

DOI <https://doi.org/10.32447/20786662.48.2026.10>

М. В. Осадчук¹, В. В. Ніжник¹, К. Д. Алмазов²

¹ *Інституту наукових досліджень з цивільного захисту НУЦЗ України, м. Київ, Україна*

² *Академія Міністерства надзвичайних ситуацій, м. Баку, Азербайджан*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4584-3541> – М. В. Осадчук

<https://orcid.org/0000-0003-3370-9027> – В. В. Ніжник

<https://orcid.org/0000-0001-6483-351X> – К. Д. Алмазов

✉ maximusfire1989@gmail.com

УДОСКОНАЛЕННЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ В ЕКОСИСТЕМАХ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМПРЕСІЙНОЇ ПІНИ

Актуальність проблеми. Встановлено актуальність питання створення нових сучасних технічних засобів для гасіння пожеж в екосистемах, зокрема із застосуванням компресійної піни в якості вогнегасної речовини.

Аналіз останніх досліджень. Проаналізовано найбільш поширені та ефективні заходи боротьби з лісовими пожежами у світі. Наведено їх основні переваги та недоліки.

Методи профілактики та моніторингу. Акцентовано увагу на тому, що профілактика лісових пожеж здійснюється за рахунок проведення агітаційно-роз'яснювальної роботи серед населення, заборони спалювання сухої трави, сміття та рослинних залишків, обмеження доступу до лісових масивів у пожежонебезпечний період, а також встановлення попереджувальних знаків і облаштування місць для відпочинку з дотриманням правил пожежної безпеки. Профілактика лісових пожеж також здійснюється за рахунок моніторингу лісових масивів, регулярного патрулювання лісів, використання сучасних технологій таких, як розвідувальні дрони та супутники та навіть використання штучного інтелекту. Вказані заходи допомагають вчасно виявити осередки загоряння та оперативно відреагувати на ранній стадії виникнення пожежі, що значно спрощує боротьбу з вогнем та сприяє мінімізації збитків від пожежі. Наведено ілюстрації кожного із зазначених заходів.

Об'єкт та предмет дослідження. Окрему увагу приділено методу гасіння пожеж у природних екосистемах шляхом застосування загороджувальних смуг із компресійної піни. З'ясовано, що ліквідація низових пожеж за допомогою загороджувальних смуг із компресійної піни є сучасною та ефективною технологією, яка дозволяє значно підвищити швидкість та якість гасіння пожеж у лісах, степах та на торфовищах. Цей метод поєднує ізолюючі властивості води та спеціальних піноутворювачів, створюючи стійкий бар'єр на шляху вогню. Компресійна піна (CAF – Compressed Air Foam) – це суміш води, піноутворювача (поверхнево-активної речовини) та стисненого повітря. На відміну від звичайної піни, що утворюється шляхом ежекції (підсмоктування повітря), компресійна піна створюється в спеціальній камері під тиском. Це дозволяє отримати однорідну, дрібнодисперсну та стабільну структуру з бульбашок однакового розміру.

Результати. З'ясовано, що основними перевагами компресійної піни є висока адгезія, низька щільність, стійкість та висока змочувальна здатність. Недоліками використання компресійної піни для гасіння лісових пожеж є висока вартість обладнання, необхідність постійних витрат на спеціальні піноутворювачі, екологічний аспект, обмежена ефективність при верхових пожежах.

Ключові слова: екосистеми, гасіння пожеж, методи гасіння, загороджувальні смуги, компресійна піна, лісові пожежі.

IMPROVING FIRE SUPPRESSION IN ECOSYSTEMS USING COMPRESSED FOAM

Relevance of the Problem. The relevance of developing new, modern technical means for firefighting in ecosystems has been established, particularly through the use of compressed foam as a fire-extinguishing agent.

Analysis of recent studies and measures. The most common and effective measures for combating forest fires worldwide have been analyzed. Their main advantages and disadvantages are presented.

Prevention and monitoring methods. Emphasis is placed on the fact that forest fire prevention is achieved through public awareness and education campaigns, banning the burning of dry grass, trash, and plant debris, restricting access to forested areas during fire-prone periods, as well as installing warning signs and setting up rest areas in compliance with fire safety regulations. Forest fire prevention is also carried out through the monitoring of forest areas, regular forest patrols, the use of modern technologies such as reconnaissance drones and satellites, and even the use of artificial intelligence. These measures help to detect fire outbreaks in a timely manner and respond quickly at the early stages of a fire, which significantly simplifies firefighting efforts and helps minimize fire damage. Illustrations of each of these measures are provided.

Object and subject of the study. Particular attention is paid to the method of extinguishing fires in natural ecosystems through the use of firebreaks made of compressed foam. It has been established that the suppression of ground fires using firebreaks made of compressed foam is a modern and effective technology that significantly improves the speed and quality of firefighting in forests, steppes, and peatlands. This method combines the insulating properties of water and special foaming agents, creating a stable barrier in the path of the fire. Compressed air foam (CAF) is a mixture of water, a foaming agent (surfactant), and compressed air. Unlike conventional foam, which is formed by ejection (air suction), compressed air foam is created in a special pressurized chamber. This allows for a homogeneous, fine-pored, and stable structure consisting of bubbles of uniform size.

