

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ТОВАРЯНСЬКИЙ ВОЛОДИМИР ІГОРОВИЧ



УДК 614.841.2

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ
БЕЗПЕКИ В МОЛОДИХ СОСНОВИХ ЛІСАХ УКРАЇНИ**

21.06.02 – пожежна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Науковий керівник:

доктор сільськогосподарських наук, професор
Кузик Андрій Данилович
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, проректор з науково-дослідної роботи

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Тарасенко Олександр Андрійович
Національний університет цивільного захисту України (м. Харків) Державної служби України з надзвичайних ситуацій, провідний науковий співробітник відділу організації науково-дослідної роботи науково-дослідного центру

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Антонов Анатолій Васильович
Державна екологічна академія післядипломної освіти і управління (м. Київ) Міністерства екології та природних ресурсів України, професор кафедри екологічного аудиту та експертизи

Захист відбудеться “27” квітня 2018 року об 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 ознайомитись у бібліотеці Львівського державного університету безпеки життєдіяльності за адресою: 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35

Автореферат розісланий “27” березня 2018 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н., доцент

В. М. Баланюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Результати аналізу статистичних даних світового та вітчизняного досвіду з питань забезпечення пожежної безпеки лісів, зокрема свідчать, що у 2014 році тільки в Росії відбулось 16865, Польщі – 4685, а в Україні – понад 2 тис. лісових пожеж, які призвели до значних матеріальних та екологічних збитків. При цьому знищується лісовий фонд, завдаються збитки для флори, фауни та біосфери. Також проявом небезпечного чинника лісових пожеж є викиди парникових газів. Тільки впродовж 2014 року їх обсяг в Україні досяг таких значень: вуглекислого газу 342,02; чадного газу 23,32; метану 1,02; оксидів азоту 0,65 тис. тонн відповідно. Наймасштабніші лісові пожежі класифікуються як надзвичайні ситуації природного характеру.

Пожежну небезпеку лісів, зокрема і хвойних, досліджували Е. С. Арцибашев, О. Г. Бабіч, А. Д. Вакуров, О. М. Гришин, Е. М. Гуліда, Г. А. Доррер, С. І. Душа-Гудим, В. М. Ефіменко, А. В. Захаревич, С. В. Зібцев, Е. В. Конев, А. Д. Кузик, Н. П. Курбатський, І. С. Мелехов, В. Г. Нестеров, С. А. Полосинов, В. Є. Свириденко, М. А. Софронов, О. А. Тарасенко, А. Й. Швиденко, F. A. Albini, Van Wagner, R. O. Weber, W. H. Frandsen, R. C. Rothermel, W. R. Stevens, R. Szczygiel та інші. Основну увагу в їх дослідженнях приділено фізико-хімічним властивостям дерев та їх компонентів, параметрам займання, які впливають на опад та підстилку, самозаймання, горінню елементів дерева; процесам поширення полум'я лісовою підстилкою та кронами дерев; впливам на пожежну небезпеку різноманітних природних та антропогенних факторів, таких як рельєф місцевості, кліматично-погодні умови та людська діяльність тощо. Проте в їх роботах не достатньо висвітлено питання процесів формування пожежної небезпеки соснових молодняків лісового фонду України, а також впливу чинників на процеси виникнення та поширення в них пожеж.

Розкриття особливостей впливу чинників на пожежну небезпеку соснових молодняків лісового фонду України є важливим науковим завданням, розв'язання якого створить передумови підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки в молодих соснових лісах України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась відповідно до Концепції Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2012–2015 р.р., схваленої розпорядженням Кабінету міністрів України від 29.12.2010 року № 2348; Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2012–2015 р.р., затвердженої постановою Кабінету міністрів України від 27.06.2012 № 590 під час виконання науково-дослідної роботи у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності за держбюджетною темою «Пожежна небезпека соснових насаджень у молодому віці» (номер державної реєстрації 0114U005417), у якій дисертант був виконавцем.

Ідея роботи полягає у підвищенні ефективності забезпечення пожежної безпеки в молодих соснових лісах України шляхом удосконалення методології та методики оцінювання їх природної пожежної небезпеки, яка враховує особливості впливу чинників на її стан.

