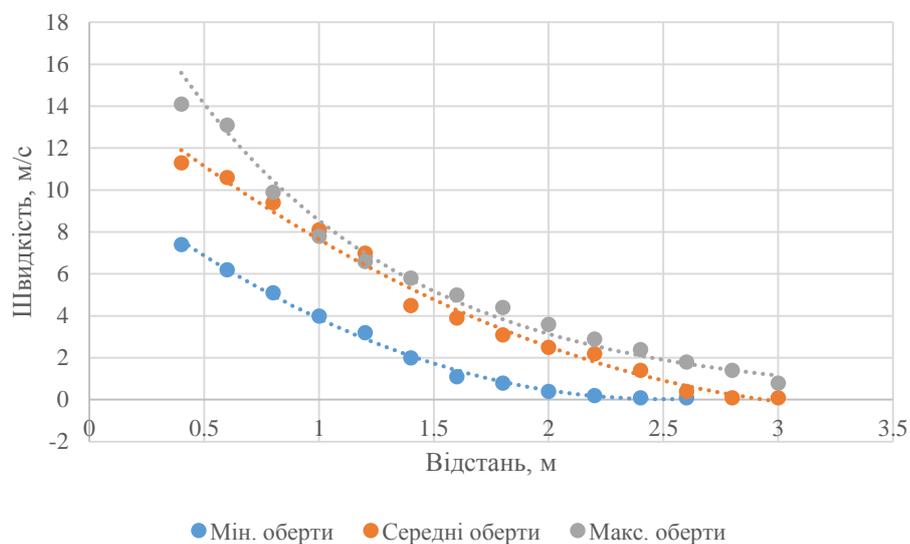


Рисунок 4.20 – Залежність швидкості потоку повітря від обприскувача Stihl SR430 від відстані за похилого напрямку потоку повітря та різних обертів двигуна

Як і у випадку горизонтального напрямку потоку повітря, в робочому положенні відмінності між швидкостями потоку для максимальних і середніх обертів різняться незначно (найбільша різниця спостерігалася для відстані 0,4 м і

становила 2,8 м/с, а також для відстані 0,6 м і становила 2,5 м/с), тому з метою економії паливо-мастильних матеріалів та забезпечення тривалої ефективної роботи обприскувача в процесі гасіння пожеж доцільним є використання режиму середніх обертів роботи двигуна.

Отримані залежності описуються рівняннями регресій:

$$v = 1,7233l^2 - 8,594l + 10,735 \quad (R^2=0,9964) \quad (4.17)$$

для мінімальних обертів,

$$v = 1,2483l^2 - 8,8573l + 15,253 \quad (R^2=0,9886) \quad (4.18)$$

для середніх обертів і

$$v = 23,28 \cdot e^{-1,002l} \quad (R^2=0,9749) \quad (4.19)$$

для максимальних обертів.

У випадку формування обприскувачем повітряно-водяної суміші охолодження в осередку горіння буде ефективнішим у порівнянні з одним лише потоком повітря з причини фазового переходу внаслідок випаровування води, а також процес горіння буде утруднений через зростання вологості повітря.

Таким чином бензинові повітродувні пристрої і обприскувачі забезпечують формування потоків повітря або повітряно-водяної суміші зі швидкістю 8,1-11,3 м/с на відстані 0,4-1 м від сопла у напрямку його осі, які, охолоджуючи горючий матеріал та здуваючи полум'я, гаситимуть трав'яну пожежу і у випадку пожежі низької та середньої інтенсивності можуть бути використані поряд з традиційними засобами.

4.5. Висновки

1. В результаті експериментальних досліджень в польових умовах встановлено, що швидкість поширення горіння у трав'яних екосистемах залежить від температури і відносної вологості повітря, швидкості вітру, вологості трав, їх висоти та просторового розміщення.

2. У нічний час динаміка перебігу трав'яної пожежі сповільнюється з причини зростання вологості трав, зумовленої вищою, ніж в денний період доби, відотною вологістю та нижчою температурою повітря.

3. Оскільки експериментальний метод дослідження трав'яних пожеж не забезпечує можливість відтворити всі можливі випадки виникнення і поширення пожеж, зокрема видовий склад, геометричні та пожежонебезпечні параметри трав'яного покриву на дослідній ділянці, актуальним є метод моделювання процесів виникнення та поширення пожеж.

4. В результаті комп'ютерного моделювання у WFDS процесів виникнення і поширення трав'яної пожежі на ділянках, вкритих пирієм повзучим, встановлено, що найбільша пожежна небезпека трав'яної екосистеми виражена швидкістю поширення фронту пожежі, спостерігається за висоти трав'яного покриву 40 см та швидкості вітру 3 м/с, що понад в 5 разів перевищує цей показник порівняно з висотою трав 60 см та за відсутності вітру. Максимальна температура полум'я перевищує 800°C, а максимальна потужність тепловиділення пожежі досягається для висоти трав'яного покриву 80 см і швидкості вітру 3 м/с та становить 19146,5 кВт.

5. За допомогою сформованого переносним бензиновим пристроєм потоку повітря чи повітряно-водяної суміші швидкість якого становить 8,1-11,3 м/с на відстані 0,4-1 м від сопла до осередку горіння, пожежа у трав'яних екосистемах може бути припинена чи сповільнено її перебіг внаслідок охолодження (зволоження) та здування полум'я.

ВИСНОВКИ

1. Процеси виникнення та динаміка поширення трав'яних пожеж та їх основні показники залежать від погодно-кліматичних умов, рельєфу, а також від видового складу рослин та їх стану, зумовленого вегетаційним періодом та посухами.

2. Пожежонебезпека у процесі природного висушування найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України – костриці лучної, костриці очеретяної, тимофіївки лучної, пирію повзучого та конюшини польової, зростає, зокрема отримано залежності, що вказують на зниження температур займання, самозаймання і тління із зниженням вологості зразків.

3. За результатами кластерного аналізу пожежонебезпечних показників найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України встановлено, що групи близькості утворюють костриця очеретяна та костриця лучна, до яких приєднується пирій повзучий, а також тимофіївка лучна та конюшина польова. З досліджених пожежонебезпечних показників горючих матеріалів рослинного походження найбільш близькими є температура тління і температура самозаймання, до яких приєднуються інші показники (температура займання, зольність, коефіцієнти димоутворення для тління і полум'яного горіння), окрім вологості, яка змінюється в оберненій залежності від інших показників..

4. Неоднакові показники пожежної небезпеки найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України – коефіцієнтів димоутворення для тління і горіння, та зольності зумовлюють відмінності пожежної небезпеки ділянок, вкритих такими рослинами.

5. За результатами термогравіметричного аналізу встановлено, що для досліджених зразків найпоширеніших трав'яних рослин втрата маси під дією температури відбувається неоднаково, а максимумами першого екзотермічного ефекту змінюються від 300°C для конюшини польової до 364°C для костриці очеретяної

6. Експериментально встановлено, що динамічні показники трав'яних пожеж залежать від метеорологічних умов, які змінюються упродовж доби, висоти

рослинного покриву, швидкості вітру і рельєфу, зокрема за відсутності вітру та у нічний час доби поширення пожеж не відбувалося.

7. За результатами комп'ютерного моделювання у програмі WFDS отримано залежності швидкостей поширення фронту трав'яної пожежі від вітру і висоти трав у екосистемах та встановлено, що за екстремальної вологості горючого матеріалу 6% цей показник є найбільшим для висоти трав'яного покриву 40 см та швидкості вітру 3 м/с і становить 27,5 м/хв, а найнижчим – за відсутності вітру та висоти трав'яного покриву 60 см.

8. За результатами моделювання у WFDS встановлено, що залежність швидкості трав'яної пожежі від висоти трав'яного покриву описується поліноміальною регресійною моделлю $v = 0,0001h^3 - 0,0251h^2 + 1,3591h + 0,7772$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0,9572$.

8. Для підвищення ефективності гасіння пожеж у трав'яних екосистемах окрім традиційних методів і засобів доцільним є використання бензинових повітродувок чи обприскувачів, які формують потоки повітря або повітряно-водяної суміші зі швидкістю 8,1-11,3 м/с на відстані 0,4-1 м від сопла у напрямку його осі, що діють на горючий матеріал охолоджуючи його та здувають полум'я в осередку горіння, що сповільнює поширення пожеж і проводить гасіння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов, Ю. А., Росоха, В. Е., Тарасенко, А. А. (2004). *Влияние пространственных флуктуаций пирологических параметров среды на интегральные характеристики низового лесного пожара и условия его тушения*. Х.: АГЗ Украины.
2. Адаменко, Т. (2019). Зміна клімату та сільське господарство в Україні: що варто знати фермерам? *Німецько-український агрополітичний діалог*.
3. Адаменко, Т. І., Кульбіда, М. І., Прокопенко, А. Л. (2011). *Агрокліматичний довідник по території України*. Кам'янець-Подільський: ПП Галагодза Р.С.
4. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 10 місяців 2020 року (2020). ВДСПтаНС ІДУ НД ЦЗ.
5. Баратов, А. Н., Корольченко, А. Я, Кравчук, Г. Н. и др. (1990). *Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения*: справ. изд.: в 2 кн., М.: Химия, Кн.1.
6. Быков, В. М., Комяк, В. А., Коссе, А. Г. (2010). Влияние травяного покрова на природную пожарную опасности в лесу. *Проблемы пожарной безопасности*, 27, 39-44.
7. *В Асканії-Нова пожежа знищила 200 видів рідкісних рослин*. (2009, червень). УНІАН. <https://www.unian.ua/society/230313-v-askaniji-nova-rojeja-znischila-200-vidiv-ridkisnih-roslin.html>.
8. *Вітри України*. (2018, листопад). Вікіпедія. https://uk.wikipedia.org/wiki/Вітри_України.
9. Войнов, Г. С., Софронов, М. А. (1976). Прогнозирование отпада в древостое после низовых пожаров. *Современные исследования типологии и пирологии леса: сб. ст.* Архангельск, 115 – 121.
10. Воробьев, Д. В., Остапенко, Б. Ф. (1977). *Лесная типология и ее применение*. Х. : Изд-во Харьковского сельскохозяйственного института им. В. В. Докучаева, 1977.
11. Гербут, Ф. Ф. (2012). *Лісова пірологія*. Ужгород: УНУ ГФ.

12. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
13. Граб, М. В. (2004). *Моделі, методи та алгоритми розповсюдження лісових пожеж*. Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02. Х.: Вид-во ХНУРЕ.
14. Гришин, А. М. (1992). *Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними*. Новосибирск: Наука.
15. Гришин, А. М., Фильков, А. И., Лобода, Е. Л., Рейно, В. В., Руди, Ю. А., Кузнецов, В. Т., Караваев, В. В. (2011). Экспериментальные исследования возникновения и распространения степного пожара в природных условиях. *Вестник ТГУ*, 2(14), 91–102.
16. Доброчаева, Д. Н., Котов, М. И., Прокудин, Ю. Н. и др. (1987). *Определитель высших растений Украины*. К.: Наукова думка.
17. *Довідник керівника гасіння пожежі*. (2016). За заг. ред. В. С. Кропивницького. К.: ТОВ «Літера-Друк».
18. Доррер, Г. А. (1979). *Математические модели динамики лесных пожаров*. М.: Лесная промышленность.
19. Драч, К. Л. (2014). Підходи до класифікації горючих матеріалів рослинного походження та їх пожежонебезпечні властивості. *Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць ІХ Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (4 квітня 2014 р., м. Львів)*, 63-64.
20. Драч, К. Л. (2015). Особливості горіння трав та їх класифікація за пожежонебезпечними властивостями. *Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць Х Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (27 березня 2015 р., м. Львів)*, 37-38.
21. Драч, К. Л. (2017). Фактори впливу на розвиток пожеж в природних екосистемах. *Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць ХІІ Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених,*

курсантів та студентів (До 70-річчя заснування університету) (23-24 березня 2017 р., м. Львів), 25-27.

22. Драч, К.Л. (2016) Порівняльна характеристика лісових та трав'яних пожеж. *Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (24 березня 2016 р., м. Львів)*, 21-22.

23. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. (2020).

24. ДСТУ Б. В. 2.7-19-95. Матеріали будівельні. Методи випробувань на горючість (1995).

25. *Екосистема*. (2018, жовтень). Вікіпедія.
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BA%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0>

26. Залесов, С. В. (1998). *Лесная пирология*. Екатеринбург: УГЛТА.

27. *Злаки України: Монографія* (1977). К.: Наукова думка.

28. Калиновський, А. Я. (2007). *Влияние изменений параметров ветра и влажности лесного горючего материала на интегральные характеристики низового лесного пожара*. Дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02. Харків: УЦЗУ.

29. *Клімат України*. (2019, травень) Вікіпедія.
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D1%96%D0%BC%D0%B0%D1%82_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8.

30. *Кліматичні дані по м. Київ за період з 1899 року*. (2018, березень). Український гідрометеорологічний центр.
https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations.

31. *Кліматичні показники та їх розподіл по території України*. (2019). Географічний портал.
http://geografica.net.ua/publ/galuzi_geografiji/fizichna_geografija_ukrajini/klimatichni_pokazniki_ta_jikh_rozpodil_po_teritorijiji_ukrajini/39-1-0-528.

32. Комарова А.Ф., Крейндин М.Л., Куксин Г.В., Ярошенко А.Ю. (2011). *Как бороться с пожарами на природных территориях. Методические рекомендации для добровольцев.* – М.: Greenpeace.

33. Корольченко, А. Я., Корольченко, Д. А. (2004). *Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник: в 2-х ч.* М.: Пожнаука. 2.

34. Костриця очеретяна (2017, травень). Вікіпедія. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%86%D1%8F_%D0%BE%D1%87%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D1%8F%D0%BD%D0%B0.

35. Кравців, С. Я., Сознік, О. П. (2010). Влияние травяного покрова на природную пожарную опасности в лесу. *Проблемы пожарной безопасности.* 27. 118-123.

36. Краснов, В. П., Орлов, О. О., Ведмідь, М. М. (2009). *Атлас рослин-індикаторів і типів лісорослинних умов Українського Полісся.* Новоград-Волинський: НОВОград.

37. Кузик, А. Д. (2011). Математичне моделювання пожежної безпеки лісів. *Науковий вісник НЛТУ України, 21.16,* 104-112.

38. Кузик, А. Д. (2014). Пожежонебезпечні властивості лісових горючих матеріалів. *Науковий вісник НЛТУ України, 24.4,* 214-218.

39. Кузик, А. Д. (2014). Рослини наземного ярусу, як фактор пожежної безпеки лісових насаджень різних типів лісорослинних умов. *Науковий вісник НЛТУ України, 24.7,* 109-115.

40. Кузик, А. Д. (2019). *Еколого-лісівничі основи пожежної безпеки лісів Малого Полісся.* Монографія. Львів: Сполом.

41. Кузик, А. Д., Драч, К. Л. (2016). Пожежна безпека найпоширеніших трав'янистих рослин лук Західної України. *Пожежна безпека, 29,* 87–92.

42. Кузик, А. Д., Драч, К. Л. (2019). Пожежна безпека трав'янистих рослин та її вплив на екосистеми. *Сучасний стан та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-парково господарства, урбоекології та*

фітомеліорації: Зб. наук. праць Міжнар. наук.-практ. конф. (З нагоди 80-ліття від дня народження професора В.П. Кучерявого) (4-5 квітня 2019 р., м. Львів), 252-254.

43. Кузик, А. Д., Товарянський, В. І., Драч, К. Л. (2019). Експериментальні дослідження пожеж у трав'яних екосистемах. *Пожежна безпека*, 35, 35-40.

44. Кузик, А. Д., Товарянський, В. І., Драч, К. Л. (2020). Моделювання процесів виникнення і поширення трав'яних пожеж. *Пожежна безпека*, 36, 44-48.

45. Кузик, А. Д., Трусевич, О. М. (2016). Математичне моделювання інтенсивності теплового потоку від полум'я у формі похилого конуса *Пожежна безпека*, 28, 73-80.

46. Кузик, А.Д., Драч, К. Л. (2016) Пожежна небезпека найпоширеніших трав'яних рослин лук Львівщини. *Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації: Зб. наук. праць Міжнар. наук.-практ. конф. (20-21 жовтня 2016 р., Львів)*, 155-157.

47. Кузык, А. Д., Карабын, О. А. (2013). Математическое моделирование распространения лесного пожара с учетом ветра и рельефа. *Safety & Fire Technology*, 32(4), 107-113.

48. Кургак, В. Г., Штакал, М. І., Штакал, В. М. (2016). Продуктивність багаторічних злакових трав та їх сумішей на осушених торфовищах. *Землеробство*, 2, 74-79.

49. Кустов, М. В., Калугин, В. Д., Коврегин, В. В. (2011). Влияние травяного покрова на природную пожарную опасности в лесу. *Проблемы пожарной безопасности*, 29. 102-109.

50. *Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник* (1992). К.: Видавництво «Українська Енциклопедія» ім. М. П. Бажана, Український виробничо-комерційний центр «Олімп».

51. Лукаткин, А. С., Левин, А. С., Лещанкина, В. В. и др. (2004). *Полевые методы исследования растений*. Саранск: Изд-во. Морлов. Ун-та.

52. Матеріали будівельні. Методи випробувань на горючість: ДСТУ Б В.2.7-19-95. К., 1996, 33 с.

53. Мелехов, И. С. (1948). *Влияние пожаров на лес*. М.-Л.: Государственное лесотехническое издательство.

54. *Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році.* (2019). Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України.

55. *Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році.* (2015). УкрНДЦЗ.
http://www.undicz.mns.gov.ua/files/2015/5/18/2_2.pdf.

56. Нестеров, В. Г. (1949). *Горимость леса и методы ее определения.* М.: Гослесбумиздат.

57. Одум, Ю. (1986). *Экология: В 2-х т.* М.: Мир. 1.

58. Одум, Ю. (1986). *Экология: В 2-х т.* М.: Мир. 2.

59. *Пожежі в природних екосистемах.* (2015). ДСНС України.
www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2015/1_3_2016.pdf.

60. Покровський, Р. Л. (2002). *Раннє виявлення осередків ландшафтних пожеж та прогноз динаміки їх розповсюдження.* Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02. Х.: Вид-во АПБУ.

61. Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж. Наказ від 26.04.2018 р., №340. (Міністерство внутрішніх справ України). (2018).
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0801-18#n8>.

62. Пушкар В. В. (2017). Декоративне рослинництво: декоративні дикорослі і газонні трави в дизайні ландшафту. К.: НАКККіМ.

63. Пясецька, С. І., Гребенюк, Н. П., Савчук, С. В. (2019). Визначення кореляційного зв'язку між метеорологічними параметрами при екстремальних метеорологічних явищах (відкладення ожеледі). по сезонах року. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2 (53), 74-87.

64. Работнов, Т. А. (1975). Изучение ценологических популяций в целях выяснения «стратегии жизни» видов растений. *Бюлл. МОИ. Отдел. биол.* 80(2), 5-17.

65. *Розклад погоди*. (2019). Погода в 243 країнах світу. gp5.ua.
66. Свириденко, В. Є., Бабіч, О.Г., Швиденко, А.Й. (1999). *Лісова пірологія*. К.: Агропромвидав України.
67. Серебренников, П. П., Матренинский, В. В. (1937). *Лесные пожары и борьба с ними*. Л.: Гослестехиздат.
68. Соломаха, В. А. (1996). Синтаксономія рослинності України. *Укр. фітоцен. Зб*, 4(5), 120.
69. *Статистика пожеж та їх наслідків в Україні за 2013-2016 роки: Статистичний збірник аналітичних матеріалів* (2018). К.: УкрНДІЦЗ.
70. Стрельцов, О. В., Завалій, О. В. (2011). Моделювання системи детектування і прогнозування розповсюдження лісових пожеж. *Праці Одеського політехнічного університету*, 1(35), 101–105.
71. Тарасенко, А. А. (2008). Модель динаміки контура природного пожара под действием совместного влияния ландшафтно-метеорологических факторов. *Проблемы пожарной безопасности*, 24, 194-200.
72. Тарасенко, О. А. (2011). *Розвиток наукових основ ліквідації наземних ландшафтних пожеж*. Автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. Харків.
73. Тишков, А. А. (2009). Пожары в степях и саваннах. *Вопросы степеведения*, 7, 79–83.
74. Ткаченко, В. С. (2009). Проблеми степової пірології. *Заповідна справа України*. 15 (2). 95-103.
75. Уэндландт, У. (1978). *Термические методы анализа*. М.: Мир.
76. Цеханська, О. Ф. , Стрелков, Д. Г. (2007). *Живий світ України*. Х.: Ранок.
77. Цимбал, Я. С., Кущук, М. А. (2019). Продуктивність і кормова цінність люцерни порівняно з іншими багаторічними травами. *Вісник аграрної науки*, 10 (799). 24-31.
78. Шеляг-Сосонко, Ю. Р., Устименко, П. М., Попович, С. Ю., Вакаренко, Л. П. (2002). *Зелена книга України. Ліси*. К.: Наук. думка.

