

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

СУКАЧ РОМАН ЮРІЙОВИЧ

УДК 614.841.2

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАСІННЯ
НИЗОВИХ ПОЖЕЖ В ЕКОСИСТЕМАХ**

21.06.02 – пожежна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Кирилів Ярослав Богданович,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, старший науковий співробітник відділу організації науково-дослідної діяльності

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Тарасенко Олександр Андрійович,
Національний університет цивільного захисту України, завідувач кафедри фізико-математичних дисциплін

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Боровиков Володимир Олександрович
ТЗОВ “Фітгіх АГ–Україна”, менеджер

Захист відбудеться „14” травня 2021 року о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.874.01 у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності за адресою: 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Львівського державного університету безпеки життєдіяльності за адресою: 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35

Автореферат розісланий „14” квітня 2021 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
к. т. н.

_____ Роман ЯКОВЧУК

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 стається декілька сотень тисяч пожеж, які знищують ліси, чагарники, луки та торфовища на площі в декілька мільйонів гектарів. 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.

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

Вагомий внесок у вивчення та дослідження процесів та передумов виникнення пожеж в екосистемах внесли такі вчені як А. Д., Дорпер, Г. А., Гришин О. М., Барановський Н. В., Софронов М. А., Albinі F. A., Weber R. O., Morvan D., Wagner Van, Cruz M. G., Fosberg M. A., Абрамов Ю. О., Scott J. H., Гуліда Е. М., 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 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., Луца В.І., Грушовінчука О.В. та ін. Проте слід відзначити, що в наведених роботах не досліджувалась 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, 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 дослідження. 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 щодо гасіння низових пожеж в екосистемах з трав'яними покривами пінними загороджувальними смугами, прокладеними з використанням робочих розчинів піноутворювача, що забезпечують генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі “Барс S-2”).

Об'єкт досліджень – процеси розвитку і гасіння низових пожеж в екосистемах “трава – торф”.

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

Методи досліджень. 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 поширювання 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.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у встановленні взаємозв'язку між чинниками, що впливають на поширювання пожеж травостою із торф'яними включеннями та ефективність 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 торфуги не впливає. Водний розчин амофосу ($NH_4H_2PO_4$) 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 торфуги до самозаймання. Водний розчин амофосу з концентрацією 10 % і більше з додаванням піноутворювача чи без його додавання повністю запобігає самозайманню торфуги;
- *удосконалено* конструкцію спеціального пожежного ствола створенням шнекової частини і підвищенням продуктивності до 13,24 – 15,98 л/с і збільшенням радіусу зрошення 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 коефіцієнту 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 полягає в тому, що результати теоретичних та експериментальних досліджень з виявлення взаємозв’язку між чинниками, що впливають на поширювання горіння 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 щодо запобігання та гасіння низових пожеж в екосистемах, що утворені трав’яними покривами. Зазначені рекомендації дозволяють 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 літературних джерел, удосконаленні та розробленні методик досліджень та обладнання, проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, обробленні їх результатів, формулюванні та виявленні наукової новизни, узагальненні висновків.

Перелік робіт, здійснених здобувачем у співавторстві, наведено у списку опублікованих праць за темою дисертації. Внесок здобувача в представлених наукових працях, які виконано у співавторстві, полягає в такому : у роботах у роботі [1] проаналізував літературні дані щодо пожежної небезпеки природних відвалів вугледобування та взяв участь у формуванні висновків; у роботі [2] провів аналіз низових лісових пожеж та загоряння торфополів, визначив обов'язки КПП при гасінні таких пожеж та запропонував використовувати математичне моделювання огорожувальних каналів; у роботі [3] провів експериментальні дослідження спеціального пожежного ствола для гасіння підземних пожеж та визначив його тактико-технічні характеристики; у роботі [4] провів статистичний аналіз роботи ланок ГДЗС в Україні, проаналізував нормативні документи щодо вимог і правил їх роботи та взяв участь у формуванні висновків; у роботі [5] провів експериментальні дослідження з визначення часу виїзду підрозділів на автоцистернах АЦ-4-60(5309)-505М на гасіння лісових пожеж та запропонував і експериментально обґрунтував технічне вирішення щодо скорочення часу виїзду на пожежу; у роботі [6] провів випробовування дослідного взірця спеціального пожежного ствола для гасіння підземних пожеж на відкритому просторі та вкрученому в ґрунт та запропонував основні тактичні методи і способи гасіння низових лісових пожеж та торфополів із застосуванням даного ствола.

Апробація результатів дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та отримали позитивне схвалення на 10 науково-практичних конференціях. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались: XII Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, курсантів та студентів “Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності” – (м. Львів, 23-24 березня 2017 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції “Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи” – (м. Львів, 14 вересня 2018 р.); XIV Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, курсантів та студентів “Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності” – (м. Львів, 28-29 березня 2019 р.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених “Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту” – (м. Харків, 10-11 квітня 2019 р.); X Міжнародній науково-практичній конференції “Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій” – (м. Черкаси, 11-12 квітня 2019 р.); I Міжнародній науково-практичній конференції “Екологічна безпека об'єктів туристично-рекреаційного комплексу” – (м. Львів, 05-06 грудня 2019 р.);

XV Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, курсантів та студентів “Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності” – (м. Львів, 26-27 березня 2020 р.); IX Всеукраїнській науково-практичній конференції : “Надзвичайні ситуації : безпека та захист” – (м. Черкаси, 24-25 жовтня 2019 р.); на Міжнародній науково-практичній конференції “XXIV Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института ФГБУ “Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны” – (м. Москва, 03-04 липня 2012 р.); на Міжнародній науково-практичній конференції “XIII международной научно-практической конференции Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы – (м. Мінськ, 03-04 квітня 2019 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 5 наукових статтях у виданнях, віднесених до переліку фахових видань України, працях, 1 науковій статті у періодичних наукових виданнях інших держав та 7 тезах доповідей на науково-практичних конференціях.

