



DOI <https://doi.org/10.32447/20786662.48.2026.07>

А. Д. Кузик, Д. Р. Лозова

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
м. Львів, Україна*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0118-9493> – А. Д. Кузик

<https://orcid.org/0009-0001-0757-3288> – Д. Р. Лозова

✉ andrij_k@yahoo.com

АСПЕКТИ ВПЛИВУ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ НА ОБ'ЄКТИ, РОЗТАШОВАНІ У ЛІСАХ ТА НА ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЯХ

Проблема. Лісові пожежі не лише завдають збитків лісовому господарству, негативно впливають на навколишнє середовище та несуть загрозу людині, але й можуть поширитися на об'єкти, які розташовані у лісах та на прилеглих територіях. Внаслідок цього виникають вторинні пожежі, які мають негативні наслідки для економіки та довкілля, потребують залучення сил і засобів для ліквідації.

Мета. Метою роботи є аналіз проблеми впливу лісових пожеж на об'єкти та шляхів її вирішення в Україні та світі.

Методи дослідження. Методи досліджень включають аналітичний огляд законодавства України та наукових праць, присвячених проблемі впливу лісових пожеж на об'єкти, розташовані у лісах та на прилеглих територіях.

Основні результати дослідження. В Україні є низка законодавчих документів, які стосуються проблеми запобігання пожежам у природних екосистемах. Вони встановлюють протипожежні вимоги до деяких видів об'єктів у лісах та поруч з ними, зокрема житлових, виробничих та інфраструктурних. Ці вимоги стосуються зокрема відстаней до об'єктів, інженерних заходів з обмеження поширення пожеж, планів дій щодо реагування.

Наукові дослідження у зарубіжних джерелах описують проблему яка виникає у зоні контакту між створеною людьми інфраструктурою і дикою рослинністю та вводять спеціальний термін Wildland-Urban Interface (WUI). Низка досліджень стосуються аналізу лісових пожеж, які поширюються на житлову забудову, промислові об'єкти, зокрема зберігання горючих рідин, зріджених газів.

Актуальними напрямками досліджень процесів поширень лісових пожеж у WUI є їх моделювання. Застосовуються теоретичні та емпіричні моделі: від найпростіших, які описують процеси теплового випромінювання від фронту пожежі до моделей гідродинаміки.

Широко застосовують геоінформаційні системи для оцінювання ризиків пожеж у WUI.

Описано також результати експериментальних процесів нагрівання, займання та поширення горіння.

Висновки. Аналіз літературних джерел виявив, що проблема впливу лісових пожеж на об'єкти, розташовані у лісових масивах та межують з ними, є актуальною і не вирішеною в повній мірі, незважаючи на значну кількість досліджень.

Актуальним завданням є розробка методу аналізу небезпек переходу лісових пожеж на об'єкти та мінімізації такого впливу шляхом удосконалення протипожежного захисту лісів та об'єктів, виявлення загроз виникнення пожеж та реагування на них

Ключові слова: лісова пожежа, об'єкти, WUI, законодавство, поширення пожежі, безпека пожежі.

ASPECTS OF THE IMPACT OF FOREST FIRES ON OBJECTS LOCATED IN FORESTS AND ADJACENT TERRITORIES

Introduction. Forest fires not only cause damage to forestry, negatively affect the environment and pose a threat to humans, but can also spread to objects located in forests and adjacent territories. As a result, secondary fires arise, which have negative consequences for the economy and the environment, requiring the involvement of forces and means for their elimination.

Purpose. The purpose of the work is to analyze the problem of the impact of forest fires on objects and ways to solve it in Ukraine and the world.

Methods. Research methods include an analytical review of Ukrainian legislation and scientific works devoted to the problem of the impact of forest fires on objects located in forests and adjacent territories.

Results. In Ukraine, there are a number of legislative documents that address the problem of preventing fires in natural ecosystems. They establish fire protection requirements for certain types of objects in forests and near them, in particular residential, industrial and infrastructure. These requirements relate in particular to distances to objects, engineering measures to limit the spread of fires, and response action plans.

Scientific research in foreign sources describes the problem that arises in the contact zone between man-made infrastructure and wild vegetation and introduces the special term Wildland-Urban Interface (WUI). A number of studies concern the analysis of forest fires that spread to residential buildings, industrial facilities, in particular storage of flammable liquids, liquefied gases.

Current areas of research into the processes of forest fire spread in WUI are their modeling. Theoretical and empirical models are used: from the simplest ones that describe the processes of thermal radiation from the fire front to hydrodynamic models.

Geographic information systems are widely used to assess the risks of fires in WUI.

The results of experimental processes of heating, ignition and combustion spread are also described.

Conclusions. An analysis of literary sources revealed that the problem of the impact of forest fires on objects located in forest areas and bordering them is relevant and not fully resolved, despite a significant number of studies.

The current task is to develop a method for analyzing the dangers of forest fires spreading to objects and minimizing such impact by improving fire protection of forests and objects, identifying threats of fires and responding to them

Key words: forest fire, objects, WUI, legislation, fire spread, fire hazard.

Лісова пожежа – небезпечне явище у природній екосистемі. Її переважно шкідливий вплив на навколишнє середовище виявляється у викидах продуктів горіння в атмосферу, до яких належать і парникові гази, виділення значної кількості теплоти, знищення рослин, тварин та мікроорганізмів, що призводить до зменшення біорізноманіття, ерозії ґрунтів, зміни гідрологічного режиму територій. У разі перебування у лісі людей, негативні чинники пожежі можуть спричинити їх ураження та загибель. Проте нерідко горіння лісу спричиняє негативну дію на різноманітні об'єкти, розташовані в зоні впливу: всередині лісового масиву або поруч з ним. Внаслідок теплового випромінювання, конвективних потоків та іскор може виникнути ушкодження і займання таких об'єктів. Дим і продукти горіння, що поширюються у напрямку об'єктів, є небезпечними для осіб, що перебувають на цих об'єктах. Особливу загрозу становить лісова пожежа для об'єктів підвищеної безпеки та критичної інфраструктури.

Метою роботи є аналіз проблеми впливу лісових пожеж на об'єкти та шляхів її вирішення в Україні та світі.

Методи досліджень включають аналітичний огляд законодавства України та наукових праць, присвячених проблемі впливу лісових пожеж на об'єкти, розташовані у лісах та на прилеглих територіях.

Виклад основного матеріалу. Згідно із законодавством України об'єкт підвищеної безпеки – це комплекс підприємства, що включає будівлі, виробництва, окреме обладнання та джерела безпеки, розташовані в межах території такого об'єкта, який за результатами ідентифікації вважається об'єктом підвищеної безпеки відповідного класу [1].

Згідно з Порядком організації охорони і захисту лісів [2] є чіткі вимоги щодо деяких видів об'єктів у лісах та поруч з ними, зокрема:

- складів паливно-мастильних та інших горючих матеріалів,
- автозаправних станцій,

- вогнебезпечних виробництв,
- смітників,
- житлових приміщень,
- виробничих приміщень,
- промислових об'єктів,
- об'єктів інфраструктури.

Їх заборонено розміщувати ближче 100 м до межі хвойного лісу, 50 м – мішаного і 20 м – листяного лісу. Якщо такі об'єкти існують, то необхідно здійснювати додаткові заходи щодо недопущення пожеж на таких об'єктах: інженерного характеру – створювати подвійні мінералізовані смуги на межі лісу та навколо об'єкта, організаційного характеру – розробляти план дій у разі виникнення пожежі, що передбачає залучення відповідальних осіб, пожежних підрозділів лісового господарства та ДСНС України.