79. Шкварук, М. М., Делеменчук, М. І. (1976). *Грунтознавство*. К.: Вища школа.
80. Яценко, А.О., Полторецький, С.П., Терещенко, Ю.Ф. та ін. (2018). *Довідник з кормовиробництва та луківництва*. Умань: РВВ.
81. Anderson, H. E. (1972). *Aids to determining fuel models for estimating fire behavior*. Intermountain Forest and Range Experiment Station Ogden, UT 84401 General Technical Report INT-122.
82. Arroyo, L. A., Pascual, C., Manzanera, J. A. (2008). Fire models and methods to map fuel types: The role of remote sensing. *Forest Ecology and Management*, 256, 1239–1252.
83. Aydin, B., Selvi, E., Tao, J., Starek, M. J. (2019). Use of Fire-Extinguishing Balls for a Conceptual System of Drone-Assisted Wildfire Fighting. *Drones*, 3, 17, 1-15.
84. Benson, R. P., Roads, J. O., Weise, D. R. (2009). Climatic and weather factors affecting fire occurrence and behavior. *Wildland Fires and Air Pollution - Developments in Environmental Science*. Amsterdam: Elsevier, 8, 37-60.
85. Boboulos, M, Purvis, M. R. I., Penchev, S. I. (2013). Fuel model development for the Greek East-Mediterranean forest litter layer. *Fire and Materials*, 37, 597-611.
86. Cheney, P., Sullivan, A. (2008). *Grassfires : fuel, weather and fire behavior*. Collingwood: CSIRO Publishing.
87. Cheney, N. P., Gould, J. S., Catchpole, W. R. (1993). The Influence of Fuel, Weather and Fire Shape Variables on Fire-Spread in Grasslands. *Int. J. Wildland Fire*, 3 (1), 31-44.
88. Chuvieco, E., Aguado, I., Dimitrakopoulos, A. P. (2004). Conversion of fuel moisture content values to ignition potential for integrated fire danger assessment. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 2284–2293.
89. Clements, C. B., Zhong, S., Goodrick, S., Li, J., Potter, B. E., Bian, X., Heilman, W. E., Charney, J. J., Perna, R., Jang, M., Lee, D., Patel, M., Street, S., Aumann, G. (2007). Observing the Dynamics of Wildland Grassfires: FireFlux – A Field Validation Experiment. *Bulletin of the American Meteorological Society*. September. 1370-1382.

90. Crane, W. J. B. (1982). Computing grassland and forest fire behaviour, relative humidity and drought index by pocket calculator. *Australian Forestry*, 45(2), 89-97.

91. Cruz, M. G., Alexander, M. E., Sullivan, A. L. (2017). Mantras of wildland fire behaviour modelling: facts or fallacies? *International Journal of Wildland Fire*, 26, 973–981.

92. Cruz, M. G., Alexander, Martin E. (2020). Flame dimensions. *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*, Springer Nature Switzerland AG, 468-472.

93. Czerpak, T., Maciak, T. (2011). Modelowania pożaru lasu. Część I. Metody i algorytmy modelowania pożaru lasu. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, 3, 83-94.

94. Detweiler, A. J., Fitzgerald, S. (2006). Fire-resistant plants for home landscapes. Selecting plants that may reduce your risk from wildfire. PNW, 590, August. <https://www.firefree.org/wp-content/uploads/2016/02/Fire-Resistant-Plants.pdf>

95. Dimitrakopoulos, A. P., Panov, P. I. (2001). Pyric properties of some dominant Mediterranean vegetation species. *International Journal of Wildland Fire*, 10, 23–27.

96. Dissanayake, A. P., Setunge, S., Venkatesan, S., Moinuddin, K. A. M., Sutherland, D. (2018). Numerical assessment of composite bridges subjected to Wildland Urban Interface (WUI). fires. *Maintenance, Safety, Risk, Management and Life-Cycle Performance of Bridges – Powers*, London: Taylor & Francis Group. 1247-1255.

97. Drach, K. L., Kuzyk, A.D., Tovarianskyi, V. I., Yemelienenko, S. O. (2020). Fire dangerous properties of the most common plants of grassecosystems in Ukraine. *Ecologia Balkanica*, 12 (1), 147–154.

98. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2017) Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/10 (90), 11-16.

99. Fire – Wildland / Urban Interface. (2020, June). University of California. Central Sierra.

http://cecentralsierra.ucanr.org/Resources_Publications/Publications/Fire_Wildland_Urban_Interface/.

100. *Fire danger indexes Grass Model*. (2019). http://www.dnr.state.mn.us/forestry/fire/maps/fdi_grass.html.
101. Fire retardant plants. (2000, September). *Community fire safe: Wildfire fact sheet*, 16. http://builditbackgreen.org/media/9664445/fact_sheet_fire_retardant_plants.pdf.
102. Flannigan, M. D., Krawchuk, M. A., Groot, W. J., Wotton, M., Gowman, L. M. (2009). Implications of changing climate for global wildland fire. *International Journal of Wildland Fire*, 18, 483-507.
103. Hagen, M., Hereid, J., Delichatsios, M. A., Zhang, J., Bakirtzis, D. (2009). Flammability assessment of fire-retarded Nordic Spruce wood using thermogravimetric analyses and cone calorimetry. *Fire Safety Journal*, 44, 1053–1066.
104. Hansen, R. (2012). Estimating the amount of water required to extinguish wildfires under different conditions and in various fuel types. *International Journal of Wildland Fire*, 21, 525–536.
105. Hardison, J. R. (1976). Fire and flame for plant disease control. *Annu. Rev. Phytopathol*, 14, 355-379.
106. Keyser, P., Harper, C., Bates, G., Smith, R., Keene, T., Lituma, C. (2015). *Using Prescribed Fire to Manage Native Grass Forages in the Mid-South*. Fire. University of Tennessee, Center for Native Grasslands Management. SP 731-J. <https://extension.tennessee.edu/publications/Documents/SP731-J.pdf>.
107. McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., Overholt, K. (2015). *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model*. NIST Special Publication 1018-1. Sixth Edition.
108. Mell, W, Jenkins, M. A., Gould, J., Cheney, P. (2006). A physics-based approach to modeling grassland fires. *International Journal of Wildland Fire*.
109. Mell, W., McNamara, D., Maranghides, A., McDermott, R., Forney, G., Hoffman, C., Ginder, M. (2011). Computer modelling of wildland-urban interface fires. *Fire & Materials*, San Francisco, CA. https://www.firescience.gov/projects/07-1-5-08/project/07-1-5-08_Mell_etal_FAM2011.pdf.

110. Menczel, J. D., Prime, R. B. (2009). *Thermal analysis of polymers. Fundamentals and applications*. Wiley.
111. Moinuddin, K. A. M., Sutherland, D., Mell, W. (2018). Simulation study of grass fire using a physics-based model: striving towards numerical rigour and the effect of grass height on the rate of spread. *International Journal of Wildland Fire*, 27, 800-814.
112. Moore-Gough, C. (2001). *Fire-Resistant Plants for Montana Landscapes*. MSU Extension, MT200101AG, Reviewed 12/19. <http://msuextension.org/publications/YardandGarden/MT200101AG.pdf>.
113. Morvan, D., Meradji, S., Accary, G. (2007). Wildfire Behavior Study in a Mediterranean Pine Stand Using a Physically Based Model. *Combustion Science and Technology*, 180 (2), 230-248.
114. Morvan, D., Meradji, S., Accary, G. (2009). Physical modelling of fire spread in Grasslands. *Fire Safety Journal*, 44, 50-61.
115. National Fire Protection Association (NFPA). <https://www.nfpa.org/Public-Education/Fire-causes-and-risks/Wildfire>.
116. Noble, I. R., Bary, G. A. V., Gill, A. M. (1980). McArthur's fire-danger meters expressed as equations. *Australian Journal of Ecology*, 5, 201-203.
117. Overholt, K. J., Cabrera, J., Kurzawski, A., Koopersmith, M., Ezekoye, O. A. (2014). Characterization of fuel properties and fire spread rates for little bluestem grass. *Fire Technology*, 50 (1), 9-38.
118. Paulik, F., Paulik, J., Erdey, L. (1958). Der Derivatograph. *Z. Anal. Chem*, 160, 241-252.
119. Pereira, P., Francos, M., Ubeda, X., Brevik, E. C. (2017). Fire impacts in European grassland ecosystems. *Wildfires perspectives, issues and challenges of the 21st century*, Ch. 1, Nova Science Publisher, 1-27.
120. Philpot, C. W. (1970). Influence of mineral content on the pyrolysis of plant material. *Forest Science*, 16 (4), 461-471.
121. Rothermel, R. C. (1972). *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*. USDA Forest Service Research Paper INT-115.

122. Schreck, M.-B., Howerton, P. J., Cook, K. R. (2010). *Adapting Australia's Grassland Fire Danger Index for the United States' Central Plains*. Central Region Technical Attachment No. 10-02. May. https://www.weather.gov/media/crh/publications/TA/TA_1002.pdf.
123. Scott, J. H., Burgan, R. E. (2005). *Standard fire behaviour fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model*. USDA Forest Service, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153.
124. Simpson, K. J., Ripley, B. S., Christin, P.-A., Belcher, C. M., Lehmann, C. E. R., Thomas, G. H., Osborne, C. P. (2016). Determinants of flammability in savanna grass species. *Journal of Ecology*, 104, 138–148.
125. Sneeuwjagt, R. J., Frandsen, W. H. (1977). Behavior of experimental grass fires vs. predictions based on Rothermel's model. *Canadian Journal of Forest Research*, 7, 357-367.
126. Stevens, W. R. (1932). Stickel on the measurement and interpretation of forest weather in the Western Adirondacks. *Monthly Weather Review*, January, 25.
127. *TDA Prescribed Burn School Manual v1.3 5*. (2002). campus.extension.org/file.php/...Burn/FiringTechniques.pdf
128. Weber, R. O. (1991). Modelling fire spread through fuel beds. *Prog. Energy Combust. Sci*, 17, 67-82.
129. *Wildland-Urban Fire Models* (2020, January). <http://www.fs.fed.us/pnw/fera/wfds/index.shtml>.

ДОДАТОК А
ПРОТОКОЛ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ТЕМПЕРАТУРИ
ЗАЙМАННЯ ТА САМОЗАЙМАННЯ ВІД ВМІСТУ ВОЛОГОСТІ В
РОСЛИНАХ ТРАВ'ЯНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності



ПРОТОКОЛ № 21/8/171102

**«ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЙМАННЯ ТА
САМОЗАЙМАННЯ ВІД ВМІСТУ ВОЛОГОСТІ В РОСЛИНАХ
ТРАВ'ЯНОГО ПОХОДЖЕННЯ»**

»

Львів-2017



Мета проведення випробувань. Встановити залежність пожежної небезпеки, температури займання, температури самозаймання та часу індукції від зміни вологості серед трав'яних рослин.

Місце проведення випробувань. Науково-дослідна лабораторія ЛДУ БЖД.

Об'єкт випробувань. Підготовлена свіжоскошена трава, (найпоширеніші п'ять видів Львівщини – конюшина польова (*Trifolium arvense*), костриця лугова (*Festuca pratensis*), костриця очеретяна (*Festuca arundinacea*), мітлиця біла (*Agrostis alba*), пирій повзучий (*Elytrigia repens*). Зважування зразків проводиться у встановлений час дня на протязі 5 днів. Після цього зразки досушуються у сушильній камері при температурі $100 \pm 5^\circ\text{C}$.