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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи та важливість дослідження основних чинників, що впливають на пожежі травостою, сформульовано мету і визначено завдання досліджень, відображено наукову новизну роботи та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію та публікування основних результатів дослідження.

У **першому розділі** наведено результати аналізу виникнення і поширювання низових пожеж в екосистемах України та інших країн, статистику пожеж у природних екосистемах в Україні, розглянуто особливості запобігання поширюванню, гасіння та моделювання низових пожеж в екосистемах, визначено обладнання для генерування повітряно-механічної піни і порядок його застосування та вибір основних способів та технічних засобів, при гасінні низових пожеж, визначено мату та задачі досліджень.

На основі наукових праць вітчизняних та зарубіжних вчених, встановлено, що 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 і супроводжуються інтенсивним утворенням і надходженням у повітря шкідливих речовин. Ліс – це складна екологічна система, для дослідження якої застосовують різноманітні моделі. Моделі, які застосовують для визначення пожежної небезпеки пов'язані з лісовими пожежами та пов'язані з середовищем лісу, але непридатні для оцінювання пожежної небезпеки. Моделювання процесів поширювання пожеж на площині здійснюють на принципах теорії клітинних автоматів, Гюйгенса-Френеля і фільтрування.

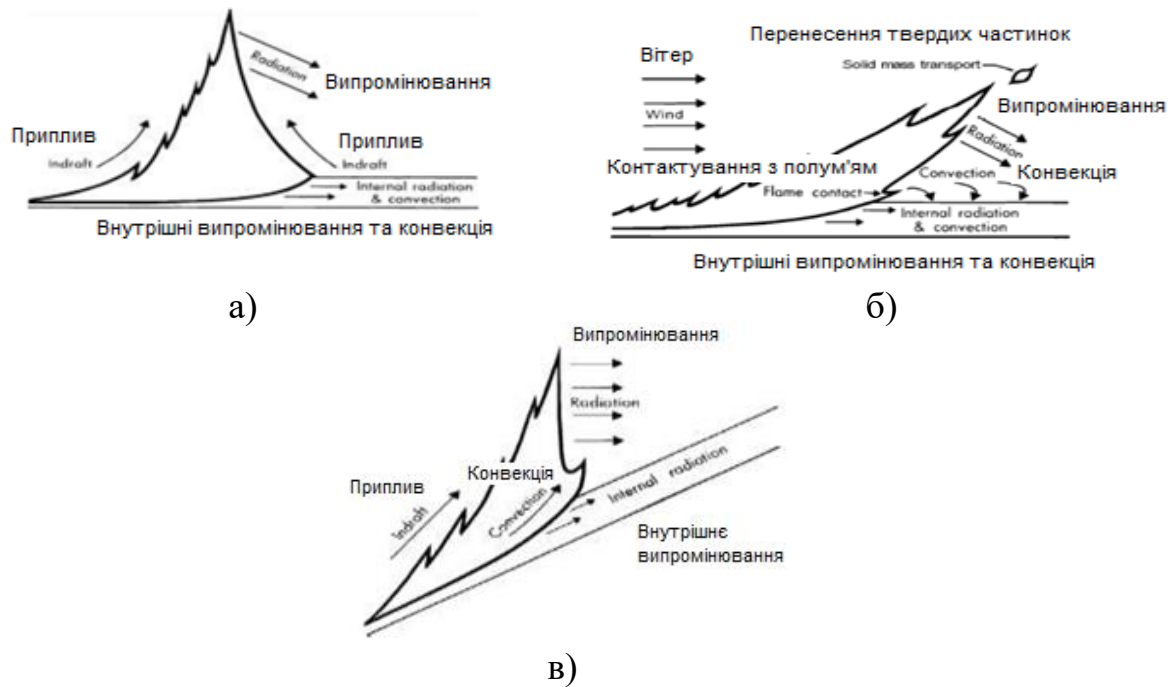


Рисунок 1 – Способи поширювання пожежі:

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

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

На сьогоднішній 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.

Таким чином, удосконалення існуючих математичних моделей процесів поширювання низової пожежі трав'яними покривами з урахуванням рельєфу та вітру є важливим науковим завданням для дослідження основних чинників впливу на низові пожежі в екосистемах вирішення якого визначити параметри та способи нанесення пінних загороджувальних смуг, прокладених з використанням робочих розчинів піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю.

У **другому розділі** У другому розділі викладено теоретичні дослідження низових пожеж в екосистемах. 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 трапляються різні ухили 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.

На процес поширювання низової пожежі суттєвий вплив мають різноманітні чинники: фізичні характеристики горючого матеріалу, швидкість вітру і ухил поверхні, якою вона шириться. 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.

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 θ_p від швидкості вітру описується формулою:

$$\theta_p = \arctg(a \cdot Fr^b), \quad (1)$$

де $a = 1,22$, $b = 0,5$, а Fr – число Фруда. Параметри a і b в залежності (1) можуть набувати й інших значень залежно від виду та стану горючого матеріалу. Їх визначають експериментальним методом.

Під час пожежі на горизонтальній поверхні 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. 2б). Площина, якою поширюється пожежа, описується рівнянням:

$$Ax + By + Cz + D = 0, \quad (2)$$

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 θ 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 формули (1) визначаємо зведену швидкість вітру v_{Bp} , під дією якої у випадку, якщо площина поширювання пожежі була б горизонтальною, полум'я відхилялося б від нормалі (вектор \vec{n}) на кут θ . Формула для розрахунку величини зведеної швидкості вітру має вигляд:

$$v_{Bp} = \sqrt{gH} \left(\frac{tg\theta}{a} \right)^{\frac{1}{2b}}, \quad (3)$$

а її напрямок паралельний до горизонту і збігається з проекцією напрямку ухилу площини Π на горизонтальну поверхню.