Results. It has been established that the main advantages of compression foam are high adhesion, low density, stability, and high wetting ability. The disadvantages of using compression foam for extinguishing forest fires include the high cost of equipment, the need for ongoing expenses for special foam concentrates, environmental concerns, and limited effectiveness in crown fires.

Key words: ecosystems, firefighting, fire suppression methods, firebreaks, compression foam, forest fires.

Постановка проблеми. Пожежі в екосистемах є однією з найбільш руйнівних загроз для природного середовища та людства. Щороку мільйони гектарів лісів, степів та інших природних ландшафтів охоплюються вогнем, що призводить до непоправних екологічних, економічних та соціальних наслідків[1, 2]. Сприяє цьому і глобальне потепління, значно збільшуючи ймовірність пожеж в екосистемах. За рахунок підвищення температури навколишнього середовища, збільшується посуха та відбуваються зниження опадів, що у свою чергу призводить до більш сприятливих умов для виникнення та швидкого поширення вогню.

На сьогоднішній день по всьому світу спостерігається небезпечна тенденція щодо збільшення кількості та масштабів пожеж в екосистемах, що відповідно, кратно збільшує і наслідки від таких пожеж [3]. Зокрема, небезпечними є лісові пожежі, які за сприятливих для себе обставин – погодних умов, вітру, наявності горючих матеріалів та рельєфу місцевості, можуть досить швидко збільшуватися та досягати швидкості поширення близько 100 м/хв. Стрімка динаміка пожежі,

значна віддаленість та обмежений доступ особового складу та пожежної техніки до осередку пожежі, а також відсутність в достатній кількості вододжерел для безперебійної подачі вогнегасних речовин, значно ускладнює гасіння лісових пожеж, змушуючи пожежні підрозділи в таких умовах постійно маневрувати.

В Україні, особливо в умовах тривалої повномасштабної війни [4, 5], коли бойові дії стають додатковим чинником виникнення пожеж, питання ефективного гасіння пожеж в екосистемах набуває особливого значення.

Боротьба з лісовими пожежами включає в себе широкий комплекс заходів[6, 7]. Наразі спостерігається різке збільшення ресурсів для боротьби з пожежами. Це призводить до постійного пошуку нових засобів гасіння лісових пожеж, а також до вдосконалення існуючих методів і технічних засобів. Одним із прогресивних напрямків є гасіння лісових пожеж компресійною піною.

Враховуючи вищевикладене, набуває актуальності питання створення нових сучасних технічних засобів для гасіння пожеж в екосистемах[8],

зокрема із застосуванням компресійної піни в якості вогнегасної речовини [9,10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стаття українських дослідників Ліхнівського Р. В., Білошицького М. В., Жартовського С. В., Копильного М. І. та Корнієнко О. В. [11] присвячена експериментальному визначенню впливу розведення розчинів вогнезахисних засобів на ефективність загороджувальних смуг.

У статті [11] проведено дослідження з визначення ефективності загороджувальних смуг, утворених нанесенням розчинів вогнезахисних засобів. Оцінено вплив розведення робочого розчину водою на ефективність смуг у локалізації низових лісових пожеж слабкої інтенсивності.

У публікації українських дослідників Ліхнівського Р. В., Білошицького М. В., Боровикова В. О. та ін. [12] змодельовано низову лісову пожежу слабкої інтенсивності, описано створення захисної смуги для локалізації пожежі. Показано ефективність застосування водорозчинного засобу із вогнезахисними властивостями у локалізації пожежі.

За результатами проведених досліджень встановлено, що загороджувальна смуга шириною 0,5 м, створена з робочого розчину засобу з вогнезахисними властивостями на основі фосфоромісних сполук з витратою у 500 г/м², здатна перешкоджати поширенню полум'я лісовою підстилкою, що є свідченням ефективності її застосування під час боротьби принаймні з низовими лісовими пожежами.

У статті українських науковців Поповича В. В. та Гапало А. І. [13] висвітлено результати досліджень моніторингу довготривалого впливу лісових пожеж на один із найважливіших компонентів екосистеми – едафотоп.

Проведено аналіз наукових та літературних джерел щодо проблематики впливу лісових пожеж на едафотоп у вітчизняному та зарубіжному контекстах. Досліджено модельне вогнище стосовно температурного та вологісного режимів. Встановлено температуру полум'я на різних ділянках модельного вогнища. Встановлено потужність еквівалентної дози фотонного іонізуючого випромінювання на місці проведення експерименту.

