

1

Державна служба України з надзвичайних ситуацій  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Сукач Роман Юрійович**

УДК 614.8

ДИСЕРТАЦІЯ  
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАСІННЯ  
НИЗОВИХ ПОЖЕЖ В ЕКОСИСТЕМАХ

Спеціальність 21.06.02 – “пожежна безпека”  
Галузь знань – 261 “пожежна безпека”

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

  
Р.Ю. Сукач

Науковий керівник  
**Кирилів Ярослав Богданович**  
кандидат технічних наук, старший  
науковий співробітник

Перший примірник дисертації є  
ідентичним за змістом з усіма іншими  
примірниками  
Учений секретар

  
канд. техн. наук Роман ЯКОВЧУК

## АНОТАЦІЯ

*Сукач Р.Ю.* Підвищення ефективності гасіння низових пожеж в екосистемах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 “пожежна безпека” підготовлена у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності, Львів, 2021.

Дисертаційна робота присвячена розв’язанню актуальної наукової задачі розкриття взаємозв’язку між чинниками, що впливають на поширення пожеж травостою із торф’яними включеннями, та ефективністю засобів і способів для недопущення поширення таких пожеж.

На підставі аналізу літературних джерел окреслено етапи розв’язання наукової задачі встановлення взаємозв’язку між чинниками, що впливають на поширювання пожеж травостою із торф’яними включеннями, та ефективністю засобів і способів для недопущення поширювання таких пожеж та їх гасіння. Проаналізовано причини виникнення і поширювання низових пожеж в екосистемах України та інших країн.

Розглянуто особливості гасіння низових пожеж в екосистемах, а також основні способи і тактичні прийоми їх гасіння. Описано вибір способів і технічних засобів для гасіння пожежі, що залежить від виду, інтенсивності та швидкості поширювання пожежі, особливостей ландшафту, виду, кількості і вологості горючих матеріалів природного походження, сили вітру, а також наявності сил і засобів пожежогасіння та намічуваних тактичних прийомів і термінів гасіння. Також розглянуто способи гасіння торф’яних пожеж та пожеж травостою за наявності включень торфу. Описані вітчизняні й зарубіжні моделі, які є або дуже складними, або дають переважно загальне уявлення про процеси, пов’язані з небезпекою низових пожеж в екосистемах, не враховують їх тип та структуру. Тому актуальним є створення і удосконалення математичних моделей пожеж в екосистемах і різноманітних фізичних процесів, які призводять до їх виникнення та супроводжують

розвиток. Такі моделі повинні бути наближеними до реальних умов, враховувати найістотніші чинники, які впливають на особливості перебігу пожежі, зокрема погодно-кліматичні умови і просторові особливості.

Наведено основні заходи, яких вживають для запобігання поширюванню низових пожеж в екосистемах. Також описано обладнання, яке використовується для запобігання та ліквідації таких пожеж.

Виходячи з вищесказаного бачимо необхідність в удосконаленні існуючих та розробленні нових способів та засобів гасіння низових пожеж в екосистемах з включеннями торфу. Для вирішення цієї проблеми сформульовані мета та задачі досліджень.

Проведено математичне моделювання поширювання пожежі горючим матеріалом на поверхні з рельєфом описаною відповідною функцією, в якій за наведеним методом можна визначати напрямок і швидкість поширювання фронту пожежі. Визначено, що швидкість поширювання фронту пожежі залежить від ухилу поверхні та вітру і описується математичною моделлю, яка добре узгоджується з результатами експериментальних досліджень.

З метою дослідження впливу основних чинників на швидкість поширювання полум'я і побудови математичних моделей у вигляді поліноміальних залежностей другого порядку використано метод факторного планування експерименту. Перелік чинників, що впливають на контрольовані параметри швидкості поширювання полум'я трав'яним покривом, попередньо встановлено за результатами аналізу літературних даних. Остаточний вибір чинників варіювання проведено на підставі їх незалежності, детермінованості та значущості, що встановлено згідно з результатами попередніх експериментів. Чинниками, що визначають швидкість поширювання полум'я під час горіння трав'яного покриву, є швидкість вітру, кут ухилу поверхні, висота полум'я. Побудовано дослідно-емпіричну залежність для визначення швидкості поширювання полум'я залежно від швидкості вітру, кута ухилу місцевості та висоти полум'я.

Ця залежність дасть змогу більш обґрунтовано вибирати відстань для прокладання загороджувальних смуг та бар'єрів.

В дисертаційній роботі наведено методики проведення експериментальних досліджень з визначення впливу чинників на розвиток низових в системах “торф – трава”, з визначення параметрів пінних загороджувальних смуг, прокладених з використанням робочих розчинів піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі “Барс S-2”), а також дослідження тактико-технічних характеристик спеціального пожежного ствола і термогравіметричний метод аналізу.

Описано результати експериментальних досліджень чинників, які мають вплив на низові пожежі в екосистемах, що утворені трав'яними покривами, дослідження з використанням піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (“Барс S-2”) для прокладання пінних загороджувальних смуг з метою запобігання поширюванню низових пожеж в екосистемах, що утворені трав'яними покривами. Визначено тактико-технічні характеристики спеціального пожежного ствола для гасіння та запобігання підземним пожежам під час низових пожеж в екосистемах. Термогравіметричним аналізом та визначенням температури самозаймання підтверджено підвищення ефективності гасіння низових пожеж із застосуванням пропонованих засобів і способів їх гасіння. Також експериментально підтверджено ефективність пінних загороджувальних смуг для запобігання та ліквідації низових пожеж в екосистемах.

Розроблено рекомендації із запобігання та гасіння низових пожеж з торф'яними включеннями в екосистемах, що утворені трав'яними покривами, які окреслюють сферу застосування пінних загороджувальних смуг та спеціального пожежного ствола. Ці способи і засоби рекомендується включити до тактичних схем гасіння низових пожеж в екосистемах.

Проведено оцінювання технічного та економічного ефекту від впровадження розроблених рекомендацій із запобігання та гасіння низових

пожеж з торф'яними включеннями в екосистемах, що утворені трав'яними покривами.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у встановленні взаємозв'язку між чинниками, що впливають на поширювання пожеж травостою з торф'яними включеннями, та створення ефективних засобів і способів для недопущення поширювання таких пожеж. При цьому:

- *уперше* теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено ефективність застосування пінних загороджувальних смуг, прокладених з використанням робочих розчинів піноутворювачів, що забезпечують генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі “Барс S-2”), що створило передумови підвищення ефективності гасіння низових пожеж в екосистемах. Встановлено, що мінімальна ширина такої захисної смуги залежить від погодних умов (швидкості вітру, вологості, температури середовища), рельєфу, висоти полум'я. Визначено, що співвідношення ширини загороджувальної смуги до висоти трав'яного покриву має бути 3:1 на рівнині за майже безвітряної погоди. Висота шару піни повинна бути не меншою за 0,2 м, причому ширина має вагомий вплив. За наявності вітру та ухилу рельєфу ширина смуги має пропорційно зростати за залежністю, що враховує відповідні коефіцієнти поправки;
- *уперше* показано, що поташ ( $K_2CO_3$ ) за концентрацій у водному розчині від 5 % до 20 % на теплові умови самозаймання торфу не впливає. Водний розчин амофосу з включеннями ( $NH_4H_2PO_4 + (NH_4)_2HPO_4$ ) за концентрації 5 % на них також не впливає, проте додавання до такого водного розчину піноутворювача “Барс S-2” у кількості 0,5 % сприяє зниженню здатності торфу до самозаймання. Водний розчин амофосу з концентрацією 10 % і більше з додаванням піноутворювача чи без його додавання повністю запобігає самозайманню торфу;
- *удосконалено* конструкцію спеціального пожежного ствола створенням шнекової частини, що підвищило продуктивність до 13,24 – 15,98 л/с

за тисків 0,4 – 0,7 Мпа, та розроблено рекомендації щодо його застосування з одночасним використанням поверхнево активних речовин для гасіння торф'яних включень під час низових пожеж в екосистемах;

- *удосконалено* математичну модель, що на відміну від існуючих дає змогу описати залежність швидкості поширювання фронту пожежі з врахуванням ухилу та вітру і коефіцієнта поправки на характер рельєфу місцевості;
- *набули подальшого розвитку* способи нанесення пінних загороджувальних смуг, прокладених з використанням робочих розчинів піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі “Барс S-2”) для гасіння низових пожеж в екосистемах з трав'яними покривами.

Практичне значення одержаних результатів.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень з виявлення взаємозв'язку між чинниками, що впливають на поширювання пожеж травостою із торф'яними включеннями та ефективність засобів і способів для недопущення поширювання таких пожеж, покладено в основу системи гасіння низових пожеж в екосистемах, передбачених розробленими рекомендаціями до запобігання та гасіння низових пожеж в екосистемах, що утворені трав'яними покривами, яка дає змогу підвищити ефективність роботи пожежників завдяки визначеній послідовності дій та наведеним тактичним схемам гасіння. Впровадження результатів підтверджено відповідними актами.

**Ключові слова:** пожежі травостою, торф'яні включення, пінні загороджувальні смуги, спеціальний пожежний ствол, пожежна автоцистерна, рекомендації з гасіння.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у наукових фахових виданнях :

1. Бабаджанова О.Ф., Сукач Ю.Г., Сукач Р.Ю. Чинники пожежної небезпеки природних відвалів вугледобування. *Збірник наукових праць : Пожежна безпека, ЛДУ БЖД*. 2012. № 20. С. 137–143.

2. Сукач Р.Ю., Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б. Зниження пожежної небезпеки торф'яників, торфорозробок та способи і протипожежне обладнання для підвищення ефективності їх гасіння. *Збірник наукових праць : Пожежна безпека, ЛДУ БЖД*. 2019. № 35. С. 75–82.

3. Сукач Р.Ю., Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б., Петровський В.Л., Сорочич М.П. Дослідження тактико-технічних характеристик спеціального пожежного ствола для гасіння підземних пожеж в екосистемах торф-ліс. *Збірник наукових праць : Пожежна безпека, ЛДУ БЖД*. 2020. № 36. С. 108–114.

4. Луц В.І., Лазаренко О.В., Сукач Р.Ю., Наливайко М.А. (2013). Аналіз підготовки газодимозахисників ДСНС України в тепло та димокамері. *Збірник наукових праць : Пожежна безпека, ЛДУ БЖД*. 2013. №23. С. 111–115.

5. Ковальчик В.М., Лазаренко О.В., Кіндзер Р.В., Сукач Р.Ю. Удосконалення системи розгальмування АЦ – 4 – 60(5309) – 505М. *Збірник наукових праць : Пожежна безпека, ЛДУ БЖД*. 2018. № 32. С. 27–31.

### У міжнародних виданнях :

1. Сукач Р.Ю., Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б. Тактика гасіння та протипожежне обладнання для ліквідації пожеж в екосистемах торф-ліс. *Sciences of Europe: Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Praha, Czech Republic*, 2021. VOL 1, No 62(2021) P. 44–48.

### Апробація матеріалів дисертації :

7. Сукач Ю.Г., Сукач Р.Ю., Колісник М.Я. Проблемы термохимического выщелачивания и самонагрева терриконов шахт Львовско-Волынского бассейна: материалы XXIV Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института, 03-04 июля 2012 г., Москва, 2012. С. 272–274.

8. Сукач Р.Ю., Ткач Є.Р. Гасіння пожеж в природних екосистемах Львівської області: *матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. курсантів і студентів “Пожежна та техногенна безпека: наука і практика”*, 05-06 квітня 2017 р., Черкаси, 2017. С. 143–144.

9. Сукач Р.Ю. Застосування фосфорних добрив при гасінні пожеж на торфополях: *матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. “Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи”*, 14 вересня 2018 р., Львів, 2018. С. 78–80.

10. Сукач Р.Ю., Мних М.-М.Р. Новый подход к решению проблем при тушении торфяных пожаров. *Сборник материалов XIII Междунар. научно-практ. конф. курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов)*, Мінськ, 2019. С. 30.

11. Сукач Р.Ю., Мних М.-М.Р. Нові методи гасіння пожеж торф'яних полів і родовищ: *матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. “Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій”*. Черкаси: ЧПБ НУЦЗ, 2019. С. 82–84.

12. Кирилів Я.Б., Ковалишин В.В., Сукач Р.Ю. Пожежна небезпека торф'яників, торфорозробок та методів і засобів підвищення ефективності їх гасіння: *матеріали IX Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнародною участю: “Надзвичайні ситуації: безпека та захист”*. Черкаси: ЧПБ НУЦЗ, 2019. С. 59–61.

13. Сукач Р.Ю., Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б. Екологічна і пожежна небезпека торф'яників, торфорозробок та способи запобігання і їх ліквідації поблизу об'єктів туристично-рекреаційних комплексів: *матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф.* Львів: ЛДУБЖД, НЛТУ, 2019. С. 129–130.

#### **Патенти :**

14. Спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж: пат. на корисну модель 133683 Україна: МПК51 (2006.01) А62С 3/02. № u 2018 07685; заявл. 09.07.2018; опубл. 25.04.2019, Бюл. №8.



## ABSTRACT

*Sukach R. Yu.* Improving efficiency of grassland fire-fighting in ecosystems. – Qualifying scientific work on the rights of a typescript.

The dissertation for the competition of a scientific degree of Candidate of Technical Sciences (Philosophy Doctor) by specialty of 21.06.02 “Fire safety” (261 – Fire Safety) was prepared at the Lviv State University of Life Safety, Lviv, 2021.

The dissertation is dedicated to solving of an actual scientific problem of revealing relationship between the factors influencing spread of grass fires with peat inclusions and efficiency of the means and methods to prevent spreading of such fires.

Based on the analysis of appropriate literature sources, the stages of solving the scientific problem of establishing the relationship between the factors influencing the spread of grass fires with peat inclusions and efficiency of the means and methods to prevent spreading of such fires and their fighting are outlined. The causes of occurrence and spread of grassland fires in ecosystems of Ukraine and other countries are analyzed.

Features of fighting grassland fires in ecosystems as well as principal methods and tactics of fighting them are considered. The choice of methods and techniques for fire-fighting depending on the type, intensity and speed of fire, landscape features, type, quantity and humidity of combustible materials of natural origin, wind strength as well as availability of firefighting forces and planned tactics and timing quenching are described. Methods of fighting peat fires and grass fires in the presence of peat inclusions are also considered. Appropriate domestic and foreign models which are either very complicated or give mostly generalized idea of the processes associated with the hazard of grassland fires in ecosystems but do not take into account their type and structure are described. Therefore, it is important to create and improve mathematical models of fires in ecosystems and various physical processes which lead to their occurrence and accompany fires development. Such models should be close to real conditions and take into account

the most significant factors that affect specific features of the fire, in particular weather and climatic conditions as well as spatial features.

The main measures taken to prevent the spread of grassland fires in ecosystems are expounded. The equipment used to prevent and eliminate such fires is also described.

Based on the above, there arises a need to improve existing and develop some new methods and means of fighting grassland fires in ecosystems with peat inclusions. To solve this problem, the purpose and objectives of the research are formulated.

Mathematical modeling of fire propagation by combustible material across the surface with a relief described by the corresponding function is carried out in which the direction and speed of fire front propagation can be determined by the given method. It was determined that the speed of propagation of the fire front depends on the slope of the surface and wind and is described by a mathematical model that agrees well with the results of the experimental studies.

In order to study the influence of the main factors on the flame propagation rate and to develop proper mathematical models in the form of polynomial dependences of the second order the method of factor planning of the experiment was used. The list of the factors to influence controlled parameters of the rate of flame propagation by the grass cover has been previously established based on the results of the analysis of the literature data. The final choice of the variation factors was made on the basis of their independence, determinism and significance which were established according to the results of the preliminary experiments. Factors that determine the rate of flame propagation during the burning of the grass cover are the wind speed, angle of inclination of the surface, and height of the flame. An empirical dependence has been developed to determine the rate of flame propagation depending on the wind speed, angle of inclination of the terrain and the height of the flame. This dependence will allow you to choose a more reasonable distance for the arrangement of enclosing zones and barriers.

The dissertation presents some methods of experimental research to determine the influence of factors on the development of grassland fires in the “peat – grass” systems, to determine parameters of foam barriers laid using foam solutions of a foam concentrate which provides foam generation with increased stability (on the example of “Bars S-2”) as well as the study of tactical and technical characteristics of a special branch pipe for fire-fighting and thermo gravimetric method of analysis.

The results of the experimental studies of the factors that influence grassland fires in ecosystems formed by grass covers, a study using a foam concentrate which provides generation of increased stability foam (on the example of “Bars S-2”) for laying foam barriers to prevent the spread of grassland fires in ecosystems formed by grass cover are presented. Tactical and technical characteristics of a special branch pipe for fire-fighting and prevention of underground fires during grassland fires in ecosystems are determined. Thermo gravimetric analysis and determination of auto ignition temperature confirmed the increase of efficiency of fighting grassland fires using proposed means and methods of their fighting. Efficiency of foam barriers for the prevention and elimination of grassland fires in ecosystems has also been experimentally confirmed.

Recommendations for the prevention and suppression of grassland fires with peat inclusions in ecosystems formed by grass cover which outline application of foam barriers and a special branch pipe for fire fighting were developed. It is recommended to include these methods and means in tactical schemes of fighting grassland fires in ecosystems.

A technical and economic assessment of the economic effect of the implementation of the developed recommendations for the prevention and fighting of grassland fires with peat inclusions in ecosystems formed by grass cover was conducted.

**Scientific novelty of the results obtained** lies in the establishing of the relationship between the factors influencing the spread of grass fires with peat

inclusions and creation of effective means and ways to prevent the spread of such fires. At that:

– Efficiency of application of foam barriers created using foam solutions of foam concentrates to ensure generation of enhanced stability foam (on the example of “Bars S-2”) was theoretically substantiated *for the first time*, and this created pre-conditions for raising efficiency of fighting grassland fires in ecosystems. It was established that the minimum width of such a protective barrier depends on weather conditions (wind speed, humidity, and ambient temperature), terrain, and flame height. It was determined that the ratio of the width of the barrier to the height of the grass cover should be 3:1 on the plain in virtually windless weather. The height of the foam layer should be at least 0.2 m, and at that the width had a more significant influence. In the presence of wind and relief slope the width of the barrier should increase proportionally depending on the relevant correction factors;

– It was shown *for the first time* that potash ( $K_2CO_3$ ) at its concentrations in aqueous solution from 5 % to 20 % did not affect the thermal conditions of peat spontaneous combustion. Aqueous solution of ammophos ( $NH_4H_2PO_4$  with inclusions  $(NH_4)_2HPO_4$ ) at a concentration of 5 % also did not affect them, but addition of “Bars S-2” foam concentrate to such an aqueous solution in the amount of 0.5 % promoted reduction of the ability of peat to self-ignite. Aqueous solution of ammophos with a concentration of 10 % or more with or without the addition of a foam concentrate prevented completely self-ignition of the peat;

– Design of a special branch pipe for fire-fighting was *improved* by creating an auger part and increasing productivity to 13.24 to 15.98 l/s at pressures of 0.4 to 0.7 MPa and recommendations were developed for its application with the simultaneous use of appropriate surfactants for extinguishing peat inclusions during grassland fires in ecosystems;

– A mathematical model was *improved* which in contrast to the existing ones allowed you to describe adequately dependency of the rate of fire front propagation on the slope and wind;

– Methods of application foam barrier laid using foam solutions of a foam concentrate which provided generation of increased stability foam (on the example of “Bars S-2”) for fighting grassland fires in ecosystems with grass cover *have been further developed*.

Practical value of the results obtained:

The results of the theoretical and experimental studies to identify the relationship between the factors influencing the spread of grass fires with peat inclusions and the efficiency of the means and methods to prevent spreading of such fires are laid as the basis for fighting grassland fires in ecosystems; this is provided by recommendations developed as to fighting grassland fires in ecosystems formed by grass cover and allows you to increase efficiency of firefighters’ operations due to a certain sequence of actions and tactical extinguishing schemes presented. Introduction o the results is confirmed with appropriate certificates.

**Key words:** grass fire, peat inclusions, foam barrier, special branch pipe for fire-fighting, fire truck, fire-fighting recommendations.

## LIST OF PUBLICATIONS BY THE DISSERTATION THEME

*Principal scientific results of the dissertation are published in the following papers:*

1. R.Yu.Sukach, V.V.Kovalyshyn, Ya.B.Kyryliv. Tactics of fighting fires and fire-fighting means for the elimination of fires in “peat – forest” ecosystems // *Sciences of Europe: Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Praha, Czech Republic, 2021. VOL 1, No 62(2021) P. 44–48.*

2. O.F.Babadzhanova, Yu.H.Sukach, R.Yu.Sukach. Fire hazard factors of natural banks of coal mining. *Scientific Bulletin: Fire safety, LSULS. 2012. No. 20. P. 137-143.*

3. R.Yu.Sukach, V.V.Kovalyshyn, Ya.B.Kyryliv. Lowering of fire hazard of peat lands, peat developments and methods and fire-fighting equipment to increase the efficiency of their extinguishing. *Scientific Bulletin: Fire safety, LSULS. 2019 No. 35. P. 75-82.*

4. R.Yu.Sukach, V.V.Kovalyshyn, Ya.B.Kyryliv, V.L.Petrovskyi, M.P.Sorochych. Research of tactical and technical characteristics of a special branch pipe for fighting underground fires in “peat – forest” ecosystems. *Scientific Bulletin: Fire safety, LSULS. 2020. No. 36. P. 108-114.*

5. V.I.Lusch, O.V.Lazarenko, R.Yu.Sukach, M.A.Nalyvaiko (2013). Analysis of training of gas and smoke protection employees of the SES of Ukraine in heat and smoke chamber. *Scientific Bulletin: Fire safety, LSULS. 2013. No. 23. P. 111-115.*

6. V.M.Kovalchuk, O.V.Lazarenko, R.V.Kindzer, Sukach R.Yu. Improvement of the re-braking system of AC-4-60-(5309)-505M. *Scientific Bulletin: Fire safety, LSULS. 2018. No. 3. P. 27-31.*

*Approbation of the dissertation materials:*

7. Yu.H.Sukach, R.Yu.Sukach, M.Ya.Kolisnyk. Problems of thermal and chemical leaching and self-heating of the waste banks of the Lviv and Volyn Basin: *proceedings of the XXIX International Scientific and Practical Conference*

*for the Fire safety Problems dedicated to the 75<sup>th</sup> anniversary of the creation of the Institution, 03-04 July 2012, Moscow, 2012. P. 272-274.*

8. R.Yu.Sukach, Ye.R.Tkach. Fire-fighting in natural ecosystems in Lviv region: *proceedings of the "Fire and Technical Safety: Science and Practice" All-Ukrainian Scientific and Practical Conference for cadets and students, 05-06 April 2017, Cherkasy, 2017. P. 143-144.*

9. R.Yu.Sukach. Use of phosphorus fertilizers when fighting fires at peat fields: *proceedings of the "Ecological safety as Base of Sustainable Development of the Society: European Experience and Perspectives" III International and Practical Conference, 14 September 2018, Lviv, 2018. P. 78-80.*

10. R.Yu.Sukach, M.-M.R.Mhykh. A new approach to solving problems when fighting peat fires. *Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference for Cadets (Students), Magistracy Listeners, and Adjuncts (Post-Graduates), Minsk, 2019. P. 30.*

11. R.Yu.Sukach, M.-M.R.Mhykh. Some new methods of fighting fires to peat fields and deposits: *proceedings of the "Theory and Practice of Fighting Fires and Elimination of Emergencies" X International Scientific and Practical Conference. Cherkasy: ChIFS of the NUCP, 2019. P. 82-84.*

12. Ya.B.Kyryliv, V.V.Kovalyshyn, R.Yu.Sukach. Fire hazard of peat fields, peat bogs as well as methods and means for raising efficiency of fighting fires at them: *proceedings of the "Emergencies: Safety and Protection" All-Ukrainian Scientific and Practical Conference with International Participation. Cherkasy: ChIFS of the NUCP, 2019. P. 59-61.*

13. R.Yu.Sukach, V.V.Kovalyshyn, Ya.B.Kyryliv. Environmental and fire hazard of peat fields, peat bogs, and methods of their prevention and elimination near the tourist and recreation complex facilities: *proceedings of the I International Scientific and Practical Conference. Lviv: LSULS, NFTI, 2019. P. 129-130.*

**Patents:**

14. Special branch pipe for fighting underground fires: patent for a utility model 133683 Ukraine: IPC 51 (2006.01) A62C 3/02. No. U 2018 07685; applied on 09.07.2018; published on 25.04.2019, Bul. No. 8.



## ЗМІСТ

Вступ.....	20
Розділ 1. Аналіз процесів поширювання низових пожеж в екосистемах	29
1.1. Аналіз процесів виникнення і поширювання низових пожеж в екосистемах України та інших країн .....	29
1.2. Особливості гасіння низових пожеж в екосистемах .....	37
1.3. Моделювання низових пожеж в екосистемах .....	44
1.4. Заходи для забезпечення запобігання поширюванню низових пожеж в екосистемах .....	49
1.5. Обладнання для генерування повітряно-механічної піни .....	58
1.6. Мета та задачі досліджень.....	59
Розділ 2. Теоретичні дослідження низових пожеж в екосистемах .....	61
2.1. Математичне моделювання процесів поширювання низової пожежі в екосистемах .....	61
2.2. Математичне моделювання поширювання низової пожежі з урахуванням рельєфу та вітру .....	65
2.3. Методи і чинники математичного планування експериментів та їх вибір.....	72
2.4. Планування та опрацювання результатів факторного експерименту .....	74
2.5. Дослідно-емпірична залежність для визначення швидкості поширювання полум'я .....	76
2.6. Висновки за розділом.....	79
Розділ 3. Методики та експериментальні дослідження.....	80
3.1. Методика дослідження впливу чинників на розвиток низових пожеж в екосистемах “трава – торф” .....	80
3.1.1. Результати досліджень чинників, які мають вплив на низові пожежі в екосистемах, що утворені трав'яними покривами .....	84
3.2. Методика визначення параметрів пінних загороджувальних смуг, прокладених з використанням робочих розчинів піноутворювача, що	

забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі “Барс S-2”) .....	85
3.2.1 Експериментальні дослідження піноутворювача, що забезпечує генерування піни підвищеної стійкості (на прикладі “Барс S-2”) для створення пінних загороджувальних смуг поширюванню низових пожеж в екосистемах, утворених трав’яними покривами.....	87
3.2.2. Визначення стійкості піни підвищеної стійкості до дії теплового випромінювання на пожежі.....	94
3.3. Методика дослідження тактико-технічних характеристик спеціального пожежного ствола, термогравіметричний метод аналізу, визначення самозаймання .....	98
3.3.1. Визначення тактико-технічних характеристик спеціального пожежного ствола для гасіння та запобігання підземним пожежам під час низових пожеж в екосистемах .....	100
3.3.2. Дериватографічний аналіз торфу, просоченого водними розчинами, що містять ПАР та антипірени, і визначення температури його самозаймання.....	105
3.4. Висновки за розділом.....	110
Розділ 4. Впровадження результатів досліджень.....	113
4.1. Розроблення рекомендації щодо запобігання та гасіння низових пожеж в екосистемах, що утворені трав’яними покривами .....	113
4.1.1. Розрахунок сил і технічних засобів для організації гасіння торф’яних пожеж .....	124
4.2. Техніко-економічне оцінювання впровадження результатів в практику.....	135
4.3. Висновки за розділом.....	137
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	139
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	141
Додаток А. Список опублікованих праць за темою дисертації.....	152
Додаток Б. Відомості про апробацію результатів дисертації .....	156

Додаток В. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи.....	159
Додаток Г. Патент на корисну модель.....	164

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Пожежі на великих площах є одним із основних чинників довгострокових шкідливих змін природних екосистем і несприятливого впливу на умови проживання населення. Щорічно у багатьох країнах світу трапляються сотні тисяч пожеж, які знищують ліси, чагарники, луки та торфовища на площі в декілька мільйонів гектарів [1 – 5]. Окремо з цього переліку необхідно виділити луки і чагарники, які є важливими для збереження біорозмаїття рослин і тварин. Одним з основних чинників, що впливають на луки і чагарники у всьому світі, є лісові пожежі [6, 7].

Серед основних чинників, що визначають особливості і характер перебігу пожеж, найбільш важливими є кількість і пожежонебезпечні властивості наявних горючих матеріалів. Виходячи з цього, зростання кількості горючих матеріалів збільшує ймовірність загоряння, а тривалі посушливі періоди підвищують займистість і збільшують ймовірність лісових пожеж в цих екосистемах. Порівняно з лісами кількість горючих матеріалів на луках і чагарниках низька, однак ці матеріали мають дуже низьку вологість. Тому інтенсивність пожеж на цих землях відносно низька [8], але пожежі швидко поширюються.

Серед метеорологічних умов суттєвий вплив на ймовірність лісових пожеж має температура повітря [9]. Теплота, що виділяється під час лісових пожеж, має негативну дію, висушуючи поверхневу рослинність перед фронтом пожежі, тим самим збільшуючи площу вигорання і збільшуючи ступінь пошкодження [8]. Крім того, топографія – ще один важливий чинник, що визначає розвиток пожежі. В цілому, чим крутіший пагорб, тим швидше фронт вогню може просуватися вгору. Поєднання великої кількості сухих горючих матеріалів і сприятливих для розвитку пожежі метеорологічних і топографічних умов становить “багатообіцяючий рецепт” лісових пожеж [10].

Багато країн, наприклад, Австралія, США і Канада, Росія, Бразилія, європейські країни пережили катастрофічні пожежі, зокрема на луках і

чагарниках, а їх рятувальні служби зіштовхнулись із складною задачею контролю над природною стихією, яка потребувала застосування потужних рятувальних сил і великої кількості засобів пожежогасіння [1, 3, 4, 11, 12]. Окремо слід виділити пожежі травостою на луках та в лісах, де трави займають суцільні площі. Трава – найбільш поширений вид горючого матеріалу для лісових пожеж та пожеж на луках. Такі пожежі швидко поширюються і можуть швидко створити загрозу життю і майну. Пожежі травостою, як правило, супроводжують утворення набагато меншої кількості звуглених матеріалів, ніж лісові пожежі, та є надзвичайно небезпечними. Вогонь під час пожежі травостою може поширюватися із швидкістю до 25 км/год, а в екстремальних обставинах – до 60 км/год на відкритих луках. Такі пожежі, як правило, є менш інтенсивні, ніж лісові, проте вони все ж можуть супроводжуватися утворенням величезної кількості променистої теплоти. Чим вища і сухіша трава, тим інтенсивніше вона горить, а на короткій траві нижча висота полум'я і легше є контролювати вогонь.

На більшості природних трав'яних і очеретяних масивів України пожежі трапляються щороку або один раз на 2-3 роки, а на деяких територіях – по 2-3 рази на рік. Причому це супроводжується інтенсивним утворенням парникових газів (насамперед діоксиду вуглецю), а також шкідливих для людини і довкілля хімічних речовин, у тому числі стійких органічних забруднювачів (насамперед бензопірену), що регулюються Стокгольмською конвенцією про стійкі органічні забруднювачі. Крім того, пожежі в екосистемах на територіях з високим радіаційним забрудненням (насамперед у зоні відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення) можуть супроводжуватися надходженням у повітря радіоізотопів (насамперед цезію-137 і стронцію-90), що можуть переноситися вітром на десятки і сотні кілометрів. Після проходження пожежі природні екосистеми відновлюються дуже довго, а деякі їх компоненти вже неможливо відновити без допомоги людей.

Величезна кількість торф'яних пожеж починаються як пожежі травостою або очерету, особливо під час випалювання трав'яних покривів у весняний період. Тління торфу також може призвести до виникнення “вторинної” пожежі травостою – горіння трави від країв вогнища тління. Розроблення вогнегасних речовин для гасіння торфу і відповідно гасіння торф'яних пожеж ускладнене в тому числі технічною складністю розроблення уніфікованої методики оцінювання здатності торфу до поглинання води та водних розчинів вогнегасних речовин, а також динаміки процесу, через неможливість створення еталонного зразка торфу [13].

Виходячи з вищесказаного, постає необхідність в удосконаленні і розробленні способів та засобів гасіння низових пожеж в екосистемах з включеннями торфу.

В Україні близько 2200000 га торфовищ, розподіл яких залежить від географічної широти, рельєфу і геоморфологічної будови місцевості; відомі понад 2500 родовищ торфу [14, 15] із середньою глибиною залягання 1,4 м. В Україні близько 81 % видобутого торфу використовують як паливо, а 19 % – у сільському господарстві [16, 17]. Близько 70 % торфовищ зосереджено на території Полісся.

Під час гасіння пожеж травостою застосовують такі способи та технічні засоби:

- захльостування вогню (збивання полум'я) вздовж кромки пожежі;
- засипання кромки пожежі ґрунтом;
- прокладання загороджувальних та опорних мінералізованих смуг і каналів;
- відпалювання горючих матеріалів перед фронтом пожежі;
- гасіння переважно водними вогнегасними речовинами.

Одним з найбільш дієвих засобів запобігання торф'яним пожежам є обмеження поширюванню вогню завдяки викопаним ровам і широким канавам уздовж лісів. Ще однією можливістю убезпечитися від стихії може бути заводнення осушених торфовищ. Найдієвішим способом гасіння є

обкопування території огорожувальними канавами. Їх риють до мінерального ґрунту або ґрунтових вод. Пожежа гаситься перекопуванням палаючого торфу і заливанням його великою кількістю води. Ліквідація горіння торфовищ є складною через те що торф тліє на великій глибині. Головною проблемою, пов'язаною з гасінням таких пожеж, є те, що загасити тліючі торфовища за короткий час майже неможливо.

Для гасіння таких пожеж використовують воду, воду з додаванням поверхнево активних речовин (ПАР) (змочувальників або піноутворювачів для гасіння пожеж) та повітряно-механічну піну. Для подавання цих вогнегасних речовин застосовують стволи водяні і стволи-генератори піни низької та середньої кратності. Для гасіння осередків торф'яних пожеж використовують також спеціальні стволи для гасіння торфу ТС-1 і ТС-2. Ці засоби зарекомендували себе в багатьох випадках досить добре, проте мають деякі недоліки, зокрема, вони мають недостатню продуктивність, генерована з їх використанням піна має неоднорідну структуру і недостатню стійкість, що знижує ефективність процесів гасіння пожежі.

Вагомий внесок у вивчення та дослідження процесів та передумов виникнення пожеж в екосистемах внесли такі вчені як Мелехов І. С., Серебренников П. П., Матренинський В. В., Нестеров В. Г., Мокеєв Г. А., Курбатський Н. П., Свириденко В. Є., Швиденко А. Й., Бабіч О. Г., Ткаченко М. Е., Вакуров А. Д., Доррер Г. А., Гришин О. М., Барановський Н. В., Софронов М. А., Albini F. A., Weber R. O., Morvan D., Wagner Van, Cruz M. G., Fosberg M. A., Rothermel R. C., Finney M. A., Alexander M. E., Абрамов Ю. О., Scott J. H., Гуліда Е. М., Xiangyang Zhou, Andrews P. L., Зібцев С. В., Тарасенко О. А., Борсук О. А., Ефіменко В. М., Захаревич А. В., Конев Е. В., Кузик А. Д., Курбатський Н. П., Мелехов І. С., Нестеров В. Г., Бурдасов Д. М. та інші. Їхні роботи присвячені вивченню небезпечних чинників пожеж в природних екосистемах, моделюванню процесів поширювання таких пожеж та способам їх припинення.

Наукові дослідження, спрямовані на підвищення ефективності гасіння пожеж повітряно-механічною піною, стали можливими завдяки роботам Казакова М.В., Пешкова В.В., Шароварнікова О.Ф., Білкуна Д.Г., Меркулова В.А., Баженова С.В., Зеленкіна В.М., Цариченка С.Г., Антонова А.В., Білошицького М.В., Боровикова В.О., Ковалишина В.В., Костенка В.К., Грушовінчука О.В., Козяра Н.М. та ін. Проте слід відзначити, що в наведених роботах не досліджувалася можливість використання повітряно-механічної піни для створення пінних загороджувальних смуг для запобігання та ліквідації низових пожеж в екосистемах з включеннями торфу.

Виходячи з вищесказаного, постає необхідність в удосконаленні існуючих і розробленні нових способів та засобів гасіння низових пожеж в екосистемах з включеннями торфу.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами.** Дисертація виконана у рамках науково-дослідної роботи Львівського державного університету безпеки життєдіяльності під назвою “Розроблення та удосконалення методів гасіння лісових пожеж, торфорозробок та торф'яників” (держ. реєстр. №0120U105714), в якій здобувач був виконавцем.

**Мета роботи** – розроблення ефективних способів гасіння та недопущення поширювання пожеж трав'яного покриву в екосистемах із включеннями торфу.

**Завдання досліджень.** Для досягнення визначеної мети необхідно розв'язати такі задачі:

- проаналізувати основні чинники, що впливають на виникнення та поширювання пожеж травостою;
- удосконалити математичну модель процесів поширювання низової пожежі трав'яними покривами з урахуванням рельєфу та вітру;
- здійснити математичне планування експерименту для дослідження основних чинників впливу на низові пожежі в екосистемах, що утворені трав'яними покривами;



- визначити параметри та способи нанесення пінних загороджувальних смуг, прокладених з використанням робочих розчинів піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі “Барс S-2”) для гасіння низових пожеж в екосистемах з трав’яними покривами;
- розробити конструкцію спеціального пожежного ствола та рекомендації щодо його застосування під час гасіння низових пожеж в екосистемах з включеннями торфу;
- розробити рекомендації до гасіння низових пожеж в екосистемах з трав’яними покривами пінними загороджувальними смугами, прокладеними з використанням робочих розчинів піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі “Барс S-2”).

**Об’єкт дослідження** – процеси розвитку і гасіння низових пожеж в екосистемах “трава – торф”.

**Предмет дослідження** – вплив характеристик пінних загороджувальних смуг та спеціальних пожежних стволів на параметри розвитку пожеж трав’яного покриву з включеннями торфу.

**Методи дослідження.** В роботі було використано комплексний метод дослідження, який включав: аналіз останніх досягнень у галузі розвитку і застосування способів та протипожежного обладнання, яке використовують під час запобігання та ліквідації низових пожеж в екосистемах; математичне моделювання швидкості поширення полум’я під час низової пожежі з урахуванням рельєфу та вітру, планування та опрацювання результатів факторного експерименту; методики дослідження впливу чинників на розвиток низових пожеж в екосистемах, що утворені трав’яними покривами, визначення параметрів пінних загороджувальних смуг, прокладених з використанням робочих розчинів піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі “Барс S-2”); дослідження тактико-технічних характеристик спеціального пожежного

ствола; термогравіметричний метод аналізу; метод визначення температури самозаймання.