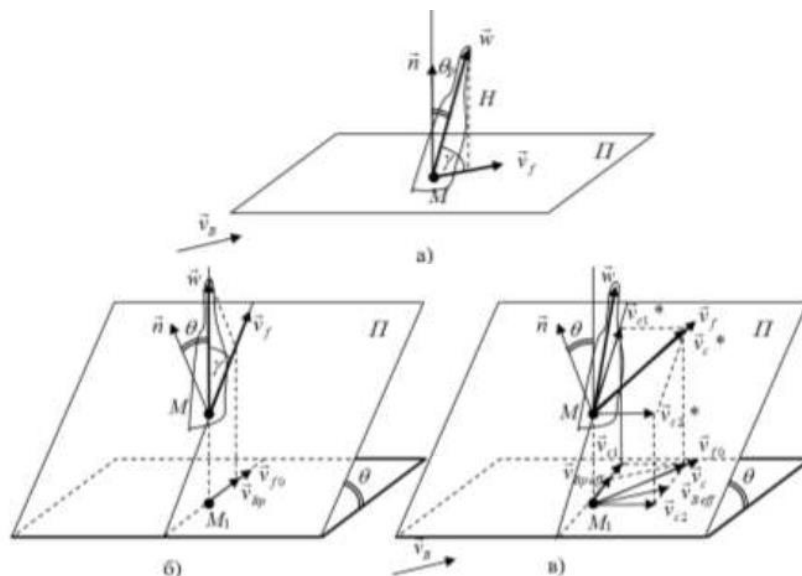


Рисунок 2 – Напрямок поширювання фронту пожежі \vec{v}_f : а) горизонтальною площиною під впливом вітру; б) похилою площиною без впливу вітру; в) похилою площиною з впливом вітру

Коефіцієнт впливу швидкості вітру v_v на швидкість поширювання фронту пожежі апроксимований емпіричною формулою:

$$k_v = ce^{dv_v}, \quad (4)$$

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 :

$$v_f = k_v v_0, \quad (5)$$

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:

$$k_v^* = \frac{k_v}{\cos\theta}, \quad (6)$$

у якій k_v розраховується за (4) з використанням зведеної швидкості вітру v_{Bp} замість v_v . Отримане значення k_v^* використовується у формулі замість k_v . Порівняємо значення коефіцієнтів k_v^* для кутів θ від 0° до 40° з відповідними коефіцієнтами впливу ухилу k_θ , наведеними в таблиці 1.

Таблиця 1

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

Кут ухилу площини θ , градуси	Коефіцієнт впливу зведеної швидкості вітру k_v^* (за $H=3 \text{ м}$ / $H=4 \text{ м}$)	Коефіцієнт впливу ухилу k_θ авторство Волокитина А. В. та ін. (1)	Коефіцієнт впливу ухилу k_θ авторство Richard C. Rothermel (2)
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 (3), (4) і (6) та наведеними в табл.1, становить 0,99, а стандартне відхилення їх різниць становить 0,65. За висоти полум'я $H = 4 \text{ м}$ у такому ж діапазоні значень кутів ухилу θ коефіцієнт кореляції між значеннями, розрахованими за формулами (3), (4), (6) та формулою джерела (2) дорівнює :

$$k_\theta = 1 + 5,275 \cdot \beta^{-0,3} \cdot \text{tg}^2\theta \quad (7)$$

де β – відношення густини шару горючого 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. 2в) на швидкість і напрямок поширювання фронту одночасно впливають обидва чинники. Оскільки залежності коефіцієнтів впливу ухилу та зведеної швидкості вітру від кута нахилу площини θ 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 додавали 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 :

$$v_{B\text{eff}} = (k_v - 1)v_0 \frac{\vec{v}_B}{|\vec{v}_B|}, \quad (8)$$

$$v_{Bp\text{eff}} = (k_v^* - 1)v_0 \frac{\vec{v}_{Bp}}{|\vec{v}_{Bp}|}, \quad (9)$$

співнаправленими, відповідно, з векторами \vec{v}_B і \vec{v}_{Bp} , де k_v і k_v^* – коефіцієнти впливу вітру та ухилу, розраховані за формулами (4) і (6) з урахуванням (3). Тоді фронт пожежі поширюватиметься в напрямку вектора :

$$\vec{v}_c = \vec{v}_{B\text{eff}} + \vec{v}_{Bp\text{eff}}, \quad (10)$$

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

$$v_{f0} = v_0 + v_c. \quad (11)$$

У векторній формі вектор швидкості поширювання фронту пожежі в горизонтальній проекції площини записується у вигляді :

$$\vec{v}_{f0} = \left(1 + \frac{v_0}{|\vec{v}_{B\text{eff}} + \vec{v}_{Bp\text{eff}}|} \right) (\vec{v}_{B\text{eff}} + \vec{v}_{Bp\text{eff}}), \quad (12)$$

а її модуль:

$$v_{f0} = k_p v_0 (\sqrt{(k_v - 1)^2 + (k_v^* - 1)^2 + 2(k_v - 1)(k_v^* - 1)\cos\varphi} + 1), \quad (13)$$

де φ – 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 з довідників 1 і 2. Проте 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 Π за умов однорідного середовища поширювання набуває форми еліпса.