У публікації вітчизняних науковців Сукача Р. Ю., Ковалишина В. В. та Кирилів Я. Б. [14,15] розглянуто причини виникнення торф'яних пожеж в екосистемах торф-ліс, а також їх негативний вплив на території, транспорт та людей. Розглянуто умови протікання таких пожеж та їх характерні особливості. Описано тактику гасіння торф'яних пожеж в екосистемах торф-ліс різними способами, які дозволяють ліквідувати такі пожежі. Розроблено конструкцію спеціального

пожежного ствола для гасіння торф'яних пожеж в екосистемах торф-ліс, що укривається в шар пористих речовин, землі, торфу на глибини до 5 м. Проведено попередні випробування експериментального зразка ствола спеціального пожежного, які показали його ефективність.

Публікація пакистанських науковців Afzaal Hamra та Zafar Nazir Ahmad [16] присвячена алгоритму виявлення та гасіння лісових пожеж «Forest Fire Detection and Extinguishing Algorithm» (FFDEA) з використанням бездротових мереж (WSAN) для виявлення та гасіння пожежі.

У публікаціях [17, 18] розглядаються алгоритми та актуальність гасіння пожеж нафтопродуктів зокрема компресійною піною, як одного з перспективних напрямків гасіння пожеж на який необхідно звернути увагу в подальших дослідженнях.

Слід відмітити, що вищезазначені роботи [11–18] не містять досліджень щодо ефективності гасіння пожеж в екосистемах за допомогою компресійної піни.

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою цього дослідження є визначення загальносвітових підходів до використання систем пожежогасіння компресійною піною в екосистемах. Для досягнення цієї мети поставлено завдання щодо аналізу найбільш поширених та ефективних заходів боротьби з лісовими пожежами у світі. У цій статті застосовано аналітичний метод дослідження.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проаналізуємо найбільш поширені та ефективні заходи боротьби з лісовими пожежами у світі [19].

Перш за все слід зазначити, що профілактика пожеж здійснюється за рахунок проведення агітаційно-роз'яснювальної роботи серед населення, заборони спалювання сухої трави, сміття та рослинних залишків, обмеження доступу до лісових масивів у пожежонебезпечний період [20, 21], а також встановлення попереджувальних знаків і облаштування місць для відпочинку з дотриманням правил пожежної безпеки.

Профілактика лісових пожеж також здійснюється за рахунок моніторингу лісових масивів [20, 21], регулярного патрулювання лісів, використання сучасних технологій, таких як розвідувальні дрони та супутники та навіть використання штучного інтелекту. Вказані заходи допомагають вчасно виявити осередки загоряння та оперативно відреагувати на ранній стадії виникнення пожежі, що значно спрощує боротьбу з вогнем та сприяє мінімізації збитків від пожежі [11,12].

Крім того, для профілактики лісових пожеж ефективним заходом є роботи з прокладання



Рис. 1. Протипожежний рів

протипожежних ровів. Протипожежний рів – це один з найпростіших ефективних інженерних заходів, що призначений для утворення перешкоди на шляху розповсюдження вогню. Основна ідея полягає в тому, щоб фізично не допустити руху полум'я та горючих матеріалів (таких, як суха трава, листя, гілки) через викопану траншею (рисунок 1).

До переваг протипожежних ровів слід віднести високу ефективність проти низових пожеж, можливість використання в якості водозбірника, оперативне їх формування, значний час експлуатації при належному та постійному догляді.

До недоліків протипожежних ровів слід віднести:

- відносно високу вартість (копання ровів, особливо глибоких та довгих, вимагає значних фінансових вкладень, використання важкої техніки);
- обмежену можливість застосування (габаритна інженерна техніка має обмежену прохідність і у важкодоступних щільнозасаджених місцях проїхати не в змозі);
- перешкоду для пересування (рови можуть створювати перешкоди для вільного пересування тварин, людей та транспорту, що може бути проблематично для екосистеми або для господарської діяльності);
- потребу у постійному догляді (рови потребують регулярного догляду, вони схильні до заростання травою, чагарниками, наповнення опалим листям, гілками, сміттям).

Наступним засобом для боротьби з лісовими пожежами є використання пожежного ґрунтометача. Дана технологія є досить особливою, через що має обмежене застосування, за виключенням окремих країн. Наша країна не є виключенням, хоча і має напрацювання в цьому напрямку [3]. Але масового використання у нашій країні ця

технологія так і не отримала через переважно складний рельєф розташування лісів.

Пожежний ґрунтометач є унікальною машиною, яка може виконувати одночасно дві функції – створення мінералізованих смуг та безпосередньо закидання полум'я ґрунтом. Він працює за принципом викидання ґрунту, взятого з місця проходження машини, на крайку пожежі або для формування захисної смуги. Зазвичай це навісне обладнання до трактора або спеціально розроблена самохідна установка. Основним недоліком ґрунтометача є можливість використання його лише на обмеженій рівнинній місцевості. Це суттєво звужує спектр можливостей і тим самим змушує шукати більш ефективні альтернативні варіанти для гасіння лісових пожеж у важкодоступних місцях. Але все ж таки в окремих країнах, зокрема в Іспанії ця технологія є доволі ефективною та доволі широко використовується з постійним її вдосконаленням (рисунок 2).