Мета роботи – розкриття особливостей впливу чинників на пожежну небезпеку соснових молодняків лісового фонду України як наукового підґрунтя підвищення ефективності забезпечення їх пожежної безпеки.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети визначено до розв'язання наступні завдання досліджень:

– здійснити аналіз світової та національної статистики лісових пожеж, а також сучасного стану забезпечення пожежної безпеки соснових насаджень лісового фонду України та виявити шляхи його покращання;

– обґрунтувати та апробувати застосування методу дієлькометрії для визначення вологості хвої як чинника впливу на показники її пожежної небезпеки, а також розробити пристрій для дослідження займистості твердих горючих речовин та матеріалів з використанням електронагрівального елемента;

– провести експериментальні дослідження з виявленням впливу чинників на показники пожежної небезпеки хвої соснових молодняків в лабораторних і польових умовах;

– провести експериментальні дослідження з виявленням впливу чинників на процеси виникнення та поширення горіння в молодих соснових насадженнях;

– провести математичне моделювання процесів займання хвої сосни звичайної та оцінити ймовірність виникнення лісової пожежі в соснових молодняках;

– провести комп’ютерне моделювання процесів виникнення та поширення пожеж соснових молодняків і за його результатами удосконалити, а також апробувати методологію та методику оцінювання їх пожежної небезпеки.

Об’єкт досліджень – процеси формування пожежної небезпеки соснових молодняків лісового фонду України.

Предмет досліджень – вплив чинників на пожежну небезпеку соснових молодняків лісового фонду України.

Методи досліджень. В роботі було використано комплексний метод дослідження, який включав аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень з питань сучасного стану забезпечення пожежної безпеки лісових насаджень на земельних ділянках лісового фонду України; метод дієлькометрії для визначення вологості хвої соснових насаджень; метод визначення масового вмісту органічної рідини – продукту піролізу хвої соснових насаджень; метод визначення масової швидкості вигорання хвої соснових насаджень; методи визначення температури займання та проміжку часу до виникнення займання хвої соснових молодняків; метод визначення лінійної швидкості поширення пожежі соснових молодняків у польових умовах. Вологість хвої у лабораторних та польових умовах визначали дієлькометричним методом з використанням цифрового вимірювача ємності та виготовленого плоского конденсатора, між пластинами якого розміщували зразки хвої. Масовий вміст органічної рідини – продукту піролізу хвої соснових насаджень оцінювали шляхом її відокремлення від маси сухого залишку піролізованої хвої та води. Для визначення температури займання хвої соснових насаджень у лабораторних та польових умовах застосовували запатентований «Пристрій для дослідження займистості горючого матеріалу з використанням електронагрівального елемента». Комп’ютерне моделювання пожеж соснових молодняків проводили з використанням програмного забезпечення Wildland-Urban Interface Fire Dynamics Simulator (далі WFDS).

Для проведення експериментальних досліджень використовували метрологічно-атестоване обладнання та повірені засоби вимірювання. Математичні і статистичні методи обробки результатів досліджень здійснювали із використанням програмного забезпечення Microsoft Office Excel та Mathcad.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розкритті особливостей впливу чинників на пожежну небезпеку соснових молодняків лісового фонду України як наукове підґрунтя підвищення ефективності забезпечення їх пожежної безпеки. При цьому:

– *уперше* виявлено, що швидкість вигорання зразків хвої зростає в ряду свіжозірвана – опала – висушена і на 60 с вигорання відрізняється в 1,3 рази для

висушеної хвої порівняно зі значенням для свіжозірваної та корелює із зменшенням їх вологості;

– *уперше* встановлено, що залежність температури займання ($t, ^\circ\text{C}$) хвої соснових молодняків від її вологості $W, \%$ описується формулою $t = -0,002W^2 + 0,8466W + 204,49$;

набуло подальшого розвитку:

– застосування методу діелькометрії для визначення вологості хвої соснових молодняків як чинника впливу на показники її пожежної небезпеки;

– застосування комп'ютерної моделі WFDS для визначення лінійних швидкостей розповсюдження пожежі в соснових молодняках;

– методи математичного моделювання процесів займання хвої сосни звичайної;

– *удосконалено* шкалу оцінки природної пожежної небезпеки земельних ділянок лісового фонду, у якій на відміну від регламентованої «Правилами пожежної безпеки в лісах України» обґрунтовано та запропоновано для соснових молодняків I класу небезпеки введення двох підкласів: Ia – для насаджень віком до 20 років, Ib – для насаджень від 20 до 40 років, що сприятиме підвищенню ефективності забезпечення пожежної безпеки в молодих соснових лісах України.