Експериментальні дослідження проводили з використанням метрологічно атестованого обладнання та повірених засобів вимірювальної техніки. Опрацювання результатів досліджень виконувалося із застосуванням програмного забезпечення Microsoft Excel 2010.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у встановленні взаємозв'язку між чинниками, що впливають на поширення пожеж травостою із торф'яними включеннями та ефективність засобів і способів для недопущення поширення таких пожеж. При цьому:

- *уперше* теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено ефективність застосування пінних загороджувальних смуг, прокладених з використанням робочих розчинів піноутворювачів, що забезпечують генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі “Барс S-2”), що створило передумови підвищення ефективності гасіння низових пожеж в екосистемах. Встановлено, що мінімальна ширина такої захисної смуги залежить від погодних умов (швидкості вітру, вологості, температури середовища), рельєфу, висоти полум'я. Визначено, що співвідношення ширини загороджувальної смуги до висоти трав'яного покриву має бути 3:1 на рівнині за майже безвітряної погоди. Висота шару піни повинна бути не меншою за 0,2 м, причому ширина має вагомий вплив. За наявності вітру та ухилу рельєфу ширина смуги має пропорційно зростати за залежністю, що враховує відповідні коефіцієнти поправки.
- *уперше* показано, що поташ ( $K_2CO_3$ ) за концентрацій у водному розчині від 5 % до 20 % на теплові умови самозаймання торфу не впливає. Водний розчин амофосу з включеннями ( $NH_4H_2PO_4 + (NH_4)_2HPO_4$ ) за концентрації 5 % на них також не впливає, проте додавання до такого водного розчину піноутворювача “Барс S-2” у кількості 0,5 % сприяє зниженню здатності торфу до самозаймання. Водний розчин амофосу з

- концентрацією 10 % і більше з додаванням піноутворювача чи без його додавання повністю запобігає самозайманню торфу;
- *удосконалено* конструкцію спеціального пожежного ствола створенням шнекової частини і підвищенням продуктивності до 13,24 – 15,98 л/с і збільшенням радіуса зрошення за тисків 0,4 – 0,7 МПа та розроблено рекомендації до його застосування з одночасним використанням поверхнево активних речовин для гасіння торф'яних включень під час низових пожеж в екосистемах;
  - *удосконалено* математичну модель, що на відміну від існуючих дає змогу описати залежність швидкості поширювання фронту пожежі з врахуванням ухилу та вітру і коефіцієнта поправки на характер рельєфу місцевості;
  - *набули подальшого розвитку* способи нанесення пінних загороджувальних смуг, прокладених з використанням робочих розчинів піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі “Барс S-2”) для гасіння низових пожеж в екосистемах з трав'яними покривами.

**Обґрунтування і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій** підтверджується результатами аналізу літературних джерел; відповідністю методів дослідження поставленим в роботі меті і задачам; застосуванням аналітичних методів досліджень; необхідним об'ємом експериментального матеріалу, отриманого з використанням методів випробувань, що регламентуються чинними в Україні стандартами, метрологічно атестованого обладнання та повірених засобів вимірювальної техніки; задовільною збіжністю результатів теоретичних та експериментальних досліджень, а також апробацією з практичним впровадженням результатів роботи.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що результати теоретичних та експериментальних досліджень з виявлення взаємозв'язку між чинниками, що впливають на поширювання травостою з

торф'яними включеннями та ефективність засобів і способів для недопущення поширювання таких пожеж покладено в основу тактичних прийомів гасіння низових пожеж в екосистемах, передбачених розробленими рекомендаціями до запобігання та гасіння низових пожеж в екосистемах, що утворені трав'яними покривами. Зазначені рекомендації дають змогу підвищити ефективність роботи пожежників завдяки визначеній послідовності дій та наведеним тактичним схемам гасіння. Впровадження результатів підтверджено відповідними актами.

**Особистий внесок здобувача** полягає у визначенні мети і завдань досліджень, об'єкта та предмета досліджень, самостійному аналізі вітчизняних та закордонних джерел інформації, удосконаленні та розробленні методик досліджень та обладнання, проведенні експериментальних досліджень та обробленні їх результатів, формулюванні та узагальненні висновків. Участь автора в роботах, опублікованих у співавторстві, наведено в списку опублікованих праць за темою дисертації.

**Апробація результатів роботи** проведена на 7 науково-практичних конференціях.

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 13 наукових працях, з них 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 у закордонному виданні та 7 – у збірниках матеріалів науково-практичних конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (108 найменувань) та 4 додатків. Повний обсяг дисертації – 174 сторінки, із них 131 сторінка основного тексту, 37 рисунків та 12 таблиць.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ПОШИРЮВАННЯ НИЗОВИХ ПОЖЕЖ В ЕКОСИСТЕМАХ

### 1.1. Аналіз процесів виникнення і поширювання низових пожеж в екосистемах України та інших країн

Пожежі на великих площах є одним із основних чинників довгострокових шкідливих змін природних екосистем і несприятливого впливу на умови проживання населення. Щорічно у багатьох країнах світу тапляються сотні тисяч пожеж, які знищують ліси, чагарники, луки та торфовища на площі в декілька мільйонів гектарів [1 – 5]. Окремо з цього переліку необхідно виділити луки і чагарники, які є важливими для збереження біорозмаїття рослин і тварин. Крім того, вони відіграють важливу роль в екосистемах, забезпечуючи зв'язування вуглецю, боротьбу з паводками, пом'якшення наслідків ерозії ґрунту і можливість випасу худоби [6]. Луки і степи визначаються як екосистеми з густиною дерев до  $10 \text{ га}^{-1}$ . Чагарники характеризуються як екосистеми з щільністю чагарників або напівчагарників не менше ніж 30 % покриття та щільністю дерев до 10 штук на 1 га [7]. Одним з основних чинників, що впливають на луки і чагарники у всьому світі, є лісові пожежі [6, 7].

Серед основних чинників, що визначають особливості і характер перебігу пожеж, найбільш важливим є кількість і пожежонебезпечні властивості наявних горючих матеріалів. Виходячи з цього зростання кількості горючих матеріалів збільшує ймовірність загорання, а тривалі посушливі періоди підвищують займистість і збільшують імовірність лісових пожеж в цих екосистемах. У порівнянні з лісами кількість горючих наявних матеріалів на луках і чагарниках низька, однак ці матеріали мають дуже низьку вологість. Тому інтенсивність пожеж на цих землях відносно низька [8], але пожежі швидко поширюються. Кількість наявних горючих речовин на луках і чагарниках коливається від 2 до 10 Мг/га, і все це згоряє під час звичайної лісової пожежі. Для порівняння, кількість наявних горючих

матеріалів у лісистих місцевостях і лісових масивах коливається від 10-50 Мг/га до 200-1500 Мг/га, серед яких лише 5-95 % і 5-25 %, відповідно, згоряють під час звичайної лісової пожежі. Переважаючі метеорологічні умови під час пожежі визначають особливості її розвитку, до цих умов належать, зокрема, швидкість і напрям вітру, а також відносна вологість повітря. У зв'язку з цим було визначено чотири діапазони швидкості вітру: (1) слабка: < 10 км/ год; (2) помірна: 10-20 км/год; (3) сильна: 20-30 км/год; і (4) екстремальна: > 30 км/год. Імовірність виникнення лісових пожеж зростає зі збільшенням швидкості вітру і зниженням відносної вологості повітря [10].

Серед метеорологічних умов найменший прямий вплив на ймовірність виникнення лісових пожеж має температура повітря [10]. Проте теплота, що виділяється під час лісових пожеж, може мати позитивний зворотний зв'язок, висушуючи приповерхневу рослинність перед фронтом пожежі, тим самим збільшуючи площу вигорання і збільшуючи ступінь зуглення [9]. Крім того, топографія – ще один важливий чинник, що визначає розвиток пожежі. В цілому, чим крутіший ухил пагорб, тим швидше фронт вогню може просуватися вгору. Розрізняють три діапазони нахилу схилу: пологий (<10 %), середній (10-30 %) і крутий (> 30 %). Сухі канали можуть відігравати роль “коридорів” для вогню (навіть у напрямку, протилежному до напрямку вітру), в той час як лінії вододілів мають здатність зупиняти просування фронту вогню. Поєднання великої кількості сухих горючих матеріалів і сприятливих для розвитку пожежі метеорологічних і топографічних умов становить “багатообіцяючий рецепт” лісових пожеж [10, 11].

Багато країн, наприклад зазнали Австралія, США і Канада, Росія, Бразилія, європейські країни пережили катастрофічних пожеж, зокрема на луках і чагарниках, а їх рятувальні служби зіштовхнулись із складною задачею контролю над природною стихією, яка потребувала застосування потужних рятувальних сил і великої кількості засобів пожежогасіння [1, 3, 4, 11, 12]. Окремо слід виділити пожежі травостою на луках та в лісах, де трави на займають суцільні площі. Трава – найбільш поширений вид горючого

матеріалу для лісових пожеж та пожеж на луках. Такі пожежі швидко поширюються і можуть швидко створити загрозу життю і майну. Пожежі травостою, як правило, супроводжують утворення набагато меншої кількості вуглених матеріалів, ніж лісові пожежі, та є надзвичайно небезпечними. Вогонь під час пожежі травостою може поширюватися із швидкістю до 25 км/год, а в екстремальних обставинах – до 60 км/год на відкритих луках. Такі пожежі, як правило, менш інтенсивні, ніж лісові, проте вони все ж можуть супроводжуватися утворенням величезної кількості променистої теплоти. Чим вища і сухіша трава, тим інтенсивніше вона горить, а на коротшій траві нижча висота полум'я і тим легше контролювати вогонь. Пожежі на траві можуть початися днем раніше, ніж лісові пожежі, оскільки за високих температур трава висихає швидше, ніж ліс.

Щорічно в Україні на сотнях тисяч гектарів природних територій виявляють пожежі травостою, очерету і лісові пожежі. Це стихійне лихо завдає величезної, а місцями і непоправної шкоди природі. У вогні гинуть мільйони комах, звірів, птахів. Згоряє насіння і коріння рослин, розташоване у верхніх шарах ґрунту. Досить швидко природна рослинність заростає бур'янами, стійкими до регулярного вигоряння. У вогні гине величезна кількість тварин і рослин, занесених до Червоної книги України та міжнародних списків видів, що охороняються. Вигоряють гумус і ґрунтові мікроорганізми, що призводить до зменшення ґрунтової родючості. Згоряння органічних речовин в ґрунті сприяє швидкому вимиванню мінеральних речовин дощами і площинній ерозії ґрунтів.

Вигорання трав'яних залишків і органічної речовини ґрунтів служать одним з найбільших джерел викидів вуглецю в атмосферу, пов'язаних з господарською діяльністю людини. Під час таких пожеж утворюються шкідливі для людини і довкілля хімічні речовини у тому числі стійкі органічні забруднювачі (насамперед бензопірен). Крім того, пожежі в екосистемах на територіях з високим радіаційним забрудненням

супроводжуються надходженням у повітря радіоізотопів (насамперед цезію-137 і стронцію-90), що можуть переноситися вітром на десятки і сотні кілометрів.

Тепла і ясна погода підвищує ризик виникнення пожеж в екосистемах, на присадибних ділянках та в лісі. Лише за одну добу на території Дніпропетровської області [18] в природних екосистемах виникло 11 пожеж на загальній площі 9,4 гектари. Найпоширеніші пожежі в екосистемах – це наслідок підпалів сухої трави (рис. 1.1). У 90 % випадків причиною загорянь є людський фактор. Громадяни спалюють сміття і торішню траву на своїх городах і присадибних ділянках, а діти підпалюють траву біля доріг і на пустирях.



Рисинук 1.1 – Горіння трав'яного покриву в Дніпропетровській області

Після проходження пожежі (рис. 1.2) природні екосистеми відновлюються дуже довго, а деякі їх компоненти вже неможливо відновити без допомоги людей.



Рисинук 1.2 Вигорілий травостій на полі



Більшість природних трав'яних і очеретяних масивів України горять щороку або один раз на 2-3 роки, а деякі території горять по 2-3 рази на рік, що впливає також на концентрацію парникових газів.

Аналіз протидії пожежам у природних екосистемах України у 2019 році свідчить про значне збільшення пожеж у лісових масивах, на торфовищах, сільгоспугіддях і на відкритих ділянках місцевості.

Кількість пожеж у природних екосистемах збільшилася в 2 рази (2019 рік – 25,1 тис. пожеж, 2018 рік – 12,8 тис. пожеж), а їх площа на 13,8 % (2019 рік – 31 тис. га, 2018 рік – 26,7 тис. га). Найбільше таких пожеж зафіксовано на території Дніпропетровської (3,8 тис. пожеж на площі 2,1 тис. га), Київської (2,1 тис. пожеж на площі 1,8 тис. га) та Одеської (2 тис. пожеж на площі 5,1 тис. га) областей.

Основні причини виникнення пожеж у лісових масивах у 2019 році: випалювання сухої рослинності, недотримання населенням заходів пожежної безпеки, відпочтнок в лісових масивах, порушення правил пожежної безпеки під час проведення лісгосподарських робіт. Крім того, впродовж пожежонебезпечного періоду сформувалася тенденція до збільшення кількості випадків виникнення лісових пожеж внаслідок підпалу [19]. Такі причини виникнення пожеж у лісових масивах можуть становити загрозу базам зберігання боєприпасів [20].

Величезна кількість торф'яних пожеж починаються як пожежі травостою або очерету, особливо під час випалювання трав'яних покривів у весняний період. Тління торфу також може призвести до виникнення “вторинної” пожежі травостою – горіння трави від країв вогнища тління. Розроблення вогнегасних речовин для гасіння торфу і, відповідно, гасіння торф'яних пожеж ускладнене в тому числі технічною складністю розроблення уніфікованої методики оцінювання здатності торфу до поглинання води та водних розчинів вогнегасних речовин, а також динаміки процесу, через неможливість створення еталонного зразка торфу [13].

Століттями торф використовується як паливо, високий вміст вуглецю в торфі робить його корисним для приготування і підігрівання їжі з давніх часів. Торф накопичується у вигляді органічного матеріалу, такого як листя, трава, повалені дерева і корінна система протягом десятиліть або століть. У разі займання, часто в результаті пожежі чи удару блискавки, він тліє і може горіти непоміченим протягом декількох місяців, років і навіть століть. Торф'яні пожежі являють собою глобальну загрозу, яка має вагомі економічні і екологічні наслідки.

Згідно із статистичними даними Міжнародного торф'яного товариства (International Peat Society, IPS), світові запаси торфу складають більше 400 млн га, з яких більше 305 млн га знаходиться в розробці [21]. Торф для енергетичних і сільськогосподарських потреб видобувають упродовж тривалого часу у ряді країн світу. Найбільші запаси торфу мають в розпорядженні дві країни: Канада – 170 млн. га і Росія – 162,7 млн га. Проте щорічно сотні тисяч кубометрів торф'яних родовищ виявляються охопленими пожежами. Статистика торф'яних пожеж у світі останнім часом залишається невтішною. Торф'яні пожежі виникають найчастіше в Північній Америці, Канаді, Великобританії, Фінляндії, Таїланді, Малайзії та ін. Найбільші торф'яні пожежі були зафіксовані 1997 року в Індонезії. В атмосферу потрапило за різними розрахунками 0,81-2,57 т вуглецю [22]. Сотні торфовищ в Калімантані і Східній Суматрі продовжують горіти з 1997 року, щорічно стаючи причиною численних лісових і степових пожеж. У Росії критичного рівня ситуація з торф'яними пожежами досягла влітку 2010 року, коли незвично висока температура (до 40 °C) стала причиною займання великих родовищ торфу в центральній частині країни. Місто Москва було охоплене отруйним димом (смогом), ситуація залишалася надзвичайною до кінця серпня.

В Україні близько 2200000 га торфовищ, розподіл яких залежить від географічної широти, рельєфу і геоморфологічної будови місцевості; відомі

понад 2500 родовищ торфу [14, 15] із середньою глибиною залягання 1,4 м. В Україні близько 81 % видобувного торфу використовують як паливо, а 19 % – у сільському господарстві [16, 17]. Близько 70 % торфовищ зосереджено на території Полісся. На сьогодні в Україні вироблено більш як 45 % розвіданих запасів торфу.

2019 рік характеризувався збільшенням в 3,2 раза кількості пожеж на торфовищах (2019 рік – 667 пожеж, 2018 рік – 208 пожеж), а їх площі в 3,9 раза (2019 рік – 1349 га, 2018 рік – 348 га).

Найбільше торф'яних пожеж зареєстровано в Київській (270), Волинській (73), Львівській (66), Житомирській (62), Чернігівській (34), Тернопільській (31) та Полтавській (29) областях. Масштабні та резонансні пожежі зафіксовано в Київській, Полтавській та Чернігівській областях.

Вивчення ситуації свідчить, що значне погіршення пожежної безпеки на торфовищах у 2019 році обумовлено не лише аномальними природними факторами (відсутність опадів, спекотна погода, зниження рівнів ґрунтових вод), але й несвоєчасним вжиттям заходів щодо використання меліоративних і осушувальних систем для підтримання режиму вологості торфовищ [23].

За інформацією управління ДСНС у Чернігівській області від 22 жовтня 2018 року, вогонь охопив 60 га торф'яників (рис. 1.3) в Сновському і Козелецькому районах. Місцеві жителі розповідали, що над Сновським районом, де горіло більше 58 га, стояла “димова завіса”, а торф прогорів на глибину на пів метра. До робіт з гасіння масштабних пожеж на торфовищах було залучено 111 осіб і 37 одиниць спеціальної і допоміжної техніки [13]. 24 жовтня рятувальники ліквідували пожежу торфу приблизно на площі 2,7 га. Пожежу також було ліквідовано на площі 2,4 га в Сновському і Козелецькому районах Чернігівської області 25 жовтня 2018 року.



а)



б)

Рисунок 1.3 – Ліквідація торф'яних пожеж у Чернігівській області:  
а – пожежна насосна станція; б – тління торфу та його гасіння

У трьох населених пунктах Львівської області 6 травня 2018 року загорілися торфовища. Пожежа виникла в селищі Гамаліївка. Також пожежу зафіксували в населеному пункті Смотрів. За даними департаменту цивільної оборони, в селищі Бірки Яворівського району торф горів на площі 10 га. Протягом 6 травня 2018 року пожежники ліквідували пожежу на площі 0,5 га. Залишилося загасити 9,5 га, роботи з ліквідації пожежі тривали [24]. Згодом пожежу було ліквідовано.

Неподалік від села Обуховичі Іванківського району Київської області 11 листопада 2016 року на площі 0,4 гектара загорілися поклади торфу. Повідомлення про загоряння надійшло вранці. Локалізувати пожежу вдалося о першій годині дня. Згодом гасіння силами дев'яти пожежників завершилося ліквідацією пожежі [25].

За даними Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) з початку 2015 року лише на території Київської області було зареєстровано 153 торф'яні пожежі на загальній площі більше 130 га, а найбільше занепокоєння у місцевих мешканців спричинило тління торфу у зоні відчуження [16].

Так, займання сухої трави і очерету відбулося на території “Чорнобильської пущі” ще 29 липня 2019 року, а локалізувати пожежу вдалося лише 16 серпня. Станом на 19 серпня в ДСНС повідомили, що рятувальники продовжують ліквідацію пожежі: “Роботи з гасіння

проводяться у цілодобовому режимі, ситуація контрольована. Окремих осередків тління лісової підстилки, осередків відкритого вогню немає” [16]. З вище згаданих фактів видно, що пожежі в екосистемах “торф – ліс” повторюються практично кожного року з більшою або меншою інтенсивністю.

## **1.2. Особливості гасіння низових пожеж в екосистемах**

Пожежі травостою часто спричиняються випалюванням трави, як безконтрольним (проведеним населенням самовільно з різних причин), так і “псевдо-контрольованим”, що влаштовується різноманітними державними і муніципальними організаціями та землекористувачами для сільськогосподарських або протипожежних заходів (замінюючи випалюванням більш дорогі в проведенні заходи). Різниця між безконтрольним і контрольованим випалюванням часто невелика і наслідки обох типів випалювання – сильні пожежі в природних екосистемах. Частка площі, випаленої через кожен тип випалювання, приблизно однакова і дорівнює 50 %. Однак “псевдо-контрольовані” пали збільшують і число безконтрольних палів, оскільки є потужною “рекламою” випалювання трави для населення.

Пожежі травостою швидкоплинні, поширюються швидко, зазвичай мають низьку інтенсивність, але часто служать причиною виникнення решти видів пожеж. Як правило, пожежі травостою поширюються на значні площі з величезною протяжністю палаючої кромки, що робить неефективним застосування пожежних автомобілів для прямого гасіння водою. Зазвичай пожежі травостою зупиняють на надійних мінералізованих смугах.

Необхідно гасити все, що починається з пожеж травостою – цим можна запобігти сильним лісовим, торф’яним та іншим пожежам у природних екосистемах.

Гасіння таких пожеж рекомендовано в “Статуті дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж” [25] та “Довіднику керівника гасіння пожежі” [26].

Для гасіння слабкої пожежі травостою на кромці найефективніше використовувати метод захльостування (мітлою, пучком гілок, щільною тканиною) і ранець легкий зрошувальний (за умови, якщо поблизу є джерело води для поповнення її запасу в пристрої). За наявності ґрунту, який легко викопувати лопатою, пожежу можна гасити також закидаючи її ґрунтом.

Починати гасіння пожежі травостою потрібно завжди тільки з тилу, де вогонь горить найслабше, і просуватися в процесі гасіння в бік сильного вогню. Сильний вогонь, якщо він піддається гасінню, необхідно гасити лише навздогін, перебуваючи на погашеній ділянці. Потрібно пам'ятати, що ненавчена людина без спеціальної екіпіровки може гасити тільки низьке полум'я (до 0,5 м). Необхідно виходити на горіле, звідки рухатися далі в тил пожежі, захльостуючи полум'я мітлою або пучком гілок. Необхідно наносити ними ковзаючі удари вздовж кромки вогню зверху донизу навскіс, убік згарища, одночасно гасячи палаючі частки на вже вигорілій площі перед собою за кромкою до повного їх згасання, вкрай важливо не залишати позаду себе недопалені ділянки.

Якщо полум'я горить високо і йде на населений пункт, то за можливості необхідно зайти на нього з вигорілого місця. Необхідно “ловити” момент зниження інтенсивності горіння і шукати місця кромки з низьким полум'ям.

За допомогою ранця легкого зрошувального пожежу травостою гасять розпиленним струменем на відстані 1-1,5 м від кромки пожежі. За допомогою розпиленого струменя можна знизити інтенсивність горіння за досить високого полум'я пожежі травостою. Компактним струменем вогнегасної речовини, що подається з вогнегасника, можна прокладати проходи в палаючому трав'яному полі або очереті аби вибратися з палаючої трави в безпечне місце [27, 28].

Загасивши пожежу, необхідно переконатися, що вогонь не розгориться знову. Догашувати активне полум'я на кромці необхідно до кінця (переглядати на предмет відкритого полум'я і гасити всі осередки горіння (смуги від 3 до 10 м від кромки), аби жодних тліючих вуглин або диму всередині цієї смуги не залишалося. Тліючі розпечені колоди, сухостій, мертві деревинні залишки, що лежать на землі у лісі, найкраще заливати водою з відер. Також їх можна гасити сокирою з ранцем легким зрошувальним: зрубувати сокирою звуглені частини до нормальної деревини і потім гасити їх компактним струменем з ранця легкого зрошувального. Якщо води немає, можна закидати тліючі колоди піском за допомогою лопати (попередньо розрубавши їх сокирою), хоча цей спосіб може бути не ефективним.

Під час гасіння пожежі травостою потрібно стежити за тим, щоб не потрапити в вогняну пастку – мати позаду широкий шлях до відступу на безпечну територію. Не можна ховатися від пожежі травостою в зарослих травою ярах і розщелинах (якщо туди переходить полум'я, то людині там не вижити). При трав'яному типі пожежі зона безпеки – вже повністю вигоріла площа. Слід пам'ятати, що швидкість просування вогню і форма палаючої кромки змінюються дуже швидко, перебуваючи в прямій залежності від поривів вітру.

Під час таких пожеж трапляються випадки, коли гинуть пересічні громадяни і навіть рятувальники. Причини загибелі людей можуть бути різними. Хоча безпосередньої загрози для життя людини кожен конкретний підпал трави, на перший погляд, не несе, від пожеж травостою можуть загорятися будинку, ліси і торфовища, причому найнебезпечнішими вважаються торф'яні пожежі, які нерідко виникають через підпали сухої трави на осушених торф'яних болотах.

Менш очевидна, але не менш важлива причина загибелі людей – дим пожеж травостою. Він дуже шкідливий для здоров'я і просто небезпечний для життя людей, які страждають захворюваннями органів дихання. Навесні

повітря забруднене димом від трав'яних паліїв не менше, аніж від найсильніших торф'яних пожеж. Не слід забувати і про те, що трава горить, як правило, близько до меж населених пунктів (а нерідко і в їх межах), тобто дим ще сильніше позначається на здоров'ї. Сукупний вплив диму від трав'яних палів і диму від торф'яних і лісових пожеж (які нерідко виникають через підпали сухої трави) на самопочуття людей дуже великий. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, вплив диму (головним чином твердих частинок з діаметром до 2,5 мкм, що легко розсіюються в атмосфері) спричиняє цілий спектр різних захворювань, в тому числі органів дихання, серцево-судинної системи, а також зростання дитячої смертності. Наявні дані говорять про те, що загибель людей в результаті впливу диму від горіння травостою – зовсім не рідкість.

У Вінницькій області під час пожежі загинув 22-річний рятувальник. Це прапорщик із с. Якушинець Анатолій Слободянюк, повідомило ГУ ДСНС у Вінницькій області [23].

Трагедія сталася 28 липня у Літинському районі в с. Рибачому під час гасіння стерні на полі. Звідти його доправили до лікарні у Вінниці з попереднім діагнозом “отруєння продуктами згорання”. Утім урятувати пожежного не вдалося, він помер пізно ввечері у реанімації.

Особливості залучення газодимозахисників до гасіння пожеж, ліквідації НС та їх наслідків на відкритій місцевості такі.

За рішенням КГП допускається, без організації (створення) ланки ГДЗС, включення в ЗІЗОД окремих газодимозахисників, які виконують роботи зі стволом, аварійно-рятувальним оснащенням під час гасіння пожеж, ліквідації НС та їх наслідків у задимлених (загазованих) середовищах, перебуваючи поза межами будівлі, на відкритій місцевості [24].

У цьому разі в безпечній зоні встановлюється пост безпеки, на якому ведеться облік працюючих, контролюється їх стан та витрати повітря (кисню), підтримується зв'язок [24].



Якщо вогонь йде в мокре болото, канаву або до дороги, в цьому напрямку його спочатку можна не переслідувати, швидше за все, дійшовши туди, він або загасне сам, або істотно втратить інтенсивність, і його буде легко загасити. Якщо вогонь “перескочив” канаву, дорогу або стежку, то необхідно інтенсивно захльостувати з боку стежки, поки той не набув високої інтенсивності.

Якщо на населений пункт вогонь не йде (або в цьому напрямку вже загасили), але йде на сусідній ліс або поросле високою травою поле, то його захльостують у цьому напрямку, з тими ж рекомендаціями, всіма силами намагаючись не допускати переходу туди полум'я.

Якщо пожежа перейшла в ліс, очеретяні зарості, поросле високою травою поле – то тут допомогти зможуть тільки спеціальні пожежні бригади.

В палаючий ліс, очеретяні зарості і заросле поле – заходити не можна, але можна спробувати не дати вогню пройти далі – обкопувати і захльостувати за периметром на безпечній відстані (у випадку молодих сосен це буде 100-150 м) у тому випадку, якщо можна швидко відійти в місце, де горючих матеріалів немає.

Під час гасіння пожеж травостою застосовують такі способи та технічні засоби:

- захльостування вогню (збивання полум'я) вздовж кромки пожежі;
- засипання кромки пожежі ґрунтом;
- прокладання загороджувальних та опорних мінералізованих смуг і канав;
- відпалювання горючих матеріалів перед фронтом пожежі;
- гасіння водою та іншими водними вогнегасними речовинами;
- гасіння із застосуванням авіації.

Вибір способів і технічних засобів для гасіння пожежі залежить від виду [29, 30], інтенсивності та швидкості поширювання пожежі, особливостей ландшафту, виду, кількості і вологості горючих матеріалів природного

походження, сили вітру, а також наявності сил і засобів пожежогасіння та намічуваних тактичних прийомів і термінів гасіння.

Торф горить повільно на всю глибину його залягання. Торф'яні пожежі часто охоплюють великі площі і важко піддаються гасінню, коли горить шар торфу значної товщини. Торф може горіти в усіх напрямках [31] незалежно від напрямку і сили вітру, а під ґрунтом він горить навіть під час помірної дощу і снігопаду.

Торф'яні пожежі рухаються повільно, по декілька метрів на добу, і відзначаються тим, що їх майже неможливо загасити. Вони небезпечні раптовими проривами вогню з-під землі і тим, що їх край не завжди помітний.

Ознакою підземної торф'яної пожежі є характерний запах диму, який місцями просочується з-під землі, а сама земля гаряча. Температура в товщі торфу, охопленого пожежею, може перевищувати 1000 °С. Це створює проблеми з гасінням – вода, яка потрапляє на територію горіння, може випаровуватися до того як досягає вогнища. Торф'яні пожежі створюють небезпеку провалу в прогорілий ґрунт людей і техніки, тож слід бути обережними та не перебувати поруч з небезпечними місцями. Серйозні проблеми під час ліквідації подібних пожеж завдає той факт, що торфовища здатні горіти навіть під час суттєвих опадів. Ґрунтові торф'яні пожежі провокують розвиток низової лісової пожежі. Це означає, що вогонь заглиблюється у шар торфу біля стовбурів дерев, корені дерев падають і утворюють завали.

Загалом, ліквідацію торф'яних пожеж найчастіше ускладнюють важкодосяжність районів гасіння і віддаленість їх від джерел водопостачання, нераціональність, а часом, і неможливість залучення автотранспорту для доставки води. У той же час для здійснення протипожежних заходів потреба в ній може становити до декількох тисяч тонн на добу.

Одним з найбільш дієвих засобів запобігання торф'яним пожежам є обмеження поширювання вогню завдяки викопаним ровам і широким канавам уздовж лісів. Ще однією можливістю унебезпечитися від стихії може бути заводнення осушених торфовищ. Найдієвішим способом гасіння є обкопування території огорожувальними канавами. Їх риють до мінерального ґрунту або ґрунтових вод. Пожежа гаситься перекопуванням палаючого торфу і заливанням його великою кількістю води. Ліквідація горіння торфовищ є складною через те що воно тліє на великій глибині. Головною проблемою, пов'язаною з гасінням таких пожеж, є те, що загасити тліючі торфовища за короткий час майже неможливо [32, 33].

Причина пожеж на торфовищах – спалювання сухого листя, трави та побутового сміття. Вогонь із цих пожеж перекидається на торфовища та спричиняє їх загоряння. Будь-яке недбальство чи легковажність можуть стати поштовхом до розвитку ще однієї торф'яної пожежі і завдати значного клопоту не тільки рятувальникам. Під загрозою можуть опинитися не лише компоненти екосистеми, а й домівки людей, які межують із торфовищами. Через поширювання диму погіршується видимість на автошляхах, що створює загрозу виникнення ДТП.

У разі застосування стволів ТС-1 і ТС-2 для гасіння пожеж на торфовищах для повної ліквідації пожежі необхідно обробити смугу шириною 0,7...0,8 м, що прилягає до кромки пожежі. Для створення такої смуги заглиблення слід розташовувати у два ряди. Перший ряд прокладають на відстані 0,1...0,2 м від видимої кромки, а другий – на 0,3...0,4 м від першого. Заглиблення в кожному ряду прокладають на відстані 0,3...0,4 м одне від одного. Під час нагнітання води в стволи під тиском 0,3...0,4 МПа. (3...4 атм.) витрата води зі змочувальником становить 35...42 л/хв. Залежно від глибини прогоряння торфу необхідна тривалість подавання води становить:

Глибина прогоряння торфу, м	0,2...0,4	0,4...0,7	0,7...1,2	1,2...2,0
Тривалість подавання води, с	5...6	7...9	10...12	14...16

За відсутності водного джерела поблизу вогнища пожежі її можна локалізувати риттям канави.

У випадках багатоосередкових торф'яних пожеж, що виникають на торф'янистих ґрунтах у результаті низової пожежі, гасіння можливе лише локалізацією на всій площі, на якій знаходяться осередки пожежі. Таку локалізацію слід проводити за допомогою канавокопачів або вибухових матеріалів з подальшим подаванням у прокладену канаву води з місцевих водних джерел. За наявності достатньої кількості засобів водяного пожежогасіння одночасно слід обробляти водою поверхню палаючого торфу.

Значну допомогу в гасінні торф'яних пожеж можуть надати пожежні команди, що мають на озброєнні пожежні насосні станції. Так, наприклад, пожежна насосна станція ПНС-110(131) (ТУ 22.10987-73) може подавати воду з відкритих джерел магістральними рукавними лініями діаметром 150 мм на великі відстані. Станція може безпосередньо забезпечувати 4 пожежні автомобілі з насосними установками продуктивністю близько 40 л/с на відстані 4...5 км, заповнювати штучні водойми або канави, прориті навколо торф'яних пожеж.

Крім того, слід мати на увазі можливість залучення в установленому порядку на гасіння торф'яних пожеж поливо-мийних машин, насосних станцій сільськогосподарського типу та іншої техніки з обслуговуючим персоналом, а також спеціальних трубопровідних підрозділів цивільної оборони.

Після ліквідації пожежі площу, пройдену вогнем, необхідно періодично оглядати до випадіння інтенсивних опадів.

### **1.3. Моделювання низових пожеж в екосистемах**

Ліс – це складна екологічна система, для дослідження якої застосовують різноманітні моделі [34], які поділяють на матеріальні та ідеальні. Матеріальною моделлю у лісівництві є пробна ділянка лісу, вибрана (створена) з метою різноманітних досліджень. На пробній ділянці можна

проводити дослідження пожежної безпеки, зокрема відпал, а результати поширювати на більші території лісу. Van Wagner [35] описав результати досліджень лісових пожеж у природних умовах, та навів їх основні параметри. Але дослідження, пов'язані з вогневими випробуваннями, потребують значних затрат і пов'язані з небезпекою. Тому процеси виникнення та поширювання лісових пожеж вивчають на зменшених моделях [36] не лише на відкритих ділянках, а і в лабораторних умовах [37, 38]. Такі моделі дають змогу визначати вплив різноманітних чинників на швидкість поширювання вогню. Недоліком зменшених моделей є складність масштабування результатів та неможливість повноцінно дослідити перехід низової пожежі у верхову, виникнення вогняних смерчів, конвекційних колонок тощо. Тому дослідники застосовують теоретичні моделі.

Моделі, які застосовують для визначення пожежної безпеки, поділяють на дві групи: пов'язані з лісовими пожежами та пов'язані з середовищем лісу, але непридатні для оцінювання пожежної безпеки. До першої групи відносять моделі пожежонебезпечного стану лісу, загоряння горючих матеріалів і поширювання пожежі. Проте у них не завжди враховують зміни в середовищі лісу, пов'язані з екологічними процесами. Для їх врахування з огляду на пожежну безпеку слід застосовувати екологічні моделі, які дозволяють оцінити динаміку запасу і властивостей горючих матеріалів та ін.

Значна кількість моделей дає змогу виявити пожежонебезпечний стан і запобігти виникненню пожежі в лісі. До них належать описані раніше вітчизняні та зарубіжні системи визначення пожежної безпеки за погодними умовами. Огляд таких моделей здійснив R. O. Weber [39], поділяючи їх на статистичні, емпіричні та фізичні. Статистичні моделі ґрунтуються на залежностях, отриманих виключно на основі досліджень тестових пожеж, та використовуються для визначення швидкості їх поширювання. До них належать і моделі, побудовані на принципі клітинних автоматів і перколяції. Основою емпіричних моделей є принцип накопичення

енергії, який не розрізняється серед моделей теплопровідності, а фізичні моделі описують процеси теплопровідності. Weber виділяє статистичну модель Мак-Артура і Нобеля для визначення коефіцієнта пожежної небезпеки та швидкості поширювання пожежі. Недоліком цієї й низки інших статистичних моделей є застосовність для конкретного однорідного горючого матеріалу та природно-кліматичних умов.

На поширювання пожежі впливає низка чинників [40, 41]: характеристики горючого матеріалу і чинники навколишнього середовища. Проблемам, пов'язаним з поширюванням лісових пожеж, присвячено роботи [39, 42-45]. Проте у них недостатня увага приділяється екологопросторовим особливостям лісів, зокрема, не враховується неоднорідність насадження. Але ліси характеризуються складною просторовою структурою, зумовленою впливом різноманітних зовнішніх і внутрішніх чинників [46]: нерівномірністю та неоднорідністю рослинного покриву, відмінностями його фізичного стану, повнотою, густиною насаджень, а також впливом навколишнього середовища на властивості горючих матеріалів. В умовах рельєфу та гірської місцевості [47, 48] специфічним є характер розвитку пожежі, який залежить від вітру, взаємного розташування дерев, зокрема їх крон, ухилу місцевості, експозиції та ін.

До моделювання процесу поширювання лісової пожежі найчастіше застосовують точковий і хвилевий підходи. Точковий підхід розглядає поширювання пожежі з кожної точки на сусідні, розташовані, як правило, в центрах клітин сітки з урахуванням швидкостей поширювання пожежі в кожному з восьми напрямків (Ntaimo із співавторами [49]). Хвилевий підхід моделює межу полум'я з точки зору її форми як кривої (Басманов із співавторами [50]). Громіздким є підхід Г. О. Доррера із співавторами [45] до моделювання поширювання пожежі на основі динамічного програмування.

Моделювання процесів поширювання пожеж на площині здійснюють на принципах теорії клітинних автоматів, Гюйгенса-Френеля і фільтрування. До таких моделей належать FARSITE [51, 52], яка враховує умови середовища, вид горючого матеріалу, а також геометричні параметри лісу.

Більшість моделей передбачають однорідність середовища, проте ліс переважно є неоднорідним, що враховує модель EMBYR [53].

Найбільшого поширювання набула модель R. C. Rothermel [54], яка охоплює випадки поширювання пожежі горизонтальною поверхнею та під кутом з урахуванням та за відсутності вітру (рис. 1.4). На її основі створено моделі О. А. Тарасенка [55], J. H. Scott [56] та ін. На важливість врахування особливостей поведінки лісових пожеж для боротьби з ними вказав М. Е. Alexander [57].

До емпіричних R. O. Weber відносить моделі, побудовані на принципі збереження енергій, але які не належать до моделей поширювання теплоти. Такі моделі використовують параметри, які визначаються експериментальним шляхом і характеризують горючий матеріал.

Більшість фізичних моделей ґрунтуються на закономірностях тепломасоперенесення, описаних рівняннями математичної фізики.