Далі проаналізуємо найбільш поширений засіб для ліквідації надзвичайних ситуацій, який застосовується не лише під час гасіння лісових пожеж, але й у більшості інших випадків, де це технічно можливо та доцільно. Йдеться про пожежні автоцистерни, що є основним видом техніки пожежно-рятувальних підрозділів.

Використання пожежних автоцистерн у лісовій місцевості має свою специфіку, оскільки умови тут значно відрізняються від міських. [22] Тому в лісовій місцевості ефективніше використовувати пожежні автомобілі підвищеної прохідності. Пожежні автомобілі підвищеної прохідності демонструють високу ефективність у процесі ліквідації лісових пожеж завдяки здатності здійснювати пересування у важкодоступних природних умовах, де експлуатація звичайної техніки є обмеженою або неможливою. Високий рівень маневреності, прохідності



Рис. 2. Пожежний грунтометач «Extinción incendios tierra-tierra» іспанської фірми EXiTT

та автономності цих транспортних засобів забезпечує можливість оперативної доставки особового складу, пожежно-технічного обладнання та необхідного запасу води безпосередньо до осередків займання. Це у свою чергу сприяє скороченню часу реагування та підвищенню ймовірності локалізації пожеж на початкових стадіях їх розвитку. Серед автомобілів підвищеної прохідності слід виокремити наступні, що застосовуються найчастіше в Україні а саме: Mercedes-Benz Unimog, АЛП-7 (55S18)-538I IVECO Eurocargo 4 × 4 ЛПМ-2.2-10 (на базі LKT-81-04), АЦ (Л) – 1,0-30-4ВР (на базі ГАЗ-3308), АЛП-10(66)-265 (на базі ГАЗ-66), АЦ(Л)-1,6-30-2ВЗ (на базі ГАЗ-3308), АЦ-30 (на базі МАЗ-54342), АЦ ПЛ-2,5-6-20 (на базі КамАЗ-4326). Сучасний пожежний автомобіль для гасіння лісових пожеж АЛП-7 (55S18)-538I, який було модернізовано в Україні зображено на (рис. 3).

Слід відзначити основні переваги пожежних автоцистерн під час гасіння лісових пожеж: можливість швидкого реагування та маневрування у відносно доступних зонах, наявність власної

ємності з водою (запас від 2 до 8 м³ залежно від моделі), здатність до роботи у комплексі з іншими засобами гасіння, зокрема з мотопомпами.

Незважаючи на те, що пожежні автоцистерни мають численні переваги та займають домінуючу позицію серед технічних засобів пожежогасіння все ж таки в них є і ряд недоліків, а саме:

- обмежений запас води, що вимагає частого підвозу або організації пунктів заправки;
- залежність від проїзної здатності доріг і рельєфу місцевості, що ускладнює доступ до окремих осередків займання;
- підвищений ризик потрапляння техніки та особового складу в зону швидкого поширення вогню;
- значні витрати пального при роботі у важко-доступних районах;
- потреба у високому рівні технічного обслуговування та спеціальної підготовки водіїв;
- обмежена ефективність у випадках, коли пожежа охоплює великі площі, що вимагає авіаційної чи комбінованої підтримки.



Рис. 3. Пожежний автомобіль для гасіння лісових пожеж АЛП-7 (55S18)-538I

Авіаційні засоби відіграють важливу роль у боротьбі з лісовими пожежами [23–27], особливо в умовах, коли наземна техніка не може оперативно дістатися до епіцентру пожежі.

У статті [23] розглядаються питання координації та управління авіаційними підрозділами під час ліквідації лісових пожеж. Основна увага приділяється логістиці та взаємодії різних служб для підвищення оперативності реагування.

Робота присвячена фізико-математичному моделюванню поведінки водяних крапель, що скидаються з літаків [24]. Автор шукає оптимальні параметри розпилення рідини для досягнення максимального ефекту гасіння вогню з урахуванням висоти та швидкості польоту.

[25] Це аналітичний огляд сучасного стану та перспектив розвитку пожежної авіації. У матеріалі висвітлюються глобальні тренди модернізації техніки та впровадження нових технологій для боротьби з масштабними загоряннями.

[26] Стаття аналізує закордонний досвід використання авіації для гасіння екосистемних пожеж. Акцентується увага на технічних характеристиках спецтехніки та ефективних методах скидання вогнегасних речовин, які застосовуються в міжнародній практиці.

Специфіка лісового господарства України та викликах, пов'язаних із пожежною безпекою розглядається у дослідженні [27]. Автори пропонують стратегічні шляхи вдосконалення системи моніторингу та технічного переоснащення лісопожежних служб.

Використання літаків-водозливів та вертольотів із підвісними ємностями дає змогу здійснювати скидання значних об'ємів води або вогнегасних сумішей безпосередньо на осередок чи фронт пожежі. Залежно від тактичних завдань, авіація може застосовуватися як для безпосереднього

гасіння вогню, так і для створення протипожежних бар'єрів, що стримують його подальше поширення. Суттєвою особливістю авіаційного методу є висока мобільність та оперативність реагування, що дозволяє швидко перекидати сили на значні відстані та ліквідовувати пожежі у віддалених районах. Крім того, авіація ефективна у гірській та важкодоступній місцевості, де застосування наземних пожежних підрозділів ускладнене або неможливе. Однак робота авіаційних засобів потребує ретельної координації з наземними силами, які завершують локалізацію та ліквідацію осередків займання після проведення скидів.