Практичне значення отриманих результатів полягає в удосконаленні методології оцінювання пожежної небезпеки компонентів лісу шляхом використання запропонованої шкали оцінки природної пожежної небезпеки земельних ділянок лісового фонду України, яку впроваджено в діяльність «ДП Рава-Руське лісове господарство», застосуванні в діяльності «ДЛГП Галсільліс» розробленого пристрою для визначення займистості горючих матеріалів з використанням електронагрівального елемента, а також використанні отриманих результатів під час викладання навчальних дисциплін «Небезпечні природні процеси» і «Лісова пірологія» у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності, про що складено відповідні акти.

Особистий внесок здобувача полягає в самостійному аналізі літературних джерел, формулюванні мети і завдань досліджень, обґрунтуванні методології та виборі методик, проведенні лабораторних та польових досліджень, їх плануванні із застосуванням математичного і комп'ютерного моделювання, а також формулюванні висновків. Особистий внесок у наукових працях, опублікованих за співавторства, відображено в авторефераті та анотації дисертації.

Апробація результатів досліджень. Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та отримали позитивне схвалення на науковому семінарі Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (2014 р.); на 16 Всеукраїнській науково-практичній конференції рятувальників (м. Київ, Україна, 2014 р.); на Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (м. Черкаси, Україна, 2015 р.); на Міжнародній науково-практичній конференції «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации ЧС – 2016» (м. Гомель, Білорусь, 2016 р.); на VII Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (м. Черкаси, Україна, 2016 р.); на XIV Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (м. Кременчук, Україна, 2016 р.); на Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації» (м. Львів, Україна, 2016 р.); на VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (м. Черкаси, Україна, 2017 р.); на 19 Всеукраїнській науково-практичній конференції «Технології захисту/ПожТех – 2017» (м. Київ, Україна 2017 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 16 наукових працях, з яких 7 – у фахових виданнях (з них 1 (одна) у закордонному

виданні), 8 – у збірниках матеріалів науково-технічних конференцій. Отримано 1 патент України на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з титульного аркуша, анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, 5-ти розділів, висновків, списку використаних джерел із 146 найменувань на 13 сторінках; 4 додатків на 20 сторінках. Основна частина дисертації займає 125 сторінок та містить 65 рисунків і 35 таблиць. Загальний обсяг роботи – 180 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, розкрито важливість удосконалення протипожежного захисту хвойних, зокрема соснових насаджень у молодому віці, сформульовано мету і визначено завдання дослідження, відображено наукову новизну роботи та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробування та публікування основних результатів дослідження.

У **першому розділі** наведено результати аналізу даних про статистику лісових пожеж, зокрема молодих соснових насаджень у світі та Україні, особливості виникнення і поширення горіння у середовищі соснових насаджень, моделювання лісових пожеж, системи забезпечення пожежної безпеки соснових насаджень лісового фонду України.

На основі наукових праць вітчизняних та зарубіжних вчених, аналізу сучасного стану лісових насаджень та їх пожежної небезпеки встановлено, що поширені в Україні насадження сосни звичайної у молодому віці є більш пожежонебезпечними, ніж старшого віку, а також порівняно з молодими насадженнями інших порід дерев.

У науковій літературі експериментальні та аналітичні дослідження з проблеми забезпечення протипожежного захисту молодих хвойних насаджень висвітлені недостатньо. Одним із методів досліджень лісових пожеж є комп'ютерне моделювання. Проте більшість моделей поширення пожеж є емпіричними, а тому їх застосування є обмеженим щодо типу та структури лісових насаджень, погодно-кліматичних умов та інших чинників, які зумовлюють процеси виникнення і поширення лісових пожеж. Актуальним є застосування комп'ютерної моделі WFDS, принцип роботи якої полягає у розв'язуванні числовими методами системи диференціальних рівнянь теплопровідності, випромінювання та конвективного теплообміну, які описують процеси піролізу та горіння. За наявності даних про структуру насаджень, властивості пожежної небезпеки їх компонентів (хвої, деревини, підстилки та трави) цю модель можна використати для пожеж соснових молодняків.

Таким чином, розкриття особливостей впливу чинників на пожежну небезпеку соснових молодняків лісового фонду України є важливим науковим завданням, вирішення якого є підґрунтям підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки в молодих соснових лісах України.