На похилій площині Π 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 Π збігається з вектором \vec{v}_c^* , а відповідна швидкість поширювання розраховується за формулою:

$$v_f = v_{f0} \sqrt{\frac{\cos^2 \varphi}{\cos^2 \theta} + \sin^2 \varphi}, \quad (14)$$

де φ – 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 (13) і (14) є відома залежність Richarda C. Rothermela.

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 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.

Таким чином, швидкість поширювання фронту пожежі залежить від ухилу поверхні та вітру і описується математичною моделлю, яка добре узгоджується з результатами експериментальних досліджень (рис. 3).

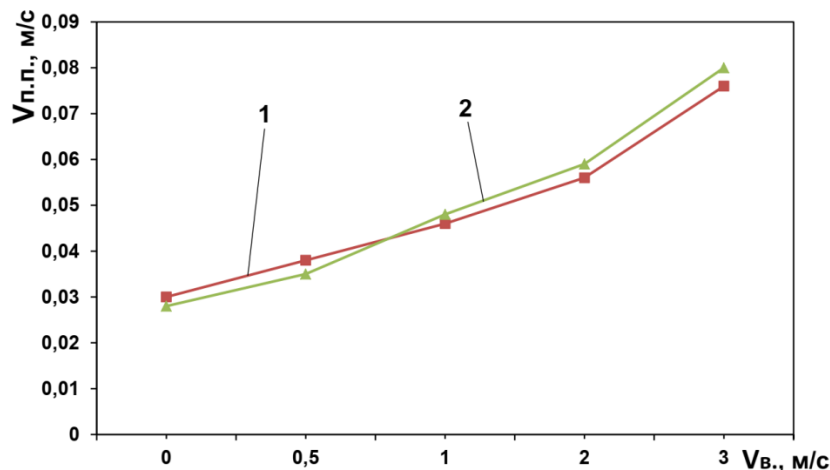


Рисунок 3 – Залежність швидкості поширювання полум'я від швидкості вітру на трав'яних покриттях за кута ухилу 15°:

1 – отримана експериментально; 2 – розрахована за допомогою математичної моделі

У роботі експериментальні дослідження проводили згідно планів матриць факторних експериментів.

У **третьому розділі** проведено дослідження впливу поширювання полум'я по трав'яних покриттях залежно від швидкості вітру, рельєфу місцевості. З метою дослідження впливу чинників на розвиток низових пожеж було розроблено спеціальну установку (рис. 4.).

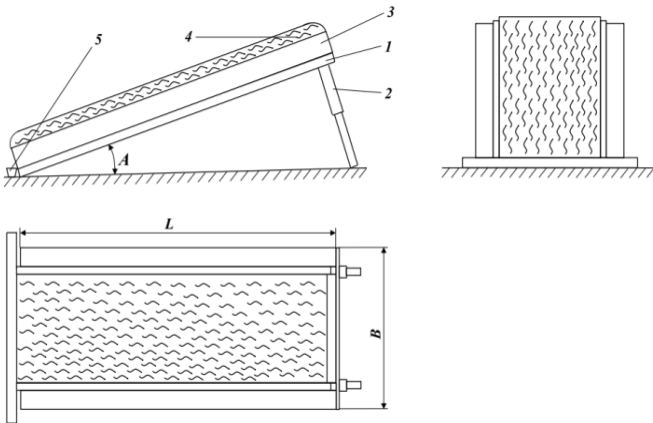


Рисунок 4 – Установка для створення умов поширювання полум'я на трав'яних покритвах:

1 – платформа; 2 – стійки, що дають змогу регулювати кут нахилу A ; 3 – боковини, що утримують шар трав'яного покритву; 4 – трав'яний покритв; 5 – жолоб з горючим паливом для запалювання трав'яного покритву;

L – довжина основи; B – ширина основи

На платформі створювали трав'яну смугу довжиною 2 м, шириною 40 см та висотою 21 см. Перед цим попередньо виставляли кут ухилу за допомогою регульованих стійок відповідної величини та встановлювали боковини для утримання шару трав'яного покритву відповідної ширини.

Досліджено поширювання полум'я на трав'яному покритві (рис. 5) за кутів нахилу 0° , 5° , 15° та 30° (криві 1, 2, 3 та 4) та швидкостях вітру від 0 до 3 м/с. З цього графіка видно, що із збільшенням кута ухилу трав'яного покритву 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.

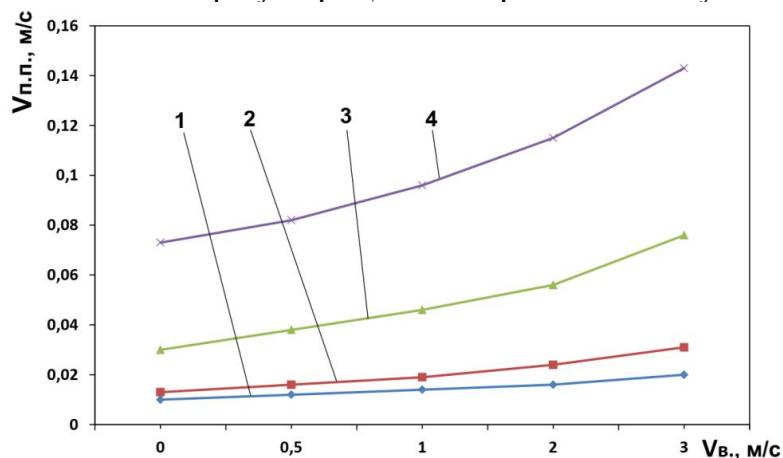


Рисунок 5 – Залежність швидкості поширювання полум'я від швидкості вітру на трав'яних покритвах при кутах ухилу: 1 – 0° ; 2 – 5° ; 3 – 15° ; 4 – 30°