Серед переваг використання авіації під час гасіння лісових пожеж варто відзначити: здатність оперативно доставляти значні об'єми води або вогнегасних сумішей у зону пожежі, можливість роботи в недосяжних для наземної техніки районах, зменшення ризику для особового складу пожежно-рятувальних підрозділів, ефективність у випадку масштабних пожеж, де необхідно швидко охолодити фронт полум'я чи створити захисні смуги.

Водночас авіаційний метод має низку суттєвих недоліків. До основних із них належать висока вартість експлуатації та обслуговування літальних апаратів, значна залежність від погодних умов (видимість, швидкість і напрямок вітру, наявність туману чи задимленості), а також обмеження у нічний час. Крім того, ефективність скидання води знижується через випаровування при високих температурах і розсіювання під час падіння з великої висоти. Важливим фактором також є наявність поблизу пожежі водойм або спеціальних баз для забору води, що визначає оперативність повторних вильотів.

На рисунку 4 зображено гасіння лісових пожеж авіацією.



Рис. 4. Гасіння пожежі в Чорнобильській зоні літаком Ан-32П у квітні 2020 року

Як зазначено вище, прогресивним напрямком є гасіння лісових пожеж із застосуванням компресійної піни.

Далі розглянемо метод гасіння пожеж у природних екосистемах шляхом застосування загороджувальних смуг із компресійної піни. Загороджувальні смуги створені із хімічних речовин називають опорними хімічними смугами. Ліквідація низових пожеж за допомогою загороджувальних смуг із компресійної піни є сучасною та ефективною технологією, яка дозволяє значно підвищити швидкість та якість гасіння пожеж у лісах, степах та на торфовищах. Цей метод поєднує ізолюючі властивості води та спеціальних піноутворювачів, створюючи стійкий бар'єр на шляху вогню. Компресійна піна (CAF – Compressed Air Foam) – це суміш води, піноутворювача (поверхнево-активної речовини) та стисненого повітря. На відміну від звичайної піни, що утворюється шляхом ежекції (підсмоктування повітря), компресійна піна створюється в спеціальній камері під тиском. Це дозволяє отримати однорідну, дрібнодисперсну та стабільну структуру з бульбашок однакового розміру.

Основні переваги компресійної піни:

- висока адгезія. Піна щільно прилипає до будь-яких поверхонь (трави, листя, гілок, ґрунту), створюючи довготривалий ізолюючий шар;
- низька щільність. Завдяки великому вмісту повітря (співвідношення води до готової піни може сягати 1:20 і більше), вона легка і може подаватися на значні відстані та висоту.
- стійкість. Загороджувальна смуга з компресійної піни може зберігати свою структуру від кількох десятків хвилин до кількох годин, залежно від погодних умов та концентрації піноутворювача;
- висока змочувальна здатність. Вода, що вивільняється з піни, ефективно просочує горючі матеріали, знижуючи їх температуру та запобігаючи повторному займанню.

Керівник гасіння пожежі визначає напрямок та швидкість поширення вогню, рельєф місцевості та тип горючих матеріалів. На основі цих даних обирається оптимальне місце для створення загороджувальної смуги. Як правило, смугу прокладають на певній відстані перед фронтом полум'я, використовуючи природні перешкоди (дороги, просіки, річки) або створюючи мінералізовані смуги.

Для генерації компресійної піни використовуються спеціалізовані системи CAF, які можуть бути встановлені на пожежних автоцистернах, невеликих мобільних установках або навіть у ранцевих апаратах. Система складається з ємностей

для води та піноутворювача, насоса, компресора та змішувальної камери.

Оператор за допомогою пожежного ствола наносить компресійну піну на рослинність та поверхню ґрунту, формуючи суцільну, безперервну смугу необхідної ширини та висоти. Ширина смуги: Зазвичай становить від 0,5 до 1,5 метра. Висота смуги: Залежить від висоти трав'яного покриву та інтенсивності пожежі, зазвичай від 20 до 50 см.

Серед недоліків використання компресійної піни для гасіння лісових пожеж слід відзначити:

- висока вартість обладнання. Системи CAF є дорожчими за традиційні пожежні насоси;
- необхідність постійних витрат на спеціальні піноутворювачі;
- екологічний аспект. Піноутворювачі є хімічними речовинами, їх потрапляння у водойми у великих кількостях може мати негативний вплив на водні екосистеми;
- обмежена ефективність при верхових пожежах. Метод найбільш ефективний саме для низових та торф'яних пожеж. Для боротьби з верховими пожежами потрібні інші підходи, хоча піна може використовуватися для захисту крон дерев.