У **другому розділі** наведено методологію, а також методи і методики теоретичних та експериментальних досліджень з розкриття особливостей впливу чинників на пожежну небезпеку молодих соснових насаджень лісового фонду України (рис.1).

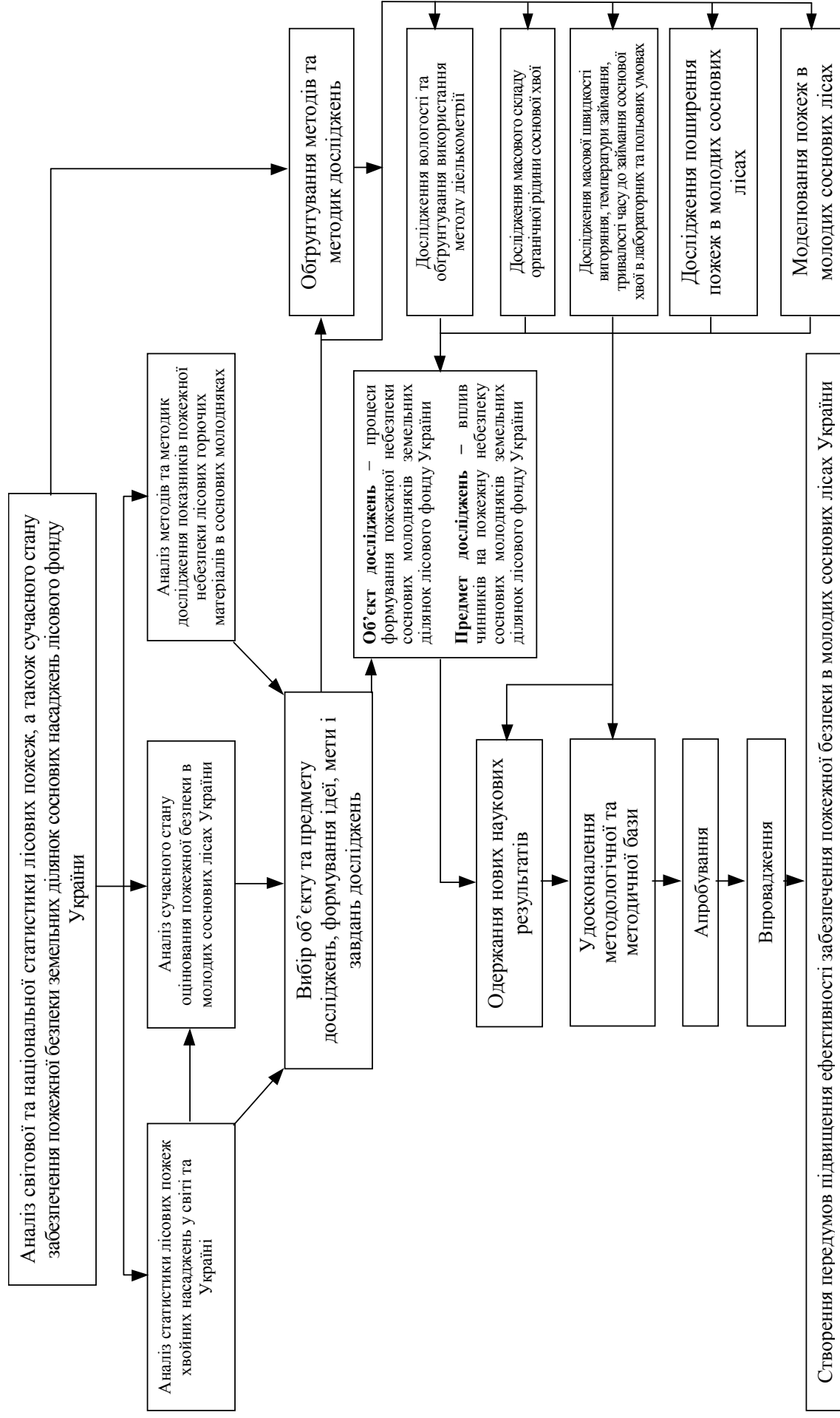


Рисунок 1 – Блок-схема проведення методології досліджень

Обґрунтовано застосування методу дієлькометрії для визначення вологості хвої соснових насаджень у польових умовах. З цією метою проведено дослідження зміни вологості хвої соснових молодняків (%), від її діелектричної проникності, відображеної в ємності плоского конденсатора (пФ), між пластинами якого розміщено хвою. Залежність вологості хвої сосни звичайної від ємності конденсатора описує лінійна залежність $W = 6,2959C - 96,287$ з коефіцієнтом достовірності апроксимації $R^2 = 0,9116$. Проте більш точною є поліноміальна регресійна модель третього порядку $W = -0,0461C^3 + 3,7016C^2 - 87,781C + 658,57$, де $R^2 = 0,9867$. Отримана поліноміальна регресійна модель реалізує метод дієлькометрії для визначення вологості хвої сосни звичайної за її діелектричною проникністю, відображеною у ємності конденсатора з хвоєю між пластинами.

Розроблено пристрій та методику для визначення температури та проміжку часу до займання хвої соснових насаджень у польових та лабораторних умовах від нагрітого до високої температури електронагрівального елемента. Суть методики полягає у визначенні температури, а також проміжку часу, за яких відбувається самостійне стійке горіння хвої після виникнення займання внаслідок контакту з нагрітим до високої температури джерелом – електронагрівальним елементом у вигляді ніхромової спіралі. Використання цієї методики дає змогу здійснювати заходи з прогнозування виникнення процесів займання в соснових насадженнях.

Наведено удосконалену методику визначення швидкості поширення пожежі молодих соснових насаджень з використанням комп'ютерного моделювання. Суть методики полягає у визначенні лінійної швидкості поширення горіння за температурою полум'я, для якої під час моделювання пожежі у середовищі комп'ютерної моделі Wildland-Urban Fire Dynamics Simulator (WFDS) застосовуються віртуальні термопари, розміщені у рядах насаджень посередині між деревами на висотах 0; 0,25; 0,5; 0,75 та 1 м від поверхні ґрунту. Така методика дає змогу визначати лінійні швидкості поширення низових та верхових пожеж соснових насаджень залежно від їх віку.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень з виявлення впливу чинників на показники пожежної безпеки хвої ділянок молодих соснових насаджень.