Цим же порядком забороняється спалювання залишків рослинності на ділянках між об'єктами і лісовим масивом, окрім контрольованого спалювання рослинності та контрольованих відпалів. Забороняється також здійснювати розміщення відходів у лісовому масиві, які можуть містити займисті матеріали. Під час будівництва та експлуатації комунікацій (дороги, газопроводи, нафтопроводи, лінії електропередач та ін.) та об'єктів у лісах потрібно дотримуватись правил пожежної безпеки, зокрема не залишати горючі матеріали, деревні залишки та джерела займання. Особливого порядку вимагається під час проведення робіт працівниками таких об'єктів у лісах, зокрема погодження з лісовими господарствами, наявності протипожежного обладнання та засобів гасіння, дій у разі виникнення.

Значної уваги щодо недопущення впливу лісових пожеж потребує розташування у лісах та поруч з ними складів боєприпасів. Основні вимоги та заходи щодо таких об'єктів наведені у Методичних рекомендаціях щодо зниження небезпеки впливу лісових пожеж на арсенали, бази і склади боєприпасів, що розташовані в лісових масивах [3]. Наведено інформацію про небезпечні фактори лісових пожеж, які можуть спричинити пожежі на складах боєприпасів, до яких належать хімічні, теплофізичні чинники, а у лісах, забруднених радіонуклідами – іонізуюче випромінювання. Способами переходу пожежі на склади боєприпасів є:

- теплове випромінювання від факела полум'я на горючі маревівали, що знаходяться на об'єкті,
- поширення фронту горіння на надґрунтовий покрив,
- поширення іскор та головень.

Запропоновано заходи щодо зниження впливу лісових пожеж на склади боєприпасів, зокрема

організаційні заходи, що встановлюють заборонену зону навколо таких об'єктів, взаємодію структур при виникненні таких пожеж; *заходи з попередження виникнення та поширення пожеж*, що регламентують утримання належного протипожежного стану лісу, створення протипожежних бар'єрів, доріг протипожежного призначення, пожежних водойм, *заходи реагування* – своєчасне виявлення та ліквідацію пожеж у лісах.

Оцінювання небезпеки виникнення і поширення лісових пожеж здійснюють з урахуванням класів природної пожежної небезпеки. Шкала для оцінювання природної пожежної небезпеки наведена у [Порядку], а також Правилах пожежної безпеки в лісах України [4] та Положенні про лісові пожежні станції [5]. Існують незначні відмінності у наведених документах, які загалом не впливають на використання таких шкал.

Однак шкала природної пожежної небезпеки враховує загрози на макрорівні, і не завжди стосується дрібніших деталей, які характеризують лісове середовище. У [6] проведено детальний аналіз екологічних та лісівничих особливостей лісового середовища, що впливають на виникнення та поширення пожеж, зокрема породного складу насаджень, віку, просторової структури (повнота, густина, ярусність), стану та запасу горючих матеріалів (підстилки, чагарників, дерев, опадів, сухих гілок та ін.). Встановлено закономірності процесів висушування горючих матеріалів, що призводять до зменшення вологості, встановлено температури займання горючих матеріалів рослинного походження. Вивчено закономірності впливу енергетичних геопотоків на пожежонебезпечні властивості лісового середовища, мікрокліматичні умови та їх вплив на горючі матеріали.

Важливим заходом запобігання та ліквідації лісових пожеж є оцінювання їх поведінки, що полягає у встановленні швидкості та напрямків поширення. З цією метою проводять моделювання процесів поширення лісових пожеж. На теперішній час існує багато моделей поширення лісових пожеж. Огляд основних моделей наведено у [7]. Всі моделі лісових пожеж поділено на теоретичні, емпіричні та напівемпіричні. Проаналізовано моделі клітинних автоматів, модель Ротермела, комп'ютерні моделі FIRETEC, WFDS, які є традиційними та широко застосовуються у різних країнах. Описано і інші сучасні моделі поширення пожеж, які базуються на генетичному алгоритмі, машинному навчанні та штучному інтелекті. Наголошено на важливості моделей поширення пожеж на територіях, де співіснують лісові горючі матеріали і штучні споруди міського середовища. Порівнянню різних моделей поширення пожеж

присвячено роботу [8]. На основі відомих моделей МакАртура, Ротермелла, Александера та Ванг Схенгфей запропоновано багатомодельний метод моделювання поширення лісових пожеж (FIRER), який показує час горіння, периметр, площу горіння, площу перекриття та швидкість поширення пожеж. Цей метод являє собою великомасштабну модель поширення вогню з високою роздільною здатністю, засновану на поширенні вогню у восьми напрямках на регулярній сітці 30 м.

Численні наукові дослідження присвячені аналізу пожеж, що виникли в природних екосистемах та поширилися на різноманітні житлові та промислові об'єкти. У багатьох зарубіжних наукових працях виокремлюють відповідні зони контакту між створеною людьми інфраструктурою і дикою рослинністю та вводять спеціальний термін Wildland-Urban Interface (WUI). Безпосередньо прилеглими до міської забудови і органічно пов'язаними з нею є сади і парки. У багатьох містах України, Європи та інших континентів є історично сформовані зони зелених насаджень, які забезпечують комфорт і естетично доповнюють міський архітектурний ландшафт. Наприклад, у [9] наведено історичний нарис та опис садів і парків Львова. Зміни клімату, посуха та інші чинники можуть негативно впливати на рослинність, що призведе до збільшення пожежної небезпеки, а у разі її виникнення – поширення на розташовані об'єкти у місті.

Аналіз впливу лісових пожеж на взаємодію між природним середовищем і людиною наведений у [10]. У Канаді нещодавні пожежонебезпечні сезони продемонстрували загрозу лісових пожеж у зонах WUI, які характеризуються змішуванням або межуванням лісових горючих матеріалів з житловими, промисловими та інфраструктурними об'єктами. Дослідження поєднує просторові та демографічні джерела інформації для оцінки

поточного та майбутнього впливу лісових пожеж, що відображається в інтервалах повторних пожеж Fire Return Intervals (FRI) для зон WUI та населення по всій території Канади. WUI охоплює 17,3 % площі лісів Канади. Виявлено, що 19,4 % території мають $FRI \leq 250$ років, але до кінця століття цей показник може зрости до 28,8 %–43,3 %. Приблизно 12,3 % населення Канади проживає на межі природного середовища та міста (WUI), що включає 32,1 % населення корінних народів. На теперішній час 17,8 % населення WUI у заповідниках піддається $FRI \leq 250$ років, порівняно з лише 4,7 % решти населення WUI. До 2100 року ці пропорції можуть досягти 39,3 % та 17,4 % відповідно за менш оптимістичних кліматичних сценаріїв.