Висновки та напрями подальших досліджень:

1. Застосування загороджувальних смуг із компресійної піни є прогресивною технологією в боротьбі з лісовими пожежами. Вона дозволяє більш ефективно використовувати водні ресурси, підвищує безпеку пожежників та забезпечує надійну локалізацію осередків горіння в природних екосистемах.
2. В подальшому актуальним є дослідження, що направлене на розроблення нових технологій створення компресійної піни, які дозволяють отримувати її із високими витратами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коробкіна К. М., Рибалова О. В. Вплив лісових пожеж на стан навколишнього природного середовища. Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених. Харків : НУЦЗУ, 2019. С. 385–386.
2. Рибак М. Лісові пожежі та їх вплив на навколишнє середовище. Актуальні питання техногенної та цивільної безпеки України : матеріали ІІ Всеукр. наук. конф. Миколаїв, 2020. С. 86–87.
3. Аналіз пожеж, що сталися в Україні за 12 місяців 2025 року. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/2/5/5/1/7/8/2/analitichna-dovidka-pro-pozezi-2025.pdf> (дата звернення: 02.03.2026).
4. Кузик А. Д., Товарянський В. І. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми України та їх після-

воєнне відновлення. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2023. № 27. С. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.32447/20784643.27.2023.02>

5. Salinero E. C., Chuvieco E. *Wildland Fire Danger: Estimation and Mapping: The Role of Remote Sensing Data*. World Scientific, 2003. 264 p.

6. Орещенко А. В., Осадчий В. І., Савенець М. В., Балабух В. О. Виявлення і моніторинг потенційно небезпечних пожеж на території України за даними супутникового сканування. *Вісник Національної академії наук України*. 2020. № 11. С. 33–44.

7. Лозінська Т. П., Ситник О. С., Велика К. І. Огляд і аналіз основних аспектів протипожежного захисту лісових екосистем в умовах сьогодення. *Лісове господарство*. 2024. № 2. С. 144–153.

8. Провести дослідження ефективності загороджувальних смуг для локалізації пожеж природних екосистем із застосуванням речовин з вогнезахисними властивостями : звіт про НДР (заключний)/ О. В. Корнієнко та ін. Київ : УкрНДІЦЗ ДСНС України, 2017. 216 с. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/9/6/2/3/2017-4-25-zvit-osvita-i-nauka-6-dovidnik-kerivnika-gasinnya-pozezi.pdf> (дата звернення: 02.03.2026).

9. Шахов С. М., Виноградов С. А. Технологія та переваги використання компресійної піни : дис. Харків : НУЦЗУ, 2017.

10. Кодрик А. І., Нікулін О. Ф., Тітенко О. М., Шахов С. М., Куртов О. В. Залежність властивостей компресійної піни від робочих параметрів процесу генерування піни. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2019. № 1 (7). С. 54–63.

11. Ліхнівський Р. В. та ін. Експериментальне визначення впливу розведення розчинів вогнезахисних речовин. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2017. № 1. С. 117–122.

12. Ковалишин В. В. та ін. Розширення галузі застосування компресійної піни. 36. наук. праць Всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю. 2022. С. 372–374.

13. Попович В., Гапало А. Температурний вплив ландшафтних пожеж на екологічний стан едафотопу. *ZN SGSP*. 2020. Vol. 76. P. 29–45.

14. автори: Сукач, Р. Ю., Ковалишин, В. В., & Кирилів, Я. Б. Тактика гасіння та протипожежне обладнання для ліквідації пожеж в екосистемах торф-ліс. *Sciences of Europe*. 2021. № 62-1. С. 44–48.

15. Сукач Р. Ю., Ковалишин В. В., Кирилів Я. Б. Зниження пожежної небезпеки торф'яників та способи підвищення ефективності їх гасіння. *Пожежна безпека*. 2019. № 35. С. 75–82.

16. Афзаал Х., Зафар Н. А. Модель виявлення та гасіння лісових пожеж за допомогою роботів. 2-а Міжнародна конференція з робототехніки та штучного інтелекту (ICRAI): матеріали конференції (листопад 2016 р.) IEEE, 2016. С. 112–117.

17. Осадчук М. В., Ніжник В. В. Актуальність застосування компресійної піни для гасіння пожеж

на трансформаторних підстанціях. *Problems of Emergency Situations* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. Черкаси : НУЦЗ України, 2025. С. 97–98.

18. Одинець А. та ін. Обґрунтування додаткових заходів щодо оперативних дій під час гасіння пожеж на складах нафтопродуктів в умовах бойових дій. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2022. № 1 (13). С. 72–79.

19. Кузик А. Д., Карабин О. О. Моделювання процесу поширювання лісової пожежі в умовах гірської місцевості. *Пожежна безпека*. 2005. № 6. С. 49–53.

20. Матухно В. В. та ін. Профілактика та ліквідація лісових та степових пожеж з використанням безпілотних літальних апаратів. Запобігання надзвичайним ситуаціям та їх ліквідація : матеріали круглого столу. Харків : НУЦЗУ, 2022. 232 с.

21. Міллер О. В., Судніцин Ю. Т. Вдосконалення профілактики та пожежогасіння лісових пожеж. Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям : матеріали конф. Львів : ЛДУ БЖД, 2020. С. 66–70.