Зокрема встановлено, що для досліджених зразків хвої молодих соснових насаджень вміст в них органічної горючої рідини, як одного з чинників впливу на їх пожежну безпеку, зменшується в ряду: свіжозірвана віком до 10 років – свіжозірвана віком понад 20 років – опала віком до 10 років та понад 20 років і має значення 2,57%; 2,03% та 1,02% відповідно.

За результатами лабораторних досліджень щодо визначення масової швидкості вигорання хвої молодих соснових насаджень отримано регресійні рівняння маси горючого матеріалу (ε), від тривалості горіння (c): $m = -0,0237\tau + 4,0675$ ($R^2 = 0,9806$) – для свіжозірваної хвої; $m = -0,0373\tau + 4,1889$ ($R^2 = 0,971$) – для опалої хвої; $m = -0,0365\tau + 4,1093$ ($R^2 = 0,9933$) – для сухої хвої. За результатами розрахунків отримали усереднені значення масових швидкостей вигорання для свіжозірваної, опалої та сухої хвої, які становлять, відповідно, 0,0243 г/с, 0,0368 г/с і 0,0348 г/с. Встановлено, що на 10-ій с від початку горіння масова швидкість вигорання є найнижчою для свіжозірваної хвої соснових молодняків, проте на 60-ій с горіння цей показник збільшується в 1,14 разів порівняно з хвоєю, що входить до складу підстилки.

За результатами лабораторних досліджень щодо визначення температури займання та проміжку часу до займання хвої молодих соснових насаджень встановлено, що зменшення температури займання та проміжку часу до займання для свіжозірваної хвої відбувається в процесі висушування одночасно із зменшенням вологості. Залежність температури займання $t, ^\circ\text{C}$ хвої молодих соснових насаджень від її вологості $W, \%$ описується формулою $t = -0,002W^2 + 0,8466W + 204,49$ ($R^2 = 0,9403$), а залежність проміжку часу до займання $\tau_3, \text{с}$ хвої молодих соснових насаджень від її вологості описується формулою $\tau_3 = 0,0004W^3 - 0,0308W + 2,752$ ($R^2 = 0,8385$). Виявлено, що із зменшенням вологості хвої соснових молодняків на 10% значення її температури займання зменшується на 5–10 $^\circ\text{C}$, а проміжку часу до виникнення горіння – на 1–2 хв.