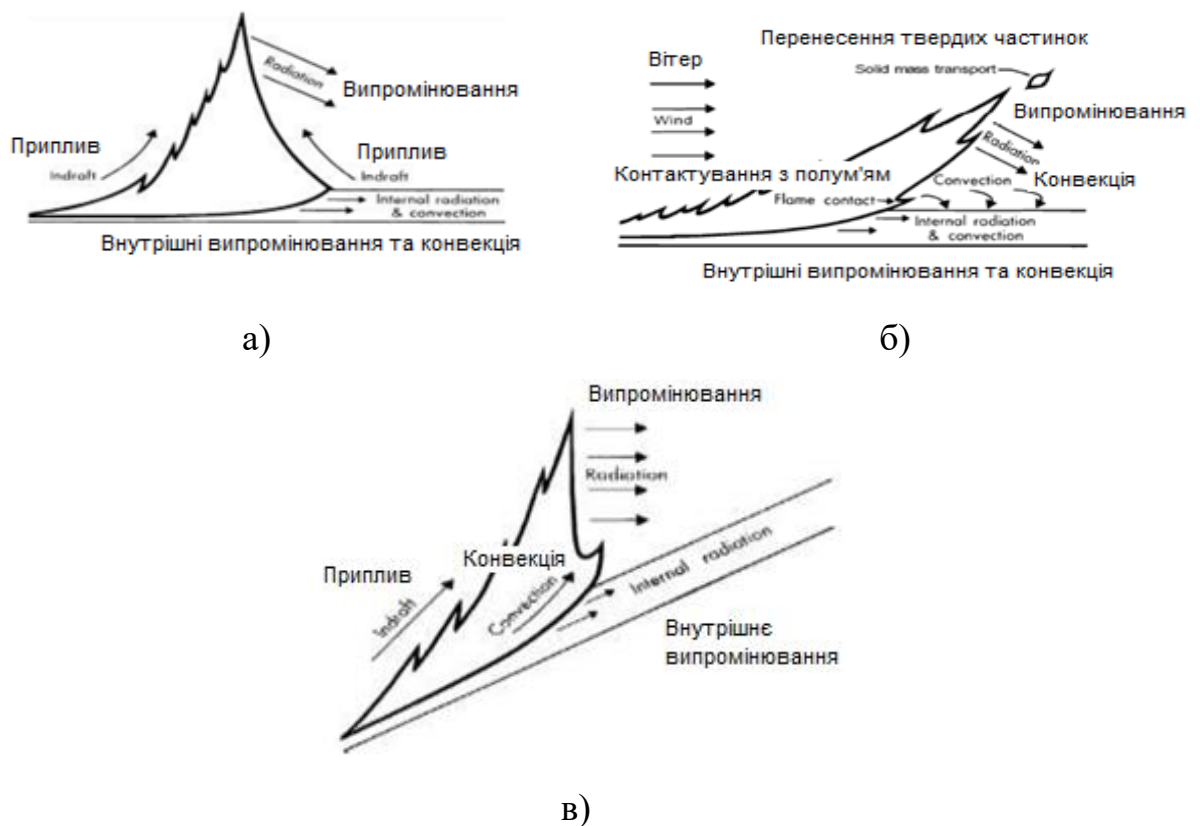


Рисунок – 1.4 Способи поширювання пожежі (Rothermel [54]):

а) – горизонтальною поверхнею; б) – горизонтальною поверхнею під дією вітру; в) – похилою поверхнею

Класифікації моделей здійснювали й інші науковці. Наприклад, Н. С. Не [58] сформулював основні критерії класифікації. Залежно від характеру та практичного застосування моделей, вони класифікуються як теоретичні, стратегічного планування і специфічні тактичні.

Заслужовує на увагу огляд моделей поширювання лісових пожеж А. М. Гришина [36, 42], який розподіляв моделі на 4 групи: прогнозування швидкості поширювання лісової пожежі, прогнозування контурів лісової пожежі, характеристик перебігу процесів тепломасоперенесення та загальні математичні моделі, які враховують всі характеристики (швидкість поширювання, контур пожежі, температурні поля, поля концентрацій компонентів і швидкостей) як у фронті, так і в зоні лісової пожежі. Подібні моделі описані в роботах О. А. Кулешова [59], К. Зеленського із співавторами [60], А. І. Фількова [61], Д. М. Бурасова [62] (степові пожежі), В. О. Ліщини [63] (верхові пожежі). Модель Л. Ю. Катаєвої із співавторами [64] враховує випромінювання від факела полум'я, але не враховує його форми. Інші моделі, зокрема, О. М. Суботіна [65, 66], це враховують. Проте більшість таких моделей через спробу повністю описати процес поширювання пожежі у багатофазному неоднорідному середовищі потребують урахування багатьох чинників, що зумовлює велику кількість параметрів, ускладнює знаходження розв'язку, а тому обмежує їх практичне застосування. Тому на практиці моделі спрощують, проте значне спрощення може призвести до неадекватного відображення процесів під час пожежі.

Описані вітчизняні й зарубіжні моделі є або дуже складними, або дають переважно загальне уявлення про процеси, пов'язані з пожежною безпекою лісів, не враховують їх типу та структури, не забезпечують можливості моделювання впливу лісівничих заходів на пожежну небезпеку [67]. Тому актуальним є створення і удосконалення математичних моделей лісових пожеж і різноманітних фізичних процесів, які призводять до їх виникнення та супроводжують розвиток. Такі моделі мають бути наближеними до реальних умов, враховувати найістотніші чинники, які впливають на особливості розвитку пожежі, зокрема погодно-кліматичні умови і просторові особливості фітоценозу.



#### 1.4. Заходи для забезпечення запобігання поширенню низових пожеж в екосистемах

Захльостування (збивання) полум'я на кромці пожежі застосовують для зупинення просування вогню, використовуючи свіжезламані гілки дерев листяних порід, зрубане невелике деревце довжиною 1,5... 2 м або інші підручні засоби, наприклад, мішковину, прогумовану тканину або іншу тканину, прикріплену до ціпка, збивання вогню на кромці пожежі зазначеними засобами здійснюють під час гасіння низових пожеж слабкої та середньої інтенсивності. Удари по палаючій кромці завдають різкими рухами під кутом 45...30° до поверхні землі, притискаючи вищезазначені засоби до землі і простягаючи їх убік згарища. Після кожного удару засіб обтрушують над вигорілою площею від прилиплих тліючих вуглин.

Засипання кромки пожежі ґрунтом застосовують на легких піщаних та супіщаних слабо задернілих ґрунтах, коли застосування захльостування вогню малоефективне, а швидке прокладання загороджувальних смуг неможливе. Для засипання кромки ґрунтом поблизу неї лопатою видаляють рослинний шар з підстилкою та риють ями, з яких беруть ґрунт і віялом кидають на палаючу кромку так, щоб захопити найбільшу площу. Кидок слід спрямовувати вздовж кромки або під кутом до неї. На початку збивають ґрунтом полум'я, зупиняючи поширювання вогню, а потім засипають ним тліючу кромку суцільною смугою шириною 40...60 см і товщиною 6...8 см. Палаючі пні, тріски, порубочні залишки засипають ґрунтом повністю і більш щільним шаром.

Загороджувальні та опорні мінералізовані смуги і канали прокладають з метою:

- локалізуванню пожежі без попереднього зупинення її поширювання безпосереднім впливом на кромку;
- надійного локалізуванню пожежі, поширювання якої було зупинене;
- застосуванню відпалювання від опорних смуг.

Для прокладання загороджувальних і опорних смуг можуть застосовуватися такі ґрунтооброблювальні знаряддя і механізми:

- тракторні та кінні плуги;
- спеціальні тракторні ґрунтомети та смугопрокладальники;
- бульдозери (в разі необхідності розчищення смуг від чагарнику, завалів та ін.);
- спеціальні лісопожежні агрегати з начіпними ґрунтооброблювальними знаряддями.

Загороджувальні смуги, залежно від інтенсивності та швидкості поширювання пожежі і виду застосовуваного знаряддя, прокладають одинарні або подвійні, а в разі необхідності прокладання більш широких смуг їх створюють у кілька етапів. Однак необхідно мати на увазі, що прокладання широкої загороджувальної смуги перед кромкою пожежі за допомогою ґрунтообробної або землерийної техніки потребує значно більших затрат часу, ніж створення такої смуги відпалюванням. Тому в таких випадках краще застосовувати відпалювання від опорної смуги.

Кожна загороджувальна смуга створюється на певній відстані від кромки пожежі і має своїми кінцями упиратися на будь-які природні або штучні протипожежні бар'єри (дороги, струмки, мінералізовані смуги та ін.)

Для прокладання каналів застосовують плуг-канавокопач ПКЛН-500А, що прокладає канал глибиною 0,5 м та шириною по дну 0,3 м і канавокопач ЛКН-600, що прокладає канал глибиною 0,7 м та шириною по дну – 0,3 м.

У разі відсутності механізованих засобів або недоцільності чи неможливості їх застосування (у випадках невеликих пожеж, труднощів маневрування через густоту деревостою і т.ін.) загороджувальні смуги можна прокладати за допомогою ручних знарядь, видаляючи граблями надґрунтовий покрив (на легких ґрунтах з незначним покривом) або знімаючи дернину (лопатами або мотиками) до мінерального шару.

Відпалювання – найбільш ефективний спосіб, який застосовується під час гасіння верхових, а також низових пожеж високої та середньої

інтенсивності. Цей спосіб дає змогу швидко зупиняти поширювання таких пожеж невеликими за чисельністю силами.

Початок відпалювання проводиться від наявних на лісовій площі меж (доріг, стежок, річок, струмків, прокладених мінералізованих смуг та інших природних або штучно створених перешкод поширенню вогню), а в разі відсутності таких перешкод поблизу пожежі – від опорних смуг, спеціально прокладених вручну, за допомогою ґрунтооброблювальних знарядь, вибухових матеріалів, розчинів хімічних речовин шириною 0,3...0,5 м.

Запалювання надґрунтового покриву під час початку відпалювання проводиться вздовж самого краю опорної смуги, оберненої до пожежі, без проміжків. Для запалювання застосовують спеціальні запалювальні апарати. В разі їх відсутності можна використати підручні засоби: смолоскипи з бересту або із ганчір'я, змочені палимим тощо.

Початок відпалювання слід проводити насамперед проти фронту пожежі на такій відстані, щоб до кромки низової пожежі відпалювання пройшло б смугу шириною, не меншою за 10 м. Під час низових пожеж високої інтенсивності та швидкості вітру більше за 5 м/с, ширина смуги відпалювання перед фронтальною кромкою має бути значно більшою (до 100 м).

Починати відпалювання треба навпроти центру фронту пожежі, рівномірно просуваючись в обидва боки до флангів, на яких поширювання горіння зупинене (або зупиняється) іншими способами.

Якщо зупинити поширювання горіння на флангах і в тилу іншими способами неможливо, то опорна смуга для початку відпалювання має створюватися у вигляді замкненого контура або ж своїми кінцями упиратися в ділянки лісу, що не горять у конкретний момент часу, або у вже пройдену пожежею площу, а також у широкі дороги, поля, луки, причому в останньому випадку від меж цих площ варто також почати відпалювання [22].

На прилягаючій до опорної смуги території по іншу сторону від пожежі має бути організоване ретельне спостереження для того, щоб не допустити

виникнення осередків горіння від перелітаючих через опорну смугу палаючих частинок.

Для прискорення випалювання смуги перед фронтом пожежі залежно від виду пожежі, швидкості вітру, рельєфу місцевості та лісових горючих матеріалів можуть бути застосовані такі способи відпалювання:

Під час гасіння низових пожеж, що швидко поширюються, у тому числі на відкритих ділянках, де немає небезпеки переходу низового вогню у верховий, прискорене випалювання смуги здійснюється способом “випереджувального вогню” або способом “гребінки”.

У першому випадку проводиться відпалювання від опорної смуги та на відстані 4...8 (б) м роблять додаткове відпалювання без опорної смуги. Додаткове відпалювання може проводитися у два та три прийоми (рис. 1.5).

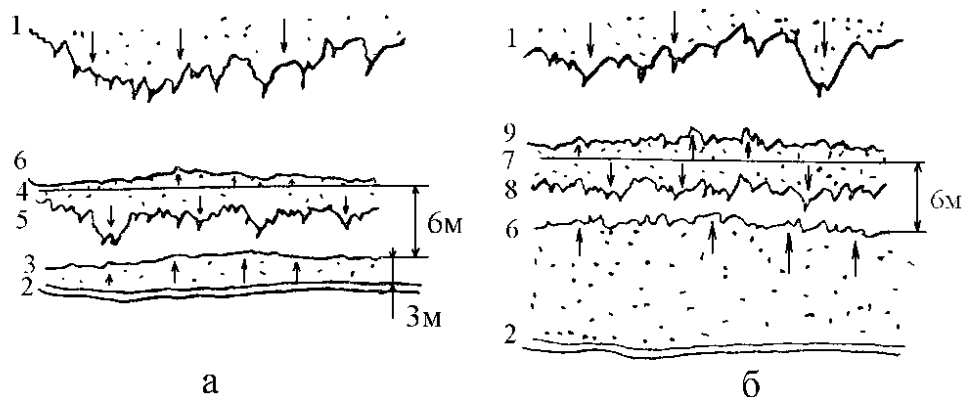


Рисунок 1.5 – Відпалювання способом “випереджувального вогню”:

а – перша стадія; б – друга стадія; 1 – фронт пожежі; 2 – опорна смуга;  
 3 – низовий вогонь від першого запалювання, що просувається проти вітру;  
 4 – лінія другого відпалювання; 5 – низовий вогонь від другого запалювання,  
 що просувається за вітром; 6 – низовий вогонь від другого запалювання, що  
 просувається проти вітру; 7 – лінія третього запалювання; 8 – низовий вогонь  
 від третього запалювання, що просувається за вітром; 9 – низовий вогонь від  
 третього запалювання, що просувається проти вітру

Під час застосування способу “гребінка” підпалюють покрив не тільки уздовж опорної смуги, а й перпендикулярно до неї через кожні 6...8 м. Довжина таких перпендикулярних відрізків може бути до 5 м (рис. 1.6).

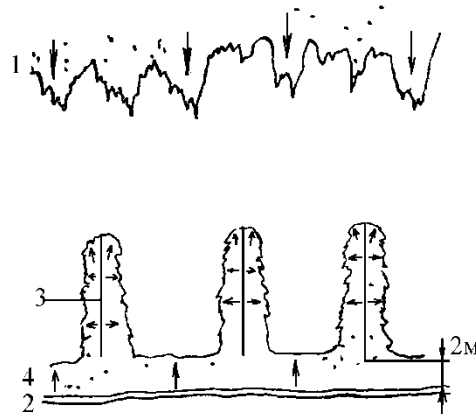


Рисунок 1.6 – Відпалювання способом “гребінки”: 1 – фронт пожежі; 2 – опорна смуга; 3 – лінія додаткового запалювання; 4 – вогонь відпалювання

Найбільш ефективною і поширеною вогнегасною речовиною для гасіння лісових пожеж є вода. Вона може застосовуватися для гасіння низових, верхових (стійких) і ґрунтових (підстилкових і торф’яних) пожеж. Залежно від виду пожежі, умов, у яких вона поширюється, наявності води та виду використовуваних механізмів застосуванням цього способу можуть вирішуватися задачі попереднього зупинення поширювання кромки пожежі, а в деяких випадках і повного її гасіння.

Воду застосовують у вигляді потужного компактного або розпиленого струменя. Потужний компактний струмінь руйнує структуру палаючих матеріалів, перемішує їх з ґрунтом і відкидає на вже пройдену вогнем територію.

З метою підвищення вогнегасної ефективності води до неї додають змочувальники або піноутворювачі (ПАР), що знижують поверхневий натяг рідини [68, 69] та збільшують її здатність до проникнення в дрібні пори. Приготовлені в такий спосіб змочувальні розчини слід застосовувати під час гасіння низових і ґрунтових пожеж, а також під час догашування пожеж.

На задернілих ґрунтах та за наявності потужного шару підстилки ранцева апаратура неефективна. В такому разі слід застосовувати потужний суцільний струмінь, що подається за допомогою насосних установок зі значно більшою витратою води на квадратний метр палаючої площі.

Суцільні далекобійні струмені слід застосовувати також під час гасіння сильних осередків горіння (у скупченнях мотлоху тощо). Для гасіння заростей чагарнику слід застосовувати розпилений струмінь.

Для гасіння ґрунтових (підстилкових і торф'яних) пожеж, спечену кірку, що утворилася під осередком пожежі, розбивають потужними струменями води зі змочувальником (в такій ролі зазвичай використовують піноутворювачі), перетворюючи палаючий торф у рідку масу і сильно промочуючи торф навколо осередку пожежі.

Для гасіння низових пожеж, крім води, використовують робочі розчини піноутворювачів загального призначення. Піноутворювачі складаються з (ПАР), які зумовлюють зниження поверхневого натягу водних розчинів і можливість генерування піни, добавок, що забезпечують надання піноутворювачам регламентованих нормативними документами показників якості чи спеціальних властивостей (наприклад, підвищеної морозостійкості), та води, яка відіграє роль розчинника. Вони придатні для генерування піни низької, середньої та високої кратності, а також приготування змочувальних розчинів, і призначені для гасіння пожеж твердих горючих речовин і матеріалів та неполярних (водонерозчинних) горючих (легкозаймистих) рідин.

До цієї групи належать такі піноутворювачі:

- “Барс” (ТОВ “НВП “Вогнеборець”, Львів, Україна);
- “Пірена” (ТОВ ППО “Пірена”, Вінниця, Україна);
- “Софір” (Харків, Україна);
- “ПО-ЗНП”, “ПО-6НП” (Новочеркаський завод синтетичних продуктів, Росія);
- “ПО-6ТС”, “ПО-6ЦТ”, “ПО-6МТ” (ВАТ “Ивхимпром”, Росія);

- “ПО-6ОСТ” (ТОВ “СПО Щит”, Росія);
- “ТЭАС” (ТОВ “Завод моющих средств”, ТОВ “СПО Щит”, Росія);
- “Sthamex f-15” (“Dr. Sthamer”, Німеччина);
- “Ругосом ОН” (“Ругосом a. s.”, Чехія) та ін.

Піноутворювачі загального призначення придатні до застосування в усіх типах технічних засобів пожежогасіння (вогнегасники, системи пожежогасіння, пожежні автомобілі тощо).

Розчини піноутворювачів готуються та зберігаються на лісових пожежних станціях у спеціальних посудинах і доставляються до пожежі в цистернах пожежних автомобілів, поліетиленових каністрах, а також безпосередньо в резервуарах лісових вогнегасників або готуються на місці робіт.

Вогнегасні речовини можна застосовувати для гасіння горіння на кромці низової пожежі, створення опорних смуг для відпалювання, а також для догашування вогнищ, що залишилися після локалізації пожежі.

Опорні смуги для пуску відпалювання можна прокладати шириною 0,3...0,5 м. Дозування розчину на опорних смугах залежно від потужності надгрунтового покриву повинно бути від 0,5 до 1,5 л на 1 м<sup>2</sup>.

За необхідної тривалості вогнезатримувальної дії опорної смуги не більше 1 години достатньо застосувати розчин ПАР (змочувальника або піноутворювача), а для забезпечення більшої тривалої дії (до 24 годин) слід використовувати 20 %-й водний розчин хлориду кальцію або хлориду магнію з додаванням 0,5 % змочувальника [70].

Вибір типу вогнегасної речовини залежить від площі, місця виникнення та інтенсивності пожежі. Вода – найбільш поширена вогнегасна речовина, проте її ефективність низька, коли вона використовується для гасіння лісових пожеж, чагарників, лук, торф’яних боліт або “диких” земель [71] через її низьку здатність змочувати і проникати в тріщини гідрофобних поверхневих палив. Введення в воду ПАР, що знижують поверхневий натяг води і підвищують змочувальну здатність щодо гідрофобних горючих матеріалів,

наявних на поверхні землі, є одним з найбільш ефективних способів боротьби з такими пожежами. Однак для кожного складу таких матеріалів існують свої оптимальні склади ПАР як в якісному, так і в кількісному відношенні [26, 72]. На сьогодні ПАР (у концентраціях до 0,3 %) застосовують змочувальник “сульфонол НП-3”, піноутворювачі “Барс S-1”, “Барс S-2”, “Барс S-1m”, “Альпен”, “Пірена” та ін.

Встановлено, що змочувальну здатність щодо горючих матеріалів, наявних на поверхні землі, може бути підвищено в 2-3 рази у разі використання для гасіння 1-3%-них водних розчинів карбонатів і бікарбонатів натрію [26, 72]. Ці розчини можуть застосовуватися не тільки для підвищення ефективності гасіння лісових пожеж, чагарників, лук, торф'яних боліт або “диких” земель, а й для запобігання їм [26, 72]. Робочі розчини піноутворювачів використовують переважно для генерування повітряно-механічної піни для гасіння пожеж класу В [72]. З цією метою використовують відповідне обладнання для змішування піноутворювача з водою в необхідних пропорціях, а також обладнання та методи подавання [26].

Змочувальні розчини піноутворювачів (відомі також як “мокра вода” або “піна класу А” підвищують ефективність води як вогнегасної речовини завдяки зниженню поверхневого натягу води. Піна утримує воду в контакті з незгорілим горючим матеріалом, щоб запобігти його загорянню, у той час як підземна пожежа в лісі потребує відповідного проникнення змочувального розчину в підстилку [73]. Сучасний підхід полягає у використанні поновлюваних сполук, а також біологічно “м'яких” ПАР, наприклад, складних ефірів поліетиленгліколю і жирних кислот (ПЕГ) або алкілполіглюкозидів (АПГ) [74, 75].

Для гасіння пожежі на торфовищі необхідно вжити таких заходів:

подати для локалізації пожежі на торфовищі водяні стволи за периметром пожежі, відсікаючи вогонь, на відстані не менше 3-5 м від ділянок торфовища, що не горять;



обкопати периметр пожежі канавою до мінерального ґрунту або насиченого водою шару торфу з одночасним поданням водяних стволів. Обкопування осередків горіння або території торфовища розпочати з боку, де не подано водяні стволи;

розмивати компактними струменями води торф в осередках горіння, заливати і підтоплювати їх водою;

здійяти за можливості інженерну техніку для змішування торфу, що горить, із сирою торф'яною масою;

подати стволи-розпилювачі для гасіння торфу, розпушувати торфкультиваторами до вологого шару з подальшим утримуванням його бульдозерами, катками або іншою технікою;

організувати залучення до гасіння пожежі інженерну та пристосовану для пожежогасіння техніку;

провести розвідку джерел водопостачання та визначити можливість їх використання для гасіння пожежі. За потреби створити запас води облаштуванням запруд для її збирання, підняття рівня води в каналах, за можливості задіяти стаціонарні та пересувні системи зрошування;

використовувати бульдозери, тягачі, екскаватори та іншу техніку об'єктів господарювання для доставки у важкодоступні місця пожежно-рятувальної техніки, створення протипожежних розривів, каналів і тимчасових запруд;

коригувати дії пожежно-рятувальних підрозділів і населення, залучених до гасіння, з урахуванням обстановки на місці пожежі;

організувати захист населених пунктів, промислових (господарчих) об'єктів, лісових масивів, полів посівних культур у разі загрози поширювання пожежі на них;

організувати цілодобові пости та дозори силами населення і місцевих протипожежних формувань у населеному пункті та інших місцях, на які можливе поширювання вогню.

### 1.5. Обладнання для генерування повітряно-механічної піни.

Для генерування піни у загальному випадку потрібні пінозмішувач і пінний ствол. Стационарні пінозмішувачі встановлюють на протипожежній техніці (машини, мотопомпи і ін.) Пінні стволи СПП і ГПС мають хороші параметри з подавання піни (розхід та дальність струменя), а нам в першу чергу треба створити пінну смугу певної довжини і висоти, тобто подати струмінь з великим радіусом дії. СПП і ГПС не можуть забезпечити створення пінних смуг великої довжини.

Під час гасіння пожеж або під час проведення дій з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій для створення потужних розпилених струменів або щільної водяної завіси використовують щілинні насадки-розпилювачі на пожежні стволи у тому числі віялового типу РВ-12. Насадки-розпилювачі віялового типу РВ-12 (рис. 1.7) встановлюють на ручні стволи замість стандартної насадки [76]. За відповідних умов за допомогою цієї насадки можна отримати повітряно-механічну піну.



Рисунок – 1.7 Розпилювач віялового типу РВ-12

Розпилювач віялового типу РВ-12 призначений для створення щільної водяної завіси. Його технічні характеристики наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Технічні характеристики насадки-розпилювача віялового типу РВ-12

Параметри	Насадка-розпилювач РВ-12
Витрати води, л/с	12
Довжина струменя, м	-
Висота водяної завіси, м	8
Товщина водяної завіси, м	1,2
Площа захисної завіси, м <sup>2</sup>	100
Маса, кг	1,3

Автоцистерни пожежні АЦ-40(131)-137А, АЦ-4-60 (530927)-515М, АЦ-40(43291) (модель 63Б.02) призначені для доставки до місця пожежі оперативного розрахунку, пожежно-технічного обладнання (ПТО), засобів пожежогасіння та використовують для гасіння пожежі водою та повітряно-механічною піною і найчастіше застосовуються для гасіння пожеж в екосистемах [77]. В комплексі використовуючи АЦ з встановленою на водопінний трубопровід насадкою віялового типу РВ-12 можна створювати пінні захисні смуги. Це припущення вимагає більш ґрунтовних досліджень.

### **1.6. Мета та задачі досліджень**

На більшості природних трав'яних і очеретяних масивів України пожежі виникають щороку або один раз на 2-3 роки, а на деякі територіях по 2-3 рази на рік, що супроводжується інтенсивним утворенням і надходженням у повітря шкідливих речовин.

Після проходження пожежі природні екосистеми відновлюються дуже довго, а деякі їх компоненти вже неможливо відновити без допомоги людей.

Величезна кількість торф'яних пожеж починаються як пожежі травостою або очерету, особливо під час випалювання трав'яних покривів у весняний період. Тління торфу також може призвести до виникнення “вторинної” пожежі травостою – горіння трави від країв вогнища тління.

На сьогодні день існує ряд засобів та способів для ліквідації таких пожеж, проте вони мають ряд недоліків, до яких належать невисокі ефективність та надійність гасіння, потреба у великій кількості води, недостатня продуктивність обладнання та ін.

Виходячи з вищесказаного, постає необхідність в удосконаленні існуючих і розробленні нових способів та засобів гасіння низових пожеж в екосистемах з включеннями торфу.

Метою роботи є розроблення ефективних способів гасіння та недопущення поширювання пожеж трав'яного покриву в екосистемах із включеннями торфу.

Для досягнення визначеної мети необхідно розв'язати такі задачі:

- проаналізувати основні чинники, що впливають на виникнення та поширювання пожеж травостою;
- удосконалити математичну модель процесів поширювання низової пожежі трав'яними покривами з урахуванням рельєфу та вітру;
- здійснити математичне планування експерименту для дослідження основних чинників впливу на низові пожежі в екосистемах, що утворені трав'яними покривами;
- визначити параметри та способи нанесення пінних загороджувальних смуг, прокладених з використанням робочих розчинів піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі “Барс S-2”) для гасіння низових пожеж в екосистемах з трав'яними покривами;
- обґрунтувати конструкцію спеціального пожежного ствола та розробити рекомендації до його застосування під час гасіння низових пожеж в екосистемах з включеннями торфу;
- розробити рекомендації до гасіння низових пожеж в екосистемах з трав'яними покривами пінними загороджувальними смугами, прокладеними з використанням робочих розчинів піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі “Барс S-2”).

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НИЗОВИХ ПОЖЕЖ В ЕКОСИСТЕМАХ

Серед значної кількості відомих моделей процесу поширювання пожежі травостою використовують принцип Гюйгенса-Френеля, суть якого в тому, що кожна точка межі полум'я є вторинним джерелом. Однак в умовах реальних поверхонь їх застосування ускладнене, оскільки рельєф поверхонь впливає як на швидкість поширювання пожежі, так і на характер її перебігу. На переважно рівнинній місцевості немає суттєвих перепадів висот, однак зустрічаються різні нахили та горби, що покриті трав'яною рослинністю, зокрема, трав'яні покриви на околиці лісів, луки, чагарники тощо.

Швидкість поширювання пожежі такими ділянками суттєво підвищується порівняно із рівнинними поверхнями. Тому дослідження поширювання пожеж травостою в умовах рельєфу є актуальним.

### 2.1. Математичне моделювання процесів поширювання низової пожежі в екосистемах

З метою моделювання поширювання пожежі з урахуванням рельєфу у [78, 79] розроблено математичну модель поширювання поверхнею  $K$  (рис. 2.1), вкритою трав'яним горючим покривом, яка в системі координат Охуз описується диференційованою функцією [67]

$$z = f(x, y). \quad (2.1)$$

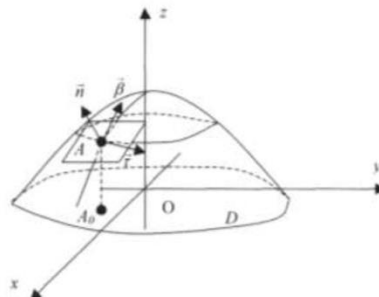


Рисунок 2.1 – Поширення пожежі з урахуванням рельєфу та осередком у точці А

Не зменшуючи загальності, наводимо випадок наявності одного локального максимуму (однієї вершини). Розглянемо поширювання полум'я з осередком у точці  $A(x_0, y_0, z_0) \in K$  нехтуючи швидкістю та напрямком вітру.

Функція  $z = f(x, y)$  відображає деяку область  $S$ , що розташована на площині  $Oxy$ , на поверхню  $K$ . Прийнемо, що вся поверхня рівномірно покрита однорідним трав'яним покривом або горючим матеріалом. Розглянемо деяку внутрішню точку  $A_0(x_0, y_0, 0) \in S$ . Їй відповідає значення функції  $z_0 = f(x_0, y_0)$ , яке характеризує висоту над рівнем горизонтальної основи. Розглянемо поширювання пожежі з осередком у точці  $A(x_0, y_0, z_0) \in K$  нехтуючи швидкістю та напрямком вітру. Припустимо, що поширювання вогню за проміжок часу  $\Delta t$  відбувається по площині, дотичній до поверхні в точці  $C$ . Знайдемо часткові похідні функції  $f$  та позначимо їх через  $f'_x = f'_x(x_0, y_0)$ ,  $f'_y = f'_y(x_0, y_0)$ . Тоді рівняння дотичної площини [67] в точці  $C$  має вигляд

$$f'_x \cdot (x - x_0) + f'_y \cdot (y - y_0) - (z - f(x_0, y_0)) = 0. \quad (2.2)$$

Введемо локальну систему координат з початком в точці  $C$ . Однією з осей координат виберемо пряму, яка є дотичною до лінії рівня  $z_0 = f(x, y)$ , на якій лежить точка  $C$ , друга вісь – перпендикулярна до цієї лінії та розташована в дотичній площині (бінормаль), третя вісь – нормаль до дотичної площини. Напрямними векторами осей локальної системи координат є

$$\vec{n} = (f'_x; f'_y; -1), \quad (2.3)$$

$$\vec{\tau} = (f'_y; -f'_x; 0), \quad (2.4)$$

$$\vec{\beta} = \vec{\tau} \times \vec{n} = (f'_x; f'_y; (f_x'^2 + f_y'^2)), \quad (2.5)$$

які в нормованому вигляді записуються таким чином:

$$\vec{n}_0 = \left( \frac{f'_x}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + 1}}; \frac{f'_y}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + 1}}; \frac{-1}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + 1}} \right), \quad (2.6)$$

$$\vec{\tau}_0 = \left( \frac{f'_y}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}}; \frac{-f'_x}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}}; 0 \right) \quad (2.7)$$

та

$$\vec{\beta}_0 = \left( \frac{f'_x}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \frac{f'_y}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \frac{f_x'^2 + f_y'^2}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}} \right). \quad (2.8)$$

У локальній системі координат  $S_{x_C y_C z_C}$  побудуємо одиничний вектор  $\vec{v}_0 = \vec{v}_0(\alpha)$  можливого напрямку поширювання полум'я, який залежний від кута  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha < 2\pi$ ), відклавши його від додатного напрямку осі  $S_{x_C}$  проти годинникової стрілки (рис. 2.2). В цій локальній системі вектор  $\vec{v}_0$  матиме такі координати

$$\vec{v}_0 = (\cos\alpha; \sin\alpha; 0) = \vec{\tau}_0 \cos\alpha + \vec{\beta}_0 \sin\alpha. \quad (2.9)$$

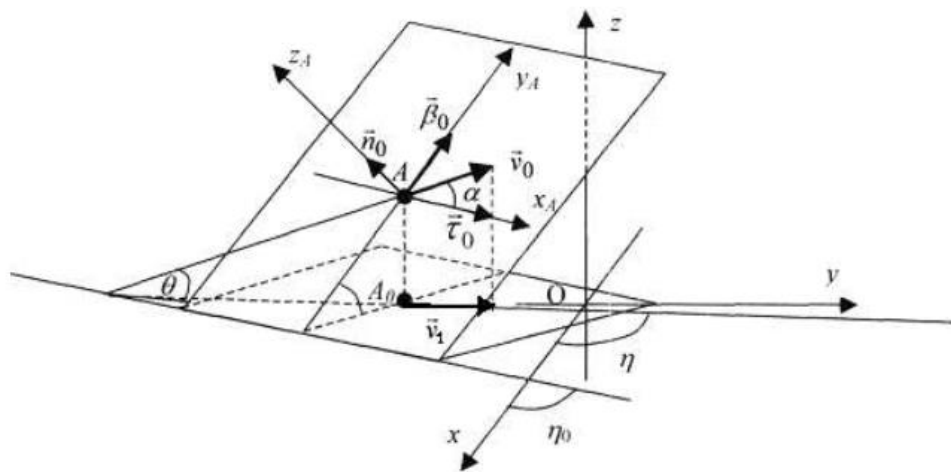


Рисунок 2.2 – Локальна система координат з початком в осередку виникнення пожежі (точка  $A$ )

В системі координат  $Oxuz$  координати цього вектора записуються у вигляді

$$\vec{v}_0 = \left( \frac{f'_y \cos\alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{f'_x \sin\alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \frac{-f'_x \cos\alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{f'_y \sin\alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \frac{(f_x'^2 + f_y'^2) \sin\alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}} \right) \quad (2.10)$$

Кут  $\theta = \theta(\alpha)$  між вектором  $\vec{v}_0$  та площиною  $Oxu$  знайдемо з формули скалярного добутку цього вектора та вектора  $\vec{k} = (0; 0; 1)$ . Маємо:

$$\sin \theta = \frac{\vec{v}_0 \cdot \vec{k}}{|\vec{v}_0| \cdot |\vec{k}|} = \frac{(f_x'^2 + f_y'^2) \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}, \quad (2.11)$$

звідси

$$\theta = \arcsin \left( \frac{(f_x'^2 + f_y'^2) \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}} \right), \quad 0 \leq \alpha < 2\pi. \quad (2.12)$$

Нехай вектор  $\vec{v}_1$  – проекція вектора  $\vec{v}_0$  на площину (Оху). Тоді

$$\vec{v}_1 = \left( \frac{f_y' \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{f_x' \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; \frac{f_y' \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{-f_x' \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2}}; 0 \right) \quad (2.13)$$

Оскільки за проміжок часу  $\Delta t$  полум'я поширюється з точки  $C(x_0, y_0, f(x_0, y_0))$  в напрямку вектора  $\vec{v}_0$  під кутом  $\theta$  до горизонту із швидкістю  $v(\theta)$ , то кінцем вектора  $v(\theta)\Delta t \cdot \vec{v}_0$  є точка, до якої за цей проміжок часу поширяться пожежа.

Проекцією цього вектора на площину (Оху) буде вектор  $v(\theta)\Delta t \cdot \vec{v}_1$ .

З урахуванням наведеного отримуємо формули, які описують координати точок, у які поширяться пожежа в напрямку кута  $\alpha$ ,  $0 \leq \alpha < 2\pi$ , відкладеного від дотичної до горизонталі, проведеної в точці С, за час  $\Delta t$ :

$$\begin{aligned} x &= x_0 + v(\theta(\alpha))\Delta t \left( \frac{f_y' \cos \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{f_x' \sin \alpha}{\sqrt{1 + f_x'^2 + f_y'^2}} \right), \\ y &= y_0 + v(\theta(\alpha))\Delta t \left( \frac{f_y' \sin \alpha}{\sqrt{f_x'^2 + f_y'^2}} + \frac{-f_x' \cos \alpha}{\sqrt{1 + f_x'^2 + f_y'^2}} \right), \\ z &= f(x, y), \end{aligned} \quad (2.14)$$

де  $v(\theta)$  – лінійна швидкість поширювання пожежі поверхнею, нахиленою до горизонту під кутом  $\theta$ , який залежить від кута  $\alpha$ . Кожна з таких точок може бути вторинним осередком пожежі, до якого знову застосовуємо формули (2.14).

Таким чином, з урахуванням залежності лінійної швидкості поширювання пожежі від напрямку та кута нахилу площини до горизонту, наведені формули описують межу поширювання пожежі в кожен момент



часу. Запропонований метод є придатним для застосування у випадку поверхонь, які мають декілька вершин. Формули координат точок межі пожежі в кожен момент часу можуть бути основою моделі поширювання пожежі для підсистеми автоматизованої системи керування пожежно-рятувальними підрозділами [47, 48].

## **2.2. Математичне моделювання поширювання низової пожежі з урахуванням рельєфу та вітру**

На процес поширювання низової пожежі суттєво впливають мають різноманітні чинники: фізичні характеристики горючого матеріалу, швидкість вітру і ухил поверхні, якою вона поширюється. Ці чинники зумовлюють інтенсивність горіння, висоту полум'я та його ухил до поверхні, якою поширюється низова пожежа. На швидкість поширювання впливають температура навколишнього середовища, конвекція повітряних мас, швидкість і напрямок вітру [40]. Для ландшафтної пожежі в [50] наведено модель її поширювання з урахуванням швидкості та напрямку вітру. Однак ця модель не враховує зміни впливу чинників під час розвитку низової пожежі похилою поверхнею в умовах нерівномірного рельєфу. Багатьма дослідниками робилися спроби одночасного врахування впливу швидкості вітру і кута нахилу поверхні [49, 54, 80-82, 83, 84 та ін.]. Однак у [82-84] одночасний вплив брався до уваги лише у випадках попутних або зворотних напрямків вітру та ухилу поверхні. У [49] поширювання пожежі моделювалося методом клітинних автоматів на основі методу [54], який полягає в одночасному врахуванні чинників швидкості вітру та ухилу в коефіцієнті, який є лінійною функцією суми відповідних параметрів. У [80] врахування впливу швидкості вітру, ухилу місцевості та відносної вологості повітря на швидкість поширювання пожежі описувалося добутком коефіцієнтів, які залежать від вказаних чинників. У [55] описано метод розрахунку поширювання ландшафтної пожежі у будь-якому напрямку на

основі годографів швидкостей поширювання під дією вітру та рельєфу. Але такий метод лише наближено описує швидкість поширювання пожежі, оскільки кожен з чинників діє по-різному і в загальному випадку ці чинники не є адитивними. У [81] в результаті експериментальних досліджень в аеродинамічній трубці встановлено, що за невеликих швидкостей (до 2 м/с) та невеликих ухилів (до 18°) обидва чинники впливають на процес поширювання незалежно один від одного. Проблема опису залежності швидкості поширювання пожежі від вітру і рельєфу потребує пошуку методів, які характеризують спільну дію цих чинників на основі фізичних закономірностей. Один з таких методів описано в [85], але він недостатньо враховує сумарну дію рельєфу та вітру. А запропонований у [86] метод визначення швидкості поширювання пожежі враховує вплив обох чинників на такий параметр як кут нахилу полум'я до площини поширювання пожежі.