Аналіз однієї з найбільших пожежі з катастрофічними наслідками з точки зору кількості втрачених споруд та економічних збитків у Південній Африці, спричиненої WUI – пожежі у Найсні 2017 року проведено у [11]. Дані для аналізу базуються на аеророзвідці, проведеній одразу ж після події, даних геолокації, що ідентифікує зруйновані будинки, супутникових знімках та наземних дослідженнях. Вивчено механізми поширення вогню, ефективність протипожежних смуг, вплив типів дахів та стін, рослинності та погодних умов. Поєднання таких чинників, як сильна посуха та екстремальні пожежні погодні умови, призвели до знищення будинків на відстані до 1 км всередині зони WUI. Висока швидкість вітру спричинила проходження вогнем природних та штучних перешкод (річки та автомагістралі), що призвело до виникнення кількох вторинних пожеж. Вид будівельних матеріалів та наявність рослинності, вплинули на живучість будинків. Горючі матеріали (солома та деревина) зумовили більшу вразливість будинків до пошкодження вогнем. Виявлено, що в районах з більшою кількістю знищених споруд горючим матеріалом рослинного походження

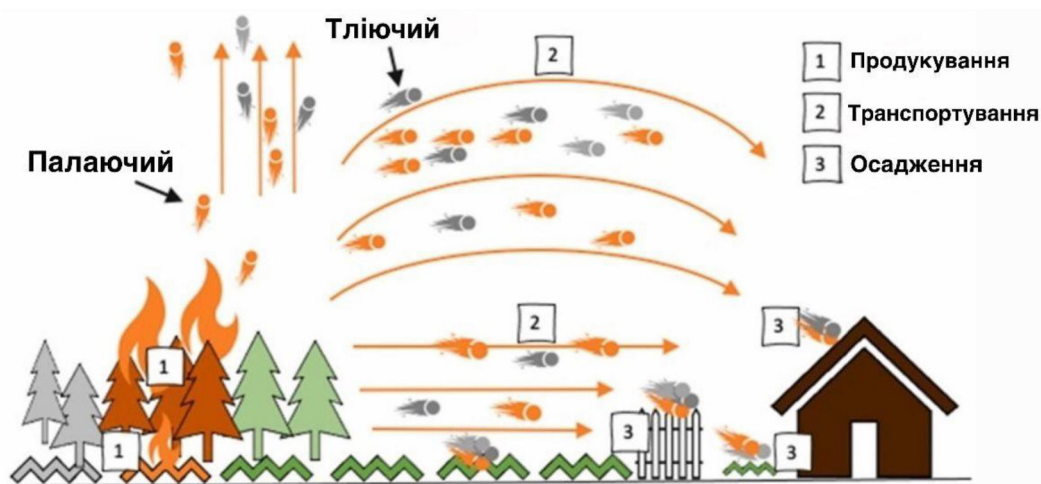


Рис. 1. Поширення лісової пожежі на забудову [12]

були густі, легкозаймісті насадження чужорідної інвазивної рослинності.

Механізми поширення лісових пожеж на забудову та теплові потоки проаналізовано у [12]. Розглянуто два сценарії: 1) перехід лісових пожеж до пожеж всередині міської забудови у зоні WUI і 2) поширення вогню в міських умовах. Перший сценарій вивчає вплив лісових пожеж на забудоване середовище, зокрема поширення шляхом контакту з полум'ям лісової пожежі та конвекцією, поширення пожежі внаслідок теплового випромінювання від фронту лісової пожежі та поширення твердих розжарених часток внаслідок горіння рослинних матеріалів (рис. 1).

Другий сценарій досліджує вплив споруд на інші споруди внаслідок пожежі в поселеннях внаслідок контакту з полум'ям та конвекції, теплового випромінювання між будівлями та твердих часток від горіння будівельних матеріалів.

Заслужують уваги моделі поширення пожеж у природному середовищі та забудові міст. Прикладом фізичної моделі WFDS (Wildland-Urban Fire Dynamic Simulator), що дає можливість вивчити такі процеси у WUI, наведений у [13]. Він ілюструє результати моделювання пожежі на громаду (рис. 2). Цей та інший приклад (рис. 3) наведений і у [14].

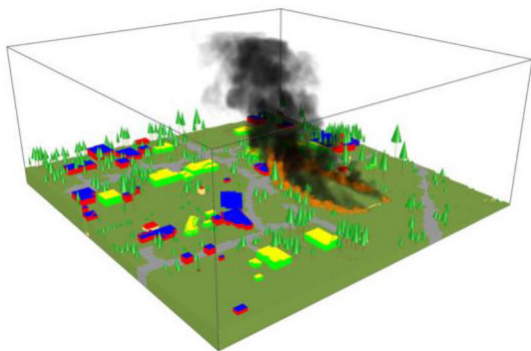


Рис. 2. Моделювання у WFDS поширення низової пожежі на будинки громади у зоні контакту між створеною людьми інфраструктурою і дикою рослинністю (Wildland-Urban Interface) [13, 14]

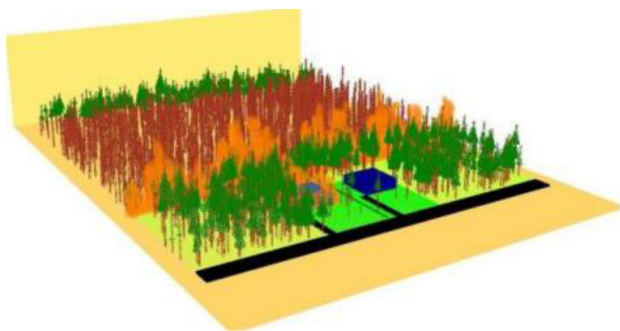


Рис. 3. Моделювання поширення лісової пожежі на будівлі у зоні контакту між створеною людьми інфраструктурою і дикою рослинністю (Wildland-Urban Interface) [14]

У роботі [15] розроблено модель поширення вогню на основі гетерогенної моделі клітинних автоматів для великомасштабних складних зон межування природного середовища та міста (WUI). Модель інтегрує модель лісової пожежі та модель пожежі будинку на основі принципів передачі тепла та емпіричної статистики. Розроблено комп'ютерну програму на основі цієї моделі поширення вогню для перевірки її ефективності. Для перевірки адекватності розглянуто реальну пожежу WUI у Каліфорнії, проведено порівняльні симуляційні експерименти на основі запропонованої програми та поширеного програмного забезпечення для моделювання лісових пожеж FlamMap6. Результати вказують на ефективність, своєчасність та достатню точність симуляції, що буде ефективною для прийняття рішень у подібних надзвичайних ситуаціях.

Одним із важливих завдань щодо мінімізації впливу лісових пожеж на об'єкти є планування заходів щодо дотримання протипожежних вимог, виявлення таких пожеж, оцінювання небезпеки поширення. У [16] наведено розроблені етапи проєктів захисту об'єктів підвищеної небезпеки у Івано-Франківській області від впливу лісових пожеж. Ці етапи передбачають аналіз супутникової інформації та картографування об'єктів і лісових масивів, аналіз відстаней від лісів до об'єктів, врахування крутих схилів, з рослинністю, швидкість поширення якими є вища, ніж на рівнині. У дослідженні не виявлено проблем, пов'язаних з близькістю розташування таких об'єктів до лісових масивів.

Проблема поширення лісових пожеж на міські території наведена у спеціальному випуску журналу Fire and Materials [17]. Оглядова стаття стосується напрямів досліджень у цій сфері, зокрема питань стандартизації у сфері великих зовнішніх пожеж ISO TC 92, оцінюванню збитків від пожеж рослинності у Норвегії, впливу на ґрунти і водні ресурси, дії теплового випромінювання на об'єкти інфраструктури, зокрема паливні резервуари, поширення диму і твердих часток як забруднювачів, що викликає проблеми зі здоров'ям, процесам займання і поширення горіння лісовими та декоративними рослинами, а також захисту будівель від пожеж з використанням неорганічної затверділої піни та модернізації конструкцій пожежостійкими матеріалами.