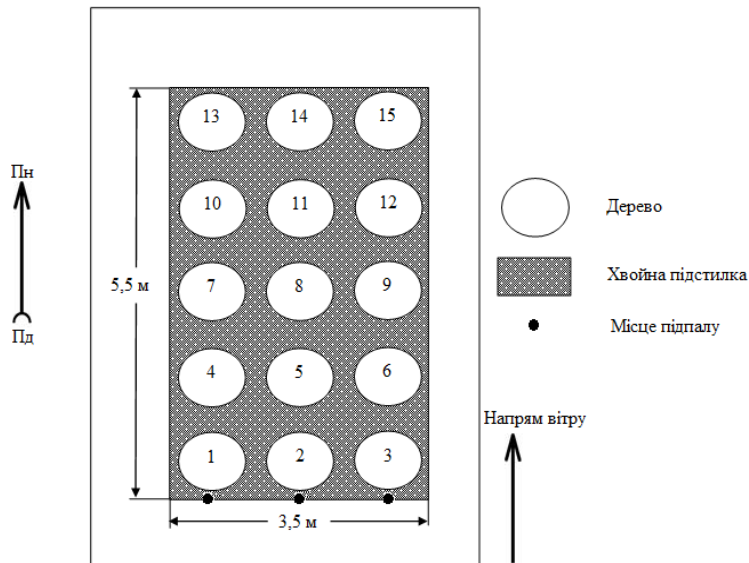


Рисунок 2 – План-схема ділянки для проведення дослідження

Проведено експериментальне дослідження впливу чинників на процеси виникнення і поширення горіння в молодих соснових насадженнях, а результати використано для перевірки адекватності комп'ютерної моделі WFDS, у якій змодельовано цю пожежу з метою подальшого застосування цієї моделі для дослідження пожеж у соснових лісах. Створено штучне насадження сосни звичайної віком 8 років, середньою висотою 1,5 м та відстанню між сусідніми

деревами 0,8 м. Підстилку товщиною 3 см сформували з сухої опалої хвої. Схему ділянки та фото наведено на рис. 2 та рис. 3. Цю пожежу також змодельовали у середовищі WFDS та порівняли результати з отриманими експериментальним методом. Для реалізації моделі пожежі у WFDS окрім геометричних параметрів ділянки і дерев застосовували фізико-хімічні



а)

б)

Рисунок 3 – Фото розповсюдження імітаційної пожежі на штучно сформованій ділянці соснових насаджень у віці 8 років: а – на 10 с від початку підпалу; б – після завершення пожежі тривалістю 180 с

властивості горючих матеріалів та мікрокліматичні показники на ділянці. Вхідними

даними також були швидкість вітру, температура повітря та інтенсивність тепловиділення джерела запалювання. Моделювання здійснено на тривимірній сітці, яка містить $160 \times 80 \times 60$ комірок, геометричні розміри обчислювального домену $8 \times 4 \times 3$ м. Розмір комірок обчислювальної сітки – $5 \times 5 \times 5$ см. Хімічний склад горючого матеріалу рослинного походження – $C_{3,4}H_{6,2}O_{2,5}$; теплота згорання – 17700 кДж/кг (Mell, 2010). Вологість підстилки – 6 %, а стовбурів та хвої у складі крони – 100 %.

Візуалізацію результатів розрахунку отримували програмою Smokeview, яка дає змогу переглядати перебіг процесу горіння у просторі (рис.4). Швидкість поширення пожежі визначали за значеннями температури в точках, розташованих на поверхні ґрунту на висотах 0,25; 0,5; 0,75 і 1,0 м між деревами.