Під час горіння внаслідок конвективних процесів полум'я піднімається вгору. За відсутності вітру полум'я утворює з вертикаллю кут  $\theta_p = 0^\circ$ . Під дією вітру полум'я буде відхилятися в напрямку вітру. Залежність кута нахилу полум'я  $\theta_p$  від швидкості вітру описується формулою [56]

$$\theta_p = \arctg(a \cdot Fr^b), \quad (2.15)$$

де  $a = 1,22$ ,  $b = 0,5$ , а  $Fr$  – число Фруда, яке визначається за формулою

$$Fr = \frac{v_B^2}{gH}, \quad (2.16)$$

де  $v_B$  – швидкість вітру, м/с,  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup> – прискорення вільного падіння,  $H$  – висота полум'я, м. Параметри  $a$  і  $b$  в залежності (2.15) можуть набувати й інших значень залежно від виду та стану горючого матеріалу. Їх визначають експериментальним методом. Деякі значення цих параметрів наведено в [87].

Під час пожежі на горизонтальній поверхні (рис. 2.16а) кут між полум'ям і поверхнею становитиме  $\gamma = 90^\circ - \theta_p$ , а напрямком найшвидшого поширювання визначатиме вектор швидкості вітру.

Розглянемо пожежу на похилій площині (рис. 2.3б). Площина, якою поширюється пожежа, описується рівнянням

$$Ax + By + Cz + D = 0, \quad (2.17)$$

де  $A, B, C, D$  – коефіцієнти рівняння,  $(x, y, z)$  – координати точок площини, а кут між полум'ям і поверхнею площини визначається як кут між полум'ям і його проекцією на площину. Нормаллю до цієї площини є вектор  $\vec{n} = (A, B, C)$ . Задамо напрямок полум'я вектором  $\vec{w}$ . За відсутності вітру полум'я буде спрямоване вертикально вгору, кут  $\theta$  між векторами  $\vec{w}$  і  $\vec{n}$  дорівнює куту нахилу площини до горизонту, а довжина вектора  $\vec{w}$  дорівнює висоті полум'я  $H$ . Для полум'я висотою  $H$  з урахуванням (2.15)-(2.16) визначаємо зведену швидкість вітру  $v_{Bp}$ , під дією якої у випадку, якщо площина поширювання пожежі була б горизонтальною, полум'я відхилилося б від нормалі (вектор  $\vec{n}$ ) на кут  $\theta$ . Формула для розрахунку величини зведеної швидкості вітру має вигляд

$$v_{Bp} = \sqrt{gH} \left( \frac{tg\theta}{a} \right)^{\frac{1}{2b}}, \quad (2.18)$$

а його напрямок паралельний до горизонту і збігається з проекцією напрямку ухилу площини  $\Pi$  на горизонтальну поверхню.

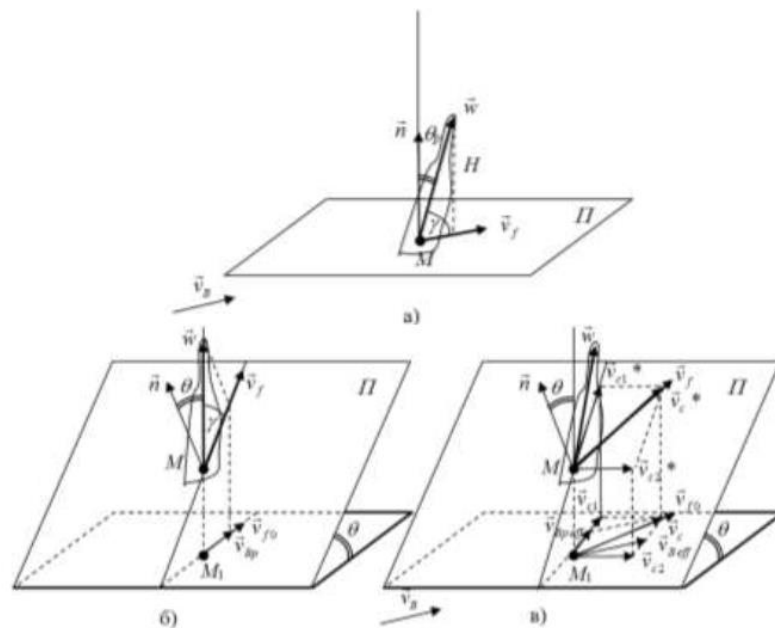


Рисунок 2.3 – Напрямок поширювання фронту пожежі  $\vec{v}_f$ :

а – горизонтальною площиною під впливом вітру; б – похилою площиною без впливу вітру; в – похилою площиною з впливом вітру [67]

Коефіцієнт впливу швидкості вітру  $v_v$  на швидкість поширювання фронту пожежі відповідно до [80] з коефіцієнтом вірогідності  $R^2=0,9957$  апроксимований емпіричною формулою

$$k_v = ce^{dv_v}, \quad (2.19)$$

де  $c=0,9893$  і  $d=0,4843 \text{ м}^{-1}\text{с}$ . Коефіцієнт  $k_v$  дає можливість визначати швидкість поширювання фронту пожежі горизонтальною поверхнею за формулою

$$v_f = k_v v_0, \quad (2.20)$$

де  $v_0$  – швидкість поширювання пожежі горизонтальною поверхнею без впливу вітру та ухилу, м/с, яка залежить від властивостей горючого матеріалу.

У випадку поширювання під гору коефіцієнт впливу зведеної швидкості вітру обчислюється за формулою

$$k_v^* = \frac{k_v}{\cos\theta}, \quad (2.21)$$

у якій  $k_v$  розраховується за (2.19) з використанням зведеної швидкості вітру  $v_{Bp}$  замість  $v_v$ . Отримане значення  $k_v^*$  використовується у формулі (2.20) замість  $k_v$ . Порівняємо значення коефіцієнтів  $k_v^*$  для кутів  $\theta$  від  $0^\circ$  до  $40^\circ$  з відповідними коефіцієнтами впливу ухилу  $k_\theta$ , наведеними в [80] та [54] (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Коефіцієнт впливу зведеної швидкості вітру та коефіцієнти впливу ухилу на швидкість поширювання пожежі за різних значень кута ухилу площини

Кут ухилу площини $\theta$ , градуси	Коефіцієнт впливу зведеної швидкості вітру $k_v^*$ (за $H=3 \text{ м}$ / $H=4 \text{ м}$ )	Коефіцієнт впливу ухилу $k_\theta$ [80]	Коефіцієнт впливу ухилу $k_\theta$ [54]
0	0,99 / 0,99	1,0	1,00
10	1,45 / 1,54	1,2	1,65
15	1,80 / 1,97	1,5	2,51
20	2,28 / 2,59	2,0	3,78
25	2,99 / 3,55	2,5	5,57
30	4,15 / 5,19	4,0	8,00
35	6,23 / 8,28	6,0	11,30
40	10,45 / 15,05	12,0	15,79

За висоти полум'я  $H = 3 \text{ м}$  коефіцієнт кореляції між значеннями, розрахованими за формулами (2.18), (2.19) і (2.21) та наведеними в [80] (табличними), становить 0,99, а стандартне відхилення їх різниць становить 0,65.

За висоти полум'я  $H = 4$  м у такому ж діапазоні значень кутів ухилу  $\theta$  коефіцієнт кореляції між значеннями, розрахованими за формулами (2.18), (2.19), (2.21) та формулою [54] дорівнює

$$k_{\theta} = 1 + 5,275 \cdot \beta^{-0,3} \operatorname{tg}^2 \theta \quad (2.22)$$

де  $\beta$  – відношення густини шару горючого матеріалу до густини самого матеріалу (вважаємо, що  $\beta = 0,01$ ), становить 0,96, а стандартне відхилення їх різниць дорівнює 1,18.

У випадку поширювання пожежі похилою площиною під впливом вітру (див. рис. 2.3в) на швидкість і напрямок поширювання фронту одночасно впливають обидва чинники. Оскільки залежності коефіцієнтів впливу ухилу та зведеної швидкості вітру від кута нахилу площини  $\theta$  в діапазоні від 0 до 40° є близькими між собою, то за одночасного впливу вітру й ухилу останній можна розглядати як додаткове джерело вітру, а тому додавати вектори швидкості вітру  $\vec{v}_B$  та зведеної швидкості впливу вітру  $\vec{v}_{Bp}$ .

Оскільки кожен з цих векторів збільшує лінійну швидкість поширювання фронту пожежі  $v_0$  у відповідному напрямі, то вплив кожного з них описується векторами [67]

$$v_{B\text{eff}} = (k_v - 1)v_0 \frac{\vec{v}_B}{|\vec{v}_B|}, \quad (2.23)$$

$$v_{Bp\text{eff}} = (k_v^* - 1)v_0 \frac{\vec{v}_{Bp}}{|\vec{v}_{Bp}|}, \quad (2.24)$$

співнапрямленими відповідно з векторами  $\vec{v}_B$  і  $\vec{v}_{Bp}$ , де  $k_v$  і  $k_v^*$  – коефіцієнти впливу вітру та ухилу, розраховані за формулами (2.19) і (2.21) з урахуванням (2.18). Тоді фронт пожежі поширюватиметься в напрямку вектора

$$\vec{v}_c = \vec{v}_{B\text{eff}} + \vec{v}_{Bp\text{eff}}, \quad (2.25)$$

який задає напрямок сумарного впливу обох чинників у горизонтальній проекції площини  $\Pi$ . Швидкість поширювання фронту пожежі у напрямку цього вектора в горизонтальній проекції площини  $\Pi$  зросте на величину  $v_c = |\vec{v}_c|$  і дорівнюватиме

$$v_{f0} = v_0 + v_c. \quad (2.26)$$

У векторній формі вектор швидкості поширювання фронту пожежі в горизонтальній проекції площини записується у вигляді [67]

$$\vec{v}_{f0} = \left(1 + \frac{v_0}{|\vec{v}_{Beff} + \vec{v}_{Bpeff}|}\right) (\vec{v}_{Beff} + \vec{v}_{Bpeff}), \quad (2.27)$$

а її модуль

$$v_{f0} = k_p v_0 \left( \sqrt{(k_v - 1)^2 + (k_v^* - 1)^2 + 2(k_v - 1)(k_v^* - 1)\cos\varphi} + 1 \right), \quad (2.28)$$

де  $\varphi$  – кут між векторами  $\vec{v}_B$  та  $\vec{v}_{Bp}$ ,  $k_p$  – поправковий коефіцієнт. Поправковий коефіцієнт визначається за формулою  $k_p = \sum V_B / V_0 \cdot n$ , де  $V_B$  – швидкості вітру, м/с;  $V_0$  – початкова швидкість вітру;  $n$  – кількість значень швидкості. Він встановлюється на підставі експериментальних даних. Швидкість поширювання в напрямках флангів та тилу розраховується з використанням відповідних коефіцієнтів [54, 80]. Проте відповідно до [40] можемо також вважати, що величина модуля швидкості поширювання пожежі в напрямку флангів і тилу збігається із швидкістю  $v_0$ . Внаслідок цього контур пожежі в горизонтальній проекції площини  $\Pi$  за умов однорідного середовища поширювання набуває форми еліпса.

На похилій площині  $\Pi$  напрямок сумарного впливу вітру та ухилу задається вектором  $\vec{v}_c^*$ , який знаходиться у цій площині, а його проекцією на горизонтальну площину є вектор  $\vec{v}_c$ . Тоді напрямок швидкості поширювання фронту пожежі площиною  $\Pi$  збігається з вектором  $\vec{v}_c^*$ , а відповідна швидкість поширювання розраховується за формулою

$$v_f = v_{f0} \sqrt{\frac{\cos^2\varphi}{\cos^2\theta} + \sin^2\varphi}, \quad (2.29)$$

де  $\varphi$  – кут між векторами  $\vec{v}_c$  і  $\vec{v}_{Bp}$ . Швидкість поширювання в напрямках флангів і тилу визначається з урахуванням припущення, що вона дорівнює швидкості  $v_0$  поширювання пожежі горизонтальною поверхнею без впливу ухилу та вітру. Контур пожежі за умови однорідності середовища поширювання в цьому випадку також набуває форми еліпса.

Зауважимо, що у випадку збігу напрямків впливу ухилу та вітру частковим випадком формул (2.28) і (2.29) є відома залежність Rothermel [54].

Перевірку математичної моделі здійснено для даних експериментальних досліджень поширювання пожежі горизонтальною поверхнею і площиною, нахиленою під кутом 5, 15 та 30°, без впливу вітру та з його впливом. Для розрахунку використано визначену експериментально швидкість  $v_0$ . Досліджувався випадок, під час якого напрямок вітру збігався з напрямком дії ухилу. Для випадку поширювання пожежі горизонтальною площиною та під вказаними кутами до горизонту швидкість поширювання, отримана за допомогою математичної моделі, добре узгоджується з результатами експерименту. У випадку дії вітру із швидкостями 0,5; 1; 2; 3 м/с швидкість поширювання горизонтально та під кутом до горизонту також досить точно описується математичною моделлю.

У випадку поширювання пожежі горючим матеріалом на поверхні з рельєфом, описаній функцією (2.1), в околі кожної точки поверхні слід розглядати дотичну площину (2.17), в якій за наведеним методом визначати напрямок і швидкість поширювання фронту пожежі. Таким чином, швидкість поширювання фронту пожежі залежить від ухилу поверхні та вітру і описується математичною моделлю, яка добре узгоджується з результатами експериментальних досліджень (рис. 2.4).

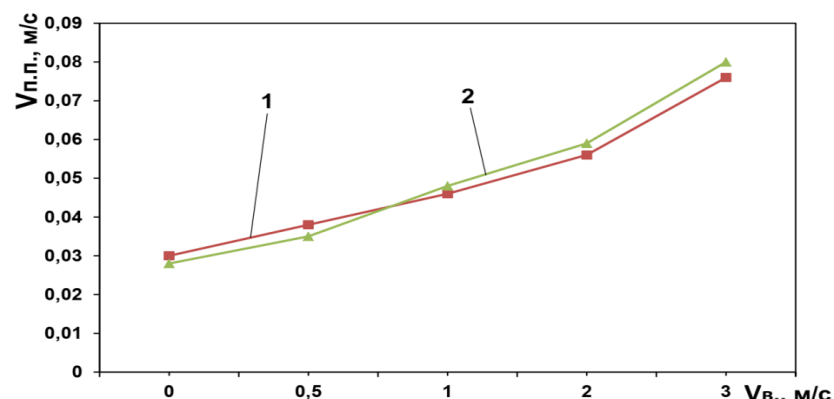


Рисунок 2.4 – Залежність швидкості поширювання полум'я від швидкості вітру на трав'яних покриттях за кута ухилу 15°: 1 – отримана експериментально; 2 – розрахована за допомогою математичної моделі

### 2.3. Методи і чинники математичного планування експериментів та їх вибір

Відомі методи аналізу процесів пожежогасіння, що містять послідовний перебір всіх чинників пожежогасіння і класичний регресійний аналіз, характеризуються рядом принципових вад, тому вони не можуть використовуватися як апарат для отримання математичних моделей, керування і прогнозування процесів пожежогасіння. Використання таких методів призводить до того, що з прийнятих рішень, які приймаються, носять випадковими і не завжди оптимальними.

На теперішній час в багатьох сферах промислового виробництва все ширше застосовують нові математичні методи, які дають змогу отримати математичні моделі, що відображають процеси і об'єкти, та із достатнім ступенем точності і надійності дозволяють керувати ними.

Під час опису впливу основних чинників поширювання полум'я із швидкістю поширювання полум'я, близькі до оптимуму моделі 1-го порядку, переважно непридатні. Тому досить часто доводиться користуватися поліноміальними моделями другого порядку. Однак заздалегідь невідомі ані вид поверхні відгуку, ані області, в яких знаходиться оптимум. Тому для планування експерименту постійно намагаються використовувати плани, які визначають отримання найбільшої інформації за самих найнесприятливіших умов і за відносно невеликої кількості дослідів, тобто оцінюють оптимальність цих планів за різними критеріями.

З'ясовано [88-90], що плани повних факторних експериментів типу  $2^k$ , дробових факторних експериментів типу  $2^{k-p}$  і плани на основі матриць Адамара належать до найбільш ефективних під час побудови лінійних моделей і задовольняють як критеріям ортогональності, симетричності, нормування, рототабельності, так і критеріям D-, G-, A- і E-оптимальності, за яких відповідно мінімізується об'єм еліпсоїда розсіювання оцінок параметрів, максимальне значення дисперсії оцінки поверхні відгуку,



середня дисперсія оцінок коефіцієнтів і максимальне власне значення коваріаційної матриці.

Під час переходу до побудови моделей 2-го порядку вибір оптимальних планів помітно ускладнюється, оскільки ці плани не відповідають одночасно декільком важливим критеріям оптимальності. Наприклад, у разі виконання критерію ортогональності в планах 2-го порядку порушуються вимоги нормування і рототабельності, тобто цей критерій є недостатнім [90]. Більш “сильним” критерієм для планів 2-го порядку є критерій рототабельності, який забезпечує не лише отримання симетричних інформаційних контурів, але і вельми близький до ортогональності і дає змогу мінімізувати систематичні помилки, пов’язані з неадекватним представленням результатів експерименту моделями 2-го порядку.

Тому в кожному конкретному випадку, враховуючи мету і умови експерименту, необхідно сформулювати критерій оптимальності і вибрати для його реалізації такий план, який би найбільш повно відповідають цим вимогам.

З метою дослідження впливу основних чинників поширювання полум’я на швидкість поширювання полум’я і побудови математичних моделей у вигляді поліноміальних залежностей другого порядку доцільно використовувати метод факторного планування із використанням плану  $3^k$  [91]. Оскільки практичне використання факторного експерименту для отримання цих моделей за кількості незалежних змінних  $k \geq 4$  ускладнене через велику кількість дослідів, то запропоновано композиційні плани. Їх отримують на основі додавання до дослідів планів 1-го порядку типу  $2^{k-p}$  ( $k-p \geq 2$  при  $p = 0, 1, \dots$ ) зіркових і нульових точок. У цьому разі загальне число необхідних експериментів ( $N = 2^{k-p} + 2k + n_0$ ) різко зменшується, оскільки переважно приймають  $n_0 = 1$ . Для практичного використання композиційних планів необхідно встановити значення плеча зіркових точок і число нульових точок. Вибір проводиться виходячи із вибраного критерію оптимальності планування.

Перелік чинників [91], що впливають на контрольовані параметри швидкості поширювання полум'я трав'яного покриву, попередньо встановлено на основі аналізу літературних даних. Для різних напрямів експериментальних досліджень остаточний вибір чинників варіювання проводять на підставі їх незалежності, детермінованості та значущості, що встановлювалися згідно з результатами попередніх експериментів. Чинниками, що визначають швидкість поширювання полум'я під час горіння трав'яного покриву, є швидкість вітру  $V_v$ , кут ухилу поверхні  $A$ , висота полум'я  $H$ .

#### **2.4. Планування та опрацювання результатів факторного експерименту**

У роботі експериментальні дослідження проводили згідно з планами матриць факторних експериментів (ФЕ) [92]. ФЕ проводили відповідно до плану №40 [92], а основними параметрами, що впливають на швидкість поширювання полум'я трав'яним покривом, прийнято:  $V$  (швидкість вітру, чинник  $X_1$ ),  $A$  (кут ухилу поверхні, чинник  $X_2$ ) та  $H$  (висота полум'я, чинник  $X_3$ ). Інші чинники незмінні: висота та ширина трав'яного покриву відповідно становлять 0,21 та 0,4 м; довжина трав'яної смуги становить 2 м. Рівні варіювання чинників для ДФЕ типу №40 [92] наведено у таблиці 2.2.

Більшість математичних залежностей, що описують процеси у технічних системах, мають вигляд ступеневих функцій. Не є винятком і пожежна безпека, де встановлюють зв'язки між параметрами оптимізації (геометричними та фізичними параметрами, складовими різних процесів тощо) та характеристиками процесів поширювання полум'я у вигляді цих самих функцій. Тому вважаємо, що для процесу швидкості поширювання полум'я та параметрів, що впливають на нього нелінійні, за чинниками математичні моделі 2-го порядку будуть адекватно описувати зв'язок між

параметрами процесу поширювання полум'я та параметрами оптимізації, зокрема, швидкістю поширювання полум'я на трав'яних покриттях. Після стандартного логарифмічного перетворення ступеневі функції набувають вигляду рівняння регресії, для якої допустимо використовувати матриці планування експериментів:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2, \quad (2.30)$$

де  $Y$  – вибіркова оцінка функції, що вивчається;  $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$  – вибіркові коефіцієнти регресії (оцінки для генеральних значень коефіцієнтів регресії  $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ii}$ );  $X_i, X_j$  – незалежні змінні;  $k$  – загальне число незалежних змінних.

Вибіркові коефіцієнти регресії цієї моделі визначаються з використанням матриці планування і результатів експериментів; матриця нормальних рівнянь плану має бути не виродженою, тобто необхідно, щоби існувала обернена матриця  $(X^*X)^{-1}$ .

Загальне число коефіцієнтів регресії для моделі 2-го порядку виражається як

$$N_k = \frac{(k+1)(k+2)}{2}. \quad (2.31)$$

Під час побудови математичних моделей кількість повторних дослідів вибираємо  $r = 2$  для їх належної відтворюваності. Також на вибір кількості дослідів має вплив працемісткість проведення експериментів, наявність необхідних матеріалів і оброблення результатів.

Результати експериментів опрацьовували згідно з відомою методикою, яка містить статистичний аналіз досліджень [73, 92]. Перевірка гіпотези про адекватність отриманої математичної моделі проводиться за даними матриці планування і результатів з неповторними за умовами рядками із застосуванням критерію Фішера для рівня значимості  $\alpha = 0,05$ . Гіпотеза про значимість множинного коефіцієнта кореляції визначається за F-критерієм.

Рівні варіювання чинників для ФЕ типу №40 [87]

№ з/п	Характеристика чинника	Кодоване позначення	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
			верхній	нижній	
1	Швидкість вітру $V_6$ , м/с	$X_1$	3	0,1	2,9
2	Кут ухилу поверхні $A$ , °	$X_2$	30	1	29
3	Висота полум'я $H$ , м	$X_3$	0,69	0,57	0,12

### 2.5. Дослідно-емпірична залежність для визначення швидкості поширювання полум'я

Параметри швидкості поширювання полум'я на трав'яних покриттях визначають на підставі дослідно-емпіричних залежностей, які характеризують зв'язок основних параметрів поширювання полум'я із швидкістю поширювання полум'я. Швидкість поширювання полум'я залежить від таких чинників як швидкість вітру, кут ухилу рельєфу та висота полум'я, тому ці вищеперелічені чинники істотно впливають на процес поширювання полум'я. Отже, на швидкість поширювання полум'я впливатимуть: швидкість вітру  $V_6$ , кут ухилу поверхні  $A$ , висота полум'я  $H$ . Взаємний вплив параметрів процесу поширювання полум'я через складність теоретичного прогнозування процесів горіння доцільно досліджувати експериментально.

Вплив параметрів процесу поширювання полум'я на трав'яних покриттях на швидкість поширювання полум'я досліджували згідно з матрицями планів, складених на підставі теорії планування багатофакторних експериментів. Ця теорія дає змогу відобразити фізичний процес відповідною статистично-математичною залежністю, а у разі застосування статистичних процедур оброблення даних – належним регресійним рівнянням. Під час поширювання полум'я на трав'яних покриттях контролювали такий параметр як швидкість поширювання полум'я  $V_{n.n.}$  за

різного впливу відповідних параметрів. За параметри процесу поширювання полум'я прийнято швидкість вітру  $V_e$ , кут ухилу поверхні  $A$ , висоту полум'я  $H$ . Інші чинники стабілізовані – висота та ширина трав'яного покриву відповідно становлять 0,21 та 0,4 м; довжина трав'яної смуги становить 2 м. На підставі експериментальних досліджень для процесу поширювання полум'я прийнято такі межі зміни чинників –  $V_e = 0,1 - 3$  м/с;  $A = 1 - 30^\circ$ ;  $C = 0,57 - 0,69$  м.

Матриця планування дробового багатофакторного експерименту і визначені значення швидкості поширювання полум'я, отримані для горіння трав'яного покриву, наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Матриця плану

№	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$Y_i^1$	$Y_i^2$	$\bar{Y}_i^{1,2}$
	$x_0$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{23}$			
1	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-2,0458	-1,9586	-2,0
2	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-1,9571	-1,8845	-1,9208
3	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-1,8850	-1,8228	-1,8539
4	+	+	0	+	-	0	+	0	-	0	-1,8231	-1,7687	-1,7959
5	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-1,7204	-1,6776	-1,6990
6	+	+	+	0	-	+	0	-	0	0	-1,9193	-1,8529	-1,8861
7	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-1,8231	-1,7687	-1,7959
8	+	0	+	+	0	-	+	0	0	-	-1,7441	-1,6983	-1,7212
9	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,6379	-1,6017	-1,6198
10	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,5225	-1,4947	-1,5086
11	+	0	+	+	0	+	-	0	0	-	-1,5374	-1,5084	-1,5229
12	+	0	+	+	0	+	+	0	0	+	-1,4317	-1,4087	-1,4202
13	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-1,3466	-1,3278	-1,3372
14	+	+	+	0	+	-	0	-	0	0	-1,2596	-1,2441	-1,2518
15	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-1,1249	-1,1135	-1,1192
16	+	+	0	+	+	0	-	0	-	0	-1,1427	-1,1307	-1,1367
17	+	+	0	+	+	0	+	0	+	0	-1,0915	-1,0809	-1,0862
18	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-1,0267	-1,0087	-1,0177
19	+	+	+	0	+	+	0	+	0	0	-0,9469	-0,9317	-0,9393
20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-0,8538	-0,8356	-0,8447
	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$B_0$	$\Sigma \bar{Y}_i^{1,2} = -29,4771$		
	$b_0$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$			

Обробку результатів експериментальних досліджень проводили згідно з викладеною у загальноприйнятій методиці [91]. Математичні залежності у кодованих змінних для визначення швидкості поширювання полум'я після перевірки однорідності дисперсій, відтворюваності у дослідах за критерієм Кохрена, значущості коефіцієнтів регресій за допомогою критерію Стюдента та адекватності математичних моделей у разі застосування критерію Фішера мають вигляд:

$$Y_{V_{n.n.}} = -1,4739 - 1,0842 \cdot x_1^2 - 1,1165 \cdot x_2^2 - 1,1136 \cdot x_3^2 + 0,2109 \cdot x_1 + 0,0046 \cdot x_2 - 0,0509 \cdot x_3 + 0,0256 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,0134 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,0192 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (2.32)$$

На підставі аналізу результатів дисперсійного аналізу за величиною та знаком коефіцієнтів регресії із математичної залежності (2.32) можна зробити такий висновок: на швидкість поширювання полум'я найбільший вплив має швидкість вітру (чинник  $x_1$ ) та висота полум'я (чинник  $x_3$ ). Найбільш впливовою є взаємодія чинників  $x_1 \cdot x_2$ , після неї взаємодія  $x_2 \cdot x_3$ . Збільшення величини цих чинників до значень, що наближаються до максимальних, забезпечує найвищу швидкість поширювання полум'я на трав'яному покриві. Порушення взаємозв'язку між цими чинниками різко зменшує швидкість поширювання полум'я.

У натуральних змінних математичні залежності для відображення змін швидкості поширювання полум'я мають вигляд:

$$\begin{aligned} \lg V_{n.n.} = & -1,4739 - 1,0842 (1,35 \lg V_{\text{в.}} + 0,35)^2 - 1,1165 (1,35 \lg A - 1)^2 - 1,1136 \times \\ & \times (24,10 \lg H + 4,88)^2 + 0,2109 (1,35 \lg V_{\text{в.}} + 0,35) + 0,0046 (1,35 \lg A - 1) - \\ & - 0,0509 (24,10 \lg H + 4,88) + 0,0256 (1,35 \lg V_{\text{в.}} + 0,35) \cdot (1,35 \lg A - 1) + 0,0134 \times \\ & \times (1,35 \lg V_{\text{в.}} + 0,35) \cdot (24,10 \lg H + 4,88) - 0,0192 \cdot (1,35 \lg A - 1) \cdot (24,10 \lg H + 4,88) \\ & V_{n.n.} = 10^{\lg V_{n.n.}} \end{aligned} \quad (2.33)$$

На підставі аналізу даних експериментальних досліджень, тобто рівняння регресії і графічних залежностей, можна зробити такі висновки. Для зменшення швидкості поширювання полум'я трав'яним покривом необхідно створити пінні загороджувальні смуги та бар'єри, які дадуть змогу зменшити вплив швидкості вітру, кута ухилу та висоти полум'я. Полегшити це

завдання дає змогу побудована дослідно-емпірична залежність. За її допомогою можна легко визначити швидкість поширювання полум'я трав'яним покривом та спрогнозувати, на якій відстані створювати загороджувальні смуги та бар'єри. Ця залежність справедлива не лише для досліджуваного трав'яного покриву, але і для подібних трав'яних покривів із відповідними властивостями.

## 2.6. Висновки за розділом

1. Проведено експериментальні дослідження та обґрунтовано необхідність застосування коефіцієнта поправки на характер рельєфу місцевості в математичній моделі, що описує поширювання пожежі трав'яним покривом. Встановлено, що ця модель адекватно описує залежність швидкості поширювання фронту пожежі від ухилу поверхні та вітру, зокрема, за різних ухилів та швидкості вітру.

2. За результатами аналітичних та експериментальних досліджень побудовано дослідно-емпіричну залежність для визначення швидкості поширювання полум'я залежно від швидкості вітру, кута ухилу поверхні та висоти полум'я, яка дає змогу більш обґрунтовано вибирати відстань для створення загороджувальних смуг та бар'єрів.

3. Встановлено мінімальну кількість дослідів, необхідну для оцінювання впливу чинників на процес поширювання пожежі трав'яним масивом. Виявлено, що найбільший вплив чинять швидкість вітру, а також взаємодія між швидкістю вітру і кутом ухилу поверхні.

4. На підставі розрахунку даних експериментальної та теоретичної кривих процесу поширювання пожежі залежно від впливу вітру, кута ухилу поверхні та коефіцієнта спільної дії цих показників встановлено, що адекватність розробленої математичної моделі становить 84 %.

## РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1. Методика дослідження впливу чинників на розвиток низових пожеж в екосистемах “травя-торф”

Для дослідження впливу чинників на розвиток низових пожеж трав'яного покриву розроблено спеціальну установку. Вона складається (рис. 3.1) з таких частин: 1 – платформа; 2 – стійки, що дають змогу регулювати кут нахилу; 3 – боковини, що утримують шар трав'яного покриву; 4 – трав'яний покрив; 5 – жолоб з горючим матеріалом для запалювання трав'яного покриву; L – довжина основи; B – ширина основи. Довжина основи L становить 2 м, а ширина основи B – 1 м. Ця установка дає змогу створювати умови поширювання полум'я під кутами нахилу A, який набуває значень : 0, 5, 15 та 30°, що імітує похилі поверхні під такими кутами в реальних умовах. Дослідження проводили таким чином.

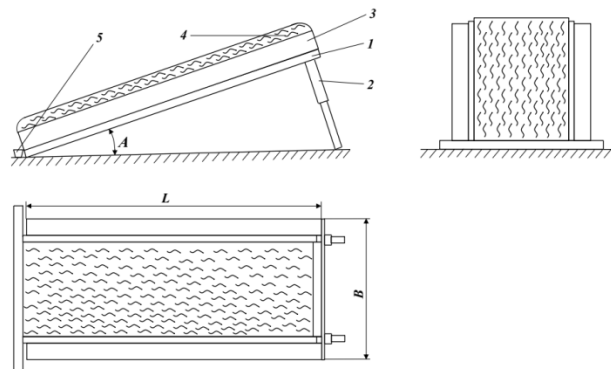


Рисунок 3.1 – Установка для створення умов поширювання полум'я по похилих трав'яних покривах: 1 – платформа; 2 – стійки, що дають змогу регулювати кут нахилу A; 3 – боковини, що утримують шар трав'яного покриву; 4 – трав'яний покрив; 5 – жолоб з горючим паливом для запалювання трав'яного покриву; L – довжина основи; B – ширина основи





Рисунок 3.2 – Загальний вигляд установки для створення умов поширювання полум'я на трав'яних покриттях

На платформі 1 створювали трав'яну смугу 4 довжиною 2 м, шириною 40 см та висотою 21 см. Перед цим попередньо виставляли кут ухилу за допомогою регульованих стійок 2 відповідної величини та встановлювали боковини 3 для утримування шару трав'яного покриття відповідної ширини. Боковини виготовлялися з негорючого матеріалу. Після укладання сухого трав'яного покриття 4 в жолобі 5 з попередньо приготованим горючим матеріалом на основі дерев'яної тирси, просоченої сумішшю бензину та дизельного палива, його запалювали. Як горючий матеріал використовували суміш з 500 г дерев'яної стружки, 50 мл бензину А-92 та 100 мл дизельного палива.

Від запаленого полум'я в жолобі 5 загоряється трав'яний покрив 4, який горить до повного або часткового вигорання у разі створення пінних загороджувальних смуг. Загальний вигляд установки для створення умов поширювання полум'я на трав'яних покриттях показано на рис. 3.2. Для проведення досліджень використовувалося таке обладнання: вимірювач температури РТ 0102-8 з програмним забезпеченням для ЕОМ,

термоперетворювач ТХА діаметром 0,5 мм з діапазоном вимірювання від  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; вимірювач теплового потоку ВТП-01 з діапазоном вимірювання від  $0,1\text{ кВт/м}^2$  до  $50\text{ кВт/м}^2$ ; пірометр “Смотрич 4ПМ1” для безконтактного вимірювання температури в діапазоні від  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; анемометр НР-866В для вимірювання швидкості вітру в діапазоні від 0 до 30 м/с за температур від  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Похибка вимірювань анемометром НР-866В становить 0,1 м/с. Для досліджень використовували висушену траву, яка мала вологість 10 %. Тривалість горіння трав'яного покриву визначали секундоміром. Для імітації впливу вітру із швидкостями 0,5; 1; 2; 3 м/с використовувався вентилятор (рис. 3.3), який нагнітав повітря у напрямку поширювання полум'я. Швидкість обертання лопатей вентилятора змінювали регулятором швидкості. Для забезпечення сталої швидкості потоку, створеного вентилятором, його переміщали синхронно з переміщенням полум'я.



Рис. 3.3. Вентилятор ВН-2В

Вентилятори ВН-2В – вологостійкі, призначені для подавання охолоджувального повітря. Їх спеціально встановлюють разом з різними вузлами, що нагріваються в процесі роботи – силові трансформатори, дроселі, конденсаторні радіатори, діодні мости. Також з цими вентиляторами працюють електронні пристрої і блоки, інша радіоапаратура, блоки керування, верстати з комп'ютерними системами керування. Вентилятори ВН-2В (табл. 3.1) також встановлюють у системах вентиляції суспільних,

побутових і офісних приміщень, зокрема санвузлів і ванних кімнат як у житлових, так і в інших будинках.

Таблиця 3.1

## Технічні характеристики вентилятора ВН-2В

№ з/п	Найменування показника	Значення
1	Країна-виробник	Україна
2	Продуктивність (куб. м/год)	144,0
3	Швидкість обертання (об/хв)	2200,0
4	Максимальний робочий тиск (Па)	0,0
5	Споживана потужність (кВт)	0,018
6	Напруга мережі, В	220~240
7	Частота струму (Гц)	60
8	Ступінь захисту IP	54
9	Максимальна температура навколишнього середовища (°C)	60,0
10	Мінімальна температура навколишнього середовища (°C)	20,0
11	Вага (кг)	0,53
12	Габаритні розміри :	
	ширина (мм)	130,0
	довжина (мм)	130,0
	висота (мм)	38,5
13	Швидкість потоку повітря на віддалі:	
14	10 см (м/с)	4,7-4,9
15	15 см (м/с)	3,5-3,7
16	30 см (м/с)	3,2-3,5
17	50 см (м/с)	2,9-3,0

Корпус вентилятора виготовлений з алюмінієвого сплаву. Лопаті – пластикові, тому дуже легкі, а також не схильні до корозії. Додатково завдяки легкості лопатей забезпечується висока ефективність роботи вентилятора, з високими аеродинамічними характеристиками. Лопаті також не передають навантаження на двигун вентилятора. Крильчатка вентилятора обертається проти годинникової стрілки, тобто вентилятор – лівосторонній.

### 3.1.1. Результати досліджень чинників, які мають вплив на низові пожежі в екосистемах, що утворені трав'яними покриттями

В лабораторних умовах вивчали вплив поширювання полум'я на трав'яних покриттях залежно від швидкості вітру, топографії, тобто ухилу пагорба, параметрів пінної загороджувальної смуги, а саме її ширини та висоти. Досліджено поширювання полум'я на трав'яному покритті (рис. 3.4) за кутів нахилу  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $15^\circ$  та  $30^\circ$  (криві 1, 2, 3 та 4) та швидкостей вітру від 0 до 3 м/с. З цього графіка видно, що із збільшенням кута ухилу трав'яного покриття швидкість поширювання полум'я зростає, причому із зростанням кута інтенсивність її зростає з певним приростом. Аналогічний вплив спричиняє швидкість вітру, причому її зростання інтенсифікує процес поширювання полум'я. Зростання швидкості вітру та його напрямку призводить до підвищення швидкості поширювання полум'я із найбільшим приростом.

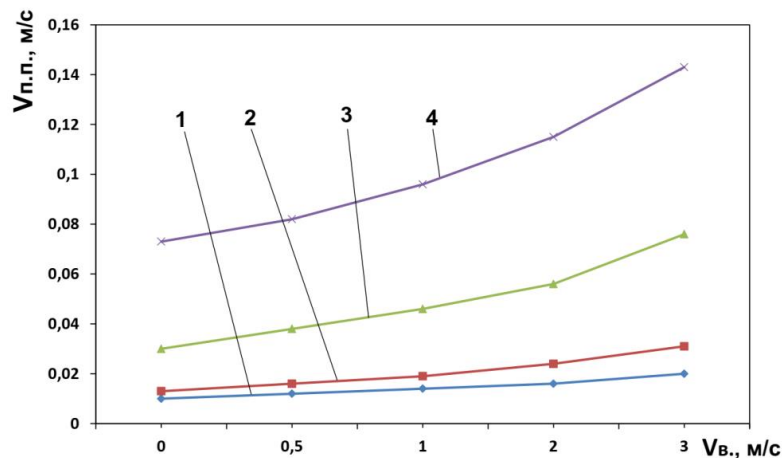


Рисунок 3.4 – Залежність швидкості поширювання полум'я від швидкості вітру на трав'яних покриттях при кутах ухилу: 1 –  $0^\circ$ ; 2 –  $5^\circ$ ; 3 –  $15^\circ$ ; 4 –  $30^\circ$

Суттєвий інтерес являє вивчення температурного режиму горіння трав'яного покриття за впливу різних чинників, зокрема кута ухилу поверхні та швидкості вітру, вологості, температури навколишнього середовища. Показано, що температура полум'я за найсприятливіших умов для горіння, виміряна термопарами та пірометром, відповідно, становить  $674^\circ\text{C}$  ( $947\text{ K}$ )

та 647 °С (920 К), причому ці значення є максимальними під час усього процесу горіння досліджуваної трав'яної смуги. Як видно, два різні прилади дають приблизно однакову максимальну температуру полум'я, у цьому разі відмінність між їх показами становить лише 27 °С. Крім того, під час горіння трав'яного покриву за максимальної температури полум'я на відстані 50 см був зафіксовано тепловий потік величиною 19,74 кВт/м<sup>2</sup>.