У роботі [18] наведено результати досліджень місць займання у житловому будинку внаслідок лісової пожежі, досліджено теплову дію пожежі та сформульовано принципи захисту таких будівель від пожеж. Встановлено, що понад 60 % пожеж у житлових приміщеннях були безпосередньо пов'язані з поширенням вогню. Близько 80 %

починалися на дахах, а також у дверях і вікнах. Понад 90 % будинків, побудованих з кам'яними стінами та дерев'яними дахами та перекриттями, були набагато більш вразливими до пожежі, ніж залізобетонні конструкції. Запропоновано використовувати найсуворіші вимоги вогнезахисту елементів конструкцій.

Вплив теплового випромінювання фронту лісової пожежі на поверхню резервуарів з паливом досліджено у низці робіт. Одним із завдань підвищення рівня пожежної безпеки резервуарів для зберігання пального є визначення безпечної відстані для запобігання займанню. Його вирішенню присвячена робота [19], у якій звернута увага на те, що резервуари з паливом переважно розташовують на межі підприємств, а тому існує загроза займання від пожеж у природних екосистемах. Розглянуто такі види пожеж: трав'яна, пожежа чагарників і верхова пожежа для дерев висотою, 5, 10, 15, 20 і 25 м. Запропоновано методику оцінювання безпечної відстані, яку порівняно з існуючими нормами.

Подібну проблему розглянуто і у [20] щодо впливу лісових пожеж на малі і середні резервуари із зрідженим газом на цивільних і промислових об'єктах. Описано експериментальні дослідження, у яких фронт лісової пожежі був змодельований сталеву стіною розміром 3×8 м з палинками, у які надходив природний газ. Тепловий потік діяв на резервуар зрідженого газу об'ємом $2,3$ м³, виготовлений із сталі товщиною стінок $6,1$ мм. Проведено також чисельне моделювання у ANSYS розв'язуванням систем диференціальних рівнянь маси, імпульсу та енергії в рідині та сталевій стінці резервуара.

Для кількісної оцінки вразливості резервуарних парків до дії випромінювання, спричиненого лісовою пожежею проведено дослідження [21]. Запропонована методологія базується на динамічному дереві подій, що враховує теплове випромінювання від лісових пожеж та пов'язані з ними каскадні сценарії. Застосування методології потребує таких даних моделювання сценарію лісової пожежі: форма полум'я, розміри полум'я, випромінювальна здатність полум'я та тривалість пожежі. Запропоновано використовувати спрощений підхід [19], оскільки він дає можливість характеризувати фронт пожежі на основі типу рослинності, що оточує промислову зону. Для моделювання фронту пожежі використовується модель суцільного полум'я у формі прямокутної поверхні зі сторонами L_f (довжина полум'я) і W_f (ширина фронту пожежі), нахиленої під кутом θ до горизонтальної поверхні, з випромінювальною здатністю E_{wf} (рис. 4).

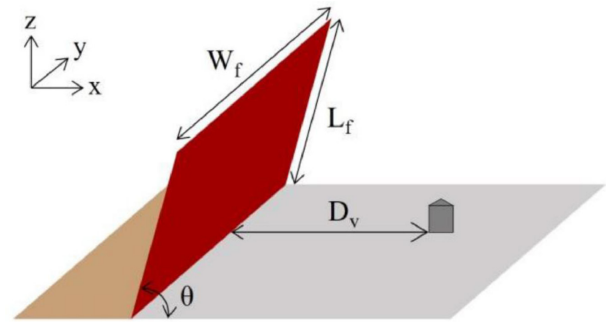


Рис. 4. Форма та розміри полум'я для моделювання фронту лісової пожежі [21]: L_f – довжина полум'я, W_f – ширина фронту пожежі, D_v – відстань між лісовою пожежею та резервуаром, θ – кут нахилу полум'я фронту пожежі

Процеси теплового випромінювання спричиняють поширення тепла у конструкціях. Їх моделювання описано у багатьох роботах. Зокрема у [22] отримані аналітичний метод моделювання поширення тепла у багат шарової пластини та порожнистому циліндрі за умов ідеального теплового контакту між шарами. Запропонований метод дає можливість описати температуру всередині багат шарових плоских будівельних конструкцій, що використовуються у будівлях (стіни, дах), а також у резервуарах для зберігання нафтопродуктів і зрідженого газу циліндричної форми.

Зона контакту між створеною людьми інфраструктурою та дикою рослинністю має тенденцію до збільшення в усьому світі та має прямий зв'язок з ризиком лісових пожеж. Антропогенна діяльність збільшує ризик лісових пожеж, які можуть мати катастрофічні наслідки для майна та землекористування, а також становити серйозну загрозу для життя і здоров'я людей. Дослідженню просторових закономірностей таких зон і місць виникнення лісових пожеж у Галісії (Іспанія) присвячена робота [23]. Просторово розмежовано та класифіковано зони контакту між створеною людьми інфраструктурою та дикою рослинністю за інтенсивністю людської присутності з урахуванням просторового розташування будівель. Також класифіковано зони за фрагментацією лісів, та встановлено щільності займання лісових пожеж. Встановлено, що більше половини забудованої території розташовано у таких зонах і що пожежі у них виникають вдвічі частіше, ніж за їх межами. Найвища частота природних пожеж спостерігається в безлісих районах зон, а найнижча щільність пожеж пов'язана з ізольованими будівлями. Райони з дуже щільними скупченнями будівель, оточених лісовими масивами, (приміські райони) мають найвищу щільність займання. Це вимагає розробки та реалізації планів захисту людського життя, майна та економічної діяльності.

Окремі дослідження стосуються вивчення дії вогню на будівельні конструкції та їх елементи. У [24] оцінено вогнестійкість покрівельних систем з малим ухилом, які поширені у комерційних та промислових будівлях. Досліджено чотири рішення для покрівельних покриттів, що поєднують два типи водонепроникних мембран (полівінілхлорид (ПВХ) та термопластичний поліолефін (ТПО)) з двома різними ізоляційними шарами (мінеральною ватою та поліізоціануратом (PIR)). Випробування в лабораторних умовах базувалися на методі CEN/TS 1187-Test 1 та оцінюванні за критеріями EN 13501-5 BROOF(t1). Моделювалося потрапляння на поверхню горючих фрагментів, які розміщувалися в корзині на поверхні елементів даху. Зразки конструкцій розміщувалися під кутами $1,41^\circ$ та 15° і досліджувалися за двох вітрових умов: без вітру та з дією вітру швидкістю $1,5 \text{ м/с}$ (рис. 5).

У дослідженні оцінювався вплив ухилу даху, розташування стиків, типу мембрани, теплоізоляційного шару та вітру на поширення полум'я та температурні профілі. Результати показали, що ТПО-мембрани, особливо в поєднанні з PIR-ізоляцією, значно збільшують поширення полум'я та тривалість горіння. І навпаки, ПВХ-мембрани продемонстрували добру вогнестійкість, обмежували поширення полум'я та самогасали за різних умов випробувань. Тому існує необхідність ретельного вибору покрівельних компонентів, особливо в зонах високого ризику WUI, та акцентує на важливість впливу вітру під час подібних вогневих випробувань.