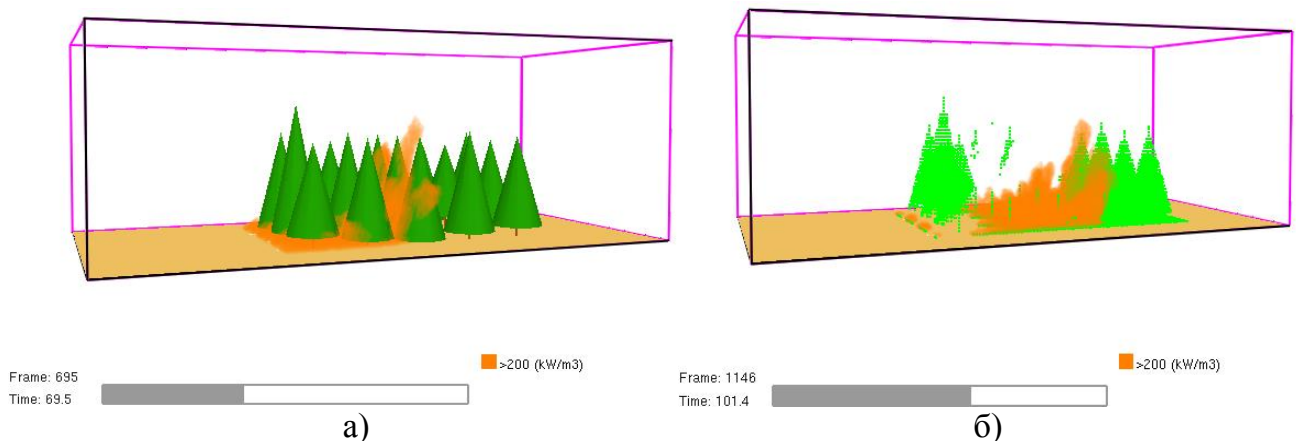


Рисунок 4 – Візуалізація результатів моделювання пожежі соснових насаджень у віці 8 років: а – з завантаженими макетами дерев; б – з завантаженими частками Лагранжа, які формують структуру горючого матеріалу

За результатами експерименту середнє значення швидкості поширення пожежі становить $0,0309$ м/с, а за результатами моделювання – $0,0312$ м/с. Для встановлення відповідності результатів моделювання у WFDS експериментальним даним перевірили гіпотезу про рівність дисперсій швидкостей поширення пожежі, отриманих експериментально та за результатами моделювання, використавши критерій Фішера. Емпіричне значення критерію $F_{emп} = 0,0030$ не перевищує критичного значення $F_{\alpha, k_1, k_2} = F_{0,05,5,5} = 5,1$, що свідчить про рівність дисперсій. Оскільки встановлено рівність дисперсій, тоді за t-критерієм Стюдента перевірено гіпотезу про рівність середніх швидкостей поширення пожежі. Емпіричне значення критерію $t_{emп} = 0,174$ не перевищує критичне $t_{\alpha, k} = t_{0,05,10} = 2,23$, що свідчить про рівність середніх швидкостей поширення пожежі та адекватність моделі.

У четвертому розділі наведено результати математичного та комп'ютерного моделювання процесів займання, виникнення та поширення пожеж молодих соснових насаджень.

В процесі математичного моделювання процесів займання хвої сосни звичайної внаслідок кондуктивного теплообміну з джерелом тепла досліджували самозаймання хвої довжини L , м, один кінець якої контактує з нагрітим до високої температури тілом. Вважали, що бічна поверхня хвої – теплоізольована. Цей процес описує диференціальне рівняння теплопровідності

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (1)$$

де $T(x, \tau)$ – температура хвої, K в момент часу τ , с на відстані x м від місця контакту з нагрітим тілом, λ – коефіцієнт теплопровідності хвої, Вт/(м·К), c – її теплоємність, Дж/(кг·К), ρ – густина, кг/м³. Початкова та граничні умови мають вигляд

$$T(x, 0) = T_0, T(0, \tau) = T_c, T(L, \tau) = T_0, \quad (2)$$

де T_0 – температура повітря, K ; T_c – температура нагрітого тіла, K . Ця задача має аналітичний розв’язок (Лыков, 1967)

$$T(x, \tau) = T_c + (T_0 - T_c) \left(\operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right) - \sum_{n=1}^{\infty} \left(\operatorname{erfc} \left(\frac{2nL + x}{2\sqrt{a\tau}} \right) - \operatorname{erfc} \left(\frac{2nL - x}{2\sqrt{a\tau}} \right) \right) \right), \quad (3)$$

де $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ – коефіцієнт температуропровідності, м²/с; $\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-u^2} du$,

$$\operatorname{erfc}(z) = [1 - \operatorname{erf}(z)].$$

Формулу (3) застосовують для визначення температури живої (свіжозірваної) та сухої (в складі крони дерева) хвої, фізичні властивості яких наведено в табл. 1

Таблиця 1

Фізичні показники сухої та живої хвої сосни звичайної

Вид хвої	Вологість, %	Теплопровідність λ , Вт/(м К)	Теплоємність c , Дж/(кг К)	Густина ρ , кг/м ³
Суха	12	0,06	1172	460
Жива	140	0,10	1465	670

Графіки залежності температури від відстані до кінця хвої, який нагрівається тілом з високою температурою, для деяких значень часу від початку контакту наведені на рис. 5.