### **3.2. Методика для визначення параметрів пінних загороджувальних смуг прокладених з використанням робочих розчинів піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі «Барс S-2»)**

Пінні загороджувальні смуги прокладали з використанням робочого розчину піноутворювача для гасіння пожеж «Барс S-2», що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю, який подавали піногенератором під тиском 0,6 МПа. Основні технічні дані наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Основні технічні дані піноутворювача підвищеної стійкості для гасіння пожеж «Барс S-2»

№ з/п	Назва показника якості, розмірність	Норма за НД	Результати контролю
1	2	3	4
1	Масова частка осаду, %, не більше	0,25 без термодії; 1,00 після термодії	Без осаду
2	Кінематична в'язкість за 20 °С, мм <sup>2</sup> /с, не більше	50	7,25
3	Водневий показник (рН)	Від 6,5 до 10,0	7,32
4	Температура застигання, °С, не нижче	-10	-11
5	Густина, кг/м <sup>3</sup>	1000-1150	1038
6	Концентрація робочого розчину, % (об)	6	

1	2	3	4
7	Концентрація змочувального розчину, % (об)	0,5-1	
8	Корозійна активність, кг/(м <sup>2</sup> ·год)	Не більше 2·10 <sup>-8</sup>	
9	Стійкість до заморожування і розморожування	стійкий	стійкий
10	Кратність піни низької кратності, що утворюється з робочого розчину	20	20
11	Стійкість піни низької кратності, одержаної з робочого розчину, с, не менше	150	150
12	Кратність піни середньої кратності, що утворюється з робочого розчину	70	71
13	Стійкість піни середньої кратності, одержаної з робочого розчину, с, не менше	200	306
14	Кратність піни високої кратності, що утворюється з робочого розчину	600	600
15	Стійкість піни високої кратності, одержаної з робочого розчину, с, не менше	200	200
16	Тривалість гасіння піною середньої кратності модельного вогнища пожежі 55В1 за інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача (0,038÷0,004) дм <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с), с, не більше	120	80,4
17	Показник вогнегасної здатності за класом пожежі В (підклас В1), кг/м <sup>2</sup> , не більше	5,1	3,1
18	Показник вогнегасної здатності за класом пожежі А, кг/м <sup>2</sup> , не більше	0,7	0,65
19	Критична інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача під час гасіння піною середньої кратності, дм <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с), не більше	0,042	0,039
20	Показник змочувальної здатності змочувального розчину, с	Не більше 8	6
21	Температурний діапазон застосування, °С	Від 0 до 50	Від 0 до 50

У цих дослідженнях оцінювалася придатність робочого розчину піноутворювача для гасіння пожеж “Барс S-2”, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю, для нанесення загороджувальних смуг на

трав'яних покривах. Через двадцять хвилин після нанесення піни у вигляді загороджувальної смуги різної висоти та ширини здійснювали запалювання і спостерігали за поширюванням вогню. Вимірювали проміжок часу, за який загороджувальна смуга зупиняла поширювання полум'я, і проміжок часу, на який вона затримувала його перекидання.

Для нанесення пінних загороджувальних смуг в екосистемах, що утворені трав'яними покривами, використовувалися пожежна автоцистерна АЦ-40(43291) моделі 63Б.02, ствол повітряно-пінний (СПП), ручний комбінований ствол ПРОТЕК 366 з пінною насадкою середньої кратності, генератор піни середньої кратності ГПС-600 та віяловий розпилювач РВ-12. Для нанесення пінної загороджувальної смуги віяловий розпилювач РВ-12 встановлювався на насос автоцистерни АЦ-40(43291) моделі 63Б.02. Пінна загороджувальна смуга наносилася автоцистерною АЦ-40(43291) моделі 63Б.02 під час руху із швидкістю 10, 15, 20, 25, 30 і 35 км/год для визначення її висоти. Рух автомобіля має відбуватися на низьких передачах (1 або 2) для створення необхідного тиску 0,35...0,45 МПа.

### **3.2.1 Експериментальні дослідження піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі “Барс S-2”) для створення пінних загороджувальних смуг поширюванню низових пожеж в екосистемах утворених трав'яними покривами**

Для створення перешкод поширенню вогню трав'яними смугами прокладали пінні загороджувальні смуги з використанням робочого розчину піноутворювача для гасіння пожеж “Барс S-2”, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (рис. 3.5), різної висоти та ширини. Для їх дослідження було проведено ряд дослідів з визначення ефективних параметрів пінних загороджувальних смуг, прокладених з використанням робочого розчину піноутворювача для гасіння пожеж “Барс S-2”, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю.



Рисунок 3.5 – Поширювання вогню експериментальною трав'яною смугою та пінна загороджувальна смуга, нанесена з використанням робочого розчину піноутворювача для гасіння пожеж “Барс S-2”, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю

Ці дослідження, як вже зазначалось вище, проводилися за найсприятливіших умов для поширювання полум'я. Для початку було проведено дослідження стійкості піни на сухому трав'яному покриві у природних умовах за температури навколишнього середовища 22 °С у сонячний день. Піну наносили різною висотою у трьох відокремлених секціях (рис. 3.6а) на створений трав'яний покрив висотами 10, 15 та 20 см.



Рисунок 3.6а – Піна нанесена висотами 10, 15 та 20 см в трьох різних секціях

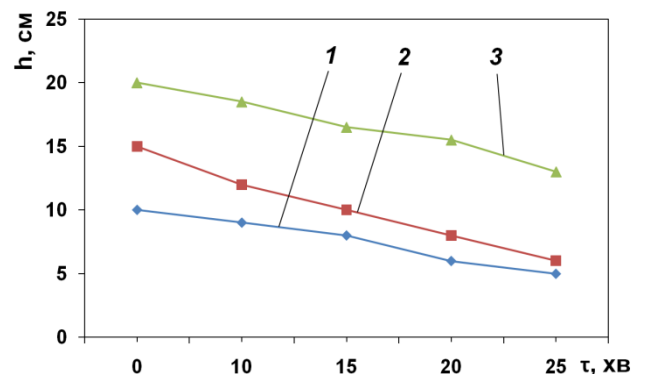


Рисунок 3.6б – Залежність стійкості піни від висоти нанесення та часу: 1 – 10; 2 – 15; 3 – 20 см



Після цього через 10, 15, 20 та 25 хвилин визначали на скільки зменшиться висота піни, отриманої з робочого розчину піноутворювача “Барс S-2”. Отримані залежності показують, що висота піни поступово знижується кожних 5 хвилин в основному на однакову висоту з плином часу. Проте, на окремих ділянках висота піни зменшується то швидше, то повільніше. Загалом що товщий шар піни нанесено, то довше вона буде триматися на у трав’яному покриві. Це дає змогу більш повно забезпечити проникнення змочувальників трав’яний покрив, що в свою чергу буде краще запобігати загорянню горючого матеріалу. Однак, значна висота пінної загороджувальної смуги, вочевидь, не зможе забезпечити достатнього захисту без необхідної ширини цієї смуги за найсприятливіших умов для горіння трав’яного покриву. Тому необхідно дослідити якої ширини смуги дадуть змогу запобігти перекиданню вогню на сусідню ділянку. Для проведення відповідних досліджень забезпечували найсприятливіші умови поширювання полум’я на трав’яному покриві. Проводили експериментальні дослідження за різної ширини пінних загороджувальних смуг висотою 20 см, а саме: 10, 25, 40 та 55 см. Під час проведення досліджень зі смугою шириною 10 см та її витримкою після нанесення упродовж 15 хв з подальшим підпалюванням виявлено, що вона стримала поширювання полум’я, проте через 1,5 хв наставав прорив полум’я на трав’яний покрив за загороджувальною смугою.

Під час проведення аналогічного досліді із смугою шириною 25 см виявлено прорив через 5 хв. За ширини смуги 40 см явного прориву полум’я не відбулося, однак деякі горючі частинки під впливом повітряного потоку швидкістю 3 м/с перелетіли на трав’яний покрив. Це може становити загрозу за більш сприятливих умов горіння. Тому було проведено дослідження зі смугою шириною 55 см, де перелітання окремих горючих частинок зафіксовано не було. Для запобігання та стримування таких пожеж запропоновано наносити загороджувальні смуги висотою 20 см з використанням робочого розчину піноутворювача загального призначення для гасіння пожеж “Барс S-2”, що забезпечує генерування піни підвищеної стійкості, за висоти трав’яного

покриву 21 см у лабораторних умовах. Ефективність такої пінної загороджувальної смуги підтверджено лабораторними дослідженнями. Такий результат забезпечується наявністю в піноутворювачі поверхнево активних речовин, що підвищують змочувальну здатність та утримування на трав'яному покриві. Зрозуміло, що в природних умовах висота трав'яного покриву може бути різною і це буде потребувати нанесення загороджувальної смуги із піни також співрозмірної висоти. Також ширина смуги буде залежати від напряму від висоти трави, топографії місцевості, погодних умов (особливо вітру). Під час лабораторних досліджень помічено, що ширина загороджувальної смуги, нанесеної з використанням робочого розчину піноутворювача для гасіння пожеж "Барс S-2", що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю, має дуже велике значення, оскільки від цього буде залежати ефективність поширювання та гасіння полум'я трав'яного покриву. В лабораторних умовах встановлено, що загороджувальна смуга шириною 55 см ефективно запобігає розповсюдженню полум'я за найсприятливіших умов для його поширювання.

Однак застосування таких смуг на практиці потребує швидкого їх прокладання за допомогою пожежних автоцистерн та відповідних стволів. З експериментальних досліджень встановлено, що найкращим співвідношенням висоти пінної загороджувальної смуги та її ширини є 1:3. Проте висота пінної загороджувальної смуги має менший вплив на процес стримування полум'я, ніж її ширина. Тому ширину такої смуги необхідно обирати з урахуванням рельєфу місцевості, швидкості вітру, висоти полум'я та конвекційних потоків. Співвідношення між висотою трав'яного покриву та шириною пінної загороджувальної смуги має бути не менше ніж 1 до 3 із урахуванням швидкості вітру і вологості трави.

Із збільшенням висоти трав'яного покриву з 21 до 60 см ширину смуги також необхідно збільшити у 3 рази. Збільшення визначеної експериментально ширини 55 см утричі відповідає 165 см. Висота смуги також має зрости до 50-60 см. Для орієнтовного розрахунку ширини смуги можна запропонувати таку залежність

$$B = B_6 \times k_v \times k_\theta, \quad (3.1)$$

де  $B_6$  – базова ширина смуги, визначена для середньої висоти трави 60 см;  $k_v$  – коефіцієнт впливу зведеної швидкості вітру;  $k_\theta$  – коефіцієнт впливу ухилу. Значення коефіцієнтів  $k_v$  та  $k_\theta$  необхідно приймати як менші значення з таблиці 2.1 розділу 2.

Для нанесення загороджувальних смуг з піни високої стійкості (рис. 3.7) доцільно використовувати стволи СПП, ручний комбінований ствол Protek 366 з пінними насадками та ГПС-600. Для порівняння їх ефективності було проведено ряд експериментальних досліджень, де були нанесені прототипи загороджувальних смуг (рис. 3.8).



а



б

Рисунок 3.7 – Процес нанесення загороджувальних смуг із піни таким обладнанням: а – СПП; б – ГПС-600



а



б

Рисунок 3.8 – Прототип нанесених загороджувальних смуг із піни таким обладнанням: а – СПП; б – ГПС-600

У процесі цих досліджень виявлено, що ствол СПП забезпечує висоту загороджувальної смуги в межах 10-20 см, Protek 366 – 18-30 см, а ГПС-600 – відповідно 40-50 см. Порівняння їх щодо забезпечення висоти (рис. 3.9) показало більшу ефективність ствола ГПС-600. Цей ствол забезпечує продуктивність за піною 600 л/с (за кратності піни 100), витрату піноутворювача 4,8 – 6,0 л/с за тиску 0,4 – 0,6 МПа та дальність подавання піни не менше 10 м. Єдина перевага ствола СПП у цьому випадку – це можливість подавати струмінь піни на відстань не менше 28 м.

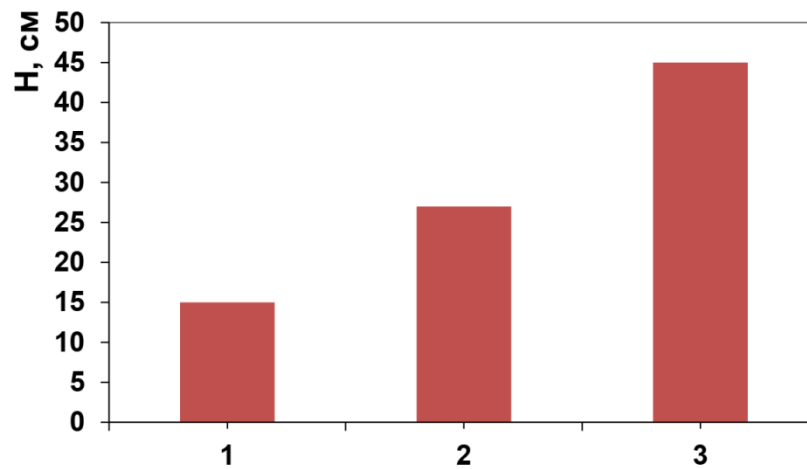


Рисунок 3.9 – Висота пінних загороджувальних смуг із піноутворювача високої стійкості “Барс S-2” нанесених такими стволами: 1 – СПП; 2 – Protek 366; 3 – ГПС

Крім того, для нанесення пінних загороджувальних смуг з використанням робочого розчину піноутворювача “Барс S-2”, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю, може здійснюватися пожежними автоцистернами на відкритій місцевості, де це дають змогу відповідні умови. Для цього було проведено експериментальне дослідження з нанесення таких смуг пожежною автоцистерною за допомогою насадки, закріпленої на насосі (рис. 3.10). Встановлено, що за один прохід автомобіль наносить загороджувальну смугу шириною 6 м, а за два проходи ширина такої смуги збільшується до 12 м. Також було вивчено вплив швидкості руху автомобіля на висоту загороджувальної смуги. Встановлено, що оптимальні значення

швидкості руху пожежної автоцистерни під час нанесення загороджувальної смуги з використанням робочого розчину піноутворювача “Барс S-2”, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (рис. 3.11), знаходяться в межах 20 – 30 км/год. Це видно із графічної залежності (рис. 3.11), де висота пінної загороджувальної смуги із змінюванням швидкості від 10 км/год до 20 км/год досить істотно зростає (з 5,2 см до 9,2 см).



Рисунок 3.10 –Пінна загороджувальна смуга, нанесена з використанням робочого розчину піноутворювача “Барс S-2”, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю пожежною автоцистерною

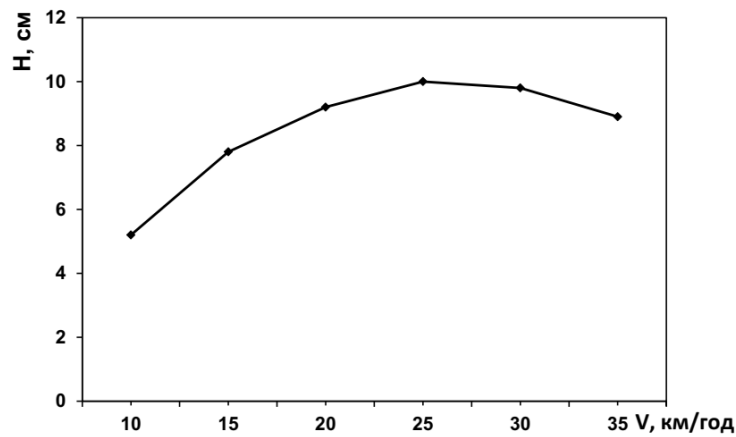


Рисунок 3.11 – Залежність висоти пінної загороджувальної смуги, нанесеної з використанням робочого розчину піноутворювача “Барс S-2”, від швидкості руху пожежної автоцистерни

В межах від 20 до 30 км/год висота шару піни практично не змінюється (від 9,2 см до 10 см), а потім поступово починає знижуватися. Цей спосіб нанесення пінних загороджувальних смуг є дуже високопродуктивним, тому ним потрібно користуватися в усіх випадках, коли такої висоти достатньо та умови місцевості забезпечують таку можливість, адже швидкість нанесення пінних загороджувальних смуг має велике значення для зупинення та гасіння пожеж травостою в екосистемах, оскільки вони мають високу швидкість поширювання. Дослід проводили таким чином:

1. Приєднували перехідник із стволем “А” із скрученою насадкою і на це місце вкручували насадку РВ-12.

2. Попередньо стрілку стаціонарного пінозмішувача встановлювали на поділку “1”. За 5 м до місця нанесення смуги відкривали вентиль на насосі для подавання водного розчину піноутворювача. Кількість обертів на тахометрі становила приблизно 1500 об/хв, що відповідає тиску на насосі 0,4 МПа.

### **3.2.2. Визначення стійкості піни підвищеної стійкості до дії теплового випромінювання на пожежі**

Для дослідження впливу теплового випромінювання на стійкість нанесеної пінної смуги розроблено спеціальну установку. Установка складається (рис. 3.12) з таких частин:



1 – джерело теплового випромінювання; 2 – скляна посудина з негорючого матеріалу для наповнення піною, діаметром 58 см, розміщена на платформі

Ця установка дає змогу створювати умови теплового випромінювання на різних відстанях, а саме 50, 75 та 100 см, що імітує різні значення випромінювання теплових потоків. Дослідження проводили таким чином.

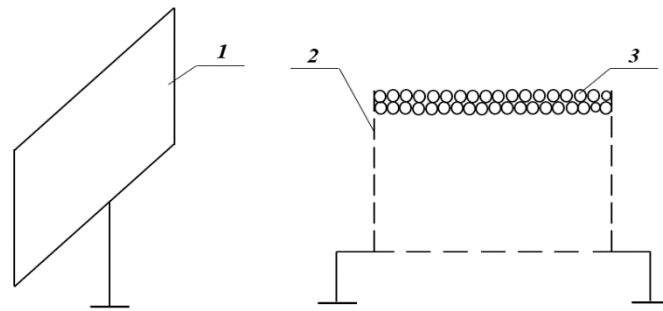


Рисунок 3.12 – Установка для дослідження впливу теплового випромінювання на стійкість нанесеної пінної смуги: 1 – радіаційна електрична панель; 2 – скляна ємність з негорючого матеріалу на платформі; 3 – повітряно-механічна піна



Рисунок 3.13 – Загальний вигляд установки для дослідження впливу теплового випромінювання на стійкість нанесеної пінної смуги

Встановлено, що горіння трав'яного покриву забезпечує тепловий потік близько  $19,74 \text{ кВт/м}^2$ . Для визначення теплового потоку під час проведення досліджень використовувався вимірювач теплового потоку ВТП-01 з діапазоном вимірювання від  $0,1 \text{ кВт/м}^2$  до  $50 \text{ кВт/м}^2$ . Під час проведення замірів теплового потоку на відстанях 50, 75 та 100 см було визначено, що для досягнення потрібної величини  $19,74 \text{ кВт/м}^2$  посудину з піною потрібно розташувати на відстані 50 см від радіаційної панелі, де тепловий потік становить  $20 \text{ кВт/м}^2$ .

На платформі встановлювали скляну посудину висотою 7 см і діаметром 58 см на відстані 50 см від джерела тепла. Після чого за допомогою портативного пристрою для пінозмішування UPRIM (рис. 3.14) заповнювали скляну посудину повітряно-механічною піною на 2 см вище рівня висоти і вмикали радіаційну електричну панель (рис. 3.15). Стійкість нанесеної повітряно-механічної піни визначали секундоміром.



Рисунок 3.15 – Портативний пристрій для пінозмішування UPRIM.

Таблиця 3.3

Технічні характеристики портативного пристрою для пінозмішування UPRIM.

№ з/п	Назва показника та його величина	Значення
1	2	3
1	Продуктивність	60 л/хв
2	Робочий тиск	0,3-1 МПа
3	Дозування піноутворювача	1%, 3%, 6%



1	2	3
4	Об'єм	10 л
5	Відстань подачі ПМП	форсунка ВФ – 4 - 9 м форсунка МФ – 3 - 6 м
6	Маса	форсунка ВФ – 3.25 кг форсунка МФ – 3.55 кг



Рисунок 3.15 – Радіаційна електрична панель з потужністю теплового випромінювання  $20 \text{ кВт/м}^2$ .

Таблиця 3.4

Проміжок часу існування піни під дією теплового потоку

№ з/п	Тепловий потік $Q$ , $\text{кВт/м}^2$	Час існування піни $\tau$ , хв.	Висота шару піни на відстані 50 см від джерела теплового випромінювання, см	Висота шару піни на відстані 70 см від джерела теплового випромінювання, см
1	20	1	8,5	9
2	20	2	6,5	8
3	20	3	4	7
4	20	4	0	4
5	20	5	-	1

Дослідженням було встановлено, що протягом першої хвилини дії теплового потоку  $20 \text{ кВт/м}^2$  руйнування повітряно-механічної піни не спостерігається, але починаючи з другої хвилини на відстані 50 см від джерела теплового потоку спостерігається руйнування повітряно-механічної піни, а на відстані 70 см руйнування незначні. В ході проведення дослідження визначено, що повне руйнування повітряно-механічної піни на відстані 50 см від джерела випромінювання відбувається через 4 хвилини, а на відстані 70 см через 5 хв (рис. 3.16).

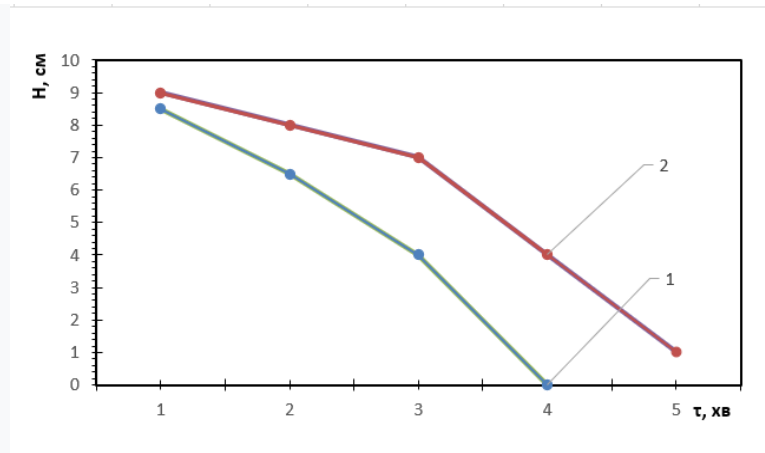


Рисунок 3.16 – Залежність проміжку часу існування піни від відстані до джерела теплового випромінювання: 1 – відстань 50 см°; 2 – відстань 70 см°

### **3.3. Методика дослідження тактико-технічних характеристик спеціального пожежного ствола, термогравіметричний метод аналізу, визначення самозаймання**

Для досліджень використовували пожежну автоцистерну АЦ-40(131)137А, дослідний зразок спеціального пожежного ствола для гасіння підземних пожеж, колонку пожежну КПА, пожежний гідрант, ваги, штангенциркуль, рулетку, воду і секундомір.

Дослідження проводили таким чином. Спочатку наповнювали пожежну автоцистерну АЦ-40(131)137А повністю з пожежного гідранта за допомогою колонки пожежної КПА водою. Після цього пожежний рукав одним кінцем під'єднали до автоцистерни, а другим до спеціального пожежного ствола, який був розташований на певній відстані. Тривалість подавання води фіксували секундоміром. Подавання води до ствола проводили за тисків 0,4 та 0,7 МПа. За кожного з тисків проводили по три досліди та усереднювали їх значення.

До найбільш поширених термічних методів аналізу належать термогравіметричний (ТГ) та диференційно-термічний методи (ДТ). Термогравіметрія (ТГ) – це один з різновидів термічного аналізу, який ґрунтується на реєструванні зміни маси досліджуваного зразка залежно від

температури. Цим методом оцінюють термічну стабільність речовини та можливий механізм її розкладання.

Одним з різновидів диференційно-термічного методу є диференційно-термічний аналіз (ДТА), який ґрунтується на порівнянні термічних властивостей зразка досліджуваної речовини і термічно інертної речовини (еталона). Основним параметром, що реєструється, є різниця температур, яка вимірюється під час нагрівання зразка з незмінною швидкістю і яка може бути подана у вигляді функції температури зразка, еталона чи нагрівача від часу. Амплітуда відхилення від нульової лінії відображає різницю температур досліджуваного і еталонного зразків і є показником інтенсивності термічного процесу. Площа, обмежена диференційною термічною кривою і нульовою лінією, пропорційна величині теплового ефекту та обернено пропорційна значенню коефіцієнта теплопровідності зразка. Дериватографічний метод поєднує дериватографічний термічний аналіз (ДТА) та термогравіметричний (ТГ) аналіз, що уможливорює одночасне визначення термічної стабільності та теплових ефектів, які відбуваються у сполуці. Дериватографічні дослідження торфу проводили на дериватографі “Q – 1500 D” [93].

Комплексний термічний аналіз зразків торфу проводили на дериватографі Q – 1500 D системи “Паулік-Паулік-Ердей”, з’єданого з персональним комп’ютером. Дослідження проводили в інтервалі температур 20 – 600 °C, в атмосфері повітря. Швидкість нагрівання зразків становила 5 °C/хв, маса – в середньому 200 мг, еталонною речовиною слугував алюміній оксид.

Для визначення умов самозаймання торфу використовували сушильну шафу, де за температури 175 °C у металевий кошик розміром 50×50 мм поміщали зразки.

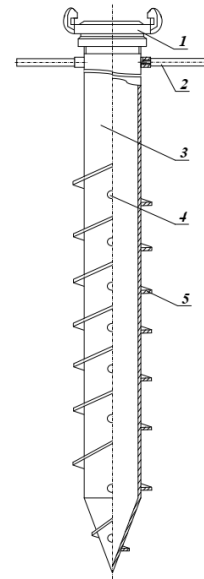
### **3.3.1. Визначення тактико-технічних характеристик спеціального пожежного ствола для гасіння та запобігання підземним пожежам в межах низових пожеж в екосистемах**

На сьогодні день існують різні види стволів для гасіння пожеж на торфовищах з подібними тактико-технічними характеристиками. Ствол пожежний для гасіння пожеж на торфовищах призначено для гасіння пожеж торфу за допомогою оптимального та рівномірного розподілу потоку вогнегасних речовин за товщиною торф'яного пласта. Ефект гасіння підземних торф'яних пожеж з глибиною прогорання більше 20 см досягається тим, що вода (змочувальний розчин) крізь отвори в корпусі ствола подається не на поверхню, а вглиб осередку горіння [70, 72, 94]. Ствол встановлюється вглиб торф'яного пласта на максимально можливу або допустиму глибину, поворотом ручки запірнього пристрою подається робочий тиск 0,4 МПа (4 атм) від мотопомпи або насоса АЦ, ПНС, далі забезпечується подавання вогнегасної речовини протягом близько 30 ÷ 60 с до появи ознак достатнього проливу (появи піни поблизу проколу пласта стволом), після чого подавання вогнегасної речовини припиняється і ствол переноситься на інше місце [72, 94].

Як показує практика, під час подавання вогнегасних речовин під тиском ствол починає виштовхуватися вгору. В результаті необхідно вести роботу з цим пристроєм групами по двоє пожежників, які змінюють один одного відповідно до встановленого графіка виконання робіт. Для покращення процесу гасіння пористих речовин, землі, торфу, териконів розроблено спеціальний пожежний ствол [95]. Його основною задачею є глибинне гасіння пожеж в будь-яку пору року, завдяки конусоподібній формі. Виготовлений він з оцинкованої гартованої сталі з наконечником та припаяним суцільним шнеком (рис. 3.17), що дає змогу подавати вогнегасні речовини на глибину понад 1,5 м.



а



б

Рисунок 3.17 – Дослідний зразок спеціального пожежного ствола для гасіння підземних пожеж з “кутовим з’єднанням” (а) та його схематичне зображення (б): 1 – з’єднувальна головка; 2 – ручка; 3 – ствол; 4 – отвори; 5 – шнекові лопаті

Цей ствол підвищує ефективність подавання вогнегасних речовин в горюче середовище завдяки загвинчуванню ствола [96] в горючий шар, що забезпечує гасіння пожежі на заданій глибині, а саме до 7-ми метрів. Покращення гасіння на глибині відбувається завдяки подаванню води (водного розчину піноутворювача) безпосередньо від моменту введення ствола в горючий шар. Для реалізації процесу глибинного гасіння пожежний ствол встановлюється на кінці пожежної рукавної лінії. Під тиском від помпи пожежно-рятувального автомобіля або мотопомпи вода (водний розчин піноутворювача) подається рукавом діаметром 77 мм. Ефект гасіння глибинних пожеж з глибиною прогару понад 1,5 м досягається тим, що вода (водний розчин піноутворювача) крізь отвори в корпусі ствола подається не на поверхню, а в глибину осередку горіння. Водночас, завдяки шнековій частині, що обертається ствол заглиблюється і виймається з поверхні палаючого торфу чи підстилки. Цей пожежний ствол дає змогу підвищити витрату під час подавання вогнегасних речовин в горючий шар під час

гасіння пожеж на глибині 1,5 – 7 метрів, гасіння здійснюється за всією глибиною розташування та забезпечує безпечні умови праці пожежників під час ліквідації глибинних пожеж. Він зі шнеком заглиблюється в шар (торф'яний, земляний і т.д.) на необхідну глибину за допомогою приєднаних ручок, де подається робочий тиск 0,4-0,7 МПа (4-7 атм.). Далі витримується потрібна тривалість подавання вогнегасної речовини, після чого вона припиняється і ствол переноситься на інше місце [90]. Для введення ствола на глибину понад 2 метри використовуються спеціальні видовжувальні труби з отворами. Розміри ствола, такі як довжина, діаметр, довжина шнекової частини та інші обумовлені його витратними характеристиками та глибиною подавання вогнегасних речовин, мають забезпечити надійну роботу та підвищити продуктивність процесу пожежогасіння.

Однак відомі конструкції стволів для гасіння торфовищ, такі як ТС-1, ТС-2, СПТ-70, у разі використання яких пожежники стикаються з проблемою проходження неоднорідностей ґрунту у вигляді деревних включень, глини тощо. Розроблено спеціальний пожежний ствол, оснащений шнековими лопатями, які виконують цілий ряд функцій: розрізають тверді включення під час заглиблення ствола, утримують ствол у торф'яних шарах, відкривають вільні канали для виведення надлишків води на поверхню без розмивання ґрунту. Крім того, спеціальні пожежні стволи можуть підключатися паралельно в один або два ряди як для гасіння, так і утворення загороджувальних смуг. Для визначення кількості стволів у таких ланцюгах необхідно провести додаткові розрахунки та дослідження. У нижній частині він має 17 отворів діаметром до 10 мм. Змочувальний розчин надходить від помпи в ствол під тиском 0,4-0,7 МПа (4-7 атм.) крізь отвори в ґрунт. Всі тактико-технічні характеристики спеціального пожежного ствола наведені в таблиці 3.5.

## Тактико-технічні характеристики спеціального пожежного ствола

Назва показника	Значення
Маса ствола, кг	23
Маса ствола без ручок і коліна, кг	20
Довжина ствола, м	1,90
Діаметр робочих частин ствола зі шнеком, мм	110
Довжина шнекової частини, м	1,05
Діаметр під'єднувального рукава, мм	77
Глибина обробки, м	1,5 ÷ 7
Тиск води, яка подається з автоцистерни, мотопомпи в ствол, МПа	0,4 ÷ 0,7
Витрата води, водних вогнегасних речовин, л/с	13,24 ÷ 15,98
Обслуговуючий персонал, осіб	1
Використовується спільно з переносними мотопомпами, а також пожежними агрегатами і цистернами, обладнаними помпами.	

Експериментально (рис. 3.18) отримано залежність витрати води спеціальним пожежним стволом під'єднаним до пожежної автоцистерни АЦ-40(131)137А відповідно 13,24 і 15,98 л/с за тиску 0,4 і 0,7 МПа.



а



б

Рисунок 3.18 – Випробування дослідного зразка ствола спеціального пожежного у відкритому просторі (а) та вкрученого в ґрунт (б)

Однак проведення експериментальних [97] досліджень за інших тисків недоцільне через значні фінансові витрати. Тому для визначення витрат вогнегасних речовин проводили пожежно-технічні розрахунки.

Для цього використовували відомі закони гідродинаміки, на основі яких можна визначити витрату рідини, що витікає із спеціального пожежного ствола,  $Q$  за такою формулою [98]:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH} \quad (3.2)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати рідини із спеціального пожежного ствола;

$\omega$  – площа робочого перерізу спеціального пожежного ствола,  $\text{м}^2$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння  $\text{м/с}^2$ ;

$H$  – тиск перед спеціальним пожежним стволом, МПа.

В практичних розрахунках під час визначення витрат рідини із ручних пожежних стволів користувалися формулою

$$Q = p\sqrt{H} \quad (3.3)$$

де  $p$  – коефіцієнт продуктивності (пропускна здатність спеціального пожежного ствола) [98, 99].

З формули (3.2) визначали коефіцієнт продуктивності з використанням отриманих даних на основі експерименту. Потім на основі цього коефіцієнта розраховували з експериментальних даних витрати рідини для тисків 0,5 та 0,6 МПа, які становлять 14,26 л/с та 15,40 л/с, відповідно. На підставі отриманих даних будували графічну залежність витрати вогнегасної речовини від тиску (рис. 3.19).

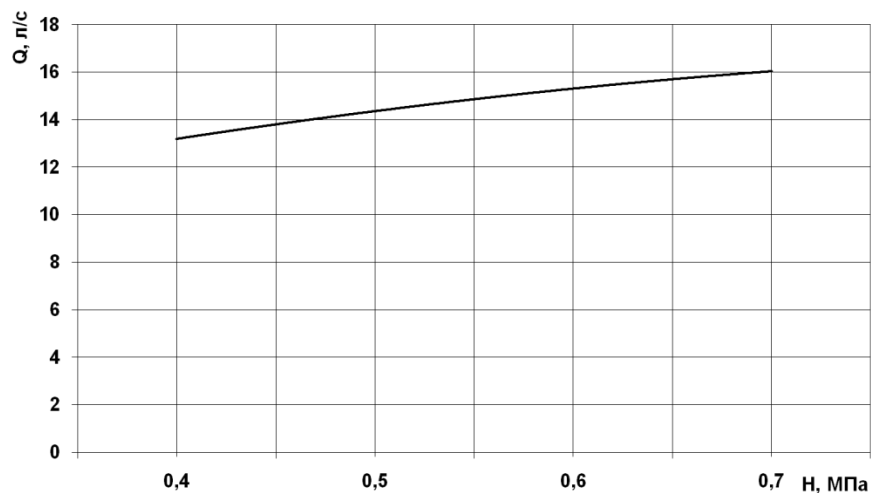


Рисунок 3.19 – Витрата вогнегасної речовини  $Q$  із спеціального пожежного ствола залежно від тиску подавання  $H$



З одержаної графічної залежності видно, що із зростання тиску подавання води чи водної вогнегасної речовини з 0,4 до 0,6 МПа витрата рідини збільшується практично рівномірно. У проміжку від 0,6 до 0,7 МПа витрата рідини зростає, але суттєво повільніше. Отже, користуючись цією графічною залежністю, можна підібрати оптимальні параметри тиску та витрати рідини для конкретних умов гасіння торфу та підстилки в екосистемі “торф – ліс”. Крім того, необхідно зазначити, що розроблений спеціальний пожежний ствол має більшу у понад 3 рази витрату вогнегасної речовини, ніж відомі на теперішній час аналоги, такі як ТС-1, ТС-2, СПТ-70. Це дає змогу припустити, що на практиці таких стволів знадобиться менше, а ефективність гасіння з їх використанням буде вищою.

Було проведено дослідження зі зволоження торф'яного шару матеріалу спеціальним пожежним стволом та через 1 годину проведено заміри вологості. Виявлено, що зволоження торф'яного шару відбувається в радіусі 12 м за тиску подавання водної вогнегасної речовини 0,6 МПа.

Як вогнегасну речовину рекомендується використовувати не воду, а водні розчини піноутворювачів загального призначення, наприклад, “Барс S-1”, “Барс S-2” в яких містяться ПАР, а також амофосу з включеннями ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ), що знижують поверхневий натяг води і підвищують змочувальну здатність стосовно до лісової підстилки, торфу тощо та є одним з найбільш ефективних способів боротьби з пожежами на торфовищах [31, 100]. Встановлено, що змочувальну здатність стосовно до торфу може бути підвищено в 2-3 рази [72].

### **3.3.2. Дериватографічний аналіз торфу, просоченого водними розчинами, що містять ПАР та антипірени, і визначення температури його самозаймання**

Підвищення змочувальної здатності стосовно до торфу яскраво ілюструють термограми, отримані на необробленому та обробленому 5 % водним розчином амофосу [101] з додаванням 0,5 % піноутворювача (рис. 3.20).

Звідси видно, що процес втрати маси торфу суттєво сповільнюється у разі змочування 5 % водним розчином амофосу з додаванням 0,5 % піноутворювача. Це свідчить про суттєве зниження горючості торфу у порівнянні з вихідним станом.