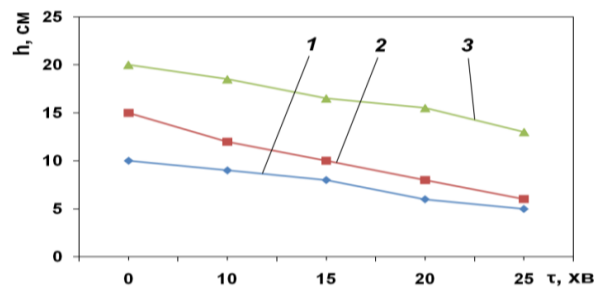
В ході проведення даного дослідження було визначено температуру полум'я за допомогою термопарами та пірометра, відповідно, які становлять 674°C (947 K) та 647°C (920 K), причому ці значення є максимальними під час усього процесу горіння досліджуваної трав'яної смуги. Як видно, два різні прилади дають приблизно однакову максимальну температуру полум'я, у цьому разі відмінність між їх показами становить лише 27°C .

Для визначення параметрів пінних загороджувальних смуг прокладених з використанням робочих розчинів піноутворювача, що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю (на прикладі «Барс S-2») проводилися

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. 6а) на створений трав'яний покрив висотами 10, 15 та 20 см.



а)



б)

Рисунок 6 – Нанесення піни різною висотою у трьох відокремлених секціях: а) – піна нанесена висотами 10, 15 та 20 см в трьох різних секціях; б) – залежність стійкості піни від висоти нанесення та часу: 1 – 10; 2 – 15; 3 – 20 см

Однак, сама висота пінної загороджувальної смуги, вочевидь, не зможе забезпечити достатній захист без урахування необхідної ширини цієї смуги за найсприятливіших умов для горіння трав'яного покриву. Тому необхідно дослідити необхідну ширину таких смуг, що 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 загороджувальних смуг за їх висоти 20 см, а саме: 10, 25, 40 та 55 см.



Рисунок 7 – 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

Під час проведення досліду із смугою шириною 55 см, 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 (типу “Барс S-2”), що забезпечує генерування піни підвищеної стійкості, за висоти трав'яного покриву 21 см у лабораторних умовах. З експериментальних досліджень встановлено, що найкращим співвідношенням висоти трав'яного покриву до ширини загороджувальної смуги є 1:3. 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 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

$$B = B_6 \times k_V \times k_\theta, \quad (15)$$

B_6 – базова ширина смуги, визначена для середньої висоти трави 60 см, м; k_V – коефіцієнт впливу зведеної швидкості вітру; k_θ – коефіцієнт впливу ухилу. Значення коефіцієнтів k_V та k_θ необхідно приймати як менші значення з таблиці 1.

При виборі обладнання для генерування повітряно-механічної піни для створення загороджувальних смуг з піни високої стійкості розглядалися 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 загороджувальні смуги із різних стволів.

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. Крім того, для нанесення пінних загороджувальних смуг може здійснюватися пожежними автоцистернами на відкритій місцевості, де для цього є відповідні умови.

Для цього було проведено експериментальне дослідження з нанесення таких смуг пожежною автоцистерною за допомогою розпилювача віялового типу РВ-12, закріпленої на насосі (рис. 8). 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, знаходяться в межах 20 – 30 км/год. Це видно із графічної залежності (рис. 9), 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).

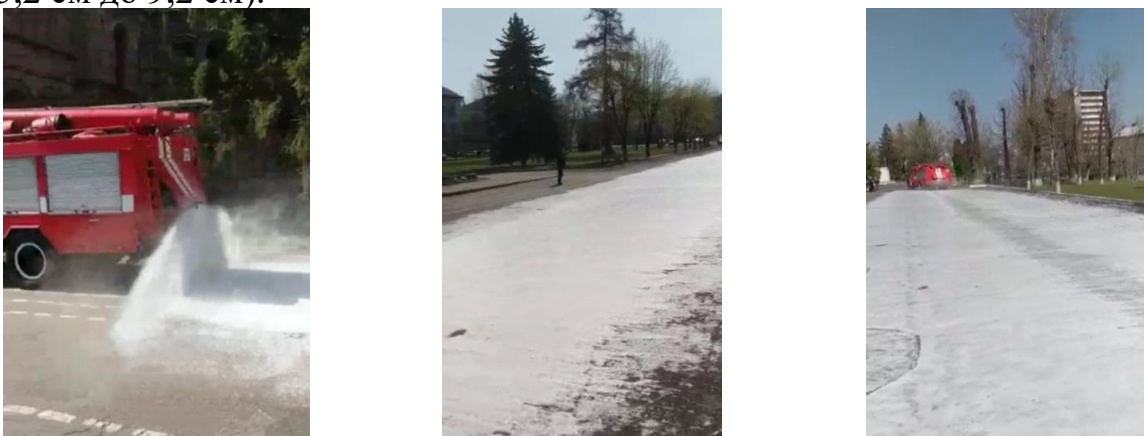


Рисунок 8 – Нанесення пінної загороджувальної смуги за допомогою АЦ-40 (432921)-63Б.02

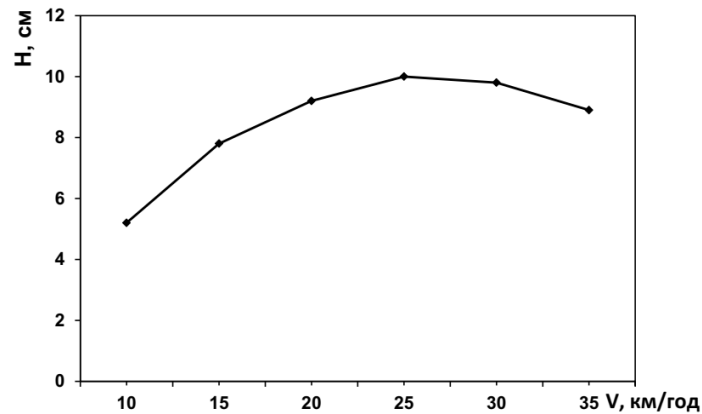


Рисунок 9 – Залежність висоти пінної загороджувальної смуги від швидкості руху пожежної автоцистерни

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.