Засоби вимірювальної техніки

№ п/п	Найменування приладу чи пристрою	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка вимірювання
1	Установка ОТП	№ 2	Від 20 до 600 °С	-
2	Секундомір СОСпр	5074	Від 0 до 3600 с	Клас точн. 2
3	Сушильна камера 2В151	2925	Від 20°С до 250°С	-
4	Ваги WPT 03/06 С4	107867	Від 0 до 600 г.	Клас точн. 4

Методика проведення випробувань

1. *Заздалегідь* відібрано п'ять видів трав та розміщено їх на горизонтальній площині, для забезпечення поступового висушування природнім шляхом.
2. *Вимірювання* маси, температури займання, температури самозаймання та часу індукції здійснюються щодоби в один і той же час, до досягнення рівноважної вологості.
3. *Результати* вимірювань фіксуються.

Початок випробувань

Початком випробування вважається вимірювання необхідних параметрів в перший день дослідів.

Вимірювання та спостереження у процесі випробувань

Вимірювання маси, температури самозаймання, часу індукції дослідних зразків.

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ
Львівський державний університет
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

№ документа _____ від _____ 20__ р.

Всього 5 арк 2

Пис _____

Маса, температура займання, температура самозаймання, час індукції вимірюється протягом дослідного періоду.

Спостереження за поведінкою зразка.

У процесі випробування слід спостерігати за зразком і складати хронологічний опис змін у зразку, тобто: маси, температури займання, температури самозаймання, часу індукції з кожним днем.

Під час випробування слід проводити фотозйомку.

Середні значення мас зразків у процесі дослідження

Назва рослини	Маса, г					Абсолютно сухий стан
	День дослідіду					
	1	2	3	4	5	
Костриця очеретяна	20,002	13,461	10,239	6,220	5,263	4,909
Костриця лугова	10,008	6,058	3,957	2,422	2,328	2,074
Пирій повзучий	15,006	7,713	3,891	2,995	2,288	2,054
Тимофіївка лугова	10,009	8,616	6,211	4,067	3,401	2,651
Конюшина польова	10,008	7,161	5,293	3,090	2,384	1,750

Вологість зразків рослин у процесі їх висушування

Назва рослини	Абсолютна вологість, %				
	День дослідіду				
	1	2	3	4	5
Костриця очеретяна	307,46	174,21	108,58	26,71	8,03
Костриця лугова	382,55	192,09	90,79	16,78	9,00
Пирій повзучий	460,57	214,51	59,22	22,34	10,37
Тимофіївка лугова	277,56	225,01	134,29	53,41	17,59
Конюшина польова	441,56	308,97	202,28	76,47	19,59

Припинення випробувань

Випробування мають продовжуватися до тої пори, доки показник маси трав набуде постійного значення.

Після цього трави досушується у сушильній камері (Рис.2) при температурі $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$, час досушування реєструється.

На основі визначення маси сухих взірців проводяться розрахунки за результатами досліджень.

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ	
ПРИРОДНИХ ТА ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕСУРСІВ	
ВІСЬМАЯ АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ	
№ документа	від
Всього	арк
Лист	

№ документа 5 від 20 р.

Всього 5 арк

Лист 2

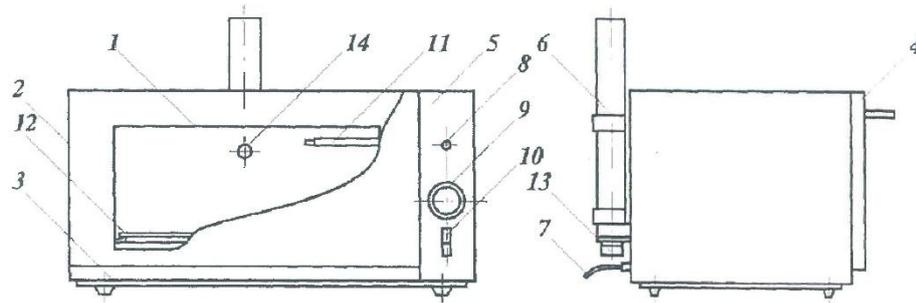


Рис. 2. Сушильна шафа: 1 - нагрівальна камера, 2 - кожух; 3 - підстава; 4 - дверці; 5 - панель управління і індикації; 6 - витяжна труба; 7 - кабель підключення до електромережі; 8 - індикатор нагріву; 9 - датчик- реле визначення температури; 10 - вимикач; 11 - термобаллон; 12 - піддон; 13 - вентилятор; 14 - сопло.

Результати випробувань оформляються протоколом або звітом.

Протокол випробувань (звіт про випробування) має містити відомості про зразки, що були випробувані, умови та результати випробувань, а саме:

- назву та адресу лабораторії, що проводила випробування;
- дату випробувань;
- найменування речовини, зразки якої були випробувані;
- фотографії та опис зразків;
- результати вимірювань температури внутрішнього середовища лабораторії;
- результати вимірювань температури в печі;
- відомості про те, чи проводилося при випробуваннях вимірювання надлишкового тиску в печі;
- результати вимірювання маси та ємності у зразках;
- відомості щодо можливих деформацій елементів у зразках;
- опис поведінки зразків у процесі випробувань;
- час початку та закінчення випробувань;
- оцінку результатів випробувань;
- фотографії зразків після випробувань;
- підписи виконавців та присутніх при випробуваннях працівників НДЛ.

Правила безпеки праці під час роботи з сушильною камерою.

Перед початком робіт виконавець зобов'язаний :

1. Ознайомитись з ПТБ при роботі з сушильною камерою.
2. Переконавшись, що в сушильній камері чисто немає сторонніх предметів.
3. Перевірити ущільнення дверей, цілісність запорів сушильної камери.

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ	
БІОБЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ	
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ	
№ документа	від _____ 20__ р.
Всього _____	стор. _____

4. Не відчиняти дверцята шафи під час робочого процесу.
5. Не доторкатися до корпусу при установці високих температур, щоб уникнути опіку.
6. Зняття проб фізичних показників під час роботи камери проводити в ЗІЗ.
7. Після завершення роботи чищення проводити тільки при відключенні від мережі.

ПОГОДЖЕНО:

Завідувач

науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД

В. Л. Петровський

Виконавець:Ад'юнкт ЛДУ БЖД
лейтенант служби ЦЗ

К. Л. Драч



НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ	
ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ	
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ	
№ документа _____	від _____ 20__
Всього <u>5</u>	арк. <u>5</u>
П. пис _____	

ДОДАТОК Б
ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ З ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА
ДИМОУТВОРЕННЯ РЕЧОВИН І МАТЕРІАЛІВ ЗГІДНО З ГОСТ
12.1.044-89 «ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И
МАТЕРИАЛОВ. НОМЕНКЛАТУРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ»



**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ МНС УКРАЇНИ
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ**

ПРОТОКОЛ № 21/8/171101
ВИПРОБУВАНЬ З ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДИМОУТВОРЕННЯ
РЕЧОВИН І МАТЕРІАЛІВ ЗГІДНО З ГОСТ 12.1.044-89
“ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ.
НОМЕНКЛАТУРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ”

Львів-2017

ПРОТОКОЛ № 21/8/171101
ВИПРОБУВАНЬ З ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДИМОУТВОРЕННЯ
РЕЧОВИН І МАТЕРІАЛІВ ЗГІДНО З ГОСТ 12.1.044-89
“ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ.
НОМЕНКЛАТУРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ”

Дата проведення
 випробувань: 01.11.2017 р.

Умови проведення випробувань:
 - температура 20 °С
 - атмосферний тиск 97,2 кПа
 - відносна вологість 62 %

МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ: Теплотехнічна лабораторія науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД МНС України.
 Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ: Зразки висушених трав: пирію повзучого, тимофіївки лугової, костриці лугової, костриці очеретяної, конюшини польової масою 0,4-0,6 г.

ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ: Випробуванням піддавалися зразки 5-ти видів висушених трав дрібнопосічених масою 0,4-0,6 г.

Перед випробуванням зразки висушувались при температурі 22 ± 1 °С на протязі 5 діб.

ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ:

Установка для визначення коефіцієнта димоутворення УВКД згідно ГОСТ 12.1.044-89.

Таблиця 1.

Засоби вимірювальної техніки

№ п/п	Найменування приладу чи обладнання	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка засобів вимірювальної техніки
1	Регулятор-вимірювач РТ 0102-8-К	10.019	Від 0 до 1200 °С	± 2°С
2	Термопари ТХА 10	2-7, 9-12	Від 0 до 800 °С	
3	Секундомір СОП	8625	Від 0 до 3600 с	Кл. точн. 2
4	Лінійка вимірювальна	б/н	Від 0 до 1000 мм	± 0,5 мм
5	Ваги ВТУ 210/ С3	1826	Від 0 до 210 г	Кл. точн. 3
6	Штангенциркуль ШЦ-I-200-0,02	0805174	Від 0 до 200 мм	± 0,02 мм

МЕТОД ВИПРОБУВАНЬ:ГОСТ 12.1.044-89 “Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения” встановлює метод випробування на димоутворювальну здатність матеріалів, а також їх класифікацію. За групами димоутворювальної здатності.

Суть методу експериментального визначення коефіцієнта димоутворення твердих речовин та матеріалів полягає у визначенні оптичної густини диму, який утворюється при полум'яному горінні або тлінні зразка твердого матеріалу певної кількості.

Випробування зразків проводять у двох режимах. У режимі тління на зразок діє тільки тепловий потік густиною $35 \pm 3,5$ кВт/м², а у режимі полум'яного горіння - тепловий потік та полум'я газового пальника.

Коефіцієнт димоутворення (D_m) в м²/кг визначається за формулою:

$$D_m = \frac{V}{L_m} \ln \frac{T_i}{T_{min}}$$

де, V- об'єм камери вимірювання, V= 0,343±0,004 м³;
L- шлях проходження променя світла у диму, L=0,700±0,0005м;
m- маса зразка, кг;
T₀, T_{min} – відповідно значення початкового та кінцевого світлопропускання, %.

Для кожного з режимів випробувань визначають коефіцієнт димоутворення як середнє арифметичне результатів п'яти випробувань.

За коефіцієнт димоутворення матеріалу, що досліджується приймають більше значення коефіцієнта димоутворення, яке обчислено для двох режимів випробування.

За результатами випробувань димоутворювальної здатності будівельні матеріали в залежності від значень параметрів коефіцієнта димоутворення (Д) розподіляють на три групи матеріалів:

- Д1 (з малою димоутворювальною здатністю) - коефіцієнт димоутворення до 50 м²/кг включно;
- Д2 (з помірною димоутворювальною здатністю) - коефіцієнт димоутворення більше 50 м²/кг до 500 м²/кг включно;
- Д3 (з високою димоутворювальною здатністю) - коефіцієнт димоутворення більше 500 м²/кг включно.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ: Результати випробувань наведено в табл.2.

Таблиця 2.