У зонах між лісом і будівлями часто встановлюють трансформаторні підстанції. Однак, займістість трансформаторної оливи створює значні проблеми пожежної безпеки в забудованому середовищі. Лісові пожежі можуть серйозно вплинути на трансформатори через термічні пошкодження, деградацію ізоляції, структурні порушення та підвищений ризик пожежі. І навпаки, пожежі в басейнах трансформаторної

оливи також можуть посилити лісові пожежі через конвективні та радіаційні механізми теплопередачі. Цим питанням присвячені дослідження пожежної небезпеки трансформаторних оливи у резервуарах [25]. Проведено серію експериментів з пожежами у басейнах діаметром від $0,05 \text{ м}$ до $0,5 \text{ м}$, аналізуючи критичні параметри: масова швидкість горіння, геометрія полум'я та температура полум'я. Отримані результати порівняно з результатами традиційних вуглеводневих горючих матеріалів – бензину та дизельного палива. Для моделювання використовували MATLAB для визначення особливостей геометрії полум'я (висота, зони та площа) та Fire Dynamics Simulator (FDS) для моделювання пожеж. Розроблена математична модель теплового потоку, яка перевірена на відповідність результатам моделювання у FDS.

Вирішенню проблеми пожеж на межі лісу і промислових підприємств присвячено роботу [26]. Проведено огляд випадків пожеж, спричинених лісовими та іншими природними пожежами з 1997 до 2022 року. У роботі наведено карту з розташуванням такого межування для світу. Встановлено, що у Європі Німеччина, а у Азії Китай і Японія мають найбільші площі територій такого межування. Промислові об'єкти, які знаходяться на такій території та містять небезпечні матеріали, повинні враховувати ризики лісових пожеж та включати їх до кількісної оцінки ризиків.

Дослідження з використанням картографічних методів, за допомогою яких аналізують межування вкритих рослинністю частин поверхні та що знаходяться у користуванні, описані у [27]. Для використання у випадку пожеж у Європі створено карту на основі даних Corine Land Cover 2006 (CLC). Запропоновано метод, який складається з двох кроків: 1) просторове розташування та протяжність європейських зон пожежонебезпечних зон на межі рослинності і міського середовища картографуються в континентальному масштабі; 2) емпіричні дані перевіряються статистично на наявність будь-яких регіональних закономірностей

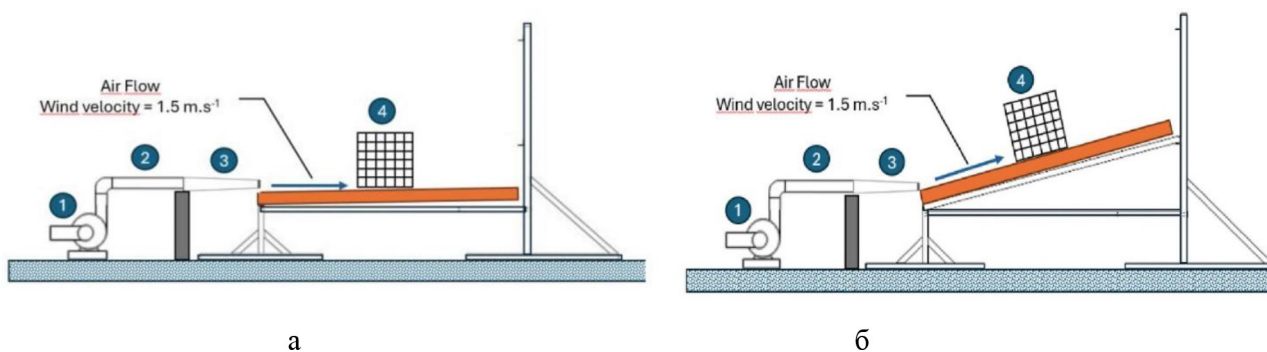


Рис. 5. Схема експериментальних випробувань за дії вітру: 1 – вентилятор, 2 – повітропровід діаметром 120 мм , 3 – перехідник, 4 – корзина з горючим матеріалом [24]; а – кут нахилу $1,41^\circ$; б – кут нахилу 15°

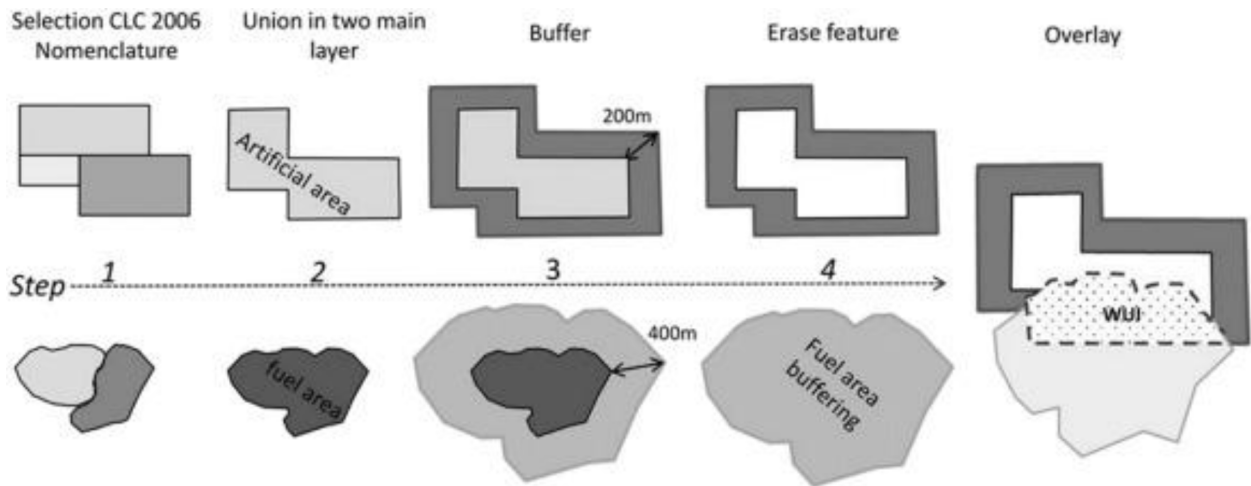


Рис. 6. Графічне представлення геопросторового аналізу для створення карти пожежонебезпечних зон переходу пожеж у природних екосистемах на створені людиною об'єкти [27]

виникнення великих пожеж у межах цих пожежонебезпечних зон. Обробка геопросторових даних проводиться у декілька кроків (рис. 6).

На першому кроці вибирають всі класи покриття земної поверхні у CLC, які створені людиною та є рослинним горючим матеріалом відповідно. На другому кроці відібрані класи об'єднують у два основні шари. На третьому кроці створюють буфер 200 м навколо створених людиною областей та 400 м навколо областей з рослинністю. На четвертому кроці два буферизовані шари даних накладають один на одного, щоб ідентифікувати області, що перекриваються та є пожежонебезпечними зонами переходу пожеж у природних екосистемах на створені людиною об'єкти.