Експериментальними дослідженнями встановлено що горіння трав'яного покриву забезпечує тепловий потік близько $19,74 \text{ кВт/м}^2$. В ході проведення дослідження визначено, що повне руйнування повітряно-механічної піни на відстані 50 см від джерела випромінювання 20 кВт/м^2 відбувається через 4 хвилини, а на відстані 70 см через 5 хв (рис. 10).

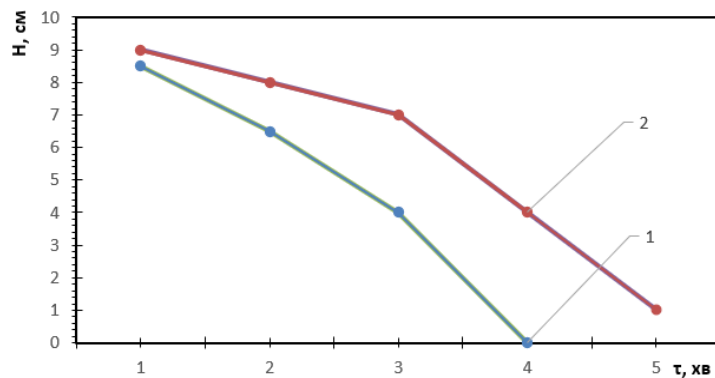
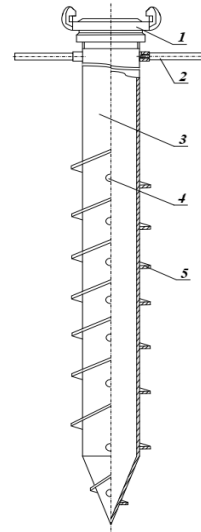


Рисунок 10 – Залежність проміжку часу існування піни від відстані до джерела теплового випромінювання : 1 – відстань 50 см; 2 – відстань 70 см

Для гасіння підземних пожеж в ході виконання дисертаційної роботи було сконструйовано та виготовлено спеціальний пожежний ствол для гасіння підземних пожеж (рис. 11).



а



б

Рисунок 11 – 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

Експериментально (рис. 12) 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 12 – Випробування дослідного зразка ствола спеціального пожежного у відкритому просторі (а) та укрученого в ґрунт (б)

Проведення експериментальних досліджень за інших тисків недоцільне через значні фінансові витрати. Тому для визначення витрат вогнегасних речовин проводили розрахунки. Для цього використовували відомі закони гідродинаміки, на основі яких можна визначити витрату рідини, що витікає із спеціального пожежного ствола, Q за такою формулою :

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH} \quad (16)$$

де, μ – коефіцієнт витрати рідини із спеціального пожежного ствола;
 ω – площа робочого перерізу спеціального пожежного ствола, м²;
 g – прискорення вільного падіння м/с²;
 H – тиск перед спеціальним пожежним стволом, МПа.

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

$$Q = p\sqrt{H} \quad (17)$$

де, p – коефіцієнт продуктивності (пропускна здатність спеціального пожежного ствола).

З формули (16) 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. 13). Отже, користуючись даною 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 існуючі 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. 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. 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 у відношення до лісової підстилки, торфу тощо та є одним з найбільш ефективних способів боротьби з пожежами на торфовищах. Встановлено, що змочувальну здатність у відношення до торфу може бути підвищено в 2-3 рази.

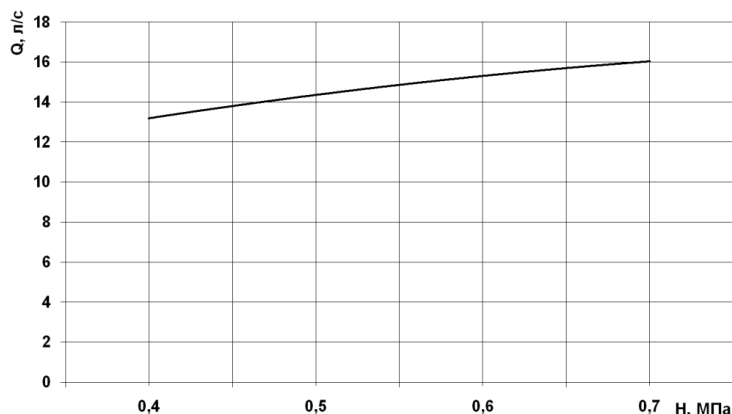


Рисунок 13 – Витрата вогнегасної речовини Q із спеціального пожежного ствола залежно від тиску подавання H

Для визначення підвищеної змочувальної здатності піноутворювачів та водних розчинів амофосу з включеннями ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) проведено термічний аналіз торфу, що містять ПАР та антипірени для визначення температури його самозаймання.

Підвищення змочувальної здатності у відношенні до торфу яскраво ілюструють термограми, отримані на необробленому та обробленому 5 % водним розчином амофосу з додаванням 0,5 % піноутворювача (рис. 14). Звідси видно, що процес втрати маси торфу суттєво сповільнюється у разі змочування 5 % водним розчином амофосу з додаванням 0,5 % піноутворювача.

На наведених термограмах термогравіметричні криві (рис. 14) TG відображають втрату маси (табл. 2) 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.