Результати випробувань

Режим випробувань та густина теплового потоку	Номер зразка для випробувань	Маса зразка, m (кг)	Світлопропускання, %		Коефіцієнт димоутворення для кожного зразка (Dm), кв.м/кг
			початкове, T ₀	кінцеве, T _{min}	
Тимофіївка лугова					
Полум'яне горіння (35 кВт/м ²)	1	0,000493	100	97,0	38,62
	2	0,000421	100	98,2	26,97
	3	0,000482	100	97,8	28,85
	4	0,000348	100	98,4	28,97
	5	0,000485	100	97,1	37,93
Середнє значення коефіцієнта димоутворення, м ² /кг					32,27
Тління (25 кВт/м ²)	1	0,000419	100	93,2	105,05
	2	0,000494	100	88,2	158,87
	3	0,000472	100	90,1	138,05
	4	0,000381	100	93,4	112,01
	5	0,000477	100	91	123,58
Середнє значення коефіцієнта димоутворення, м ² /кг					127,51

Режим випробувань та густина теплового потоку	Номер зразка для випробувань	Маса зразка, m (кг)	Світлопропускання, %		Коефіцієнт димоутворення для кожного зразка (Dm), кв.м/кг
			початкове, T ₀	кінцеве, T _{min}	
Пирій повзучий					
Полум'яне горіння (35кВт/м ²)	1	0,000408	100	96,8	49,82
	2	0,000454	100	97,5	34,86
	3	0,000417	100	97,6	36,41
	4	0,000465	100	98,0	27,16
	5	0,000442	100	97,9	30,01
Середнє значення коефіцієнта димоутворення, м ² /кг					35,65
Пирій повзучий					
Тління (25 кВт/м ²)	1	0,000438	100	77,3	367,42
	2	0,000451	100	79,4	319,68
	3	0,000436	100	77,8	359,86
	4	0,000455	100	76,3	371,58
	5	0,000421	100	80,1	329,43
Середнє значення коефіцієнта димоутворення, м ² /кг					349,60

Режим випробувань та густина теплового потоку	Номер зразка для випробувань	Маса зразка, m (кг)	Світлопропускання, %		Коефіцієнт димоутворення для кожного зразка (Dm),
			початкове, T ₀	кінцеве, T _{min}	
Костриця лугова					
Полум'яне горіння (35кВт/м ²)	1	0,000462	100	97,1	39,81
	2	0,000452	100	96,5	49,27
	3	0,000503	100	96,1	49,43
	4	0,000422	100	97,8	32,95
	5	0,0004653	100	96,2	52,04
Середнє значення коефіцієнта димоутворення, м ² /кг					44,70
Костриця лугова					
Тління (25 кВт/м ²)	1	0,000492	100	81,8	255,21
	2	0,000485	100	83,5	232,39
	3	0,000492	100	84,1	219,98
	4	0,000477	100	85,1	211,41
	5	0,000541	100	82,0	229,28
Середнє значення коефіцієнта димоутворення, м ² /кг					229,65

Режим випробувань та густина теплового потоку	Номер зразка для випробувань	Маса зразка, m (кг)	Світлопропус-		Коефіцієнт димоутворення для кожного зразка (Dm), кв.м/кг
			початкове, T ₀	кінцеве, T _{min}	
Костриця очеретяна					
Полум'яне горіння (35кВт/м ²)	1	0,000521	100	96,0	48,97
	2	0,000456	100	98,1	26,29
	3	0,000477	100	95,1	65,83
	4	0,000495	100	96,6	43,68
	5	0,000409	100	96,5	54,45
Середнє значення коефіцієнта димоутворення, м ² /кг					47,84
Костриця очеретяна					
Тління (25 кВт/м ²)	1	0,000465	100	75,4	379,54
	2	0,000493	100	73,5	390,34
	3	0,000455	100	78,2	337,79
	4	0,000449	100	77,9	347,66
	5	0,000481	100	78,1	321,20
Середнє значення коефіцієнта димоутворення, м ² /кг					355,30
Конюшина польова					
Полум'яне горіння (35кВт/м ²)	1	0,000443	100	98,0	28,50
	2	0,000410	100	97,2	43,29
	3	0,000482	100	97,1	38,16
	4	0,000492	100	96,9	40,01
	5	0,000465	100	97,3	36,79
Середнє значення коефіцієнта димоутворення, м ² /кг					37,35
Конюшина польова					
Тління (25 кВт/м ²)	1	0,000447	100	86,9	196,34
	2	0,000487	100	88,2	161,15
	3	0,000469	100	89,7	144,86
	4	0,000489	100	86,1	191,29
	5	0,000467	100	87,2	183,31
Середнє значення коефіцієнта димоутворення, м ² /кг					175,39

ДОДАТОК В
МЕТОДИКА-ПРОГРАМА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ
«ТЕРМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТРАВ'ЯНИХ РОСЛИН»

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»
Кафедра фізичної, аналітичної та загальної хімії

Методика-програма
проведення випробувань
«ТЕРМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТРАВ'ЯНИХ РОСЛИН»

Мета проведення випробувань. Встановити залежність пожежної небезпеки від термічну стійкість, температури займання, температури самозаймання та часу індукції. від зміни вологості серед трав'яних рослин.

Місце проведення випробувань. лабораторії термічного аналізу фізичної, аналітичної та загальної хімії.

Об'єкт випробувань. Підготовлена висушена та подрібнена трава, (найпоширеніші п'ять видів Львівщини – конюшина польова, костриця лугова, костриця очеретяна, мітлиця біла, пирій повзучий.

Львів-2018

Засоби вимірювальної техніки

№ п/п	Найменування приладу чи пристрою	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка вимірювання
1	Дериватографі Q-1500D системи "Паулік - Паулік-Ердей"	№ 31146	Від 20 до 1000 °С	-
2	Персональним комп'ютером	00031-10000-0000-AA947	-	-
3	Секундомір СОСпр	5074	Від 0 до 3600 с	Клас точн. 2
4	Ваги WPT 03/06 С4	107867	Від 0 до 600 г.	Клас точн. 4

Методика проведення випробувань

Термічний аналіз зразків проводили на дериватографі Q-1500D системи "Паулік - Паулік-Ердей", з'єднаного з персональним комп'ютером в інтервалі температур 20-1000°С при вільному доступі повітря в піч. Швидкість підвищення температури складала 10°С/хв. Маса зразків становила в середньому 100 мг, еталонною речовиною слугував алюміній оксид.

За результатами комплексного термічного аналізу встановлювали термічну стійкість зразків. Термогравіметричні криві (TG) показували втрату маси зразків в процесі нагрівання. Криві диференційного термічного аналізу (DTA) визначали знак та величину теплового ефекту процесу. Криві диференційного термогравіметричного аналізу (DTG) є результатом диференціювання кривої TG і відповідають швидкості втрати маси зразків за відповідної температури.

Початок випробувань

Початком випробування вважається вимірювання необхідних параметрів в перший день досліду.

Вимірювання та спостереження у процесі випробувань

Вимірювання маси, температури займання, температури самозаймання, часу індукції дослідних зразків.

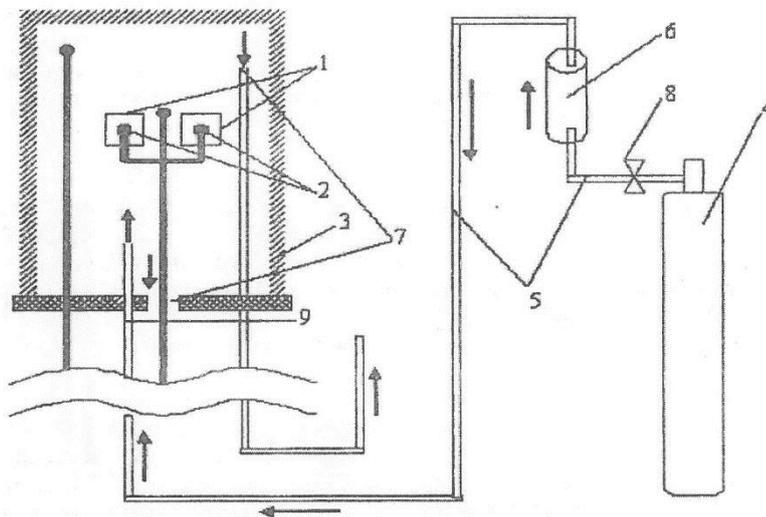
Маса, температура займання, температура самозаймання, час індукції вимірюється протягом дослідного періоду.

Спостереження за поведінкою зразка.

У процесі випробування слід спостерігати за зразком і складати хронологічний опис змін у зразку.

Під час випробування слід проводити фотозйомку.

Припинення випробувань



Принципова схема розташування обладнання для дослідження впливу атмосфери на термічну стійкість подрібнених зразків трав'яних ролин

де 1 – корундові тиглі зі зразками (α -корунд та α -корунд з подрібненим насінням); 2 – термопари; 3 – кварцовий стакан; 4 – балон з азотом; 5 – гумові трубки; 6 – газовий ротаметр; 7 – шляхи виходу надлишку газоповітряної суміші; 8 - вентиль; 9 - патрубок подавання азоту у газове горюче середовище

Результати випробувань оформляються протоколом або звітом.

Протокол випробувань (звіт про випробування) має містити відомості про зразки, що були випробувані, умови та результати випробувань, а саме:

- назву та адресу лабораторії, що проводила випробування;
- дату випробувань;

- найменування речовини, зразки якої були випробувані;
- фотографії та опис зразків;
- результати вимірювань температури внутрішнього середовища лабораторії;
- результати вимірювань температури в печі;
- відомості про те, чи проводилося при випробуваннях вимірювання надлишкового тиску в печі;
- результати вимірювання маси та ємності у зразках;
- відомості щодо можливих деформацій елементів у зразках;
- опис поведінки зразків у процесі випробувань;
- час початку та закінчення випробувань;
- оцінку результатів випробувань;
- фотографії зразків після випробувань;
- підписи виконавців та присутніх при випробуваннях працівників НДЛ.

Правила безпеки праці під час роботи з сушильною камерою.

Перед початком робіт виконавець зобов'язаний :

1. Ознайомитись з ПТБ при роботі з сушильною камерою.
2. Переконавшись, що в сушильній камері чисто і немає сторонніх предметів.
3. Перевірити ущільнення дверей, цілісність запорів сушильної камери.
4. Не відчиняти дверцята шафи під час робочого процесу.
5. Не доторкатися до корпусу при установці високих температур, щоб уникнути опіку.
6. Зняття проб фізичних показників під час роботи камери проводити в ЗІЗ.
7. Після завершення роботи чищення проводити тільки при відключенні від мережі.

Виконавці:

Доцент кафедри фізичної,
аналітичної та загальної хімії
кандидат хімічних наук, доцент



В.В. Кочубей

Ад'юнкт ЛДУ БЖД



К. Л. Драч

ДОДАТОК Д
МЕТОДИКА-ПРОГРАМА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ
«ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЙМАННЯ ТА
САМОЗАЙМАННЯ ВІД ВМІСТУ ВОЛОГОСТІ В РОСЛИНАХ
ТРАВ'ЯНОГО ПОХОДЖЕННЯ»

Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності



Методика-програма
проведення випробувань

**«ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ТЕМПЕРАТУРИ ЗАЙМАННЯ ТА
САМОЗАЙМАННЯ ВІД ВМІСТУ ВОЛОГОСТІ В РОСЛИНАХ
ТРАВ'ЯНОГО ПОХОДЖЕННЯ»**

Львів-2017

Мета проведення випробувань. Встановити залежність пожежної небезпеки, температури займання, температури самозаймання та часу індукції від зміни вологості серед трав'яних рослин.