Для аналізу загроз доцільно розрізняти ділянки, вкриті рослинністю, за пожежною небезпекою, яка залежить не лише від породного складу, але й багатьох інших чинників, які змінюються з часом. Тому зважаючи на зростаючу загрозу лісових пожеж високої інтенсивності в районах між дикою природою та міськими районами Середземномор'я (WUI) у [28] вказано на необхідність розробки ефективних стратегій оцінки та управління ризиками пожеж. Знайдена доступність космічних гіперспектральних даних дає значні можливості для оцінювання інтенсивності пожеж, а Національні лісові інвентаризації пропонують набори даних, пов'язані з рослинністю та запасами горючого матеріалу, що є важливим для формування планів і стратегій лісових служб. Запропоновано з метою удосконалення виявлення загроз пожеж в районах між дикою природою та міськими районами Середземномор'я поєднати космічні гіперспектральні дані PRISMA та дані іспанської Національної лісової інвентаризації. Запропонована методологія має з етапи: 1) оцінка інтенсивності лісової пожежі в локальному

масштабі за допомогою гіперспектральних даних PRISMA та багатоетапного спектрального аналізу у польових умовах; 2) розробка карти ймовірності високоінтенсивних лісових пожеж у регіоні на основі екстраполяції прогностичної моделі випадкового лісу, каліброваної на основі оцінок серйозності пожеж, даних NFI та топографічно-кліматичних змінних у локальному масштабі; 3) ідентифікація та характеристика зон, які можуть становити небезпеку в районах між дикою природою та міськими районами з високою ймовірністю та значною серйозністю пожеж у разі їх виникнення шляхом об'єднання інформації. Результат реалізації методології для території Середземномор'я Іспанії наведено на рис. 7.

Лісові пожежі на теперішній час частішають, посилюються в умовах кліматичних змін та переходять з природного середовища на міські території (WUI). Вони є основною причиною економічних збитків в усьому світі. Тому у роботі [29] акцентовано на наявність потреби в покращенні моделей пожеж у WUI для прогнозування їх масштабів, розуміння процесів поширення через забудоване середовище, виявлення та оцінки вразливостей окремих будівель та пом'якшення наслідків. Хоча існує значна кількість моделей поширення пожеж у природних екосистемах та у міських умовах, у моделюванні пожеж в WUI досягнуто незначного прогресу. Це пов'язано з тим, що під час таких пожеж згорає складна суміш горючих матеріалів рослинного походження та забудованого середовища. Запропоновано емпіричний підхід для розуміння того, як лісові пожежі можуть «поширюватися» у забудоване середовище, оцінюючи ймовірність знищення будівлі внаслідок пожеж, спричинених пожежами, що виникатимуть під час пожеж. Враховуються характеристики лісової пожежі під час її потрапляння у забудоване

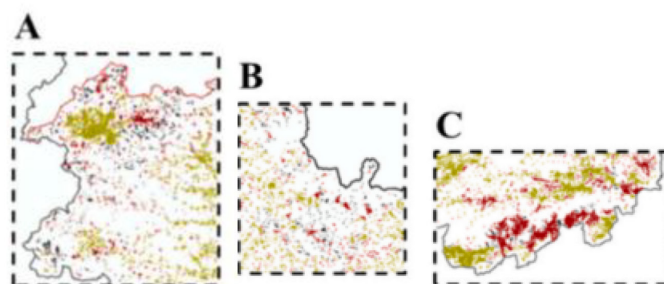
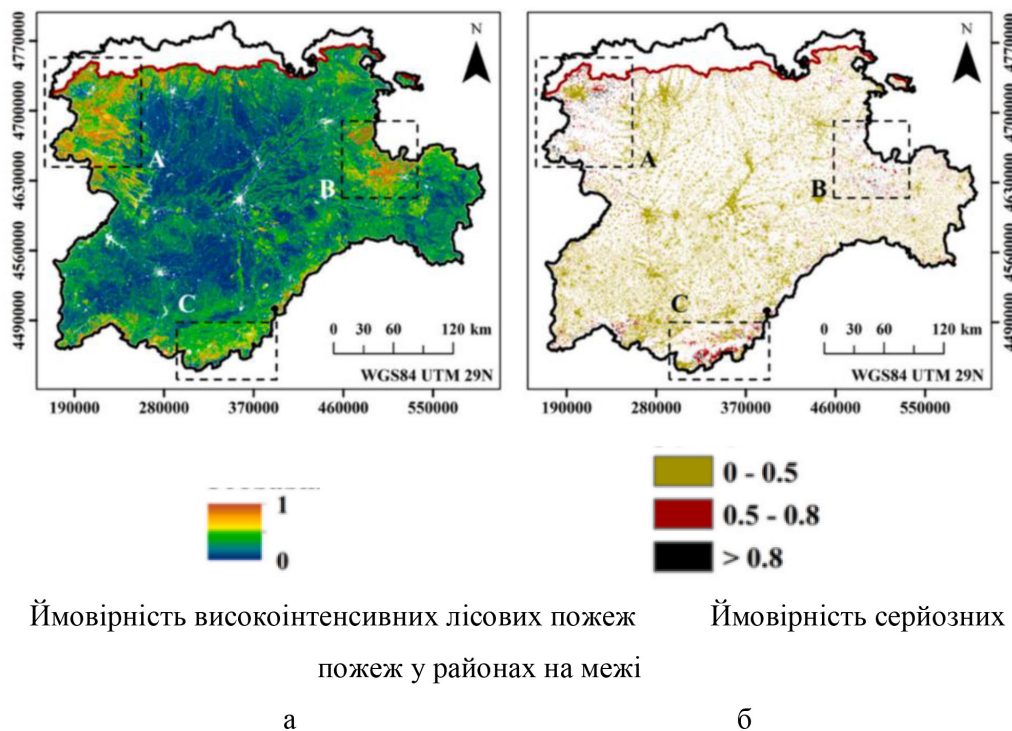


Рис. 7. Прогнози ймовірності високої інтенсивності пожеж у кліматичних районах середземноморського типу Кастильї та Леона (а); Розташування зон пожежонебезпечних зон між дикою природою та міськими районами та ймовірність високої інтенсивності пожеж. Детальне збільшення виділених на карті трьох гарячих точок: А – північний захід; В – схід; С – південь [28]

середовище, просторове розташування горючих матеріалів у будівлях та зелених насадженнях, а також деталі конструкції будівель.

Висновки. Аналіз літературних джерел виявив, що проблема впливу лісових пожеж на об'єкти, розташовані у лісових масивах та межують з ними, є актуальною і не вирішеною в повній мірі, незважаючи на значну кількість досліджень.

Вагомими чинниками впливу лісових пожеж на об'єкти є пожежонебезпечні властивості лісового середовища, які є динамічними, залежать від природних особливостей насаджень, погодно-кліматичних умов та впливають на параметри пожежі, розміри та стан буферних зон, які перешкоджають поширенню горіння на об'єкти, а також особливості протипожежного облаштування об'єктів та наявності пожежонебезпечних речовин.

Для зменшення ризиків пожеж на таких об'єктах необхідні подальші дослідження, спрямовані на встановлення закономірностей

поширення лісових пожеж на ці об'єкти та їх урахування у протипожежному захисті.