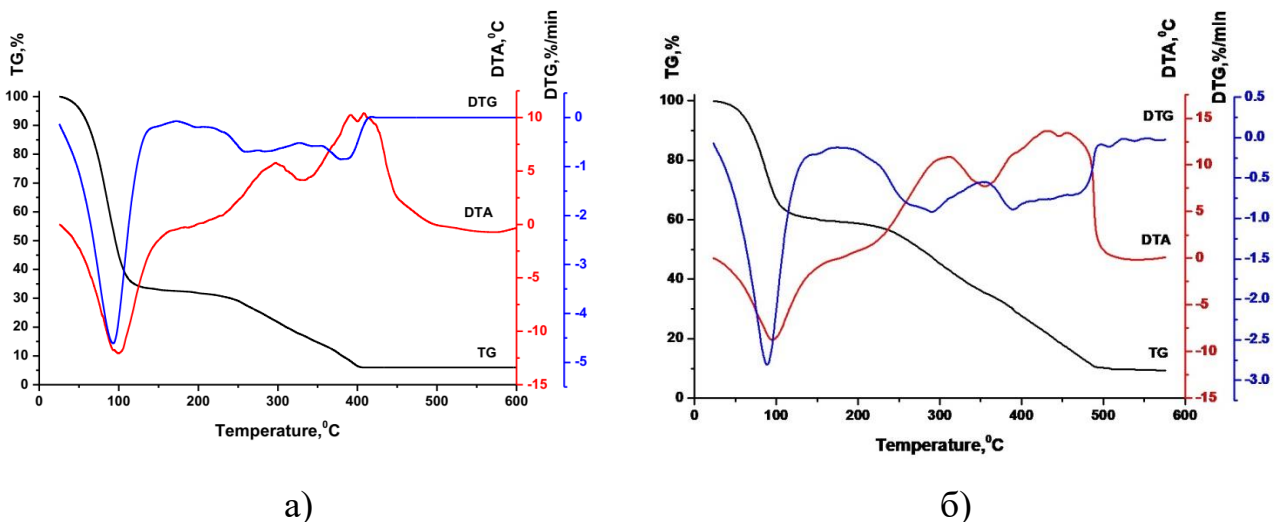


Рисунок 14 – Результати термогравіметричного аналізу торфу у вихідному стані (а) та просоченого 5 % водним розчином амофосу з додаванням 0,5 % піноутворювача (б)

Таблиця 2

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

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. 15). 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.

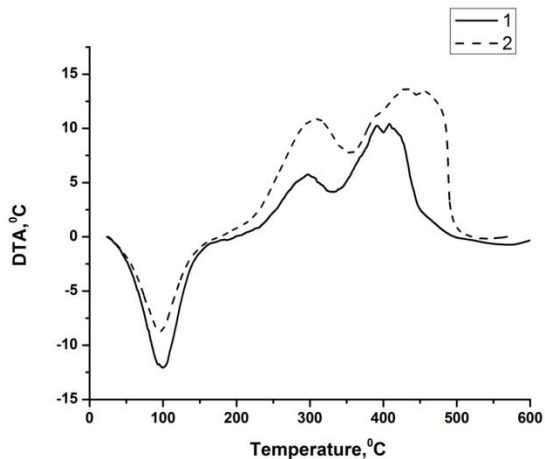
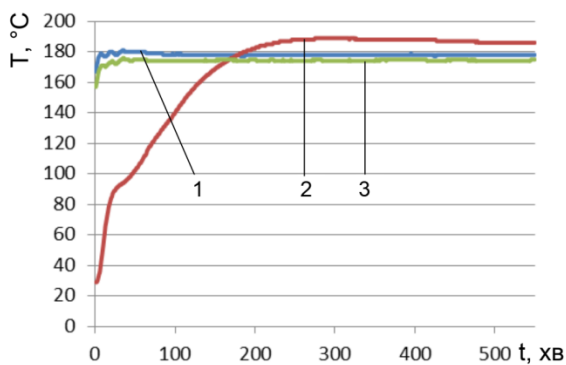
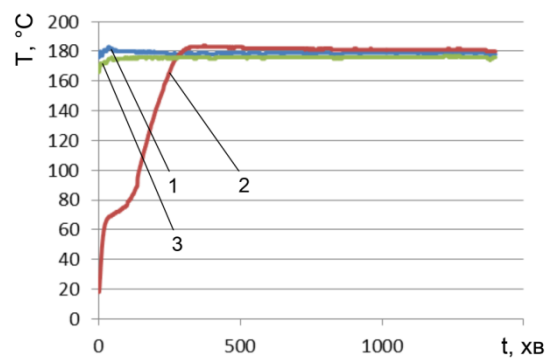


Рисунок 15 – Порівняння кривих ДТА: 1 – зразка природного торфу, 2 – зразка торфу, просоченого 5 % водним розчином амофосу з додаванням 0,5 % піноутворювача



а)



б)

Рисунок 16 – Вплив поташу K_2CO_3 , амофосу ($NH_4H_2PO_4 + (NH_4)_2HPO_4$) та піноутворювача «Барс S-1» на теплові умови самозаймання торфу:

- а) – торф, просочений водним розчином (10 % $NH_4H_2PO_4 + (NH_4)_2HPO_4$);
 б) – торф, просочений водним розчином (20 % $NH_4H_2PO_4 + (NH_4)_2HPO_4$ та 0,5 % піноутворювача «Барс S-1»)

Як видно з проведених досліджень на теплові умови самозаймання торфу (рис. 16) додавання до розчину, що містить 5% амофосу, 0,5 % піноутворювача «Барс S-1» (рис. 16а), сприяє зниженню здатності властивостей торфу до самозаймання. Водний розчин з вмістом амофосу 10 – 20 % з додаванням піноутворювача чи без нього (рис. 16б) повністю запобігає самозайманню торфу.