Місце проведення випробувань. Науково-дослідна лабораторія ЛДУ БЖД.

Об'єкт випробувань. Підготовлена свіжоскошена трава, (найпоширеніші п'ять видів Львівщини – конюшина польова (*Trifolium arvense*), костриця лугова (*Festuca pratensis*), костриця очеретяна (*Festuca arundinacea*), мітлиця біла (*Agrostis alba*), пирій повзучий (*Elytrigia repens*). Зважування зразків проводиться у встановлений час дня на протязі 5 днів. Після цього зразки досушується у сушильній камері при температурі $100 \pm 5^\circ\text{C}$.

Засоби виміральної техніки

№ п/п	Найменування приладу чи пристрою	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка вимірювання
1	Установка ОТП	№ 2	Від 20 до 600 °С	-
2	Секундомір СОСпр	5074	Від 0 до 3600 с	Клас точн. 2
3	Сушильна камера 2В151	2925	Від 20°С до 250°С	-
4	Ваги WPT 03/06 С4	107867	Від 0 до 600 г.	Клас точн. 4

Методика проведення випробувань

1. *Заздалегідь* відібрано п'ять видів трав та розміщено їх на горизонтальній площині, для забезпечення поступового висушування природнім шляхом.
2. *Вимірювання* маси, температури займання, температури самозаймання та часу індукції здійснюються щодоби в один і той же час, до досягнення рівноважної вологості.
3. *Результати* вимірювань фіксуються.

Початок випробувань

Початком випробування вважається вимірювання необхідних параметрів в перший день досліду.

Вимірювання та спостереження у процесі випробувань

Вимірювання маси, температури займання, температури самозаймання, часу індукції дослідних зразків.

Маса, температура займання, температура самозаймання, час індукції вимірюється протягом дослідного періоду.

Спостереження за поведінкою зразка.

У процесі випробування слід спостерігати за зразком і скласти хронологічний опис змін у зразку, тобто: маси, температури займання, температури самозаймання, часу індукції з кожним днем.

Під час випробування слід проводити фотозйомку.

Середні значення мас зразків у процесі дослідження

Назва рослини	Маса, г					Абсолютно сухий стан
	День дослідіу					
	1	2	3	4	5	
Костриця очеретяна	20,002	13,461	10,239	6,220	5,263	4,909
Костриця лугова	10,008	6,058	3,957	2,422	2,328	2,074
Пирій повзучий	15,006	7,713	3,891	2,995	2,288	2,054
Тимофіївка лугова	10,009	8,616	6,211	4,067	3,401	2,651
Конюшина польова	10,008	7,161	5,293	3,090	2,384	1,750

Вологість зразків рослин у процесі їх висушування

Назва рослини	Абсолютна вологість, %				
	День дослідіу				
	1	2	3	4	5
Костриця очеретяна	307,46	174,21	108,58	26,71	8,03
Костриця лугова	382,55	192,09	90,79	16,78	9,00
Пирій повзучий	460,57	214,51	59,22	22,34	10,37
Тимофіївка лугова	277,56	225,01	134,29	53,41	17,59
Конюшина польова	441,56	308,97	202,28	76,47	19,59

Припинення випробувань

Випробування мають продовжуватися до тої пори, доки показник маси трав набуде постійного значення.

Після цього трави досушується у сушильній камері (Рис.2) при температурі $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$, час досушування реєструється.

На основі визначення маси сухих взірців проводяться розрахунки за результатами досліджень.

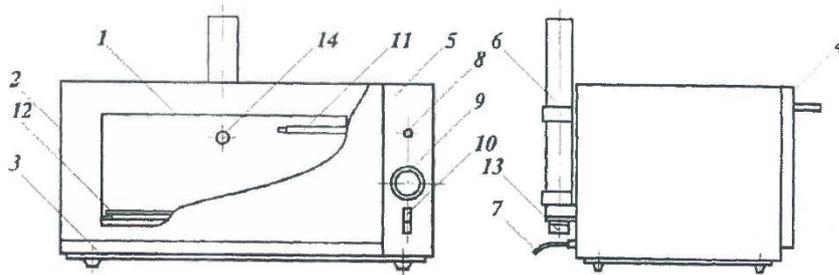


Рис. 2. Сушильна шафа: 1 - нагрівальна камера, 2 - кожух; 3 - підстава; 4 - дверці; 5 - панель управління і індикації; 6 - витяжна труба; 7 - кабель підключення до електромережі; 8 - індикатор нагріву; 9 - датчик- реле визначення температури; 10 - вимикач; 11 - термобаллон; 12 - піддон; 13 - вентилятор; 14 – сопло.

Результати випробувань оформляються протоколом або звітом.

Протокол випробувань (звіт про випробування) має містити відомості про зразки, що були випробувані, умови та результати випробувань, а саме:

- назву та адресу лабораторії, що проводила випробування;
- дату випробувань;
- найменування речовини, зразки якої були випробувані;
- фотографії та опис зразків;
- результати вимірювань температури внутрішнього середовища лабораторії;
- результати вимірювань температури в печі;
- відомості про те, чи проводилося при випробуваннях вимірювання надлишкового тиску в печі;
- результати вимірювання маси та ємності у зразках;
- відомості щодо можливих деформацій елементів у зразках;
- опис поведінки зразків у процесі випробувань;
- час початку та закінчення випробувань;
- оцінку результатів випробувань;
- фотографії зразків після випробувань;
- підписи виконавців та присутніх при випробуваннях працівників НДЛ.

Правила безпеки праці під час роботи з сушильною камерою.

Перед початком робіт виконавець зобов'язаний :

1. Ознайомитись з ПТБ при роботі з сушильною камерою.
2. Переконавшись, що в сушильній камері чисто і немає сторонніх предметів.
3. Перевірити ущільнення дверей, цілісність запорів сушильної камери.

4. Не відчиняти дверцята шафи під час робочого процесу.
5. Не доторкатися до корпусу при установці високих температур, щоб уникнути опіку.
6. Зняття проб фізичних показників під час роботи камери проводити в ЗІЗ.
7. Після завершення роботи чищення проводити тільки при відключенні від мережі.

ПОГОДЖЕНО:

Завідувач

науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД


В. Л. Петровський**Виконавець:**Ад'юнкт ЛДУ БЖД
лейтенант служби ЦЗ
К. Л. Драч

ДОДАТОК Е

МЕТОДИКА-ПРОГРАМА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ З
ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДИМОУТВОРЕННЯ РЕЧОВИН І
МАТЕРІАЛІВ ЗГІДНО З ГОСТ 12.1.044-89
«ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ.
НОМЕНКЛАТУРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ»



**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ МНС УКРАЇНИ
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ**

МЕТОДИКА-ПРОГРАМА

проведення випробувань

**ВИПРОБУВАНЬ З ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДИМОУТВОРЕННЯ
РЕЧОВИН І МАТЕРІАЛІВ ЗГІДНО З ГОСТ 12.1.044-89
“ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ.
НОМЕНКЛАТУРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ”**

Львів-2017

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ	
№ документа <u>171/03</u>	від <u>01.05</u> 20 <u>17</u> р.
Всього <u>3</u>	арк <u>1</u>
Підпис _____	

**ВИПРОБУВАННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДИМОУТВОРЕННЯ
РЕЧОВИН І МАТЕРІАЛІВ ЗГІДНО З ГОСТ 12.1.044-89
“ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ.
НОМЕНКЛАТУРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ”**

Дата проведення
випробувань: 01.11.2017 р.

Умови проведення випробувань:
- температура 20 °С
- атмосферний тиск 97,2 кПа
- відносна вологість 62 %

МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ: Теплотехнічна лабораторія науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД ДСНС України.
Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ: Зразки висушених трав: пирію повзучого, тимофіївки лугової, костриці лугової, костриці очеретяної, конюшини польової масою 0,4-0,6 г.

ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ: Випробуванням піддавалися зразки 5-ти видів висушених трав дрібнопосічених масою 0,4-0,6 г.
Перед випробуванням зразки висушувались при температурі 22 ± 1 °С на протязі 5 діб.

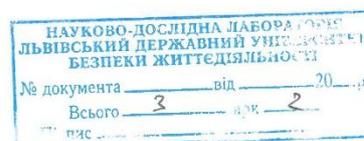
ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ:

Установка для визначення коефіцієнта димоутворення УВКД згідно ГОСТ 12.1.044-89.

Таблиця 1.

Засоби вимірювальної техніки

№ п/п	Найменування приладу чи обладнання	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка засобів вимірювальної техніки
1	Регулятор-вимірювач РТ 0102-8-К	10.019	Від 0 до 1200 °С	± 2°С
2	Термопары ТХА 10	2-7, 9-12	Від 0 до 800 °С	
3	Секундомір СОП	8625	Від 0 до 3600 с	Кл. точн. 2
4	Лінійка вимірювальна	б/н	Від 0 до 1000 мм	± 0,5 мм
5	Ваги ВТУ 210/ СЗ	1826	Від 0 до 210 г	Кл. точн. 3
6	Штангенциркуль ШЦ-I-200-0,02	0805174	Від 0 до 200 мм	± 0,02 мм



МЕТОД ВИПРОБУВАНЬ:ГОСТ 12.1.044-89 “Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения” встановлює метод випробування на димоутворювальну здатність матеріалів, а також їх класифікацію. За групами димоутворювальної здатності.

Суть методу експериментального визначення коефіцієнта димоутворення твердих речовин та матеріалів полягає у визначенні оптичної густини диму, який утворюється при полум'яному горінні або тлінні зразка твердого матеріалу певної кількості.

Випробування зразків проводять у двох режимах. У режимі тління на зразок діє тільки тепловий потік густиною $35 \pm 3,5$ кВт/м², а у режимі полум'яного горіння - тепловий потік та полум'я газового пальника.

Коефіцієнт димоутворення (D_m) в м²/кг визначається за формулою:

$$D_m = \frac{V}{L_m} I_m \frac{T_i}{T_{min}}$$

де, V- об'єм камери вимірювання, V= 0,343±0,004 м³;

L- шлях проходження променя світла у диму, L=0,700±0,0005м;

m- маса зразка, кг;

T₀, T_{min} – відповідно значення початкового та кінцевого світлопропускання, %.

Для кожного з режимів випробувань визначають коефіцієнт димоутворення як середнє арифметичне результатів п'яти випробувань.

За коефіцієнт димоутворення матеріалу, що досліджується приймають більше значення коефіцієнта димоутворення, яке обчислено для двох режимів випробування.

За результатами випробувань димоутворювальної здатності будівельні матеріали в залежності від значень параметрів коефіцієнта димоутворення (D) розподіляють на три групи матеріалів:

- Д1 (з малою димоутворювальною здатністю) - коефіцієнт димоутворення до 50 м²/кг включно;
- Д2 (з помірною димоутворювальною здатністю) - коефіцієнт димоутворення більше 50 м²/кг до 500 м²/кг включно;
- Д3 (з високою димоутворювальною здатністю) - коефіцієнт димоутворення більше 500 м²/кг включно.