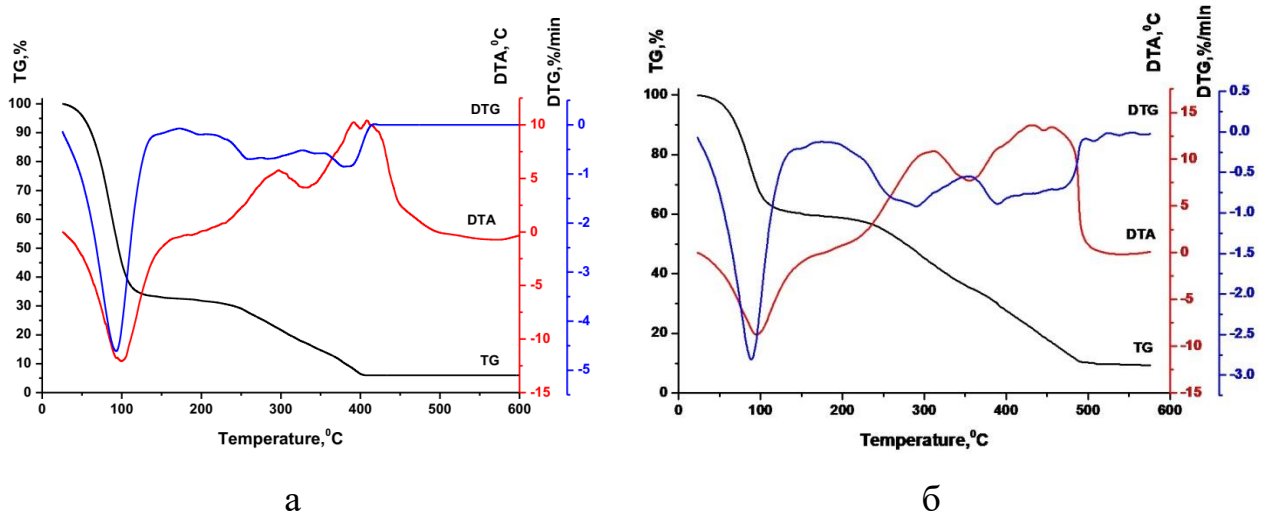


Рисунок 3.20 – Результати термогравіметричного аналізу торфу у вихідному стані (а) та просоченого 5 % водним розчином амофосу з додаванням 0,5 % піноутворювача (б)

На наведених термограмах термогравіметричні криві (рис. 3.20) TG відображають втрату маси (табл. 3.4) зразків під час нагрівання. Диференційні термогравіметричні криві DTG відповідають швидкості втрати маси зразків і є результатом диференціювання кривих TG. Криві диференційного термічного аналізу DTA ілюструють теплові ефекти процесів.

Таблиця 3.6

#### Результати термічного аналізу зразків

Зразок	Стадія	Температурний інтервал, °C	Втрата маси, %
Чистий торф	I	20 – 172	67,48
	II	172 – 327	14,87
	III	327 – 600	12,57
Торф, просочений 5 % водним розчином амофосу з додаванням 0,5 % піноутворювача	I	20 – 175	40,65
	II	175 – 355	23,86
	III	355 – 600	26,07

На першій стадії термолізу, яка протікає в температурному інтервалі 20 – 175 °С, відбувається виділення зразками торфу води. Цей процес супроводжується інтенсивною втратою маси зразків та появою чіткого ендотермічного ефекту на кривій ДТА.

На відміну від зразка торфу, просоченого 5 % водним розчином амофосу з додаванням 0,5 % піноутворювача, зразок чистого торфу характеризується більшим вмістом води.

На другій стадії термолізу, в температурному інтервалі 172 – 355 °С, відбувається термоокисна деструкція зразків, яка завершується згорянням залишків деструкції. Цей процес супроводжується екстремумом на кривій DTG та появою екзотермічного ефекту на кривій ДТА.

Слід відзначити, що зразок торфу, просоченого 5 % водним розчином амофосу з додаванням 0,5 % піноутворювача, характеризується вищою термічною стійкістю у порівнянні із зразком чистого торфу. Максимум екзотермічного ефекту (311 °С) другої стадії термолізу цього зразка у порівнянні із зразком чистого торфу (297 °С) зміщено в область вищих температур. В процесі згоряння зразок торфу, просоченого 5 % водним розчином амофосу з додаванням 0,5 % піноутворювача, менш інтенсивно втрачає масу. Про це свідчить зміщення екстремуму на кривій DTG цього зразка (291 °С) у порівнянні із зразком чистого торфу (259 °С), в область вищих температур.

На третій стадії термолізу, в діапазоні температур 327 – 600 °С відбувається згоряння карбонізованого залишку зразків торфу, сформованого на попередній стадії. На кривій ДТА в цьому температурному інтервалі з'являється стрімкий подвійний екзотермічний ефект.

Слід зазначити, що процеси згоряння карбонізованого залишку зразка торфу, просоченого 5 % водним розчином амофосу з додаванням 0,5 % піноутворювача, перебігають за більш високих температур, ніж зразка чистого

торфу (рис. 3.21). Екстремумам екзотермічного ефекту згоряння піролітичного залишку зразка модифікованого торфу відповідають температури 431 °С та 456 °С, а зразка чистого торфу – температури 392 °С та 408 °С.

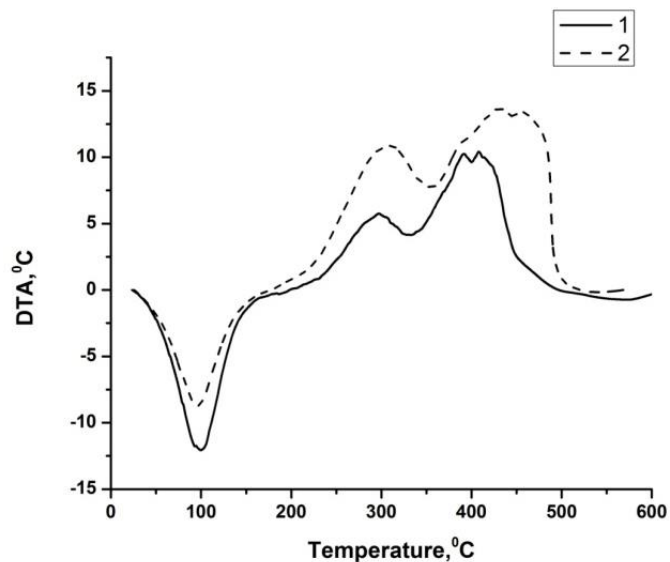
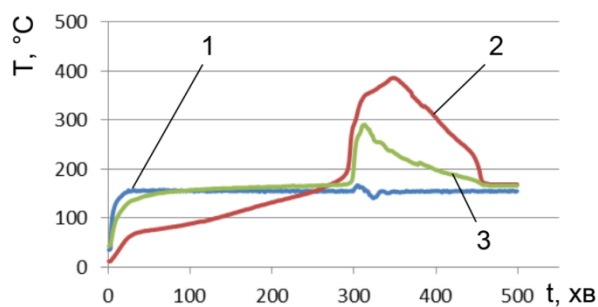
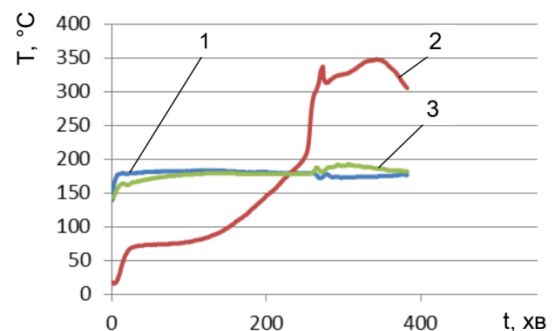


Рисунок 3.21 – Порівняння кривих ДТА: 1 – зразка природного торфу, 2 – зразка торфу, просоченого 5 % водним розчином амофосу з додаванням 0,5 % піноутворювача

Крім того, було досліджено використання неорганічних солей і поверхнево активних речовин для зменшення та недопущення самозаймання торфу [102-105]. Як такі речовини бралися поташ  $K_2CO_3$ , амофос ( $NH_4H_2PO_4 + (NH_4)_2HPO_4$ ) і піноутворювач загального призначення “Барс S-1”. Вплив цих речовин та їх комбінацій на теплові умови самозаймання торфу (рис. 3.22) показав різну ефективність.



а



б

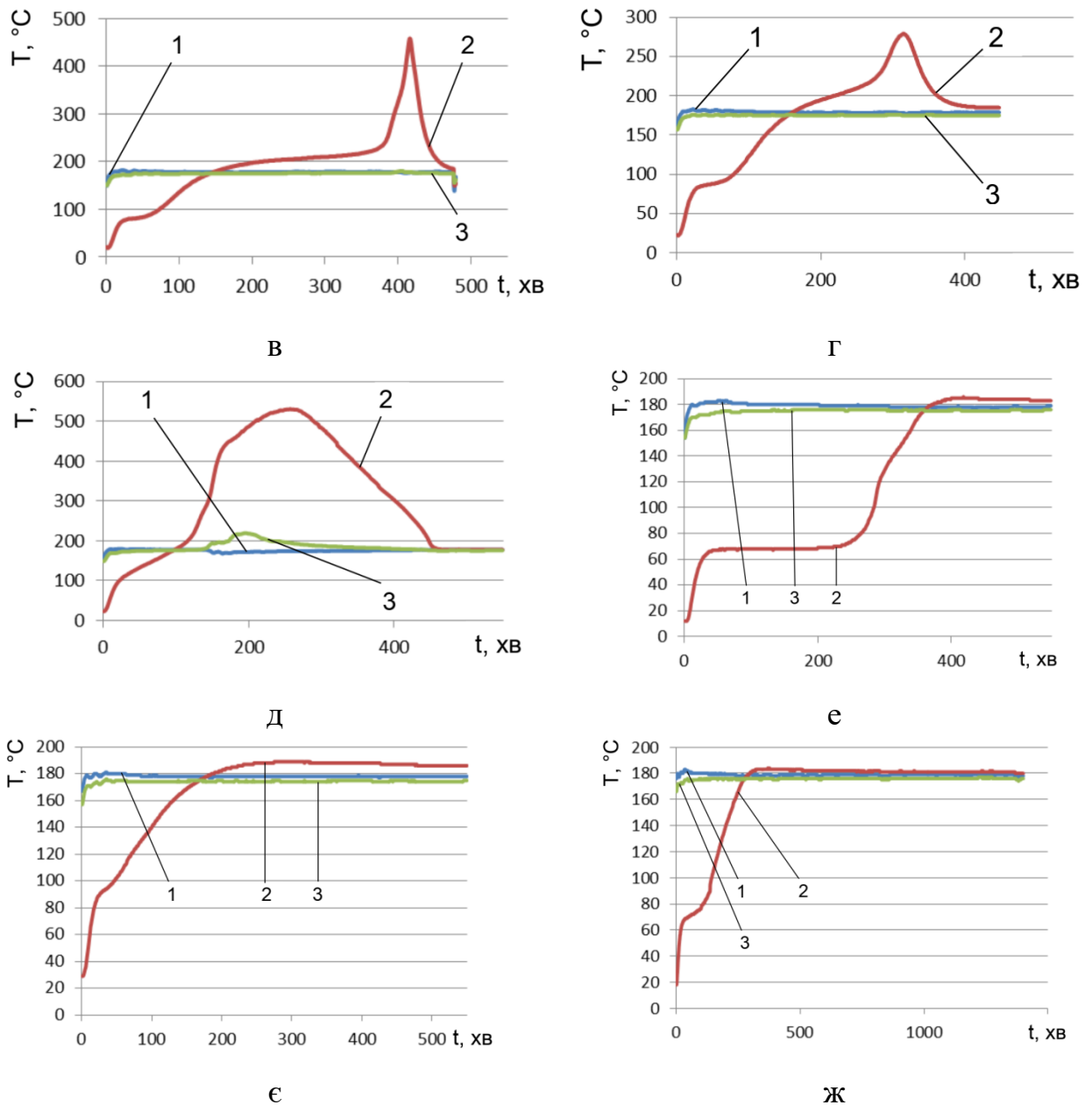


Рисунок 3.22 – Вплив поташу  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , амофосу ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ) та піноутворювача “Барс S-1” на теплові умови самозаймання торфу:

а – торф; б – торф, просочений водним розчином (5 %  $\text{K}_2\text{CO}_3$  та 0,5 % піноутворювача “Барс S-1”); в – торф, просочений водним розчином (10 %  $\text{K}_2\text{CO}_3$  та 0,5 % піноутворювача “Барс S-1”); г – торф, просочений водним розчином (20 %  $\text{K}_2\text{CO}_3$  та 0,5 % піноутворювача “Барс S-1”); д – торф, просочений водним розчином (5 %  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ); е – торф, просочений водним розчином (5 %  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  та 0,5 % піноутворювача “Барс S-1”); ж – торф, просочений водним розчином (20 %  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  та 0,5 % піноутворювача “Барс S-1”)

Як видно з проведених досліджень на теплові умови самозаймання торфу (рис. 3.22а-г), поташ  $K_2CO_3$  з додаванням 0,5 % піноутворювача загального призначення “Барс S-1” показав за концентрацій від 5 до 20 % свою неефективність. Вплив амофосу ( $NH_4H_2PO_4 + (NH_4)_2HPO_4$ ) на теплові умови самозаймання торфу показав за концентрації 5 % (рис. 3.22 д) свою неефективність без додавання піноутворювача в кількості 0,5 %. Додавання до розчину, що містить 5% амофосу, 0,5 % піноутворювача «Барс S-1» (рис. 3.22 е), сприяє зниженню здатності властивостей торфу до самозаймання. Водний розчин з вмістом амофосу 10 – 20 % з додаванням піноутворювача чи без нього (рис. 3.22 є, ж) повністю запобігає самозайманню торфу.

### 3.4. Висновки за розділом

1. Встановлено, що із зростанням кута ухилу рельєфу місцевості від 0 до 30° зростає швидкість поширювання полум'я сухим трав'яним покривом, причому чим вищий кут ухилу, тим вища швидкість поширювання. У разі зміни кута з 15 до 30° швидкість зростає у понад 2 рази. Наявність вітру додатково підвищує швидкість поширювання полум'я, причому чим вища швидкість вітру, тим вища швидкість поширювання полум'я. Так, за кута ухилу 30° та швидкості вітру 3 м/с швидкість поширювання полум'я зростає у понад 1,9 раза порівняно з відсутністю вітру.

2. Виявлено, що максимальна температура полум'я за швидкості вітру 3 м/с, кута ухилу 30° і вологості горючого матеріалу 10 % та температури навколишнього середовища 22 °С становить 674 °С.

3. Показано, що чим більша висота шару нанесеної піни для створення загороджувальної смуги, тим довше вона зберігається на

трав'яному покриві. Збільшення тривалості існування пінної загороджувальної смуги підвищує її здатність перешкоджати загорянню природних горючих матеріалів.

4. Встановлено експериментально, що ширина пінної загороджувальної смуги, прокладеної з використанням робочого розчину піноутворювача загального призначення для гасіння пожеж “Барс S-2”, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю, необхідна для стримування процесу поширювання полум'я, за ширини трав'яного покриву 40 см, висоти трав'яного покриву 21 см, швидкості вітру 3 м/с і кута ухилу  $30^\circ$  становить 55 см.

5. Розроблено спеціальний пожежний ствол для гасіння торф'яних включень та запобігання підземним пожежам. Визначено його тактико-технічні характеристики, а саме: витрати вогнегасної речовини за тисків 0,4 МПа та 0,7 МПа, які становлять 13,24 л/с та 15,98 л/с, відповідно. Розраховано витрати вогнегасної речовини за тиску 0,5 МПа та 0,6 МПа, які становлять 14,26 та 15,40 л/с, відповідно та визначено радіус зволоження торф'яного включення за тиску 0,6 МПа, що становить 8,8 м.

6. За результатами експериментальних досліджень виявлено, що 5 % водний розчин амофосу з додаванням 0,5 % піноутворювача “Барс S-1” сприяє зниженню здатності торфу до самозаймання. Водний розчин з вмістом амофосу 10 і 20 % з додаванням піноутворювача чи без його додавання повністю запобігає самозайманню торфу.

7. Визначено, що повне руйнування повітряно-механічної піни від максимального теплового потоку 20 кВт/м<sup>2</sup> під час горіння трав'яного покриву висотою 21 см на відстані 50 см відбувається 4 хвилини, а на відстані 70 см – 5 хв.

8. Досліджено процеси прокладання пінних загороджувальних смуг з використанням робочого розчину піноутворювача “Барс S-2”, пожежними

автоцистернами на відкритій місцевості. Встановлено, що оптимальні значення швидкості руху пожежної автоцистерни під час нанесення пінної загороджувальної смуги з використанням цього піноутворювача знаходяться в межах від 20 км/год до 30 км/год, що забезпечує її висоту до 10 см.



## РОЗДІЛ 4. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1. Розроблення рекомендації щодо запобігання та гасіння низових пожеж в екосистемах, що утворені трав'яними покривами

За результатами описаних вище досліджень розроблено рекомендації, які визначають порядок дій пожежників під час гасіння пожеж травостою, в тому числі з включеннями торфу, а також їх запобігання з використанням піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю, для створення пінних загороджувальних смуг. Їх основні положення викладено нижче.

Процес горіння можна перервати, виключивши будь-який з трьох його елементів: видалити повітря (кисень), горючі матеріали або знизити температуру. Це досягається декількома способами і прийомами. Гасіння вогню водним розчином піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю, забезпечує зниження температури полум'я і зволожує горючі матеріали. Водночас дуже важливо, щоб піноутворювач був максимально безпечним для навколишнього середовища (біологічно "м'яким" і малотоксичним). Для цього використовується спеціальна техніка, така як мотопомпи, автоцистерни різного типу та інша подібна техніка. Особливістю є те, що перед фронтом полум'я наносять пінну загороджувальну смугу для зупинення його поширювання.

Основні етапи:

- розвідка;
- гасіння;
- вартування.

Розвідку проводить керівник гасіння пожежі. Він оцінює умови місцевості, наявність на прилеглих до крайки вогню ділянках горючих матеріалів (підліску, підросту, сухостою, хмизу та ін.); наявність природних перешкод (доріг, стежок, річок, струмків, ділянок без горючих матеріалів); наявність водних джерел і можливість їх використання; рельєф місцевості і

поширювання вогню “язиками”; погодні умови, наявність і розташування зон безпеки. За можливості він також визначає обстановку, причину пожежі; знаходить докази, якщо пожежа виникла з вини людини.

Обстановка, що може скластися під час пожеж травостою на відкритій місцевості: швидке поширювання пожежі сухою рослинністю та чагарниками; щільне задимлення місцевості; швидка зміна напрямку пожежі; можлива наявність декількох осередків пожежі або займання нових; відсутність джерел протипожежного водопостачання або їх значна віддаленість; загроза поширювання пожежі на будинки, споруди, об’єкти, лісові масиви тощо; складний рельєф місцевості.

Розрізняють два методи гасіння – прямий і непрямий (запобіжний). Прямий метод застосовується в тому випадку, коли є можливість безпосередньо загасити кромку пожежі або створити перед кромкою пінну загороджувальну смугу.

Метод запобігання (непрямий метод) застосовується, коли лінія зупинення вогню обирається на деякій відстані від кромки пожежі. Застосування цього методу обумовлене низкою причин: необхідністю віддалити пожежників від кромки пожежі через її інтенсивність; вибором кращого місця для створення пінної загороджувальної смуги; можливістю скорочення довжини смуги та зменшення витрат часу на її прокладання; використання наявних природних і штучних перешкод [70] і т. ін.

Керівник гасіння пожежі приймає рішення про спосіб гасіння, вибирає тактичну схему роботи і необхідне обладнання для ефективного гасіння в конкретних ситуаціях. На підставі результатів, отриманих в роботі, пропонується застосовувати такий порядок дій для гасіння низових пожеж в екосистемах з трав’яним покривом:

- визначити вірогідність поширювання пожежі на населені пункти та інші об’єкти;
- провести розвідку та визначити вирішальний напрямок оперативних дій при гасінні пожежі;

- провести розрахунки та визначити необхідність залучення додаткових сил та засобів;
- організувати створення пінних загороджувальних смуг для локалізувння та гасіння пожежі;
- за наявності торф'яних включень застосовувати спеціальний пожежний ствол і водопінні вогнегасні речовини;
- особисто переконатися в ліквідації горіння, визначити необхідність і тривалість спостереження за місцем ліквідованої пожежі.

Під час гасіння необхідно проводити швидкі та ефективні дії, перш за все на найбільш небезпечних ділянках поширювання пожежі, з метою стримання поширювання вогню виходячи з можливостей наявних людських ресурсів і засобів гасіння.

За даними розвідки і прогнозу поширювання пожежі керівник гасіння розробляє план її гасіння. У плані визначаються:

- технічні способи і тактичні прийоми ліквідації пожежі;
- термін виконання окремих стадій гасіння;
- розподіл наявних сил і засобів за периферією пожежі;
- організація зв'язку із загонами, командами та бригадами робітників;
- порядок залучення додаткових сил і засобів (кількість і терміни);
- заходи щодо безперервної розвідки пожежі, ходу її гасіння та заходи страхування.

В умовах сильної задимленості контур пожежі виявляють за допомогою дистанційних методів розвідки, наприклад, інфрачервоними пристроями.

Як правило, слід планувати роботи з гасіння так, щоб ліквідація (або, принаймні, локалізація) пожежі була закінчена не пізніше 10 годин ранку наступного дня, оскільки найбільша продуктивність гасіння досягається у вечірні і ранкові години.

Якщо пожежа поширилася на великі площі та набула затяжного характеру, розвідка повинна проводитися щодня, а в разі швидкого поширювання горіння – 2 рази на день.

Слід пам'ятати, що степові пожежі становлять особливу небезпеку для людей як прямим впливом, так і згубними для організму наслідками – під час горіння виникає досить велика ймовірність отруєння чадним і вуглекислим газом. Крім цього, виникає загальне обезкиснення атмосферного повітря.

З метою захисту від дії диму та високих температур особи, що безпосередньо зайняті гасінням пожежі, повинні бути забезпечені спеціальним одягом та спорядженням, а також протидимними масками чи спеціальними протигазами, а в разі потреби й іншими засобами індивідуального захисту органів дихання та повинні мати відповідну підготовку [106].

Основні тактичні схеми гасіння пожеж травостою з використанням пінних загороджувальних смуг :

Охопленням з фронту (використовується у випадку слабких і середніх за інтенсивністю пожеж травостою). Дві або більше групи за допомогою обладнання для генерування піни створюють загороджувальні смуги, починаючи локалізацію пожежі з подальшим її гасінням за фронтом з переходом до флангів. Цей тактичний спосіб застосовується у разі нестачі сил та засобів (рис. 4.1).

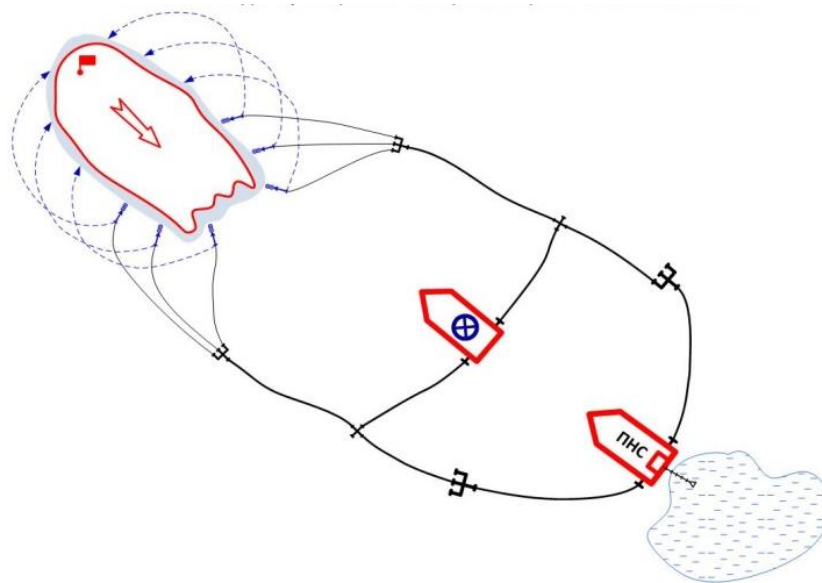


Рисунок 4.1 – Гасіння пожежі травостою з охопленням з фронту

Спосіб гасіння пожежі за периметром використовується у випадку слабких пожеж травостою, у випадку низових пожеж на невеликих площах, а також підземних пожеж. За допомогою обладнання для генерування піни подається повітряно-механічна піна, яка створює загороджувальну смугу за всім периметром низової пожежі. У разі виникнення підземних пожеж за всім периметром загоряння розташовуються спеціальні пожежні стволи для гасіння підземних пожеж (рис. 4.2).

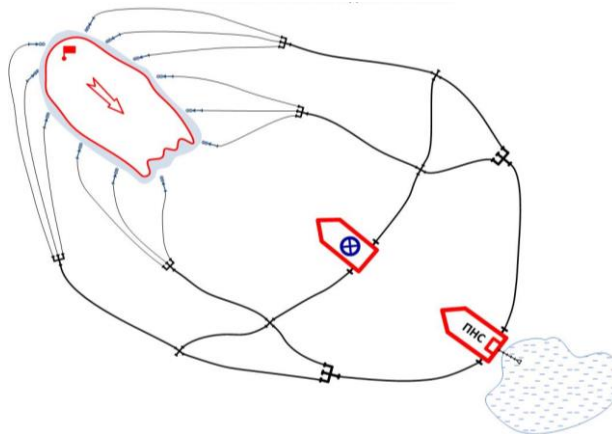


Рисунок 4.2 – Гасіння пожежі травостою з охопленням за периметром

Охоплення флангів з переходом до фронту та зведення пожежі на “клин” (використовується під час гасіння сильних пожеж травостою, якщо немає можливості локалізувати пожежу з фронту). Цей спосіб ефективний, якщо швидкість гасіння більша від швидкості поширювання вогню. Його реалізація можлива у разі нанесення пінних загороджувальних смуг по флангах з переходом до фронту пожежі (рис. 4.3).

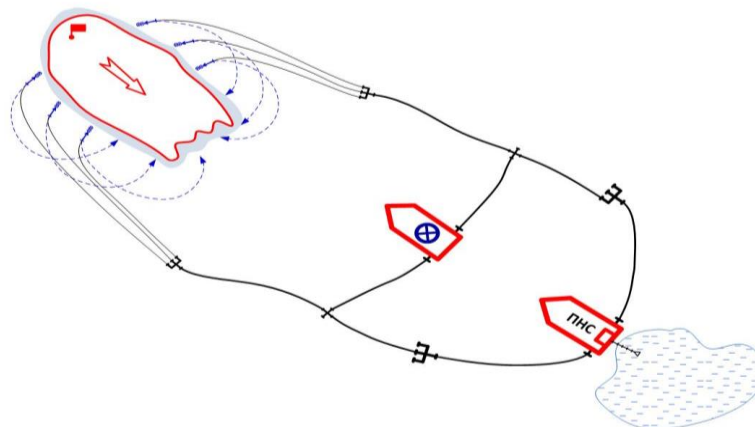


Рисунок 4.3 – Гасіння пожежі травостою зведенням на клин з флангів з переходом до фронту пожежі

Охоплення пожежі з тилу за допомогою створення пінних загороджувальних смуг з переходом нанесення їх до флангів та спрямування фронту пожежі до природних або штучних перешкод (рис. 4.4).

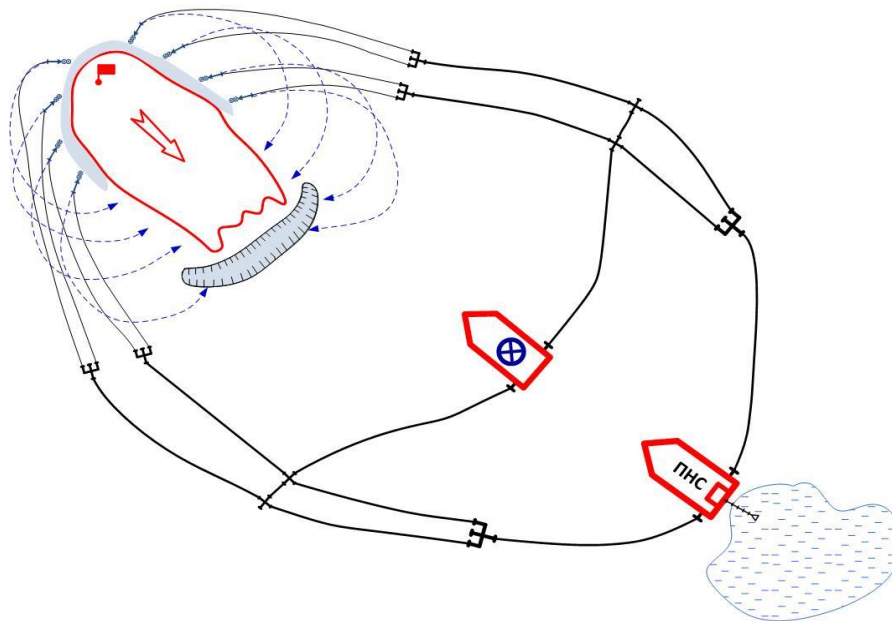


Рисунок 4.4 – Гасіння пожежі травостою охопленням з тилу з переходом до флангів та спрямуванням фронту пожежі до природних або штучних перешкод

Загороджувальні пінні смуги прокладаються з метою:

- локалізації пожежі без попереднього зупинення її поширення безпосереднім впливом на кромку;
- надійної локалізації пожежі, поширення якої було припинено.

Для прокладання пінних загороджувальних смуг може застосовуватися така техніка і обладнання:

- основні пожежні автомобілі: автоцистерни, пожежно-насосні станції і автомобілі водопінного гасіння з пожежно-технічним обладнанням, а саме обладнанням для генерування піни (стволи типу СПП, ГПС та Protek з пінними насадками, тубуси-змішувачі і картриджі змочувальника);
- техніка призначена для гасіння лісових пожеж АЦ-8-60 (63022)-539М, АПЛ – 40 (531320) – 266, АПЛ-10(66)-265 А, агрегат пожежний універсальний з причіпом-цистерною пожежною ;

- пересувні автономні пожежні модулі контейнерного типу з баками для води та піноутворювача з пересувними та мобільними водопінними установками;

- спеціальна протипожежна ранцева апаратура.

Загороджувальні пінні смуги, залежно від інтенсивності та швидкості поширювання пожежі і виду застосовуваного знаряддя, прокладають одинарні або подвійні, а в разі необхідності прокладання більш широких смуг – їх створюють у кілька етапів. Однак необхідно мати на увазі, що прокладання широкої загороджувальної смуги перед кромкою пожежі за допомогою пожежно-рятувальної техніки потребує значно більших затрат часу, ніж створення такої смуги відпалюванням. Тому під час низових пожеж високої інтенсивності краще застосовувати відпалювання ніж пінні загороджувальні смуги.

Кожна пінна загороджувальна смуга створюється на деякій відстані від кромки пожежі та повинна своїми кінцями упиратися в будь-які природні або штучні протипожежні бар'єри (дороги, струмки, мінералізовані смуги та ін.).

Під час вибирання тактичної схеми керівник гасіння пожежі повинен брати до уваги наявність опорних ліній (мінералізованих смуг, доріг, водотоків, ЛЕП і т. ін.), на яких має сенс сконцентрувати сили і засоби. Часто застосовуються комбіновані схеми, що включають кілька елементів, коли, наприклад, одночасно проводиться зупинка вогню на опорних лініях, гасіння ділянок з низькою інтенсивністю горіння, нанесення пінних загороджувальних смуг перед фронтом пожежі. Пінні загороджувальні смуги повинні наноситися з використанням робочих розчинів піноутворювачів (типу “Барс S-2”), що забезпечують генерування піни з підвищеною стійкістю, із забезпеченням такого співвідношення висота трав'яного покриву до ширини смуги – 1:3. За наявності ухилів та вітру ширина смуг має пропорційно збільшуватися.

Рекомендується користуватися такою розрахунковою формулою:

$$B = B_0 \times k_v \times k_\theta, \quad (4.1)$$

$B_0$  – базова ширина смуги, яку визначено для середньої висоти трави 60 см, за якої спостерігається найбільша швидкість поширювання пожежі травостою [63], м;

$k_v$  – коефіцієнт впливу зведеної швидкості вітру;  $k_\theta$  – коефіцієнт впливу ухилу. Значення коефіцієнтів  $k_v$  та  $k_\theta$  приймати менші з таблиці 2.1 розділу 2.

Для нанесення пінних загороджувальних смуг рекомендується використовувати генератори піни середньої кратності ГПС-600 з відповідними параметрами залежно від обстановки. За певних умов можуть використовуватися стволи СПП чи стволи Protek 366 з пінними насадками, де їх ефективність буде вища.

Нанесення пінних загороджувальних смуг може здійснюватися автоцистернами та іншою подібною технікою за допомогою насадки РВ-12, що дає змогу наносити за один прохід смугу шириною 6 м та висотою 10 см. Такий спосіб дає змогу суттєво підвищити продуктивність нанесення таких смуг, причому наносити їх можна у кілька проходів за наявності такої потреби.

Розглянемо розрахунок сил і технічних засобів для організації гасіння низових пожеж в екосистемах з трав'яним покривом.

Для створення пінної загороджувальної смуги шириною 6 м насадкою РВ-12 її довжина  $l$  буде визначатися за залежністю

$$l = \vartheta \cdot t, \quad (4.2)$$

де  $\vartheta$  – швидкість руху пожежної автоцистерни (становить 20÷30 км/год), км/год;

$t$  – тривалість подавання піни, год.

Тривалість нанесення пінної загороджувальної смуги  $t$  буде визначатися за залежністю

$$t = \frac{W_{\text{п}}}{Q_{\text{РВ-12}}}, \quad (4.3)$$



де  $W_u$  – об'єм цистерни, м<sup>3</sup>;

$Q_{PB-12}$  – витрата робочого розчину піноутворювача, л/с.

Тривалості витрачання піноутворювача  $t_{ny}$  і води  $t_e$  під час роботи технічного засобу пожежогасіння мають бути приблизно однаковими для одночасного заправлення цих засобів після їх вичерпання. Довжина нанесеної пінної загороджувальної смуги буде залежати від автоцистерни, а точніше від об'єму цистерни для води та пінобака. Кількість операцій заправлення однієї автоцистерни або автоцистерн  $n$  у разі їх одночасного застосування можна розрахувати за такою формулою:

$$n = \frac{L_{cm}}{l_{cm \text{ АЦ}}}, \quad (4.4)$$

де  $L_{cm}$  – загальна довжина пінної загороджувальної смуги, яку необхідно прокласти, км;

$l_{cm \text{ АЦ}}$  – довжина пінної загороджувальної смуги, яку прокладає автоцистерна за одну заправку, км.

Для зменшення витрат часу нанесення пінних загороджувальних смуг автоцистерни можуть наносити їх, рухаючись назустріч одна одній, з подальшим виїздом одним маршрутом з недопущенням пошкодження вже нанесених пінних загороджувальних смуг.

Розрахунок доставки до місця пожежі сил і технічних засобів автомобільним транспортом

Перед відправленням до місця пожежі людей і техніки наземним транспортом встановлюється насамперед маршрут прямування, виділяються типи доріг і умови пересування.

Протяжність маршруту  $S$  визначається за формулою [107]:

$$S = \sum_{i=1}^n l_i, \quad (4.5)$$

де  $l_i$  – довжина ділянок маршруту, що відповідають різним типам доріг, км;

$n$  – кількість різних ділянок маршруту.

Тривалість прямування  $t_{np}$  (год) сил і технічних засобів до місця пожежі визначається за формулою:

$$t_{np} = \sum_{i=0}^n \frac{l_i}{v_i}, \quad (4.6)$$

де  $v_i$  – швидкість руху на  $i$ -ій ділянці маршруту, км/год.

Середня швидкість руху  $v_{cp}$  визначається за формулою:

$$v_{cp} = \frac{s}{t_{np}}. \quad (4.7)$$

Необхідна кількість рейсів  $N_p$  для перевезення людей і техніки на пожежу визначається за формулою

$$N_p = \frac{m \cdot k_T}{q}, \quad (4.8)$$

де  $m$  – загальна маса вантажів, що перевозяться, т;

$k_T$  – коефіцієнт транспортабельності вантажу;

$q$  – корисна вантажопідйомність транспортного засобу, т.

Тривалість одного рейсу  $t_p$  визначається за формулою

$$t_p = 2 \cdot t_{np} + t_{пас}, \quad (4.9)$$

де  $t_{np}$  – тривалість руху маршрутом до місця пожежі, год;

$t_{пас}$  – пасивний проміжок часу, год (навантаження, вивантаження, заправлення, техобслуговування, відпочинок водіїв тощо; приймається залежно від умов).

Кількість рейсів  $K_p$ , які необхідно виконати кожному транспортному засобу, визначається за формулою

$$K_p = \frac{N_p}{N_{TP}}, \quad (4.10)$$

де  $N_{TP}$  – наявна кількість транспорту.

Загальна тривалість перевезення сил і технічних коштів на пожежу:

з поверненням транспорту  $t_{заг}$  (год) визначається за формулою:

$$t_{заг} = K_p \cdot t_p, \quad (4.11)$$

без повернення транспорту в останньому рейсі  $t_{за2}$  визначається за формулою:

$$t_{за2} = t_{за1} - \left( \frac{S}{g_{cp}} + t_{nac} \right). \quad (4.12)$$

Робота на пожежах торфовищ, що зустрічаються серед трав'яних покривів, має свої особливості. Гасіння ґрунтових пожеж залежно від площі і глибини горіння в торф'яному шарі ґрунту може бути забезпечене:

- застосуванням мотопомп, автоцистерн, що дають потужні струмені води; стволів для гасіння торфовищ, що подають вогнегасну речовину в шар торфу;
- прокладанням навколо вогнища горіння торф'яного шару загороджувальної смуги або канави з заповненням її водою.

Гасіння видимої кромки горіння забезпечується завдяки потужному струменю, який руйнує (вимиває) і змочує палаючі частки торфу. У разі деякого заглиблення горіння з утворенням кірки і незгорілого верхнього шару ґрунту потужний водяний струмінь руйнує його і забезпечує гасіння вогню в підґрунтовій ніші, що важливо для безпеки робіт на кромці пожежі. Незважаючи на малу швидкість поширювання вогню в ґрунтовому (торф'яному) шарі (до 1 ... 2 м на добу), гасіння заглиблених ґрунтових пожеж надто складне.

Крім того, пропонується використовувати спеціальний пожежний ствол для торф'яних включень в трав'яних покривах, який забезпечує витрату води та водних розчинів 13,24 ÷ 15,98 л/с за тисків 0,4 – 0,7 МПа, що значно перевершує відомі аналоги, такі як ТС-1, ТС-2.

У разі застосування спеціального пожежного ствола для повної ліквідації пожежі необхідно обробити смугу шириною 7...8 м, що прилягає до кромки пожежі. Для створення такої смуги заглиблення варто розташовувати у два ряди. Перший ряд прокладають на відстані 2...4 м від видимої кромки, а другий – на 6...8 м від першого. Заглиблення в кожному ряді прокладають на відстані 6...8 м одне від одного. Подавати водний розчин необхідно протягом

однієї хвилини. За недостатньої кількості таких стволів їх необхідно переставляти з місця на місце, що покрити необхідну площу.

Для підвищення ефективності гасіння необхідно використовувати піноутворювачі загального призначення типу “Барс”. Також ефективним засобом гасіння і запобігання загорянню торфу, а також лісових горючих матеріалів, є розчин, що містить амофос у ролі антипірену. Розчин амофосу (або інших водних вогнегасних речовин) готується заздалегідь і доставляється до місця пожежі автоцистернами по 20 м<sup>3</sup>. Такі водні розчини можуть зберігатися в цистернах, які не піддаються корозійному руйнуванню, на опорних пунктах. На найбільш небезпечних ділянках торфу розчин потрібно наносити заздалегідь. У разі неглибокого прогорання торфу використовуються водяні стволи для нанесення розчину на його поверхню.