Актуальним завданням є розробка методу аналізу небезпек переходу лісових пожеж на об'єкти та мінімізації такого впливу шляхом удосконалення протипожежного захисту лісів та об'єктів, виявлення загроз виникнення пожеж та реагування на них.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України: Про об'єкти підвищеної небезпеки *Відомості Верховної Ради України* (ВВР), 2001, № 15, 73 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14#Text>.
2. Постанова Кабінету Міністрів України: Про затвердження Порядку організації охорони і захисту лісів від 20 травня 2022 р. № 612. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/612-2022-%D0%BF#top>
3. Наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України: Про затвердження Методичних

рекомендацій щодо зниження небезпеки впливу лісових пожеж на арсенали, бази і склади боєприпасів, що розташовані в лісових масивах 25.08.2011 № 890. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0890735-11#top>

4. Наказ Державного комітету лісового господарства України: Про затвердження Правил пожежної безпеки в лісах України 27.12.2004 № 278. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0328-05#Text>

5. Наказ Державного комітету лісового господарства України: Про затвердження Положення про лісові пожежні станції 28.12.2005 N 526. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0047-06#Text>

6. Кузик А. Д., Еколого-лісівничі основи пожежної безпеки лісів Малоого Полісся. Монографія. Львів : Сполом, 2019. 493 с.

7. Singh H., Ang L. M., Lewis T., Paudyal D., Acuna M., Srivastava P. K., Srivastava S. K., Trending and emerging prospects of physics-based and ML-based wildfire spread models: A comprehensive review. *Journal of Forestry Research*. 2024. Vol. 35(1). 135. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-024-01783-x>

8. Ning J., Liu H., Yu W. Deng, J. Sun, L. Yang, G. Yu H., (2024). Comparison of different models to simulate forest fire spread: A case study. *Forests*. Vol. 15(3). 563. DOI: <https://doi.org/10.3390/f15030563>

9. Кучерявий В. П., Сади і парки Львова. Львів : Світ, 2008. 359 с.

10. Erni S., Johnston L., Boulanger Y., Manka F., Bernier P., Eddy B., Gauthier S., Exposure of the Canadian wildland–human interface and population to wildland fire, under current and future climate conditions. *Canadian Journal of Forest Research*. 2021. Vol. 51(9). Pp. 1357–1367. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0422>

11. Quiroz N. F., Gibson L., Conradie W. S., Ryan P., Heydenrych R., Moran A., Walls R., Analysis of the 2017 Knysna fires disaster with emphasis on fire spread, home losses and the influence of vegetation and weather conditions: A South African case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2023. Vol. 88. 103618. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103618>

12. Filkov A. I., Tihay-Felicelli V., Masoudvaziri N., Rush D., Valencia A., Wang Y.,... Tam W. C. A review of thermal exposure and fire spread mechanisms in large outdoor fires and the built environment. *Fire safety journal*. 2023. Vol. 140. 103871. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103871>

13. Morvan D. Physical phenomena and length scales governing the behaviour of wildfires: a case for physical modelling. *Fire technology*. 2011. № 47. Pp. 437–460. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10694-010-0160-2>

14. Mell W., McNamara D., Maranghides A., McDermott R., Forney G., Hoffman C., Ginder M., Computer modelling of wildland-urban interface fires. *Fire & Materials*, San Francisco, CA, 31 Jan – 2 Feb 2011. P. 12.

15. Jiang W., Wang F., Fang L., Zheng X., Qiao X. Li Z., Meng Q. Modelling of wildland-urban interface fire spread with the heterogeneous cellular automata model. *Environmental Modelling & Software*. 2021. Vol. 135. 104895. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104895>

16. Стародуб Ю. П., Урсуляк П. П., Розробка етапів проектів впливу лісових пожеж на об'єкти підвищеної небезпеки на прикладі Івано-Франківської області. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2011. № 5. С. 32–38. URL: https://ludubgd.edu.ua/sites/default/files/files/5_2.pdf

17. Manzello S. L., Hofmann A., Editorial on Special Issue on Wildland–Urban Interface (WUI) Fires. *Fire and Materials*. 2025. Vol. 49. Pp. 509–511. DOI: <https://doi.org/10.1002/fam.3308>

18. Arruda M. R. T., Bicelli A. R., A. Branco F., Ignition locations and simplified design guidelines for enhancing the resilience of dwellings against wildland fires. *Fire*. 2024. Vol. 7(2). 40. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire7020040>

19. Ricci F., Scarponi G. E., Pastor E., Planas E., Cozzani V. Safety distances for storage tanks to prevent fire damage in Wildland-Industrial Interface. *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. Vol. 147. Pp. 693–702. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.01.002>

20. Scarponi G. E., Landucci G., Heymes F., Cozzani V. Experimental and numerical study of the behavior of LPG tanks exposed to wildland fires. *Process Safety and Environmental Protection*. 2018. Vol. 114. Pp. 251–270. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.12.013>

21. Ricci F., Misuri A., Scarponi G. E., Cozzani V., Demichela M., Vulnerability assessment of industrial sites to interface fires and wildfires. *Reliability Engineering & System Safety*. 2024. Vol. 243. 109895. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109895>

22. Tatsiy R. M. Pazen O. Yu., Vovk S. Ya., Ropyak L. Ya., & Pryhorovska T. O., Numerical study on heat transfer in multilayered structures of main geometric forms made of different materials. *Journal of the Serbian society for computational mechanics*. 2019. Vol. 13(2). Pp. 36–55. DOI: <https://doi.org/10.24874/jsscm.2019.13.02.04>

23. Chas-Amil M. L., Touza J., García-Martínez E. Forest fires in the wildland–urban interface: a spatial analysis of forest fragmentation and human impacts. *Applied Geography*. 2013. Vol. 43. Pp. 127–137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.06.010>

24. de Paula D. J., Rodrigues J. P. C., Camargo A. L., Experimental tests on fire behaviour of roof covering systems. *Fire Safety Journal*. 2026. 104650. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2026.104650>

25. Sharma A., Mishra K. B. Thermal hazards and fire risk evaluation of transformer oil-heat transfer dynamics and safety implications. *Thermal Science and Engineering Progress*, 2025. Vol. 65. 103814. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2025.103814>

26. Planas E., Paugam R., Àgueda A., Vacca P. & Pastor E., Fires at the wildland-industrial interface. Is there an emerging problem? *Fire Safety Journal*. 2023. Vol. 141. 103906. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103906>

27. Modugno S., Balzter H., Cole B., Borrelli P., Mapping regional patterns of large forest fires in Wildland–Urban Interface areas in Europe. *Journal of Environmental Management*. 2016. Vol. 172. Pp. 112–126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.013>

28. Fernández-Manso A., Quintano C., Fernández-Guisuraga J. M., Roberts D., Next-gen regional fire risk mapping: Integrating hyperspectral imagery and National Forest Inventory data to identify hot-spot wildland-urban interfaces. *Science of the total environment*. 2024. Vol. 940. 173568. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173568>

29. Price O., Ondeï S., Bowman D. M., Progress and prospects for predicting wildfire spread through the Wildland-urban interface. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2025. Vol.121. 105392. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2025.105392>

REFERENCES

1. Zakon Ukrainy. (2001). *Pro obiekty pidvyshchenoi nebezpeky* [Law of Ukraine: On high-risk objects]. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, (15), 73. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14#Text> [in Ukrainian].

2. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2022, May 20). *Pro zatverdzhennia Poriadku orhanizatsii okhorony i zakhystu lisiv* [On approval of the procedure for organizing forest protection and defense] (No. 612). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/612-2022-%D0%BF#top> [in Ukrainian].