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ	
ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ	
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДИЯЛЬНОСТІ	
№ документа	від _____ 20__ р.
Всього _____	арк. _____
ПИС _____	

Завідувач
НДЛ ЛДУ БЖД

Ад'юнкт ЛДУ БЖД
лейтенант служби ЦЗ



В. Л. Петровський

К. Л. Драч

ДОДАТОК Ж
ПРОТОКОЛ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ
«ТЕРМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТРАВ'ЯНИХ РОСЛИН»

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»
Кафедра фізичної, аналітичної та загальної хімії

ПРОТОКОЛ № 23/5632
проведення випробувань
«ТЕРМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТРАВ'ЯНИХ РОСЛИН»

Львів-2018

Мета проведення випробувань. Встановити залежність пожежної небезпеки від термічної стійкості, температури займання, температури самозаймання та часу індукції. від зміни вологості серед трав'яних рослин.

Місце проведення випробувань. лабораторії термічного аналізу фізичної, аналітичної та загальної хімії.

Об'єкт випробувань. Підготовлена висушена та подрібнена трава, (найпоширеніші п'ять видів Львівщини – конюшина польова, костриця лугова, костриця очеретяна, мітлиця біла, пирій повзучий.

Початок випробувань

Початком випробування вважається вимірювання необхідних параметрів в перший день досліду.

Вимірювання та спостереження у процесі випробувань

Вимірювання маси, температури займання, температури самозаймання, часу індукції дослідних зразків.

Маса, температура займання, температура самозаймання, час індукції вимірюється протягом дослідного періоду.

Спостереження за поведінкою зразка.

У процесі випробування слід спостерігати за зразком і складати хронологічний опис змін у зразку.

Для більш детальних досліджень причин відмінностей пожежонебезпечних показників фрагментів рослин та динаміки втрати маси під дією термічного впливу проведено комплексний термічний аналіз зразків, результати якого представлені у вигляді термограм (рис. 4.15). Маса зразків становила в середньому 100 мг.

Найшвидше починає втрачати масу зразок костриці очеретяної, а далі цей процес сповільнюється у порівнянні з іншими зразками. Зокрема після 160°C найменшою є маса зразка конюшини польової, потім після 330°C – тимофіївки лучної, чергуючись з тимофіївкою лучною і кострицею очеретяною, і лише після 480°C зразок костриці очеретяної знову є першим споміж усіх за втраченою масою.

Найбільшу з усіх зразків масу на початковій стадії (від 20 до 160°C) має пирій повзучий. Далі найбільшу масу має костриця очеретяна (до 340°C), а від 340°C до 600°C знову пирій повзучий зберігає найбільшу масу.

Результати термогравіметричного та диференційного термічного аналізів зразків рослин

Зразок рослини	Стадія	Температурний інтервал, °C	Втрата маси, %	Максимум першого екзотермічного ефекту T_{max} , °C
Костриця очеретяна	I	20 – 183	10,08	364
	II	183 – 397	55,64	
	III	397 – 1000	25,12	
Костриця лучна	I	20 – 184	10,10	347
	II	184 – 400	56,24	
	III	400 – 1000	26,03	
Пирій повзучий	I	20 – 195	10,21	316
	II	195 – 366	44,45	
	III	366 – 1000	32,46	
Тимофіївка лучна	I	20 – 211	12,29	333
	II	211 – 373	49,94	
	III	373 – 1000	25,62	
Конюшина польова	I	20 – 197	15,01	300
	II	197 – 349	40,27	
	III	349 – 1000	35,54	

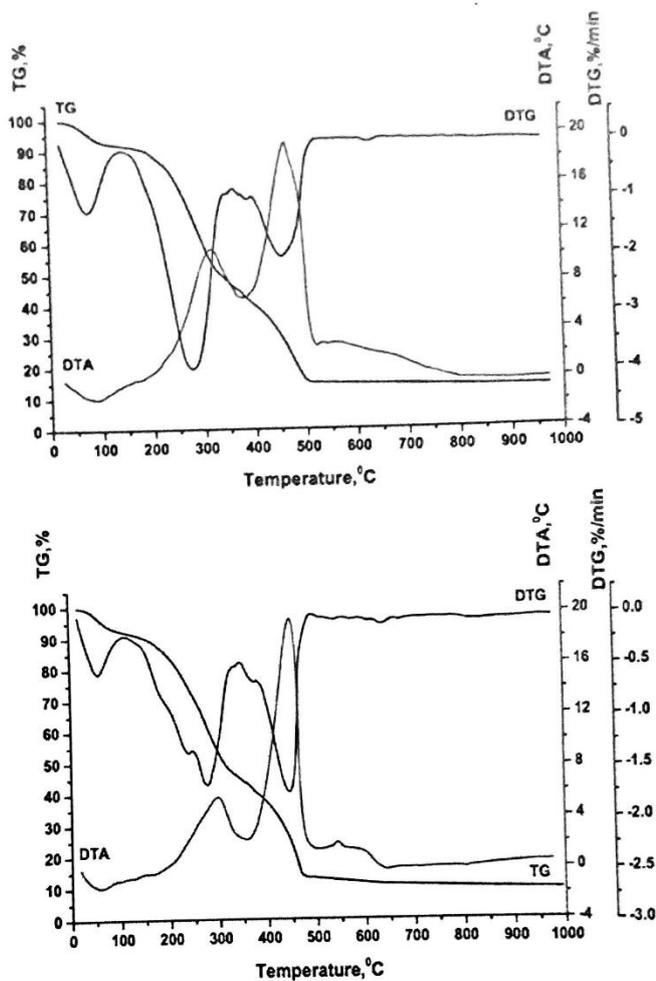
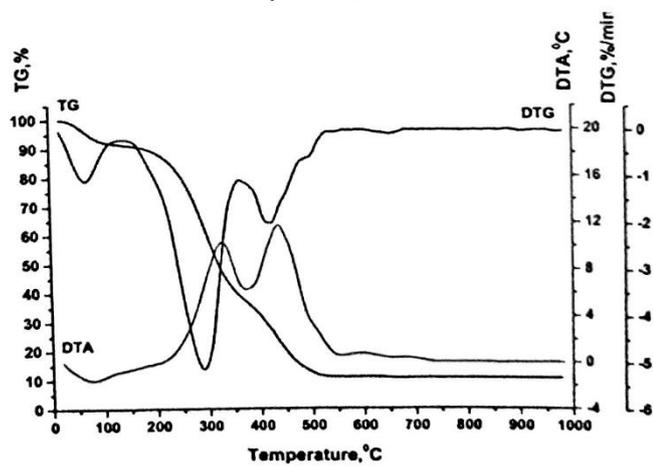
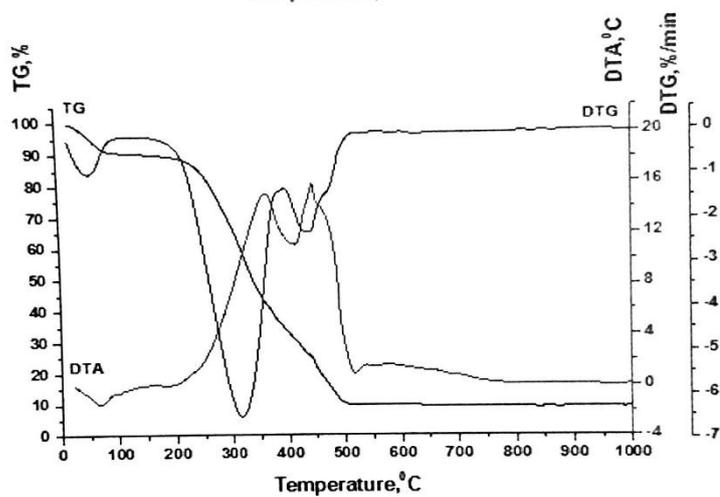
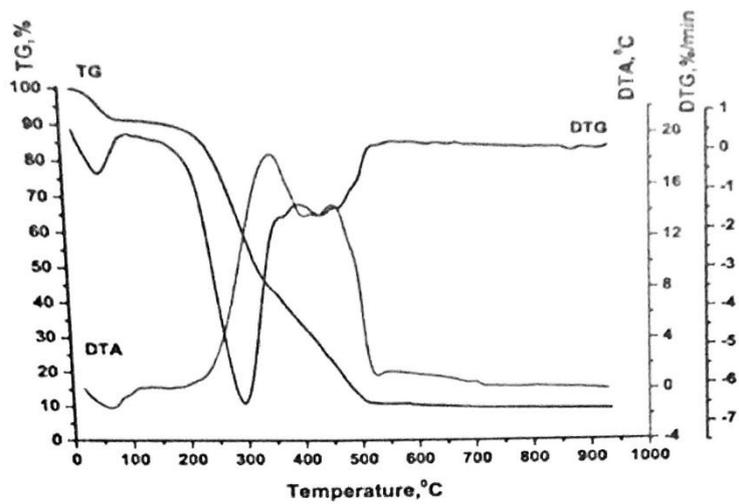


Рис. – Термограми найпоширеніших рослин трав'яних екосистем України: а) костриці очеретяної; б) костриці лучної; в) пирія повзучого; г) тимофіївки лучної; д) конюшини польової.

Найменша кількість води міститься в зразку костриці очеретяної (10,08%), яку вона втрачає в температурному інтервалі 20–183°C. Отримані результати добре узгоджуються з даними щодо визначення вологості зразків в процесі їх висушування:

Інтенсивна деструкція зразків на другій стадії, яка ілюструється швидкою втратою маси, починається за температур, вищих 183–211°C. Характери екстремумів на кривих DTA та DTG зразків істотно



відрізняються, що свідчить, як уже зазначалося, про відмінності в їх хімічному складі.

Отже, в результаті лабораторних термогравіметричних досліджень встановлено, що найбільша термостійкість з огляду на екзотермічний ефект властива костриці очеретяній та костриці лучній. Найбільшим є залишок золи для пирія повзучого і тимофіївки лучної, що вказує на їх меншу здатність до займання у порівнянні з іншими видами досліджених рослин.

Правила безпеки праці під час роботи з сушильною камерою.

Перед початком робіт виконавець зобов'язаний :

1. Ознайомитись з ПТБ при роботі з сушильною камерою.
2. Переконавшись, що в сушильній камері чисто і немає сторонніх предметів.
3. Перевірити ущільнення дверей, цілісність запорів сушильної камери.
4. Не відчиняти дверцята шафи під час робочого процесу.
5. Не доторкатися до корпусу при установці високих температур, щоб уникнути опіку.
6. Зняття проб фізичних показників під час роботи камери проводити в ЗІЗ.
7. Після завершення роботи чищення проводити тільки при відключенні від мережі.