22. Renkas A., Popovych V., Dominic A. Method for determining the optimal location of firefighting equipment for localization of ground forest fires. 2021. Vol. 2, No. 46. P. 144–150. DOI: <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.46>

23. Мікосянчик О. О. та ін. Організаційні аспекти застосування авіаційних сил для гасіння лісової пожежі. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2021. Т. 1, № 63. С. 138–141.

24. Панченко С. Алгоритм побудови математичної моделі водяних крапель для ефективного гасіння лісових пожеж. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. 2024. Т. 8, № 1. С. 73–82.

25. Панченко С. Тенденції застосування авіаційної техніки для гасіння пожеж. *Надзвичайні ситуації та ліквідація*. 2021. Т. 5, № 1. С. 104–114. DOI: <https://doi.org/10.31731/2524-2636.2021.5.1.104.114>

26. Мосов С. П., Горський О. М. Технічні аспекти авіаційного пожежогасіння в екосистемах. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2022. Вип. 3 (69). С. 104–111.

27. Герасименко І. М., Соловйова О. О., Пронь С. В. Перспективні напрями боротьби з пожежами у лісовому господарстві України. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2021. Т. 31, № 3. С. 27–33.

REFERENCES

1. Korobkina, K. M., & Rybalova, O. V. (2019). Vplyv lisovykh pozhezh na stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha [Impact of forest fires on the state of the environment]. In *Problemy ta perspektyvy zabezpechennia tsyvilnoho zakhystu* (pp. 385–386). Kharkiv : NUTSZU. [in Ukrainian].

2. Rybak, M. (2020). Lisovi pozhezhi ta yikh vplyv na navkolyshnie seredovysche [Forest fires and their impact on the environment]. In *Aktualni pytannia tekhnolohnoi ta tsyvilnoi bezpeky Ukrainy* (pp. 86–87). Mykolaiv. [in Ukrainian].