#### **4.1.1. Розрахунок сил і технічних засобів для організації гасіння торф’яних пожеж**

Основною вогнегасною речовиною для гасіння торф’яних пожеж є вода як найбільш дешевий і доступний засіб. Найбільший ефект під час гасіння водою торфу досягається компактними струменями. Підвищення вологості торфу до 69-72 % призводить до припинення його горіння. Процес фільтрації вологи з поверхні торф’яного покладу відбувається впродовж 1-2 годин. Загороджувальна смуга може дати ефект, якщо зрошування поверхні фрезерного торфу буде зроблено не раніше ніж за годину до підходу до неї фронту торф’яної пожежі. У разі використання змочувальних розчинів піноутворювачів процес фільтрації води з поверхні торф’яного покладу значно менший (у разі використання окремих водних вогнегасних речовин, змочувальна здатність у відношення до торфу збільшується в 7,5-10 разів). Загороджувальна смуга, прокладена з використанням такої водної вогнегасної речовини [107], може давати ефект вже через 10-15 хв.

Площа загороджувальної смуги вздовж фронту розвитку пожежі  $S_{zc}^{\phi p}$  (м<sup>2</sup>) розраховується за формулою :

$$S_{zc}^{\phi p} = l_{\phi p} \cdot l_{нк}^{\phi p}, \quad (4.13)$$

де  $l_{\phi p}$  – довжина вздовж фронту розвитку пожежі, м;

$l_{нк}^{\phi p}$  – довжина впоперек кромки фронту розвитку пожежі, м.

Площа загороджувальної смуги вздовж флангу розвитку пожежі  $S_{zc}^{\phi л}$  (м<sup>2</sup>) визначається за формулою :

$$S_{zc}^{\phi л} = l_{\phi л} \cdot l_{нк}^{\phi л}, \quad (4.14)$$

де  $l_{\phi л}$  – довжина вздовж флангу розвитку пожежі, м;

$l_{нк}^{\phi л}$  – довжина впоперек кромки флангу розвитку пожежі, м.

Сумарна площа загороджувальної смуги за периметром пожежі  $S_{zc}$  (м<sup>2</sup>) дорівнює:

$$S_{zc} = 2 \cdot S_{zc}^{\phi л} + S_{zc}^{\phi p} = 2 \cdot l_{\phi л} \cdot l_{нк}^{\phi л} + l_{\phi p} \cdot l_{нк}^{\phi p}. \quad (4.15)$$

Питома витрата води (водної вогнегасної речовини) для збільшення вологості торфу  $Q_{num}$ , за якого подальше поширювання пожежі поверхнею неможливе, визначається за формулою :

$$Q_{num} = h \cdot \rho_m \cdot \frac{(100 - W_{\phi}) \cdot (W_n - W_{III})}{(100 - W_{III}) \cdot (100 - W_n)}, \quad (4.16)$$

де  $h$  – глибина торфу, м;

$\rho_m$  – густина торфу у момент, кг/м<sup>3</sup>;

$W_{\phi}$  – вологість торфу у момент, %;

$W_{III}$  – вологість торфу перед фронтом пожежі, %;

$W_n$  – необхідна вологість торфу (72 %).

З урахуванням вивітрювання вологи, нерівномірності зрошування торфу вогнегасною речовиною, а також використання різних водних вогнегасних речовин питома витрата вогнегасної речовини  $Q_{zc}^{num}$  (л/м<sup>2</sup>) на створення загороджувальної смуги становитиме:

$$Q_{zc}^{num} = Q_{num} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (4.17)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт, що враховує вивітрювання вологи і нерівномірність зрошування водою загороджувальної смуги (приймається таким, що дорівнює 1,5);

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує змочувальну та вогнегасну здатність застосовуваної для гасіння вогнегасної речовини (для води приймається таким, що дорівнює 1; для інших хімічних складів (залежно від характеристик), його можна прийняти рівним 0,1 – 0,13 [107]).

Об'єм води  $W_\epsilon$  (л) необхідний для прокладання загороджувальної смуги, визначається за формулою :

$$W_\epsilon = S_{zc} \cdot Q_{zc}^{num}. \quad (4.18)$$

Витрата води для локалізації пожежі за фронтом  $Q_{лок}^{фр}$  (л/с) розраховується за формулою :

$$Q_{лок}^{фр} = \frac{S_{zc}^{фр} \cdot Q_{zc}^{num}}{\tau_{заг}}, \quad (4.19)$$

де  $\tau_{заг}$  – проміжок часу, необхідний для прокладання загороджувальної смуги, с (приймається таким, що дорівнює 3600 с).

Витрата води для локалізації пожежі за флангами  $Q_{лок}^{фл}$  (л/с) визначається за формулою :

$$Q_{лок}^{фл} = \frac{2S_{zc}^{фл} \cdot Q_{zc}^{num}}{\tau_{заг}}. \quad (4.20)$$

Відстань від фронту розвитку пожежі до місця облаштування загороджувальної смуги  $L_{zc}^{фр}$  (м) визначається за формулою :

$$L_{zc}^{фр} = V_l \cdot \tau_{лок} + l_{нк}^{фр} + l_b, \quad (4.21)$$

де  $V_l$  – швидкість локалізації фронту (флангу) пожежі, м/хв;

$\tau_{лок}$  – тривалість локалізації фронту (флангу) пожежі, хв;

$l_{\delta}$  – безпечна відстань від фронту (флангу) випадання палаючої торфокрихти до загороджувальної смуги (приймається такою, що дорівнює 15-30 м).

Відстань від флангу розвитку пожежі до місця облаштування загороджувальної смуги  $L_{zc}^{fl}$  (м) визначається за формулою :

$$L_{zc}^{fl} = V_l \cdot \tau_{лок} + l_{пк}^{fl} + l_{\delta} \cdot \quad (4.22)$$

Розрахунки показують, що питома витрата води для загороджувальної смуги під час гасіння торфу буде в межах від 8 до 15 л/м<sup>2</sup>. Паралельно із створенням загороджувальної смуги (обмеження поширювання пожежі торфовища поверхнею) створюють мінералізовану смугу для обмеження поширювання пожежі усередині торф'яного покладу.

Периметр загороджувальної мінералізованої смуги  $P_{MC}$  визначається за формулою :

$$P_{MC} = 2l_{fl} + l_{fp} \cdot \quad (4.23)$$

Необхідна кількість інженерної техніки для створення мінералізованих смуг визначається за формулою :

$$N_{i.m.} = \frac{P_{MC}}{W_1 \cdot \tau_{np}}, \quad (4.24)$$

де  $W_1$  – продуктивність однієї одиниці інженерної техніки (необхідно брати табличні дані), м/с;

$\tau_{np}$  – необхідний проміжок часу прокладання мінералізованої смуги (приймається таким, що дорівнює 3600 с), с.

Протипожежна канава може мати глибину до 2 м і ширину зверху до 3 – 4 м.

Для облаштування протипожежних каналів з шириною зверху в 2 рази і більше, що перевищує її глибину, застосовують дворядне улаштування заглиблень. У цьому випадку їх глибина буріння приймається такою, що дорівнює 1,2 – 1,5 проектної глибини каналу.

Також доцільно внести в рекомендації розрахунки сил і засобів при горінні видобутого торфу

Після прокладання загороджувальної і мінералізованої смуги здійснюється догашування торфополів в локалізованих розмірах. Питома витрата води для гасіння караванів торфу складає 100 – 235 л/м<sup>2</sup>, інтенсивність подання води на площі гасіння каравану – 0,08 – 0,1 л/(м<sup>2</sup>·с).

Сумарна витрата води (водної вогнегасної речовини) на локалізацію торф'яної пожежі  $Q_{лок}$  (л/с) визначається за формулою :

$$Q_{лок} = Q_{лок}^{фр} + Q_{лок}^{фл}, \quad (4.25)$$

де  $Q_{лок}^{фр}$  – витрата води (водних вогнегасних речовин) на локалізацію торф'яної пожежі вздовж фронту її поширювання, л/с;

$Q_{лок}^{фл}$  – витрата води (водних вогнегасних речовин) на локалізацію торф'яної пожежі вздовж флангу її поширювання, л/с.

Кількість горючих караванів на площі  $N_k$ , що необхідно гасити, визначаються за формулою :

$$N_k = \frac{S_k \cdot k_{вик}}{S_{осн}^k}, \quad (4.26)$$

де:  $S_k$  – площа палаючого караванного поля, м<sup>2</sup>;

$k_{вик}$  – коефіцієнт використання території, який дорівнює 0,5;

$S_{осн}^k$  – площа основи каравану, м<sup>2</sup>.

Об'єм води (водних вогнегасних речовин)  $W_{в}^k$ , необхідний для гасіння караванів, розраховується за формулою :

$$W_{в}^k = Q_{пит}^k \cdot S_{нов}^k \cdot N_k \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (4.27)$$

де  $Q_{пит}^k$  – питома витрата води (водної вогнегасної речовини) на гасіння каравану, л/м<sup>2</sup>;

$S_{нов}^k$  – площа поверхні гасіння одного каравану, м<sup>2</sup>;



$k_1$  – коефіцієнт, що враховує втрати води під час стікання зі штабелю, вивітрювання, нерівномірності зрошування штабелю (1,5 – 1,8);

$k_2$  – коефіцієнт, що враховує змочувальну та вогнегасну здатність застосованої для гасіння речовини (для води приймається таким, що дорівнює 1; для інших хімічних складів (залежно від їх характеристик), коефіцієнт дорівнює 0,1 – 0,13 [107]).

Об'єм води (водної вогнегасної речовини)  $W_e^{нов}$  (л), необхідний для гасіння поверхні торфополя, що горить, між караванами, визначається за формулою :

$$W_e^{нов} = k_{пл} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot (Q_{зс}^{нум} \cdot S_{нов} - N_{\kappa}^2 \cdot S_{нов}^{\kappa}), \quad (4.28)$$

де  $k_{пл}$  – коефіцієнт, який враховує, що частина площі полів продовжує горіти після локалізації пожежі (дорівнює 1,2);

$S_{нов}$  – площа поверхні торфополя;

$N_{\kappa}^2$  – кількість палаючих караванів.

Необхідна кількість пожежних стволів для гасіння караванів  $N_{ств}^{2\kappa}$  розраховується за формулою :

$$N_{ств}^{2\kappa} = N_{\kappa}^2 \cdot N_{ств}, \quad (4.29)$$

де  $N_{ств}$  – необхідна кількість стволів РС-50 (РС-70 та ін.) для гасіння одного каравану (приймається такою, що дорівнює не менше ніж 2 стволи на 1 караван).

Кількість пожежних стволів для локалізації торф'яної пожежі вздовж фронту її поширювання  $N_{ств}^{л.фр}$  визначається за формулою :

$$N_{ств}^{л.фр} = \frac{Q_{лок}^{фр}}{q_{ств}}, \quad (4.30)$$

де  $q_{ств}$  – витрата, забезпечувана одним стволом, л/с.

Кількість пожежних стволів для локалізації торф'яної пожежі вздовж флангу її поширювання  $N_{ств}^{л.фл}$  визначається за формулою :

$$N_{ств}^{л.фл} = \frac{Q_{лок}^{фл}}{q_{ств}}. \quad (4.31)$$

Загальна кількість пожежних стволів для локалізації пожежі  $N_{ств}^{заг}$  з урахуванням захисту караванів, розташованих у загороджувальній смузі, визначається за формулою :

$$N_{ств}^{заг} = (N_{ств.лок}^{л.фл} + N_{ств.лок}^{фл}) \cdot k_3, \quad (4.32)$$

де  $k_3$  – коефіцієнт, що враховує захист караванів, які знаходяться в загороджувальній смузі (дорівнює 1,2).

Загальна тривалість гасіння пожежі  $\tau_2$  (с) розраховується за формулою :

$$\tau_2 = \frac{S_{зс} \cdot Q_{зс}^{num}}{\sum_{i=1}^n N_{ств.i} \cdot q_{ств.i}} + \frac{S_{нов}^k \cdot N_k \cdot Q_{num}^k \cdot K_3}{\sum_{i=1}^n N_{ств.i} \cdot q_{ств.i}}. \quad (4.33)$$

Слід зазначити, що всі каравани, які розміщені в зоні горіння, гасити одночасно неможливо через високу небезпеку для особового складу і складність подавання стволів на палаючому полі. Тому каравани гасять послідовно після локалізації торф'яної пожежі.

Кількість протипожежної та пристосованої техніки залежить від витрати, забезпечуваної насосом, і схем розгортання сил та засобів.

Кількість особового складу  $N_{o/c}$  підрозділів, робітників, які беруть участь у гасінні пожежі, визначається за формулою :

$$N_{o/c} = \left( \sum_{i=1}^n N_{ств.i}^{заг} \cdot N_{ств.i}^{o/c} + N_{ПА} \cdot N_{ПА}^{o/c} \right) \cdot N_{зм}, \quad (4.34)$$

де:  $N_{ств.i}^{o/c}$  – необхідна кількість людей зі стволом  $i$ -го типу;

$N_{ПА}$  – кількість пожежних автомобілів, задіяних на гасінні пожежі;

$N_{ПА}^{o/c}$  – кількість особового складу, потрібна для роботи на одному автомобілі і розгалуженні;

$N_{зм}$  – кількість змін учасників гасіння в добу (приймається не менше 2).

Слід зазначити, що розрахунок, проведений за формулою (4.19), може бути справедливим повною мірою лише у разі прокладання загороджувальної смуги для обмеження поширювання пожежі поверхнею торфополя.

Проте за рекомендованої середньої питомої витрати води на гасіння торфополя в 15 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> верхній шар торфу, що горить, можна зволожити до необхідної величини на глибину не більше 0,04 – 0,05 м, на більшій глибині горіння може тривати і поширюватися в усіх напрямках.

Для зволоження сухого торфу вологістю 30 – 36 % до негорючого стану знадобиться застосування хімічних речовин. Цей факт відіграє важливу роль під час організації робіт з догашування ділянки, на якій пожежу локалізовано (це наступний етап гасіння, найбільш ресурсоємний та працевитратний).

Необхідний об'єм води (водних вогнегасних речовин) для гасіння площі пожежі на глибину прогорання торфу  $W_{num}^{np}$  розраховується за формулою :

$$W_{num}^{np} = S_T \cdot h_{np} \cdot Q_{num}^6, \quad (4.35)$$

де  $S_T$  – площа торфополя, що горить, м<sup>2</sup>;

$h_{np}$  – глибина прогорання торфополя, м;

$Q_{num}^6$  – необхідна питома витрата вогнегасної речовини, л/м<sup>2</sup> (приймається 3,3).

Розрахунок води для гасіння пожежі  $Q_2$  (л/с<sup>3</sup>), здійснюється за формулою :

$$Q_2 = \frac{W_{num}^{np}}{\tau_{лікв}} \cdot \frac{1000}{3600}, \quad (4.36)$$

де  $\tau_{лікв}$  – тривалість гасіння пожежі, год.

Площа гасіння торфополя однієї автоцистерною за зміну (в випадку підвезення вогнегасних засобів)  $S_2^{АЦ}$  (м<sup>2</sup>), визначається за формулою

$$S_z^{AC} = \frac{N_{запр} \cdot W_{AC} \cdot k_{зц}}{h_{нр} \cdot Q_{нум}^6 \cdot 1000}, \quad (4.37)$$

де  $N_{запр}$  – кількість операцій заправлення водою (водною вогнегасною речовиною) однієї автоцистерни за зміну (розраховується або приймається такою, що дорівнює 6-8);

$W_{AC}$  – місткість автоцистерни, л;

$k_{зц}$  – коефіцієнт заповнення цистерни, що дорівнює 0,9.

Таблиця 4.1

Площа гасіння торфополя різними автоцистернами за однієї заправки

Марка автоцистерни	АЦ – 40 (131) – 137А	$W_{AC}$ , 2730 л	АЦ-4-60 (5309)- 505М	$W_{AC}$ , 4000 л	ГПМ – 72	$W_{AC}$ , 20000 л
Глибина прогорання торфополя, м	1,5		1,5		1,5	
Площа гасіння, м <sup>2</sup>	4,96		7,27		36,36	

Під час гасіння пожежі водними вогнегасними речовинами площа гасіння визначається відношенням табличного значення до коефіцієнта  $k_2$ .

$$S_z^{AC} = \frac{S_{табл}}{k_2}, \quad (4.38)$$

Необхідну кількість автоцистерн  $N_n^{AC}$  з однаковою місткістю цистерни для гасіння торфополя на певній площі можна визначити за формулою :

$$N_n^{AC} = \frac{h_{нр} \cdot S_T \cdot Q_{нум}^6 \cdot 1000}{N_{запр} \cdot W_{AC} \cdot k_{зц}}. \quad (4.39)$$

Команди або окремі бригади лісових пожежних станцій, протипожежні формування лісгоспу, підрозділи ДСНС України, які залучаються до гасіння пожеж або ліквідації надзвичайних ситуацій, за можливості повинні

зберігати свою організаційну структуру. Залучені особи з населених пунктів, підприємств, організацій і установ також зберігають свій розподіл команди та бригади, причому за вказівкою керівника гасіння пожежі ці підрозділи можуть укрупнюватися або розділятися на більш дрібні.

Кожній окремій команді, бригаді залучених осіб з населених пунктів, групі невоєнізованих формувань цивільної оборони або військовому підрозділу після прибуття на місце пожежі керівник гасіння ставить певне завдання з локалізуванню та гасінню пожежі і відводить частину кромки пожежі. Начальники (командири) всіх названих вище підрозділів зобов'язані підтримувати постійний зв'язок з керівником гасіння та виконувати його вказівки.

На відведеній ділянці команда, група, бригада самостійно виконує поставлені перед нею завдання, причому технічне керівництво роботами здійснюється працівником лісгоспу.

Спеціально підготовленим підрозділам, невоєнізованим формуванням цивільної оборони, підрозділам ДСНС України, що мають досвід у гасінні лісових пожеж, керівник лісгоспу може доручити самостійне гасіння окремих пожеж.

Вся робота з гасіння пожежі має будуватися на основі жорсткої дисципліни і єдиноначальництва. Розпорядження вищого керівника є обов'язковими для всіх керівників загонів, команд, груп, а кожна особа повинна виконувати команди одного керівника.

Керівник гасіння зобов'язаний забезпечити суворе виконання особами, які працюють на гасінні пожежі, правил охорони праці та техніки безпеки робіт і несе за це відповідальність.

Керівник гасіння не повинен сам залишати місце пожежі, доки її не буде ліквідовано або надійно локалізовано. Після того як керівник гасіння пожежі особисто переконається в надійності її локалізації та у ліквідації

осередків горіння на всій площі, що пройдена пожежею (а в разі виникнення великих пожеж – на смузі шириною, не меншою за 100 м за периферією згарища) він може залишити пожежу, залишивши на місці частину осіб під керівництвом працівника лісової охорони для вартування.

Вартування (контролювання погашеної площі, виявлення і ліквідування нових осередків горіння). Залежно від типу пожежі, це може займати різний час. Після гасіння трав'яного згарища це – 10 хвилин, під час гасіння торф'яних включень – до тижня.

На підставі даних про пожежу робиться розрахунок втрат і всього збитку, заподіяного пожежею, у порядку, встановленому відповідними інструкціями.

Збиток від пожежі включає:

- вартість згорілої та ушкодженої на корені рослинності;
- згорілого сіна та іншої продукції;
- згорілих і ушкоджених житлових та виробничих будинків і споруд;
- витрат на гасіння, включаючи витрати власних засобів, оплату залучених сил і засобів, витрати на виявлення і гасіння конкретної пожежі та інші витрати;
- вартість робіт з очищення площі, пройденої вогнем;
- втрати від зниження можливості побічного користування;
- екологічний збиток (за наявності методики його визначення).

## 4.2. Техніко-економічне оцінювання впровадження результатів в практику

Існує багато методик визначення економічної ефективності в різних галузях, але всі вони зводяться до того, що основною оцінкою реальної економічної ефективності нових наукових розробок за рік виступає коефіцієнт економічної ефективності, який визначається за формулою

$$K_{\text{еф}} = E_{\text{еф}} / E_2, \quad (4.40)$$

де  $E_{\text{еф}}$ ,  $E_2$  – відповідно сума реального економічного ефекту від впровадження результатів наукової розробки за рік і загальна сума витрат на ліквідацію та запобігання трав'яним низовим пожежам в екосистемах за цей же період, тис. грн.

Економічний ефект від впровадження розроблених рекомендацій до запобігання та гасіння низових пожеж в екосистемах, утворених трав'яними покривами, визначається залежністю

$$E_{\text{еф}} = E_2 - E_1, \quad (4.41)$$

де  $E_1$  – величина витрат на ліквідацію пожеж травостою у разі застосування розроблених рекомендацій до запобігання та гасіння низових пожеж в екосистемах з трав'яними покривами;

$E_2$  – величина витрат на ліквідацію пожеж травостою під час її проведення за існуючими способами та методами запобігання та гасіння низових пожеж в екосистемах.

Величина витрат на ліквідацію пожеж травостою  $E$  за рік може бути розрахована за формулою [108]

$$E = k \cdot \Pi \cdot \beta = k \cdot A \cdot S \cdot \beta \text{ грн/рік}, \quad (4.42)$$

де  $\Pi$  – ціна реалізації нової розробки, якщо вона була відома або визначена раніше, грн/шт.;

$k$  – коефіцієнт, який враховує витрати на амортизацію, електроенергію, обслуговування, ремонти тощо,  $k = 0,2 \dots 0,4$ ; для обчислювальної техніки  $k = 0,5 \dots 0,7$ ; для технічних рішень, в яких значну питому вагу мають змінні елементи, наприклад, батареї  $k = 1 \dots 3$ ;

$A$  – коефіцієнт, який враховує прогнозований прибуток та податки, які повинен сплачувати виробник,  $A \approx 1,7 \dots 2,3$ ;

$S$  – собівартість нової розробки, розрахована спрощеним способом, грн;

$\beta$  – доля часу, яку затрачає працівник на роботу нової технічної або інтелектуальної розробки в загальному часі своєї роботи.

Собівартість, розрахована спрощеним способом, визначається за залежністю

$$S = C \cdot t, \quad (4.43)$$

де  $C$  – вартість роботи однієї години рятувальника, який запобігає та гасить низові пожежі в екосистемах, грн;

$t$  – час протягом якого рятувальник запобігає та гасить низові пожежі в екосистемах, год.

$$E_1 = 0,5 \cdot 1,7 \cdot 2484 \cdot 32 = 67564,8 \text{ грн/рік};$$

$$E_2 = 0,5 \cdot 1,7 \cdot 3105 \cdot 32 = 84456 \text{ грн/рік};$$

$$E_{\text{еф}} = 84456 - 67564,8 = 16891,2 \text{ грн/рік}.$$

$$K_{\text{еф}} = 16891,2 / 84456 = 0,20.$$

Таблиця 4.2

Економічна ефективність застосування розроблених рекомендацій для гасіння низових пожеж в екосистемах з трав'яними покриттями

Коефіцієнт економічної ефективності $K_{\text{еф}}$	Економічна ефективність, %
0,20	20



Отже, коефіцієнт економічної ефективності становить 0,20 або на 20 %, тобто у разі застосування розроблених рекомендацій до гасіння низових пожеж в екосистемах з торф'яними покривами та торф'яними включеннями витрати зменшуються на зазначену величину.

Проведені дослідження і розроблені рекомендації спрямовані на підвищення ефективності гасіння низових пожеж в екосистемах з трав'яними покривами та торф'яними включеннями завдяки використанню пінних загороджувальних смуг, а для торф'яних включень – спеціального пожежного ствола для гасіння підземних пожеж з високою продуктивністю та заглибленням і фіксацією за допомогою гвинтової поверхні.

#### **4.3. Висновки за розділом**

1. Розроблені рекомендації до запобігання та гасіння низових пожеж в екосистемах з трав'яними покривами та підземних пожеж з торф'яним включенням, які дають змогу підвищити ефективність роботи пожежних підрозділів завдяки визначеній послідовності дій та наведеним тактичним схемам з гасіння лісових пожеж за допомогою прокладання пінних загороджувальних смуг з використанням відповідних способів і засобів. Визначено основну мету та спеціальну техніку і обладнання для прокладання пінних загороджувальних смуг.

2. Вдосконалено існуючу схему запобігання та гасіння низових пожеж із торф'яним включенням з охопленням з фронту шляхом використання спеціального пожежного ствола для гасіння підземних пожеж по периметру загорання.

3. Адаптовано існуючі основні тактичні схеми гасіння пожеж травостою та торф'яних включень до запобігання та гасіння за допомогою пінних загороджувальних смуг.

4. Вдосконалено розрахунок сил та засобів для гасіння пожеж на торфовищах, які межують з трав'яними покриттями.

5. На підставі техніко-економічного оцінювання впровадження результатів в практику встановлено, що економічний ефект від застосування розроблених рекомендацій до запобігання та гасіння низових пожеж в екосистемах з трав'яними покриттями становитиме 20 %.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, в якій розв'язано актуальну наукову задачу – розкриття взаємозв'язку між чинниками, що впливають на поширювання пожеж травостою з торф'яними включеннями, та ефективністю існуючих створених засобів і способів для недопущення поширювання таких пожеж. Одержано такі основні наукові та практичні результати.

1. За результатами аналізу основних чинників, що впливають на виникнення та поширювання пожеж травостою, висунуто ідею, що одним із способів підвищення ефективності гасіння низових пожеж в екосистемах є прокладання пінних загороджувальних смуг з використанням робочих розчинів піноутворювачів, що забезпечують генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі, “Барс S-2”).

2. Удосконалено математичну модель поширювання низової пожежі трав'яними покривами з урахуванням нерівностей рельєфу та впливу вітру введенням коефіцієнтів поправки. Визначено, що ця модель адекватно описує залежність швидкості поширювання фронту пожежі від ухилу поверхні та швидкості вітру.

3. Встановлено, що із зростанням кутів ухилу рельєфу місцевості від 0 до 30° зростає швидкість поширювання полум'я сухим трав'яним покривом, причому чим вищий кут ухилу, тим вища швидкість поширювання. При зміні кута з 15° до 30° ця швидкість зростає у понад 2 рази. Наявність вітру додатково підвищує швидкість поширювання полум'я, причому чим вища швидкість вітру, тим вища швидкість поширювання полум'я. Так, за кута ухилу 30° та швидкості вітру 3 м/с швидкість поширювання полум'я зростає у понад 1,9 рази у порівняно з відсутністю вітру;

4. Максимальна температура полум'я сухого трав'яного покриву за швидкості вітру 3 м/с, кута ухилу 30°, вологості горючого матеріалу 10 % та температури повітря 20°C становить 674 °C;

5. Обґрунтовано, що чим більша висота шару нанесеної піни для створення загороджувальної смуги, тим довше вона зберігається на трав'яному покриві (на прикладі піноутворювачів для генерування піни підвищеної стійкості). Встановлено, що за висоти трав'яного покриву 21 см, швидкості вітру 3 м/с і кута ухилу поверхні землі 30° ширина загороджувальної смуги у разі використання таких піноутворювачів має бути не меншою за 55 см.

6. Розроблено спеціальний пожежний ствол для гасіння торф'яних включень та запобігання підземних пожежам. Визначено його тактико-технічні характеристики, а саме: витрати вогнегасної речовини за тисків 0,4 МПа та 0,7 МПа, які становлять 13,24 л/с та 15,98 л/с, відповідно. Визначено радіус зволоження торф'яного включення за тиску 0,6 МПа, що становить 8,8 м.

7. Побудовано дослідно-емпіричну залежність для визначення швидкості поширювання полум'я залежно від швидкості вітру, кута ухилу поверхні землі та висоти полум'я, що має вигляд  $Y_{V_{n.n.}} = -1,4739 - 1,0842 \cdot x_1^2 - 1,1165 \cdot x_2^2 - 1,1136 \cdot x_3^2 + 0,2109 \cdot x_1 + 0,0046 \cdot x_2 - 0,0509 \cdot x_3 + 0,0256 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,0134 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,0192 \cdot x_2 \cdot x_3$ . Ця залежність дасть змогу більш обґрунтовано вибирати відстань для створення загороджувальних смуг та бар'єрів.

8. Розроблено рекомендації щодо запобігання та гасіння низових пожеж в екосистемах, що утворені трав'яними покривами, які дають змогу підвищити ефективність роботи пожежників завдяки визначеній послідовності дій та наведеним тактичним схемам гасіння.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Szczygieł R (2012) Wielko obszarowe pożary lasów w Polsce (Large-area forest fires in Poland). *Fire Saf Tech* 26(1):67–78 (in Polish).
2. Lioudakis S, Antonopoulos I, Kakardakis T (2010) Evaluating the use of minerals as forest fire retardants. *FireSaf J* 45:98–10. doi: 10.1016/j.firesaf.2009.11.002
3. Gill AM, Stephens SL, Cary GJ (2013) The worldwide “wildfire” problem. *EcolAppl* 23(2): 438–454. doi: 10.1890/10-2213.1
4. Penman TD, Nicholson AE, Bradstock RA, Collins L, Penman SH, Price OF (2015) Reducing the risk of house loss due to wildfires. *EnvironModelSoftw* 67:12–25. doi: 10.1016/j.envsoft.2014.12.020.
5. Jolly, W.M.; Cochrane, M.A.; Freeborn, P.H.; Holden, Z.A.; Brown, T.J.; Williamson, G.J.; Bowman, D.M.J.S. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nat. Commun.* 2013, 6, 7537.
6. Hao, R.F.; Yu, D.Y. Optimization schemes for grassland ecosystem services under climate change. *Ecol. Indic.* 2018, 85, 1158–1169.
7. Berg, N.; Perevolotsky, A. National Plan for Monitoring Biological Diversity in the Open Lands of Israel; Israel’s National Nature Assessment Program (HaMaarag): Jerusalem, Israel, 2010; Available online: [http://www.hamaarag.org.il/sites/default/files/media/file/report/field\\_report\\_report\\_file/%D7%AA%D7%9B%D7%A0%D7%99%D7%AA%20%D7%9C%D7%90%D7%95%D7%9E%D7%99%D7%AA%20%D7%9C%D7%A0%D7%99%D7%98%D7%95%D7%A8%20%D7%94%D7%9E%D7%92%D7%95%D7%95%D7%9F%20%D7%94%D7%91%D7%99%D7%95%D7%9C%D7%95%D7%92%D7%99.pdf](http://www.hamaarag.org.il/sites/default/files/media/file/report/field_report_report_file/%D7%AA%D7%9B%D7%A0%D7%99%D7%AA%20%D7%9C%D7%90%D7%95%D7%9E%D7%99%D7%AA%20%D7%9C%D7%A0%D7%99%D7%98%D7%95%D7%A8%20%D7%94%D7%9E%D7%92%D7%95%D7%95%D7%9F%20%D7%94%D7%91%D7%99%D7%95%D7%9C%D7%95%D7%92%D7%99.pdf) (accessed on 18 May 2019). (In Hebrew)
8. Bond, W. Fires, Ecological Effects of. In *Encyclopedia of Biodiversity, Volume 2*; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2001; pp. 745–753.
9. KKL. Fire Fighting in Forests, Woodlands, and Open Lands; KerenKayemetLe’Israel: Jerusalem, Israel, 2013; Available online: [http://www.kkl.org.il/files/hebrew\\_files/michrazim/bid-30-15-reference-document-8.pdf](http://www.kkl.org.il/files/hebrew_files/michrazim/bid-30-15-reference-document-8.pdf) (accessed on 18 May 2019). (In Hebrew)

10. Stavi, I. Wildfires in Grasslands and Shrublands: A Review of Impacts on Vegetation, Soil, Hydrology, and Geomorphology. *Water* 2019,11(5), 1042; <https://doi.org/10.3390/w11051042>
11. Calabri G (1980) The use of aircraft for forest protection against fire in Italy, trends in airborne equipment for agriculture and other areas. In: Proceedings of a seminar organized by the United Nations Economic Commission for Europe, Warsaw, 18–22 September 1978, pp 345–348. doi: 10.1016/B978-0-08-022425-1.50049-8
12. Hansen R (2012) Estimating the amount of water required to extinguish wildfires under different conditions and in various fuel types. *Int J Wildl Fire* 21:525–536. doi: 10.1071/WF11022
13. Звіт про науково-дослідну роботу “Провести дослідження і розробити проект Рекомендацій щодо гасіння лісових та торф’яних пожеж”. К. : УкрНДІПБ, 2005. 217 с.
14. Кирилів Я. Б., Ковалишин В. В., Сукач Р. Ю. Пожежна небезпека торф’яників, торфорозробок та методи і засоби підвищення ефективності їх гасіння. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист*: матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції з між-народною участю. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2019. С. 59–61.
15. Сучасна Україна: портрет з природи [Текст] Федак С. Ужгород : Ліра, 2011. 295 с.
16. Україна у вогні: небезпечні торф’яні пожежі URL : <https://www.unian.ua/ecology/1113456-ukrajina-u-vogni-nebezpechni-torfyani-rojeji.html>.
17. Сукач Ю. Г., Сукач Р. Ю., Колісник М. Я. Проблемы термохимического выщелачивания и самонагрева терриконов шахт Львовско-Волынского бассейна : материалы XXIV Международной научно-практической конференции по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института. Москва : ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны, 2012. С. 272–274.

18. "Найпоширеніші пожежі в екосистемах – це трав'яні підпали" – рятувальники Дніпра. URL: <https://opentv.media/najposhirenishi-pozhezhi-v-ekosistemah-tse-trav-yani-pidpali-ryatuvalniki-dnipra>
19. Про організацію заходів з протидії пожежам у природних екосистемах у 2016 році. ДСНС України : наказ від 07.04.2016 № 168.
20. Про затвердження Методичних рекомендацій щодо зниження небезпеки впливу лісових пожеж на арсенали, бази і склади боєприпасів, що розташовані в лісових масивах. МНС Укаїни : наказ від 25.08.2011, № 890.
21. Yu. Bogdanovaetal. Improving of operating efficiency of fire brigades during the suppression of peat fires by introducing a unit for ioactivatingdrinking water into a water supply concept (an example of Tver region) 2019 IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.492012022.
22. Белькова Т. А., Перминов В. А., Алексеев Н. А. Обзор эколого-экономических последствий торфяных пожаров. *XXI век. Техносферная безопасность*. 2016. Т. 1. No 3. С. 35-44.
23. Під Львовом горить торф на площі десятки гектарів. URL: <https://ua.korrespondent.net/ukraine/3968391-pid-lvovom-horyt-torf-na-ploschi-desiat-hektariv>.
24. У Київській області горять торфовища. URL: <https://ua.korrespondent.net/city/kyiv/3771839-u-kyivskii-oblasti-zahorilysia-torfovyscha>
25. Статут дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж: наказ Міністерства внутрішніх справ України 26 квітня 2018 року №340.
26. Довідник керівника гасіння пожежі [Текст] / за заг. ред. Кропивницького В. С. К. : ТОВ "Літера-Друк", 2016. 320 с.
27. Рятувальник загинув після гасіння палаючого поля: розповіли подробиці. URL: [https://gazeta.ua/articles/regions/\\_ryatuvalnik-zaginuuv-pislya-gasinnya-palayuchoho-polya-rozpovili-podrobici/918631](https://gazeta.ua/articles/regions/_ryatuvalnik-zaginuuv-pislya-gasinnya-palayuchoho-polya-rozpovili-podrobici/918631).

28. Про затвердження Настанови з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту МНС України : наказ МНС України від 16.12.2011 року № 1342.
29. Хорошавин Л. Б., Медведев О. А., Беляков В. А., Беззапонная О. В. Торфяные пожары и способы их тушения. *Пожаровзрывобезопасность*. Москва, 2012. Т. 21, № 11. С. 85–89.
30. Никитин Ю. А. Предупреждение и тушение пожаров в лесах и на торфяниках. М.: Россельхозиздат, 1986. 96 с.
31. Сукач Р. Ю., Ковалишин В. В., Кирилів Я. Б. Зниження пожежної небезпеки торф'яників, торфорозробок та способи і протипожежне обладнання для підвищення ефективності їх гасіння. *Пожежна безпека: зб. наук.* пр. Львів: ЛДУ БЖД, 2019. № 35. С. 75–82.
32. Сукач Р. Ю., Мних М.-М. Р. Новый подход к решению проблем при тушении торфяных пожаров: Сборник материалов XIII международной научно-практической конференции курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов). Львів : ЛДУ БЖД, 2019. С. 30.
33. Сукач Р. Ю., Мних М.-М. Р. Нові методи гасіння пожеж торф'яних полів і родовищ. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій* : матеріали X міжнародної науково-практичної конференції. Черкаси : ЧПБ НУЦЗ, 2019. С. 82–84.
34. Кузик А. Д. Моделирование пожежної небезпеки лісів. *Науковий вісник НЛТУ України* : зб. наук.-техн. праць. Львів : РВВ НЛТУ України. 2011. Вип. 21.16. С. 104–112.
35. Wagner Van C. E. Condition for the start and spread of crownfire. *Canadian J. For. Res.* 1977. Vol. 7. P. 23–34.
36. Гришин А. М. Общие математические модели природных пожаров. *XII Симпозиум по горению и взрыву* (Черногоровка, 7-11 февраля 2005 г.) Черногоровка, 2005. С. 1–25.



37. An investigation of crown fuel bulk density effects on the dynamics of crown fire initiation in Shrublands / Watcharapong Tachajapong, Jesse Lozano, Shankar Mahalingam [et al.] *Combust. Sci. and Tech.* 2008. Vol. 180. P. 593–615.
38. Zhou X. Modeling of marginal burning state of fire spread in live chaparral shrub fuel bed / Xiangyang Zhou, Shankar Mahalingam, David Weise // *Combustion and Flame.* 2005. Vol. 143. P. 183–198.
39. Weber R. O. Modelling fire spread through fuel beds. *Prog. Everg. Combust. Sci.* 1990. Vol. 17. P. 65–82.
40. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. М. : Стройиздат, 1990. 424 с.
41. Свириденко В. Є., Бабіч О. Г., Швиденко А. Й. Лісова пірологія: підручник; за ред. В. Є. Свириденка. К. : Агропромвидав України, 1999. 172 с.
42. Гришин А. М. О математическом моделировании природных пожаров и катастроф. *Вестник Томского государственного университета, серия: Математика и механика.* Томск, 2008. № 2 (3). С. 105–114.
43. Дигало О. М. Ідентифікація моделей швидкості поширювання фронту лісової пожежі та їх практичні застосування : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.02 Харків, 2003. 22 с.
44. Доррер Г. А., Иванилова Т. Н. Компьютерные обучающие средства для подготовки специалистов по охране леса. *Хвойные бореальной зоны.* 2008. Т. XXV, № 1–2. С. 128–134.
45. Доррер Г. А. Математические модели динамики лесных пожаров. *Лесная промышленность.* М., 1979. 160 с.
46. Кучерявий В. П. Фітомеліорація. Львів : Світ, 2003. 540 с.
47. Кузик А. Д. Про організацію протипожежної охорони лісів як складової частини системи охорони довкілля в умовах Українських Карпат. *Науковий потенціал світу '2004:* матеріали першої науково-практичної конференції. Т. 6. Екологія. Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. С. 46–47.
48. Кузик А. Д. Про пожежну безпеку лісів на територіях заповідників Українських Карпат. *Пожежна безпека* : зб. наук. праць. ЛДУБЖД. № 8. 2006, С. 81–86.