Виконавці:

Доцент кафедри фізичної,
аналітичної та загальної хімії
кандидат хімічних наук, доцент



В.В. Кочубей

Ад'юнкт ЛДУ БЖД



К. Л. Драч

ДОДАТОК 3
РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ З ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ
ПОТОКУ ПОВІТРЯ ВІД БЕНЗИНОВОГО ОБПРИСКУВАЧА STIHL
SR 430 НА ВІДСТАНІ ВІД СОПЛА В ОСНОВНОМУ НАПРЯМКУ ТА
ЗА ВІДХИЛЕННЯ ВІД ОСНОВНОГО НАПРЯМКУ

Таблиця Ж.1

Залежність швидкості потоку повітря від обприскувача Stihl SR 430 від відстані та кута відхилення від основного напрямку потоку в горизонтальній площині

Відстань, м	Швидкість потоку повітря, м/с для середніх обертів двигуна та кута відхилення від напрямку потоку		
	0°	30°	45°
0,2	10,0	11,1	10,0
0,4	9,2	10,4	8,4
0,6	9,2	3,8	2,0
0,8	8,8	2,7	1,7
1,0	5,8	2,1	1,2
1,2	3,9	1,5	1,1
1,4	2,2	1	0,6
1,6	2,0	0,9	0,4
1,8	1,9	0,6	0,2
2,0	1,6	0,4	0,1
2,2	1,0	0,2	0,1
2,4	0,7	0,1	
2,6	0,3		
2,8	0,1		
3,0	0,1		

Таблиця Ж.2

Залежність швидкості потоку повітря від обприскувача Stihl SR 430 від відстані та обертів двигуна за потоку повітря у горизонтальній площині

Відстань, м	Швидкість потоку повітря, м/с для різних режимів роботи обприскувача		
	Мін. обороти	Середні оберти	Макс. оберти
0,2	10,0	14,9	16,6
0,4	9,2	15,1	16,1
0,6	9,2	14,8	15,0
0,8	8,8	9,0	11,1
1,0	5,8	8,2	9,2
1,2	3,9	7,3	8,1
1,4	2,2	5,5	7,3
1,6	2,0	5,1	7,1
1,8	1,9	4,7	6,1
2,0	1,6	4,1	5,2
2,2	1,0	3,6	4,4
2,4	0,7	3,0	3,6
2,6	0,3	2,7	3,0
2,8	0,1	2,1	2,2
3,0	0,1	1,0	2,2

Таблиця Ж.3

Залежність швидкості потоку повітря від обприскувача Stihl SR 430 від відстані та різних режимів роботи обприскувача в робочому положенні

Відстань, м	Швидкість потоку повітря, м/с для різних режимів роботи обприскувача		
	Мін. обороти	Середні оберти	Макс. Оберти
0,4	7,4	11,3	14,1
0,6	6,2	10,6	13,1
0,8	5,1	9,4	9,9
1,0	4,0	8,1	7,8
1,2	3,2	7,0	6,6
1,4	2,0	4,5	5,8
1,6	1,1	3,9	5,0
1,8	0,8	3,1	4,4
2,0	0,4	2,5	3,6
2,2	0,2	2,2	2,9
2,4	0,1	1,4	2,4
2,6	0,1	0,4	1,8
2,8		0,1	1,4
3,0		0,1	0,8

Таблиця Ж.4

Залежність швидкості потоку повітря від обприскувача Stihl SR 430 від відстані за різного відхилення від напрямку потоку в робочому положенні

Відстань, м	Швидкість потоку повітря, м/с для середніх обертів двигуна та кута відхилення від напрямку потоку		
	0°	30°	45°
0,2	12,4	9,8	7,8
0,4	11,3	7,2	6,3
0,6	10,6	2,9	1,9
0,8	9,4	2,0	1,0
1,0	8,1	1,8	0,4
1,2	7,0	1,4	0,1
1,4	4,5	0,4	0,1
1,6	3,9	0,1	
1,8	3,1	0,1	
2,0	2,5		
2,2	2,2		
2,4	1,4		
2,6	0,4		
2,8	0,1		
3,0	0,1		

ДОДАТОК И.
АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ВІД ЛЬВІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ БЕЗПЕКИ
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної та методичної роботи

Львівського державного університету

безпеки життєдіяльності

д.т.н., доцент



Дмитро ЧАЛИЙ

20__ р.

АКТ ВІРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи ад'юнкта Драча Костянтина Леонідовича
під назвою «Динаміка пожеж у трав'яних екосистемах»

Комісія у складі:

голови комісії – начальника навчально-наукового інституту цивільного захисту, д.т.н., доцента Поповича В.В.;

членів комісії: начальник кафедри екологічної безпеки д.т.н., доцента Баланюка В.М., заступника начальника кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт к.т.н., доцента Луца В. І.; встановила, що результати дисертаційної роботи Драча К.Л. на тему «Динаміка пожеж у трав'яних екосистемах» за спеціальністю 261 – пожежна безпека (на здобуття наукового ступеня доктора філософії) використовуються у навчальному процесі при викладанні:

– на кафедрі пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт – дисципліни «Пожежна тактика»;

– на кафедрі екологічної безпеки – дисципліни «Пожежі в природних екосистемах».

В курсах навчальних дисциплін використані теоретичні положення та методичні підходи дисертаційної роботи щодо чинників пожежної небезпеки, особливостей виникнення та поширення пожеж в трав'яних екосистемах.

Голова комісії:

Начальник навчально-наукового
інституту ЦЗ
д.т.н., доцент

Василь ПОПОВИЧ

Члени комісії:

Начальник кафедри екологічної безпеки
д.т.н., доцент

Володимир БАЛАНЮК

Заступник начальника кафедри ПТ та АРР,
к.т.н., доцент

Василь ЛУЦ

ДОДАТОК І.
АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ВІД ГУ ДСНС УКРАЇНИ У М. КИЄВІ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Т.в.о. начальника

Головного управління

ДСНС України у м. Києві

Ігор ШАРИЙ

» 02 2021 року

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**

результатів дисертаційної роботи Драча Костянтина Леонідовича

«Динаміка пожеж у трав'яних екосистемах»

за спеціальністю 261 – пожежна безпека

(на здобуття наукового ступеня доктора філософії)

Пожежі як один з найпоширеніших видів надзвичайних ситуацій техногенного або природного характеру в умовах сучасного сьогодні є актуальною проблемою в Україні. Особлива складність гасіння пожеж в трав'яних екосистемах пов'язана з часом доби, вологістю трав, та температурою повітря. Зазначені чинники ускладнюють або пришвидшують займання і горіння, що напряду пов'язане з матеріальними затратами, а також ризиками для особового складу під час ліквідації надзвичайних ситуацій та населення взагалі.

Впровадження результатів отриманих здобувачем під час проведення досліджень залежностей розвитку пожеж в природних трав'яних екосистемах, з розповсюдженням на лісові масиви, а також об'єкти інфраструктури міста мають важливе практичне значення для виконання аварійно-рятувальних дій особовим складом.

Результати дисертаційної роботи Драча К.Л. на тему «Динаміка пожеж у трав'яних екосистемах» за спеціальністю 261 – пожежна безпека (на здобуття наукового ступеня доктора філософії) щодо моделювання вищевказаних пожеж, а також залежність їх розвитку та подальших практичних дій для ліквідації та мінімізації ризиків розповсюдження, прийнято та впроваджено в роботу під час ліквідації надзвичайних ситуацій в екосистемах міста Києва.

Т.в.о. начальника УР на НС
ГУ ДСНС України у м. Києві

Микола ВОЙТОВИЧ

Провідного фахівця відділу організації
пожежогасіння та роботи з об'єктовими підрозділами
УР на НС ГУ ДСНС України у м. Києві

Дмитро ДЗЮБА

Провідного фахівця відділу організації
реагування та готовності підрозділів УР на НС
ГУ ДСНС України у м. Києві

Михайло Щербань

ДОДАТОК І.
СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Список опублікованих праць за темою дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. Кузик, А. Д., Драч, К. Л. (2016). Пожежна небезпека найпоширеніших трав'янистих рослин лук Західної України. *Пожежна безпека*, 29, 87-92.
2. Кузик, А. Д., Драч, К. Л., Товарянський, В. І. (2019). Експериментальні дослідження пожеж у трав'яних екосистемах. *Пожежна безпека*, 35, 35-40.
3. Кузик, А. Д., Драч, К. Л., Товарянський, В. І. (2020). Моделювання процесів виникнення і поширення трав'яних пожеж. *Пожежна безпека*, 36, 44-48.

Стаття у науковому виданні, що входить до бази даних Scopus:

4. Drach, K. L., Kuzyk, A. D., Tovarianskyi, V. I., Yemelianenko, S. O. (2020). Fire dangerous properties of the most common plants of grass ecosystems in Ukraine. *Ecologia Balkanica*, 12 (1), 147–154.

Тези доповідей, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Драч, К. Л. (2014). Підходи до класифікації горючих матеріалів рослинного походження та їх пожежонебезпечні властивості. *Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць IX Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (4 квітня 2014 р., м. Львів)*, 63-64.
6. Драч, К. Л. (2015). Особливості горіння трав та їх класифікація за пожежонебезпечними властивостями. *Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць X Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (27 березня 2015 р., м. Львів)*, 37-38.
7. Драч, К. Л. (2016). Порівняльна характеристика лісових та трав'яних пожеж. *Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (24 березня 2016 р., м. Львів)*, 21-22.

8. Кузик, А. Д., Драч, К. Л. (2016). Пожежна небезпека найпоширеніших трав'яних рослин лук Львівщини. *Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації: Зб. наук. праць Міжнар. наук.-практ. конф. (20-21 жовтня 2016 р., Львів)*, 155-157.

9. Драч, К. Л. (2017). Фактори впливу на розвиток пожеж в природних екосистемах. *Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (До 70-річчя заснування університету) (23-24 березня 2017 р., м. Львів)*, 25-27.

10. Кузик, А. Д., Драч, К. Л. (2019). Пожежна небезпека трав'янистих рослин та її вплив на екосистеми. *Сучасний стан та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації: Зб. наук. праць Міжнар. наук.-практ. конф. (3 нагоди 80-ліття від дня народження професора В.П. Кучерявого) (4-5 квітня 2019 р., м. Львів)*, 252-254.

Апробація результатів роботи

Основні положення дисертаційної роботи викладено та обговорено на наукових семінарах кафедри екологічної безпеки, Навчально-наукового інституту цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, на Науково-технічній раді Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, а також на наукових конференціях різного рівня:

- IX Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності» (м. Львів, 4 квітня 2014 р., форма участі – усна доповідь);

- X Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності» (м. Львів, 27 березня 2015 р., форма участі – усна доповідь);

- XI Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності» (м. Львів, 24 березня 2016 р., форма участі – усна доповідь);

- Міжнародна науково-практична конференція «Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації» (м. Львів, 20-21 жовтня 2016 р., форма участі – публікація тез);

- XII Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності» (До 70-річчя заснування університету) (м. Львів, 23-24 березня 2017 р., форма участі – усна доповідь);

- Міжнародна науково-практична конференція «Сучасний стан та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації (3 нагоди 80-ліття від дня народження професора В.П. Кучерявого)» (м. Львів, 4-5 квітня 2019 р., форма участі – публікація тез).