У четвертому розділі наведено відомості щодо впровадження результатів дослідження та розроблено рекомендації щодо запобігання та гасіння низових пожеж в екосистемах, що утворені трав'яними покривами. Адаптовано існуючі основні тактичні схем по гасінню пожеж травостою та торф'яних включень, щодо їх запобігання та гасіння за допомогою пінних загороджувальних смуг.

З урахуванням запропонованих рекомендацій визначено мету, техніку і генеруюче пінне обладнання для прокладання пінних загороджувальних смуг. Вдосконалено розрахунок сил та засобів для прокладання пінних загороджувальних смуг та гасіння пожеж на торфовищах.

Пінні загороджувальні смуги повинні наноситися з використанням робочих розчинів піноутворювачів (типу “Барс S-2”), що забезпечує генерування піни з підвищеною стійкістю, із забезпеченням 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:

$$B = B_0 \times k_V \times k_\theta, \quad (18)$$

B_0 – базова ширина смуги, яку визначено для середньої висоти трави 60 см, за якої має місце найбільша швидкість поширювання пожежі травостою, м; k_V – коефіцієнт впливу зведеної швидкості вітру; k_θ – коефіцієнт впливу ухилу. Значення коефіцієнтів k_V та k_θ приймати менші з таблиці 1.

Для нанесення пінних загороджувальних смуг рекомендується використовувати генератори піни середньої кратності ГПС-600 з відповідними параметрами залежно від обстановки та при певних умовах можуть використовуватися стволи СПП чи стволи Protek 366 з пінними насадками, де їх ефективність буде вища. Нанесення пінних загороджувальних смуг може здійснюватися автоцистернами за допомогою розпилювача в'ялового типу РВ-12, що дає змогу наносити за один прохід смугу шириною 6 м та висотою 10 см.

На основі проведених досліджень запропонований 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 :

$$l = \vartheta \cdot t, \quad (19)$$

де ϑ – 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 :

$$t = \frac{W_{ц}}{Q_{РВ-12}}, \quad (20)$$

де $W_{ц}$ – об’єм цистерни, м³; $Q_{РВ-12}$ – витрата робочого розчину піноутворювача, л/с.

Тривалість витрачання піноутворювача $t_{пу}$ і води має $t_в$ під час роботи технічного засобу пожежогасіння має бути приблизно однаковою для одночасного заправлення цього засобу після їх вичерпання. Довжина нанесеної пінної загороджувальної смуги буде залежати від автоцистерни, а точніше від об’єму цистерни для води та пінобака.

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.

В рекомендаціях наведені тактичні схеми гасіння та розрахунок сил та засобів.

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 створення ефективних засобів і способів для недопущення поширювання таких пожеж. Одержано такі основні наукові та практичні результати.

1. За результатами аналізування 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. Під час зміни 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 порівнянні 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 отримання піни підвищеної стійкості). Встановлено, що за висоти трав'яного покриву 21 см, швидкості вітру 3 м/с і кута куті ухилу поверхні землі 30° ширина загороджувальної смуги у разі використання названого піноутворювача має бути не меншою за 55 см.

6. Розроблено спеціальний пожежний ствол для гасіння торф'яних включень та запобігання підземних пожеж. 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 $Y_{v.n.} = -1,4739 - 1,0842 \cdot x_1^2 - 1,1165 \cdot x_2^2 - 1,1136 \cdot x_3^2 + 0,2109 \cdot x_1 + 0,0046 \cdot x_2 - 0,0509 \cdot x_3 + 0,0256 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,0134 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,0192 \cdot x_2 \cdot x_3$. 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.

ПЕРЕЛІК 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., 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.

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.

Статті у міжнародних виданнях

6. 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.*

Матеріали наукових конференцій

7. Сукач Ю.Г., Сукач Р.Ю., Колісник М.Я. Проблемы термохимического выщелачивания и самонагрева терриконов шахт Львовско-Волынского бассейна: *матеріали XXIV Міжнарод. 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. науч.-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. № у 2018 07685; заявл. 09.07.2018; опубл. 25.04.2019, Бюл. №8.

АНОТАЦІЯ

Сукач Р.Ю. Підвищення ефективності гасіння низових пожеж в екосистемах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека (261 – пожежна безпека). Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, 2021.

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

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 швидкості вітру і описується математичною моделлю, яка добре узгоджується з результатами експериментальних досліджень.

В дисертаційній роботі наведено методики проведення та описано результати 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. Термогравіметричним аналізом та визначенням температури самозаймання підтверджено підвищення ефективності гасіння торф'яних 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 рекомендуються включити до тактичних схем гасіння низових пожеж в екосистемах.

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

ABSTRACT

Sukach R. Yu. Improving efficiency of grassland fire-fighting in ecosystems.

– Typescript.

The dissertation for the competition of a scientific degree of Candidate of Technical Sciences by specialty of 21.06.02 – fire safety (261 – Fire Safety). 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.

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. The 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.

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. 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.

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, 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;

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.

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

Підписано до друку 09.04.2021
Формат 60x86/15. Папір офсетний. Друк цифровий.
Гарнітура "Times New Roman". Ум. друк арк. 1,0
Наклад 100 пр. Зам. № 3/04-21 від 12.04.2021.
Надруковано в секторі видавничої діяльності
Львівського державного університету безпеки життєдіяльності
79007, Україна, м. Львів, вул. Клепарівська, 35.
Тел. /факс: (032) 233-00-88. E-mail: vydavnytvo@ldubgd.edu.ua.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції:
Серія ДК, № 7249 від 09.02.2021 р.