49. Ntaimo B., Khargharia B., Zeigler R. Forest Fire Spread and Suppression in DEVS L. *Simulation*. 2004. Vol. 80, Iss.10. P. 479–500.
50. Басманов А. Е., Тарасенко А. А., Созник А. П. Экспериментально-аналитическая модель скорости распространения низового лесного пожара. *Проблемы пожарной безопасности* : сб. научн. тр. 2002. Вып. 11. С. 17–25.
51. Finney M. A. FARSITE : Fire Area Simulator – model development and evaluation. Research Paper RMRS-RP-4 Revised. Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2004. 47 p.
52. Finney M. A. Mechanistic modeling of landscape fire patterns. *Spatial Modeling of Forest Landscapes: Approaches and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press. 1999. P. 186–209.
53. Simulating fire patterns in heterogeneous landscapes / W. W. Hargrove, et al. *Ecological Modelling*. 2000. Vol. 135. P. 243–263.
54. Rothermel R. C. A mathematical model for predicting firespread in wildland fuels. *USDA Forest Service Research Paper*. INT-115. January, 1972. 40 p.
55. Тарасенко А. А. Модель динамики контура природного пожара под действием совместного влияния ландшафтно-метеорологических факторов. *Проблемы пожарной безопасности* : сб. науч. тр. 2008. Вып. 24. С. 194–200.
56. Scott J. H., Burgan R. E. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. Fort Collins CO: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2005. 72 p.
57. Alexander M. E. Forest behaviour as a factor in forest and rural fire suppression. *Forest research*. Rotorua, 2000. Bul. No. 197, Rep. No. 5. 28 p.
58. He H. S. Forest landscape models : definitions, characterization, and classification. *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol. 254. P. 484–498.
59. Кулешов А. А. Математическое моделирование в задачах промышленной безопасности и экологии. *Информационные технологии и вычислительные системы*. Москва, 2003. № 4. С. 56–70.

60. Зеленський К., Ліщина В., Ваврук Є. Математичне моделювання низинних лісових пожеж *Вісник НУ "Львівська політехніка": Серія "Комп'ютерні науки та інформаційні технології"*. Львів, 2009. № 638. С. 95–98.
61. Фильков А. И. Детерминировано-вероятностная система прогноза лесной пожарной опасности : автореф. дис. канд. ф.-м.наук : 03.00.16. Томск, 2005. 24 с.
62. Бурасов Д. М. Математическое моделирование низовых лесных и степных пожаров и их экологических последствий : автореф. дис. ... канд. ф.-м. наук : 03.00.16. Томск, 2006. 17 с.
63. Ліщина В. О. Математичне моделювання верхових лісових пожеж. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво: міжвузівський збірник*. Луцьк, 2011. Вип. 4. С. 59–65.
64. Катаева Л. Ю., Крутов А. А. Влияние параметров слоя на распространение лесного пожара с учетом излучения от факела пламени : Международный Форум «Информационные технологии в управлении», 23-25 апреля 2008. URL: [http://www.government-nnov.ru/\\_data/objects/29534/kataeva\\_krutov.doc](http://www.government-nnov.ru/_data/objects/29534/kataeva_krutov.doc).
65. Субботин А. Н. Математическая модель распространения низового лесного пожара по подстилке или слое опада хвои. *Пожарная безопасность*. 2008. № 1. С. 109–116.
66. Субботин А. Н. Математическое моделирование распространения низового лесного пожара по опадению хвои с противопожарными разрывами. *Пожаровзрывобезопасность*. Москва, 2012. Т. 21, № 8. С. 20–25.
67. Кузик А. Д. Еколого-лісівничі основи пожежної безпеки лісів Малого Полісся: монографія. Львів : СПОЛОМ, 2019. 493 с.
68. Казаков М. В. Применение поверхностно-активных добавок для тушения пожаров. М. : Стройиздат, 1977. 80 с.
69. Лиштван И. И. Исследование возможности использования полимеров и ПАВ как структурообразователей торфяных почв. *Новые процессы и продукты переработки торфа* : сб. статей. М. : Наука и техника, 1982. С. 15-19.

70. Рекомендації щодо гасіння лісових та торф'яних пожеж. Розроблено Українським науково-дослідним інститутом пожежної безпеки МНС України. 2007.
71. Rakowska J, Prochaska K, Twardochleb B, Rojewska M, Porycka B, Jaszkievicz A (2014). Selection of surfactants as main components of ecological wetting agent for effective extinguishing of forest and peat-bog fires. *Chem Papers* 68(6): 823–833. doi: 10.2478/s11696-013-0511-9.
72. Соловьев С. В. Выбор огнетушащих составов с учетом особенностей связи воды в торфе. *Вестник ГПС*. 2004. № 2. С. 61-66.
73. Соловьев С. В. Экологические последствия лесных и торфяных пожаров: дис. канд. техн. наук. : по специальности «Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)», 05.26.03 шифр ВАК М., 2006. 222 с.
74. Інструкція до застосування піноутворювача “Софір”.
75. Паспорт на використання Барс S-1.
76. Довідник пожежного рятувальника. Харків 2017.
77. Ковальчик В. М., Лазаренко О. В., Кіндзер Р. В., Сукач Р. Ю. Удосконалення системи розгальмування АЦ–4–60(5309)–505М. *Пожезна безпека*: зб. наук. пр. Львів : ЛДУ БЖД, 2018. № 32. С. 27-31.
78. Кузик А. Д. Карабин О. О. Моделювання процесу поширювання лісової пожежі в умовах гірської місцевості. *Пожезна безпека* : зб. наук. праць. 2005. № 6. С. 49–53.
79. Кузик А. Д., Карабин О. О. Особливості виникнення та поширювання лісової пожежі. *Заповідна справа в Галичині, на Поділлі та Волині*: наук. вісник. Львів: Вид-во УкрДЛТУ. 2004. Вип. 14.8. С. 438–442.
80. Волокитина А. В., Софронов М. А., Карнаухова Е. А. Прогнозирование поведения и последствий низовых пожаров с использованием крупномасштабных карт растительных горючих материалов. *Лесное хозяйство*. 2004. № 1. С. 41–43.
81. О влиянии ветра и крутизны склона на распространение кромки лесного пожара / Э. В. Конев, и др.; *Лесной журнал*. Архангельск, 1989. № 1. С. 24–27.

82. Boboulos M., Purvis M. R. I. Wind and slope effects on ROS during the firepropagation in East-Mediterranean pine forest litterю *Fire Safety J.* 2009. Vol. 44, No. 5. P. 764–769.
83. Rothermel R. C. Field procedures for verification and adjustment of fire behavior predictions / R. C. Rothermel, G. C. Rinehard // General Tech. Rep. INT-142. – Ogden UT : USDA, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, , 1983. – 25 p.
84. Weise D. R. Effects of wind velocity and slope on flame properties / D. R. Weise, G. S. Biging // *Can. J. For. Res.* – 1996. – Vol. 26. – P.1849–1858.
85. Кузык А. Д., Гулида Э. Н., Карабын О. А., Смотр О. О. Распространение лесного пожара по наклонной плоскости. *Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений: материалы XIX научно-практической конференции.* М.: ВНИИПО, 2005. С. 90–92.
86. Кузык А. Д. Карабын О. А. Математическое моделирование распространения лесного пожара с учетом ветра и рельефа. *Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza: Kwartalnik CNBOP-PIB.* Józefów: Wydawnictwo CNBOP-PIB. 2013. Vol. 31, Iss. 4. S. 107-113.
87. Morvan D., Tauleigne V., Dupuy J. L. Flame geometry and surface to crown fire transition during the propagation of a line fire through a mediterranean shrub. *Forest fire research and wildlandfire safety.* Rotterdam: Millpress, 2002. 10 p.
88. Налимов В. В. Теория эксперимента. М. : Наука, 1971. 207 с.
89. Налимов В. В., Голикова Т. И. Логические основания планирования эксперимента. М. : Изд-во МГУ, 1971. 72 с.
90. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента. М.: Легкая индустрия, 1974. 262 с.
91. Душинский В. В., Пуховский Е. С., Радченко С. Г. Оптимизация технологических процессов в машиностроении. К. : Техніка, 1977. 176 с.
92. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей (справочное издание) / Бродский Р. З., Бродский Л. И., Голикова Т. И., и др. М. : Металлургия, 1982. 752 с.

93. Paulik F., Paulik J., Erdey L. Derivatography: A complex method in thermalanalysis. *Talanta*, 1966: P. 1405-1430.
94. Широбоков С. В., Скоробогатова Р. И., Садриев Р. И., Загуменов С.Ю. Ствол для тушения торфяных пожаров. *Вестник Воронежского института ГПС МЧС России*. 2017. 4(25). С. 60–63.
95. Спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж : пат. 133683 Україна : МПК А62С 3/02 (2006.01). / Ковалишин В. В., Сукач Р. Ю., Антонов А. В.; заявник та власник ЛДУ БЖД. No u2018 07685; заявл. 09.07.18; опубл. 25.04.19, Бюл. No 8.
96. Сукач Р. Ю. Ковалишин В. В., Кирилів Я. Б., Петровський В. Л., Сорочич М. П. Дослідження тактико-технічних характеристик спеціального пожежного ствола для гасіння підземних пожеж в екосистемах торф-ліс. *Пожежна безпека: зб. наук. пр.* Львів : ЛДУ БЖД, 2020. № 36. С. 108-114.
97. Сукач Р. Ю. Ковалишин В. В., Кирилів Я. Б., Тактика гасіння та протипожежне обладнання для ліквідації пожеж в екосистемах торф-ліс. *Sciences of Europe : The journal is registered and published in Czech Republic. Articles in all spheres of sciences are published in the journal – Praha, Czech Republic*, 2021. VOL 1, Sciences of Europe 2 No 62(2021) P. 44-48.
98. Противопожарное водоснабжение : учеб. для пожарно-техн. училищ / Качалов А.А., и др. М. : Стройиздат, 1985. 286 с.
99. Горбань Ю. И. Пожарные работы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. М.: Пожнаука, 2013. 352 с.
100. Сукач Р. Ю., Ковалишин В. В., Кирилів Я. Б. Екологічна і пожежна небезпека торф'яників, торфорозробок та способи запобігання і їх ліквідації поблизу об'єктів туристично-рекреаційних комплексів. *Екологічна безпека об'єктів туристично-рекреаційного комплексу: матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції*. Львів: ЛДУБЖД, 2019. С. 129–130.
101. Сукач Р. Ю. Застосування фосфорних добрив при гасінні пожеж на торфополях. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства*.

- Європейський досвід і перспективи: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції*. Львів: 2018. С. 78–80.
102. Бабаджанова О. Ф., Сукач Ю. Г., Сукач Р. Ю. Чинники пожежної небезпеки природних відвалів вугледобування. *Пожежна безпека* : зб. наук. пр. Львів: ЛДУ БЖД, 2012. № 20. С. 137–143.
103. Сукач Р. Ю., Ткач Є. Р. Гасіння пожеж в природних екосистемах Львівської області. *Пожежна та техногенна безпека: наука і практика* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів і студентів. Черкаси: 2017. С. 143–144.
104. Босак П. В., Попович В. В., Піндер В. Ф., Стокалюк О. В. Температура займання та самозаймання найпоширеніших деревних порід териконів. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020, т. 30, № 5. С. 53–58. URL: <https://doi.org/10.36930/40300509>
105. Попович В. В., Гапало А. І. Температурний вплив ландшафтних пожеж на екологічний стан едафотопу. *Zeszyty Naukowe SGSP*, 2020, Nr 76/4/2020. 29–45.
106. Луц В. І., Лазаренко О. В., Сукач Р. Ю., Наливайко М. А. Аналіз підготовки газодимозахисників ДСНС України в тепло- та димокамері. *Пожежна безпека*: зб. наук. пр. 2013, № 23, С. 111–115.
107. Справочное руководство по ликвидации лесных и торфяных пожаров / А. М. Сегодник, и др. Гродно : Гродненское областное управление МЧС Республики Беларусь, 2012. 160 с.
108. Козловський В. О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах : навч. посіб. Вінниця : ВДТУ, 2003. 75 с.

## **Додаток А**

Список опублікованих праць за темою дисертації



**У міжнародних виданнях :**

1. Сукач Р.Ю., Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б. Тактика гасіння та протипожежне обладнання для ліквідації пожеж в екосистемах торф-ліс. *Sciences of Europe: Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Praha, Czech Republic, 2021. VOL 1, No 62(2021) P. 44–48.*

**У наукових фахових виданнях України :**

2. Бабаджанова О.Ф., Сукач Ю.Г., Сукач Р.Ю. Чинники пожежної небезпеки природних відвалів вугледобування. *Збірник наукових праць : Пожежна безпека, ЛДУ БЖД. 2012. № 20. С. 137–143.*

3. Сукач Р.Ю., Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б., Сукач Р.Ю. Зниження пожежної небезпеки торф'яників, торфорозробок та способи і протипожежне обладнання для підвищення ефективності їх гасіння. *Збірник наукових праць : Пожежна безпека, ЛДУ БЖД. 2019. № 35. С. 75–82.*

4. Сукач Р.Ю., Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б., Петровський В.Л., Сорочич М.П. Дослідження тактико-технічних характеристик спеціального пожежного ствола для гасіння підземних пожеж в екосистемах торф-ліс. *Збірник наукових праць : Пожежна безпека, ЛДУ БЖД. 2020. № 36. С. 108–114.*

5. Луц В.І., Лазаренко О.В., Сукач Р.Ю., Наливайко М.А. (2013). Аналіз підготовки газодимозахисників ДСНС України в тепло та димокамері. *Збірник наукових праць : Пожежна безпека, ЛДУ БЖД. 2013. №23. С. 111–115.*

6. Ковальчик В.М., Лазаренко О.В., Кіндзер Р.В., Сукач Р.Ю. Удосконалення системи розгальмування АЦ – 4 – 60(5309) – 505М. *Збірник наукових праць : Пожежна безпека, ЛДУ БЖД. 2018. № 32. С. 27–31.*

**Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації :**

7. Сукач Ю.Г., Сукач Р.Ю., Колісник М.Я. Проблемы термохимического выщелачивания и самонагрева терриконов шахт Львовско-Волынского бассейна: материалы XXIV Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам

*пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института*, 03-04 июля 2012, Москва, 2012. С. 272–274.

8. Сукач Р.Ю., Ткач Є.Р. Гасіння пожеж в природних екосистемах Львівської області: *матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. курсантів і студентів “Пожежна та техногенна безпека: наука і практика”*, 05-06 квітня 2017 р., Черкаси, 2017. С. 143–144.

9. Сукач Р.Ю. Застосування фосфорних добрив при гасінні пожеж на торфополях: *матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. “Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи”*, 14 вересня 2018 р., Львів, 2018. С. 78–80.

10. Сукач Р.Ю., Мних М.-М.Р. Новый подход к решению проблем при тушении торфяных пожаров. *Сборник материалов XIII Междунар. научно-практ. конф. курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов)*, Мінськ, 2019. С. 30.

11. Сукач Р.Ю., Мних М.-М.Р. Нові методи гасіння пожеж торф'яних полів і родовищ: *матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. “Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій”*. Черкаси: ЧПБ НУЦЗ, 2019. С. 82–84.

12. Кирилів Я.Б., Ковалишин В.В., Сукач Р.Ю. Пожежна небезпека торф'яників, торфорозробок та методів і засобів підвищення ефективності їх гасіння: *матеріали IX Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнародною участю: “Надзвичайні ситуації: безпека та захист”*. Черкаси: ЧПБ НУЦЗ, 2019. С. 59–61.

13. Сукач Р.Ю., Ковалишин В.В., Кирилів Я.Б. Екологічна і пожежна небезпека торф'яників, торфорозробок та способи запобігання і їх ліквідації поблизу об'єктів туристично-рекреаційних комплексів: *матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф.* Львів: ЛДУБЖД, НЛТУ, 2019. С. 129–130.

**Патенти :**

14. Спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж: пат. на корисну модель 133683 Україна: МПК51 (2006.01) А62С 3/02. № и 2018 07685; заявл. 09.07.2018; опубл. 25.04.2019, Бюл. №8.

**Додаток Б**

Відомості про апробацію результатів дисертації

1. XXIV Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института.

г. Москва: ФГБУ “Всероссийский ордена “Знака Почета” научно-исследовательский институт противопожарной обороны”, 03-04 июля 2012 г., форма участия – заочная.

2. Всеукраїнська науково-практична конференція курсантів і студентів “Пожежна та техногенна безпека: наука і практика”.

м. Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, 05-06 квітня 2017 р., форма участі – очна.

3. III Міжнародна науково-практична конференція “Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи”.

м. Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 14 вересня 2018 р., форма участі – очна.

4. XIII Международная научно-практическая конференция курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) “Обеспечение безопасности жизнедеятельности : природные пожары и борьба с ними”.

г. Минск: Университет гражданской защиты, 03-04 апреля 2019 г., форма участия – очная.

5. X Міжнародна науково-практична конференція “Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій”.

м. Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, 11-12 квітня 2019 р., форма участі – очна.

6. IX Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю: “Надзвичайні ситуації: безпека та захист”.

м. Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, 24-25 жовтня 2019 р., форма участі – очна.

7. I Міжнародна науково-практична конференція “Екологічна безпека об’єктів туристично-рекреаційного комплексу”.

м. Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Національний лісотехнічний університет України, 05-06 грудня 2019 р., форма участі – очна.

**Додаток В**

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної та методичної роботи  
Львівського державного університету безпеки  
життєдіяльностікандидат технічних наук, доцент  
полковник служби цивільного захисту

Дмитро ЧАЛИЙ

2020 року

АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження  
Сукача Романа Юрійовича

“Підвищення ефективності гасіння низових пожеж в екосистемах”

Комісія у складі:

голови комісії – начальника навчально-наукового інституту цивільного захисту,  
д.т.н., доцента, підполковника служби цивільного захисту Поповича В.В.;членів комісії: начальника кафедри екологічної безпеки д.т.н., доцента, полковника  
служби цивільного захисту Баланюка В.М., заступника начальника кафедри пожежної  
тактики та аварійно-рятувальних робіт к.т.н., доцента, полковника служби цивільного  
захисту Луца В.І.; встановила, що результати дисертаційної роботи Сукача Р.Ю. на тему :  
“Підвищення ефективності гасіння низових пожеж в екосистемах” за спеціальністю 261  
“Пожежна безпека” (на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук)  
використовується у навчальному процесі при викладанні таких дисциплін в університеті :- на кафедрі пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт – Змістовного  
модулю №3 “Гасіння пожеж на об’єктах різного призначення та сільській місцевості”  
тема : “Гасіння пожеж лісових масивів, на торфопідприємствах і хлібних полях” з  
дисципліни “Пожежна тактика” за спеціальністю 261 “Пожежна безпека”;- на кафедрі екологічної безпеки – Змістовного модулю №2. “Методи та способи  
гасіння пожеж у природних екосистемах та оцінювання екологічних наслідків” тема №11 :  
“Організація гасіння пожеж у природних екосистемах із використанням рідких  
вогнегасних засобів” з дисципліни “Пожежі в природних екосистемах” за  
спеціальністю 101 “Екологія”.Таким чином, результати дисертаційної роботи використані в лекційних курсах  
зазначених навчальних дисциплін при викладенні теоретичних положень та  
методичних підходів щодо створення загороджувальних смуг та гасіння пожеж  
змочувачами “Барс S-2”, “Пірена”, “Софір”, “Альпен”, “ППЛВ-(Універсал)” при  
низових і ґрунтових пожежах, а також при догашуванні пожеж.

Голова комісії:

Начальник навчально-наукового інституту  
цивільного захисту д.т.н., доцент  
підполковник служби цивільного захисту

Василь ПОПОВИЧ

Члени комісії:

Начальник кафедри екологічної безпеки  
д.т.н., доцент  
полковник служби цивільного захисту

Володимир БАЛАНЮК

Заступник начальника кафедри  
пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт  
к.т.н., доцент

полковник служби цивільного захисту

Василь ЛУЦ





ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Начальник управління реагування  
 на надзвичайні ситуації ГУ ДСНС України  
 у Львівській області  
 полковник служби цивільного захисту  
 кандидат технічних наук

Ігор УЩАПІВСЬКИЙ

“ 07 ” вересня 2020 року

### АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження  
 Сукача Романа Юрійовича

“ Підвищення ефективності гасіння низових пожеж в екосистемах ”

Комісія у складі:

голови комісії – заступника начальника управління – начальника відділу організації пожежогасіння та роботи з об'єктовими підрозділами управління реагування на надзвичайні ситуації ГУ ДСНС України у Львівській області, полковника служби цивільного захисту Прокопика І.Р.;

членів комісії: заступника начальника центру (з питань оперативного реагування) оперативно-координаційного центру ГУ ДСНС України у Львівській області, майора служби цивільного захисту Дубасюка В.С., старшого помічника начальника зміни (з питань оперативного реагування) чергової зміни оперативно-координаційного центру ГУ ДСНС України у Львівській області, підполковника служби цивільного захисту Мончука Р.В. склала цей акт та стверджує, що результати дисертаційної роботи Сукач Р.Ю. і запропоновані ним інженерно-технічні рішення, зокрема використання стійкого піноутворювача “Барс S-2” рекомендовані ГУ ДСНС України у Львівській області, як варіант гасіння низових пожеж в екосистемах із застосуванням хімічних речовин.

Голова комісії :

заступник начальника управління реагування на НС –  
 начальник відділу організації пожежогасіння  
 та роботи з об'єктовими підрозділами  
 ГУ ДСНС України у Львівській області  
 полковник служби цивільного захисту

Ігор ПРОКОПИК

Члени комісії :

заступник начальника ОКЦ  
 (з питань оперативного реагування)  
 ГУ ДСНС України у Львівській області  
 майор служби цивільного захисту

Володимир ДУБАСЮК

старший помічник начальника зміни ОКЦ  
 ГУ ДСНС України у Львівській області  
 підполковник служби цивільного захисту

Роман МОНЧУК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора

ТзОВ «Науково-виробниче

товариство «Вогнеборець»

Андрій ЛОЗИНСЬКИЙ



2020 року

## АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Сукача Романа Юрійовича

“ Підвищення ефективності гасіння низових пожеж в екосистемах ”

Комісія в складі:

голови комісії – завідувача науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, Петровського В.Л.;

членів комісії: здобувача/старшого викладача кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, підполковника служби цивільного захисту Сукача Р.Ю., начальника дільниці виготовлення вогнегасників Пігія В. І., склала цей акт про те, що матеріали дисертації Сукача Р.Ю. «Підвищення ефективності гасіння низових пожеж в екосистемах» використані при проведенні лабораторних досліджень стійкості піни при створенні загороджувальної смуги за допомогою піноутворювача із підвищеною стійкістю піни “Барс S-2”, визначення змочувальної здатності піни та утримування на трав’яному покриві, визначено пристрої за допомогою яких краще подавати піну для створення загороджувальних смуг.

Розробка пройшла дослідну експлуатацію та показала свою ефективність. Таким чином, результати дисертаційної роботи Сукача Р.Ю. використані на практиці при визначенні стійкості одержаної піни за допомогою піноутворювача “Барс S-2” та використанні його при гасіння та догашуванні лісових пожеж.

Голова комісії

Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

Члени комісії

Роман СУКАЧ

Василь ПІГІЙ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. директора ДСП «Північна Пуща»  
Сергій ХАЛАШ«14» Листопада 2020 року

## АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження  
Сукача Романа Юрійовича  
«Підвищення ефективності гасіння низових пожеж в екосистемах»


Комісія у складі:

голови комісії – головного інженера Прояви М.В.;

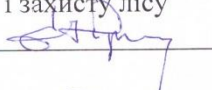
членів комісії: заступника начальника відділу лісового господарства охорони і захисту лісу та оперативного реагування Кирилюка Є.В., провідного інженера відділу лісового господарства охорони і захисту лісу та оперативного реагування Пономаренка В.М. встановила, що результати дисертаційної роботи Сукача Р.Ю. і запропоновані ним інженерно-технічні рішення, зокрема використання стійкого піноутворювача «Барс S-2» для створення пінних загороджувальних смуг рекомендовані ДСП «Північна Пуща», як варіант гасіння низових пожеж трав'яного настилу в екосистемах із застосуванням хімічних речовин.

Таким чином, піноутворювач «Барс S-2» використовувався на практиці при гасінні та догашуванні лісових пожеж.

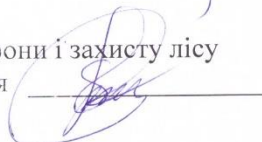
Комісія рекомендує впроваджувати використання піноутворювача «Барс S-2» ТзОВ «Науково-виробничого підприємства «Вогнеборць» м. Львів, у виробництві, з подальшим його використанням при гасінні лісових пожеж і відмічає позитивний результат його хімічного складу та підвищену стійкість одержаної піни.

Голова комісії :  
Головний інженер

Михайло ПРОЯВА

Члени комісії :  
заступник начальника відділу  
лісового господарства охорони і захисту лісу  
та оперативного реагування

Євген КИРИЛЮК

провідний інженер відділу  
лісового господарства охорони і захисту лісу  
та оперативного реагування

Валерій ПОНОМАРЕНКО

**Додаток Г**  
Патент на корисну модель





УКРАЇНА



# ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 133683

СПЕЦІАЛЬНИЙ ПОЖЕЖНИЙ СТВОЛ ДЛЯ ГАСІННЯ  
ПІДЗЕМНИХ ПОЖЕЖ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.04.2019.

Заступник Міністра економічного розвитку і торгівлі України

Ю.П. Бровченко



42-2605-19

(11) **133683**(19) **UA**(51) МПК  
A62C 3/02 (2006.01)

(21) Номер заявки:	u 2018 07685	(72) Винахідники:	Ковалишин Василь Васильович, UA, Сукач Роман Юрійович, UA, Антонов Анатолій Васильович, UA
(22) Дата подання заявки:	09.07.2018		
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	25.04.2019		
(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня:	25.04.2019, Бюл. № 8	(73) Власник:	ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ДСНС УКРАЇНИ, вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007, UA

(54) Назва корисної моделі:

**СПЕЦІАЛЬНИЙ ПОЖЕЖНИЙ СТВОЛ ДЛЯ ГАСІННЯ ПІДЗЕМНИХ ПОЖЕЖ**

(57) Формула корисної моделі:

Спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж, виготовлений на основі гвинтової палі з отворами та фланцем, який містить прилягану суцільну спіраль з наконечником, який виготовлений з оцинкованої гартованої сталі, як додатковий елемент містить ручки вентиляного типу та кутове з'єднання з двома з'єднувальними головками.

(11) 133683

Державне підприємство  
«Український інститут інтелектуальної власності»  
(Укрпатент)

Оригіналом цього документа є електронний документ з відповідними реквізитами, у тому числі з накладеним електронним цифровим підписом уповноваженої особи Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та сформованою позначкою часу.

Ідентифікатор електронного документа 1029240419.

Для отримання оригіналу документа необхідно:

1. Зайти до ІДС «Стан діловодства за заявками на винаходи та корисні моделі», яка розташована на сторінці <http://base.uipv.org/searchInvStat/>.
2. Виконати пошук за номером заявки.
3. У розділі «Документи Укрпатенту» поруч з реєстраційним номером документа натиснути кнопку «Завантажити оригінал» та ввести ідентифікатор електронного документа.

Ідентичний за документарною інформацією та реквізитами паперовий примірник цього документа містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Уповноважена особа Укрпатенту

І.Є. Матусевич

25.04.2019





МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **133683** (13) **U**  
(51) МПК  
**A62C 3/02** (2006.01)

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки:	u 2018 07685	(72) Винахідник(и):	Ковалишин Василь Васильович (UA), Сукач Роман Юрійович (UA), Антонов Анатолій Васильович (UA)
(22) Дата подання заявки:	09.07.2018	(73) Власник(и):	ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ДСНС УКРАЇНИ, вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	25.04.2019		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.04.2019, Бюл.№ 8		

**(54) СПЕЦІАЛЬНИЙ ПОЖЕЖНИЙ СТВОЛ ДЛЯ ГАСІННЯ ПІДЗЕМНИХ ПОЖЕЖ**

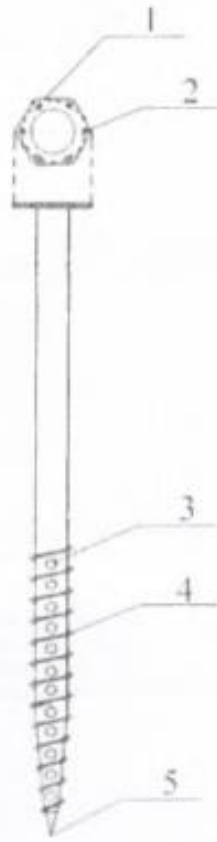
**(57) Реферат:**

Спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж виготовлений на основі гвинтової палі з отворами та фланцем, містить припаяну суцільну спіраль з наконечником, який виготовлений з оцинкованої гартованої сталі. Як додатковий елемент містить ручки вентиляного типу та кутове з'єднання з двома з'єднувальними головками.

UA 133683 U



UA 133683 U



Фиг. 1

## UA 133683 U

Корисна модель належить до пожежної техніки і може бути використана при гасінні пористих речовин, землі, торфу, териконів на глибині до 7-ми метрів.

При горінні хімічних сполук або речовин на глибині необхідно здійснювати гасіння потужними пожежними стволами з великою продуктивністю та під великим тиском, що супроводжує розбризування хімічних речовин на поверхню з наявною небезпекою для оточуючих.

При глибинному горінні торфу утворену кірку розбивають потужними струменями води. Небезпека торфових пожеж у тому, що в процесі горіння утворюються порожнини (часто з жаром) у вигорілому торфі, в які можуть провалюватися люди, тварини і техніка.

Відомі моделі торф'яних стволів:

ТС-1 та ТС-2 - застосовуються для гасіння торф'яних пожеж при глибині прогорання від 1 до 2 м. Складаються з латунної трубки з внутрішнім діаметром 16 мм, наконечника і крана-ручки з накидною гайкою. У нижній частині має 40 отворів діаметром до 3 мм. Вода надходить від насоса в ствол під тиском від 3 до 4 атм через отвори в ґрунт [1, 2].

СПТ-70 - застосовується для гасіння торф'яних пожеж при глибині прогорання до 2 м. Складається з сталеві трубки з внутрішнім діаметром 20 мм, наконечника, крана-ручки з накидною гайкою. У нижній частині має 70 отворів діаметром до 5 мм. Вода надходить від насоса в ствол під тиском від 2 до 6 атм через отвори в ґрунт [3].

**СТВОЛ ПОЖЕЖНИЙ ДЛЯ ГЛИБИННОГО ГАСІННЯ** - застосовується для гасіння торфу при глибині прогорання до 2 м. Складається з насадки, шнека, трійника, ручки, з'єднувальної головки, крана 3/4, шарнірної втулки. Потік води, що проходить через отвори діаметром 8 мм в насадці, просочується в шар горючого матеріалу в радіусі 2-3 м залежно від пористості матеріалу та вогнегасна рідина проникає по всій глибині занурювання ствола.

Однак відомі торф'яні стволи: стволи типу ТС-1, ТС-2 задавлюють в торф під вагою тіла пожежного (ствольника). А це, у свою чергу, може призвести до обвалу торф'яного шару в зоні перебування ствольника, та створити загрозу здоров'ю та життю. Подача води (розчину піноутворювача) здійснюється лише після повного занурення.

В основу корисної моделі поставлена задача створення ствола пожежного для глибинного гасіння пожеж в будь-яку пору року, завдяки конусоподібній формі та виготовлення з оцинкованої гартованої сталі з наконечником та припаяної суцільної спіралі ми можемо подавати вогнегасні речовини на глибину понад 2 метри, що підвищує ефективність подачі вогнегасних речовин в горюче середовище завдяки вкручуванню ствола в горючий шар, що дозволяє гасіння пожежі на заданій глибині, а саме до 7-ми метрів. Краще гасіння на глибині здійснюється завдяки подачі води (розчину піноутворювача) безпосередньо від моменту введення ствола в горючий шар.

Поставлена задача вирішується тим, що спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж виготовлений на основі гвинтової палі з отворами та фланцем, містить припаяну суцільну спіраль з наконечником, який виготовлений з оцинкованої гартованої сталі, як додатковий елемент містить ручки вентиляного тілу та кутове з'єднання з двома з'єднувальними головками. Під тиском від насоса пожежно-рятувального автомобіля або мотопомпи, вода (розчин піноутворювача) подається по рукаву діаметром 77 мм. Ефект гасіння глибинних пожеж з глибиною прогару понад 2 м досягається тим, що вода (розчин піноутворювача) через отвори в корпусі ствола подається не на поверхню, а на глибину джерела горіння. При цьому завдяки гвинтовій частині, шляхом обертання, ствол заглиблюється і виймається із землі.

Ствол зі шнеком заглиблюється в шар (торф'яний, земляний і т. д.) на необхідну глибину за допомогою під'єднувальних ручок, подається робочий тиск порядку 0,4-0,7 МПа (4-7 атм). Далі витримується потрібний час подачі рідини, після чого подача рідини припиняється і ствол переноситься на інше місце.

Даний ствол пожежний для глибинного гасіння, який відрізняється тим, що має ручки (вентиляного тілу), призначені для вгвинчування в шар пористих речовин, землі, торфу на глибину, що підвищує ефективність пожежогасіння горючих речовин, сполук, матеріалів на глибині, завдяки подачі води (розчину піноутворювача) безпосередньо від моменту введення ствола в горючий шар, що дозволяє здійснювати гасіння по всій глибині його розміщення понад 2 м. Також ствол "Спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж" може вкручуватись не тільки за допомогою ручної сили, а й за допомогою спеціальної електричної машинки для закручування (вкручування) гвинтових паль (KR E 20 Z1), швидке закручування (вкручування) здійснюється завдяки швидкому від'єднанню з'єднувальної головки та під'єднанню машинки до фланця гвинтової палі за допомогою 6 болтів. Ствол має спеціальне

## UA 133683 U

"кутове з'єднання", яке запобігає перелому рукавної лінії. На кресленні зображений спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж, де:

5 Фіг. 1 - Гвинтова палі з отворами та фланцем: 1 - фланець для під'єднання спеціальної машинки для закручування (викручування); 2 - отвори для болтового з'єднання з спеціальною машинкою; 3 - отвір для подавання вогнегасної речовини; 4 - припаяна суцільна спіраль; 5 - наконечник з оцинкованої гартованої сталі.

10 Фіг. 2 - Спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж: 6 - з'єднувальна головка для підключення "кутового з'єднання"; 7 - ручки вентиляного типу для закручування ствола; 8 - роз'єм для вкручування ручок вентиляного типу.

10 Фіг. 3 - Кутове з'єднання: 9 - стальна труба зігнута під кутом 90°; 10 - дві з'єднувальні головки для підключення до пожежного ствола для гасіння підземних пожеж та рукава.

15 Спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж складається з: ручок, з'єднувальної головки, фланця, "кутового з'єднання", гвинтової палі з отворами.

15 Принцип роботи даного спеціального пожежного ствола для гасіння підземних пожеж такий: потік води, що проходить через отвори діаметром 5 мм в насадці, просочується в шар горючого матеріалу в радіусі 2-3 м залежно від пористості матеріалу та вогнегасна рідина проникає по всій глибині занурювання ствола.

20 Тобто, для приведення в дію ствола пожежного для глибинного гасіння необхідно встановити ствол у вертикальне положення до горючого шару, при цьому кінець гвинтової палі з отворами повинен бути вставлений у горючий шар. За допомогою ручок здійснити вгвинчування ствола за годинникову стрілку у горючий шар на необхідну глибину, при цьому можна скористатись спеціальною електричною машинкою для закручування (викручування). Під'єднати "кутове з'єднання" до з'єднувальної головки спеціального пожежного ствола для гасіння підземних пожеж, прокласти робочу лінію (пожежні рукави) діаметром 77 мм від мотопомпи або пожежного автомобіля та під'єднати до з'єднувальної головки "кутового з'єднання". Для 25 нормальної роботи "Спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж", напір в робочій лінії повинен бути 0,4-0,7 МПа (4-7 атм). Розроблений ствол дозволяє підвищити ефективність пожегогасіння горючих речовин, сполук, матеріалів на глибині, завдяки подачі води (розчину піноутворювача) безпосередньо від моменту введення ствола в горючий шар, що дозволяє здійснювати гасіння по всій глибині його розміщення понад 2 м та забезпечити безпечні умови 30 праці пожежного під час заглиблення ствола на певну глибину.

## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

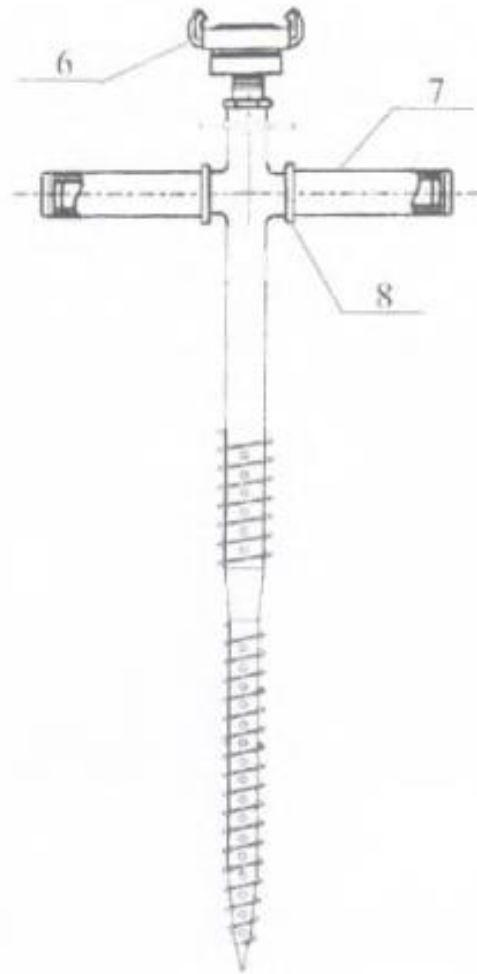
35 Спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж, виготовлений на основі гвинтової палі з отворами та фланцем, який містить припаяну суцільну спіраль з наконечником, який виготовлений з оцинкованої гартованої сталі, як додатковий елемент містить ручки вентиляного типу та кутове з'єднання з двома з'єднувальними головками.

UA 133683 U

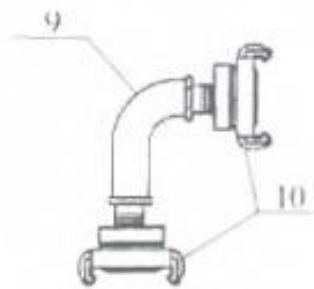


Фиг. 1

UA 133683 U



Фиг. 2



Фиг. 3

UA 133683 U

---

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

---

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601