3. State Emergency Service of Ukraine. (2025). Analiz pozhvezh, shcho stalysia v Ukraini za 12 misiatsiv 2025 roku [Analysis of fires in Ukraine for 12 months of 2025]. <https://dsns.gov.ua/upload/2/5/5/1/7/8/2/analitichna-dovidka-pro-pozezi-2025.pdf>
4. Kuzyk, A. D., & Tovarianskyi, V. I. (2023). Vplyv voiennykh dii na lisovi ekosystemy Ukrainy ta yikh pislivoienne vidnovlennia [Impact of military actions on forest ecosystems of Ukraine and their post-war restoration]. *Visnyk Lvivskoho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttiedialnosti*, (27), 16–22. <https://doi.org/10.32447/20784643.27.2023.02> [in Ukrainian].
5. Salinero, E. C., & Chuvieco, E. (2003). *Wildland fire danger: Estimation and mapping: The role of remote sensing data*. World Scientific.
6. Oreshchenko, A. V., Osadchyi, V. I., Savenets, M. V., & Balabukh, V. O. (2020). Vyiavlennia i monitorynh potentsiino nebezpechnykh pozhvezh na terytorii Ukrainy za danymy suputnykovoho skanuvannia [Detection and monitoring of potentially dangerous fires in Ukraine using satellite data]. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, (11), 33–44. [in Ukrainian].
7. Lozinska, T. P., Sytnyk, O. S., & Velyka, K. I. (2024). Ohliad i analiz osnovnykh aspektiv protypozhezhnoho zakhystu lisovykh ekosystem v umovakh sohodennia [Review and analysis of key aspects of forest fire protection under current conditions]. *Lisove hospodarstvo*, (2), 144–153. [in Ukrainian].
8. Korniienko, O. V., et al. (2017). Provesty doslidzhennia efektyvnosti zahorodzhualnykh smuh dlia lokalizatsii pozhvezh pryrodnykh ekosystem iz zastosuvanniam vohnezakhysnykh rehovyn [Study on the effectiveness of firebreaks for localization of ecosystem fires]. Kyiv : UkrNDICZ DSNS Ukrainy. <https://dsns.gov.ua/upload/9/6/2/3/2017-4-25-zvit-osvita-i-nauka-6-dovidnik-kerivnika-gasinnya-pozezi.pdf> [in Ukrainian].
9. Shakhov, S. M., & Vynogradov, S. A. (2017). Tekhnolohiia ta perevahy vykorystannia kompresii piny [Technology and advantages of compressed air foam] (Thesis). Kharkiv: NUTSZU. [in Ukrainian]
10. Kodryk, A. I., Nikulin, O. F., Titenko, O. M., Shakhov, S. M., & Kurtov, O. V. (2019). Zalezhnist vlastyvostei kompresii piny vid robochykh parametriv protsesu heneruvannia piny [Dependence of foam properties on generation parameters]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 1(7), 54–63. [in Ukrainian].
11. Likhnovskyi, R. V., et al. (2017). Eksperymentalne vyznachennia vplyvu rozvedennia vohnezakhysnykh rozchyniv [Experimental determination of dilution effects of fire retardant solutions]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, (1), 117–122. [in Ukrainian].
12. Kovalyshyn, V. V., et al. (2022). Rozshyrennia haluzi zastosuvannia kompresii piny [Expansion of compressed air foam applications]. In *Proceedings of the All-Ukrainian scientific-practical conference* (pp. 372–374). [in Ukrainian]
13. Popovych, V., & Hapalo, A. (2020). Temperaturnyi vplyv landshaftnykh pozhvezh na ekolohichniy stan edafotopu [Temperature impact of landscape fires on soil conditions]. *ZN SGSP*, 76, 29–45.
14. Sukach, R. Y., Kovalyshyn, V. V., & Kyryliv, Y. B. (2021). Taktyka hasinnia ta protypozhezhne obladnannia dlia likvidatsii pozhvezh v torfovo-lisovykh ekosystemakh [Firefighting tactics and equipment for peat-forest ecosystems]. *Sciences of Europe*, 62(1), 44–48.
15. Sukach, R. Y., Kovalyshyn, V. V., & Kyryliv, Y. B. (2019). Znyzhennia pozhvezhnoi nebezpeky torfiankyv ta sposoby pidvyshchennia efektyvnosti yikh hasinnia [Reducing fire hazard of peatlands]. *Pozhezhna bezpeka*, (35), 75–82. [in Ukrainian].
16. Afzaal, H., & Zafar, N. A. (2016). Model for detection and suppression of forest fires using robots. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Robotics and Artificial Intelligence (ICRAI)* (pp. 112–117). IEEE.
17. Osadchuk, M. V., & Nizhnyk, V. V. (2025). Aktualnist zastosuvannia kompresii piny dlia hasinnia pozhvezh na transformatornykh pidstantsiakh [Relevance of compressed foam for extinguishing fires at substations]. In *Problems of Emergency Situations* (pp. 97–98). Cherkasy. [in Ukrainian].
18. Odynets, A., et al. (2022). Obruntuvannia dodatkovykh zakhodiv shchodo operatyvnykh dii pid chas hasinnia pozhvezh na skladakh naftoproduktiv v umovakh boiovykh dii [Justification of additional firefighting measures under combat conditions]. *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 1(13), 72–79. [in Ukrainian].
19. Kuzyk, A. D., & Karabyn, O. O. (2005). Modeliuvannia protsesu poshyrennia lisovoi pozhezhi v hirskii mistsevosti [Modeling forest fire spread in mountainous terrain]. *Pozhezhna bezpeka*, (6), 49–53. [in Ukrainian].
20. Matukhno, V. V., et al. (2022). Profilaktyka ta likvidatsiia lisovykh ta stepovykh pozhvezh z vykorystanniam bezpilotnykh litalnykh aparativ [Prevention and suppression of fires using UAVs]. Kharkiv: NUTSZU. [in Ukrainian].
21. Miller, O. V., & Sudnitsyn, Y. T. (2020). Vdoskonalennia profilaktyky ta pozhezhogasinnia lisovykh pozhvezh [Improvement of forest fire prevention and suppression]. In *Proceedings of the conference* (pp. 66–70). Lviv. [in Ukrainian].
22. Renkas, A., Popovych, V., & Dominic, A. (2021). Method for determining the optimal location of firefighting equipment for localization of ground forest fires. *Journal (unspecified)*, 2(46), 144–150. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.46>
23. Mikosiianchyk, O. O., et al. (2021). Orhanizatsiini aspekty zastosuvannia aviatsiinykh syl dlia hasinnia lisovoi pozhezhi [Organizational aspects of using aviation forces]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*, 1(63), 138–141. [in Ukrainian].

24. Panchenko, S. (2024). Alhorytm pobudovy matematychnoi modeli vodianykh krapel dlia efektyvnoho hasinnia lisovykh pozhezh [Mathematical modeling of water droplets for fire suppression]. *Nadzvychaini sytuatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia*, 8(1), 73–82. [in Ukrainian].

25. Panchenko, S. (2021). Tendentsii zastosuvannia aviatsiinoi tekhniki dlia hasinnia pozhezh [Trends in aerial firefighting]. *Nadzvychaini sytuatsii ta likvidatsiia*, 5(1), 104–114. <https://doi.org/10.31731/2524-2636.2021.5.1.104.114> [in Ukrainian].

26. Mosov, S. P., & Horskyi, O. M. (2022). Tekhnichni aspekty aviatsiinoho pozhezhogasinnia v ekosystemakh [Technical aspects of aerial firefighting]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*, (3), 104–111. [in Ukrainian].

27. Herasymenko, I. M., Soloviova, O. O., & Pron, S. V. (2021). Perspektyvni napriamy borotby z pozhezhamy u lisovomu hospodarstvi Ukrainy [Prospective directions of forest fire management in Ukraine]. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(3), 27–33. [in Ukrainian].

© М. В. Осадчук, В. В. Ніжник, К. Д. Алмазов

Оглядова стаття

Дата першого надходження статті до видання: 02.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 09.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026