3. Ministerstvo nadzvychnykh sytuatsii Ukrainy. (2011, August 25). *Pro zatverdzhennia Metodychnykh rekomendatsii shchodo znyzhennia nebezpeky vplyvu lisovykh pozhezh na arsenalny, bazy i sklady boieprypasiv, shcho roztashovani v lisovykh masyvakh* [On approval of methodological recommendations for reducing the impact of forest fires on arsenals, bases and ammunition depots located in forest areas] (No. 890). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0890735-11#top> [in Ukrainian].

4. Derzhavnyi komitet lisovoho hospodarstva Ukrainy. (2004, December 27). *Pro zatverdzhennia Pravyly pozhezhnoi bezpeky v lisakh Ukrainy* [On approval of fire safety rules in the forests of Ukraine] (No. 278). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0328-05#Text> [in Ukrainian].

5. Derzhavnyi komitet lisovoho hospodarstva Ukrainy. (2005, December 28). *Pro zatverdzhennia Polozhennia pro lisovi pozhezhni stantsii* [On approval of the regulation on forest fire stations] (No. 526). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0047-06#Text> [in Ukrainian].

6. Kuzyk, A. D. (2019). *Ekoloho-lisivnychi osnovy pozhezhnoi bezpeky lisiv Maloho Polissia* [Ecological and silvicultural foundations of fire safety in the forests of Male Polissya]. Lviv: Spolom. [in Ukrainian].

7. Singh, H., Ang, L. M., Lewis, T., Paudyal, D., Acuna, M., Srivastava, P. K., & Srivastava, S. K. (2024). Trending and emerging prospects of physics-based and ML-based wildfire spread models: A comprehensive review. *Journal of Forestry Research*, 35(1), 135. <https://doi.org/10.1007/s11676-024-01783-x>

8. Ning, J., Liu, H., Yu, W., Deng, J., Sun, L., Yang, G., & Yu, H. (2024). Comparison of different models to simulate forest fire spread: A case study. *Forests*, 15(3), 563. <https://doi.org/10.3390/f15030563>

9. Kucheriavyi, V. P. (2008). *Sady i parky Lvova* [Gardens and parks of Lviv]. Lviv: Svit. [in Ukrainian].

10. Erni, S., Johnston, L., Boulanger, Y., Manka, F., Bernier, P., Eddy, B.,... & Gauthier, S. (2021). Exposure of the Canadian wildland–human interface and population to wildland fire, under current and future climate conditions. *Canadian Journal of Forest Research*, 51(9), 1357–1367. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0422>

11. Quiroz, N. F., Gibson, L., Conradie, W. S., Ryan, P., Heydenrych, R., Moran, A.,... & Walls, R. (2023). Analysis of the 2017 Knysna fires disaster with emphasis on fire spread, home losses and the influence of vegetation and weather conditions: A South African case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 88, 103618. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103618>

12. Filkov, A. I., Tihay-Felicelli, V., Masoudvaziri, N., Rush, D., Valencia, A., Wang, Y.,... & Tam, W. C. (2023). A review of thermal exposure and fire spread mechanisms in large outdoor fires and the built environment. *Fire safety journal*, 140, 103871. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103871>

13. Morvan D. (2011). Physical phenomena and length scales governing the behaviour of wildfires: a case for physical modelling. *Fire technology*, 47, 437-460. <https://doi.org/10.1007/s10694-010-0160-2>

14. Mell, W., McNamara, D., Maranghides, A., McDermott, R., Forney, G., Hoffman, C., & Ginder M. (2011). Computer modelling of wildland-urban interface fires. *Fire & Materials*, San Francisco, CA, 31 Jan – 2 Feb P.12.

15. Jiang, W., Wang, F., Fang, L., Zheng, X., Qiao, X., Li, Z., & Meng, Q. (2021). Modelling of wildland-urban interface fire spread with the heterogeneous cellular automata model. *Environmental Modelling & Software*, 135, 104895. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104895>

16. Starodub Yu. P., Ursulyak P. P. (2011). Development of stages of projects of impact of forest fires on objects of increased danger on the example of Ivano-Frankivsk region. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, 5, 32–38. Retrieved from: https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/files/5_2.pdf [in Ukrainian].

17. Manzello, S.L., & Hofmann, A. (2025). Editorial on Special Issue on Wildland–Urban Interface (WUI) Fires. *Fire and Materials*, 49, 509–511. <https://doi.org/10.1002/fam.3308>
18. Arruda, M. R. T., Bicelli, A. R. A. & Branco, F. (2024). Ignition locations and simplified design guidelines for enhancing the resilience of dwellings against wildland fires. *Fire*, 7(2), 40. <https://doi.org/10.3390/fire7020040>
19. Ricci, F., Scarponi, G. E., Pastor, E., Planas, E., & Cozzani, V. (2021). Safety distances for storage tanks to prevent fire damage in Wildland-Industrial Interface. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 693–702. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.01.002>
20. Scarponi, G. E., Landucci, G., Heymes, F., & Cozzani, V. (2018). Experimental and numerical study of the behavior of LPG tanks exposed to wildland fires. *Process Safety and Environmental Protection*, 114, 251–270. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.12.013>
21. Ricci, F., Misuri, A., Scarponi, G. E., Cozzani, V., & Demichela, M. (2024). Vulnerability assessment of industrial sites to interface fires and wildfires. *Reliability Engineering & System Safety*, 243, 109895. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109895>
22. Tatsiy, R. M., Pazen, O. Yu., Vovk, S. Ya., Ropyak, L. Ya., & Pryhorovska, T. O. (2019). Numerical study on heat transfer in multilayered structures of main geometric forms made of different materials. *Journal of the Serbian society for computational mechanics*, 13(2), 36–55. <https://doi.org/10.24874/jsscsm.2019.13.02.04>
23. Chas-Amil, M. L., Touza, J., & García-Martínez, E. (2013). Forest fires in the wildland–urban interface: a spatial analysis of forest fragmentation and human impacts. *Applied Geography*, 43, 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.06.010>
24. de Paula, D. J., Rodrigues, J. P. C., & Camargo, A. L. (2026). Experimental tests on fire behaviour of roof covering systems. *Fire Safety Journal*, 104650. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2026.104650>
25. Sharma, A., & Mishra, K. B. (2025). Thermal hazards and fire risk evaluation of transformer oil-heat transfer dynamics and safety implications. *Thermal Science and Engineering Progress*, 65, 103814. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2025.103814>
26. Planas, E., Paugam, R., Àgueda, A., Vacca, P., & Pastor, E. (2023). Fires at the wildland-industrial interface. Is there an emerging problem? *Fire Safety Journal*, 141, 103906. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103906>
27. Modugno, S., Balzter, H., Cole, B., & Borrelli, P. (2016). Mapping regional patterns of large forest fires in Wildland–Urban Interface areas in Europe. *Journal of Environmental Management*, 172, 112–126. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.013>
28. Fernández-Manso, A., Quintano, C., Fernández-Guisuraga, J. M., & Roberts, D. (2024). Next-gen regional fire risk mapping: Integrating hyperspectral imagery and National Forest Inventory data to identify hot-spot wildland-urban interfaces. *Science of the total environment*, 940, 173568. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173568>
29. Price, O., Ondei, S., Bowman, D. M. (2025). Progress and prospects for predicting wildfire spread through the Wildland-urban interface. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 121, 105392. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2025.105392>

© А. Д. Кузик, Д. Р. Лозова

Оглядова стаття

Дата першого надходження статті до видання: 02.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 29.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026