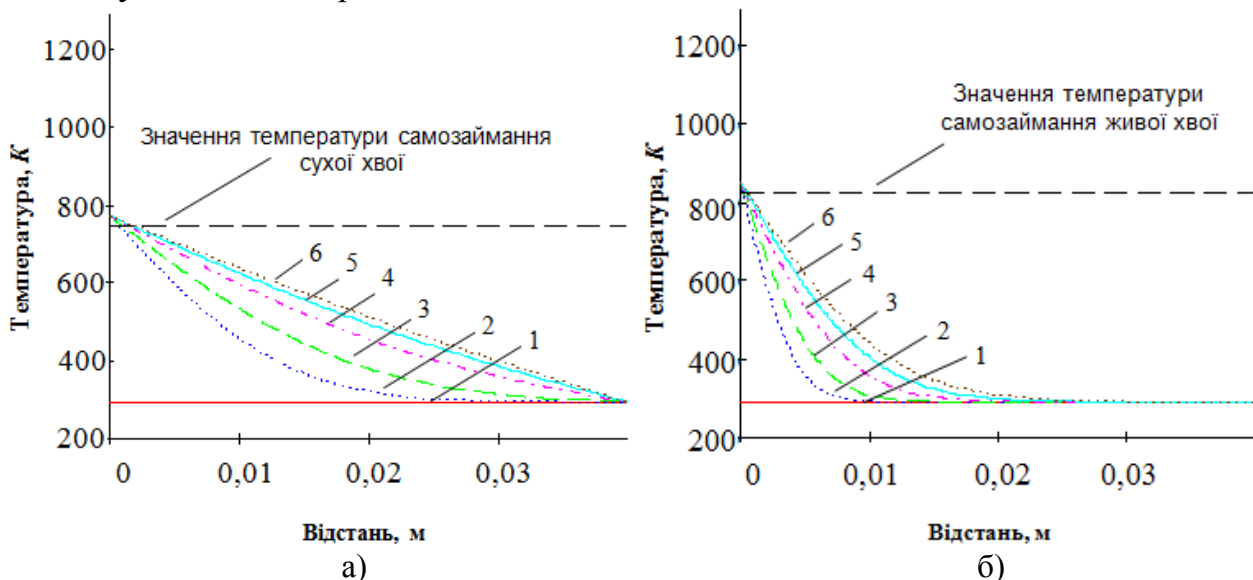


Рисунок 5 – Залежності температури сухої (а) та живої (б) хвої від відстані до точки, яка нагрівається тілом з високою температурою в моменти часу від початку контакту: 1–0 с; 2–50 с; 3–100 с; 4–200 с; 5–300 с; 6–400 с

Температура сухої хвої буде зростати швидше, прогріваючи її за один і той же проміжок часу на більшу довжину. Оскільки в реальних умовах відбувається

конвективний теплообмін між бічною поверхнею хвої і повітрям з коефіцієнтом $\alpha = 5,6 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, більш доцільною є модель теплопровідності

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{\alpha}{c \rho h} (T - T_0), \quad (4)$$

де $h = S/P$, S – площа поперечного перерізу хвоїнки, м^2 ; P – довжина твірної, м . Для хвої $h = 0,00025 \text{ м}$. Хвоїнку в цій моделі будемо вважати нескінченної довжини. Тоді початкова та граничні умови будуть наступними

$$T(x, 0) = T_0, T(0, \tau) = T_c, T(\infty, \tau) = T_0. \quad (5)$$

Розв'язок задачі (Лыков, 1967) має вигляд

$$T(x, \tau) = T_c + (T_0 - T_c) \frac{1}{2} \left(\exp \left(-\sqrt{\frac{\alpha}{\lambda h}} x \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}} - \sqrt{\frac{a\alpha\tau}{\lambda h}} \right) + \exp \left(\sqrt{\frac{\alpha}{\lambda h}} x \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a\tau}} + \sqrt{\frac{a\alpha\tau}{\lambda h}} \right) \right). \quad (6)$$

Залежності температури від відстані для обох видів хвої наведені на рис. 6.

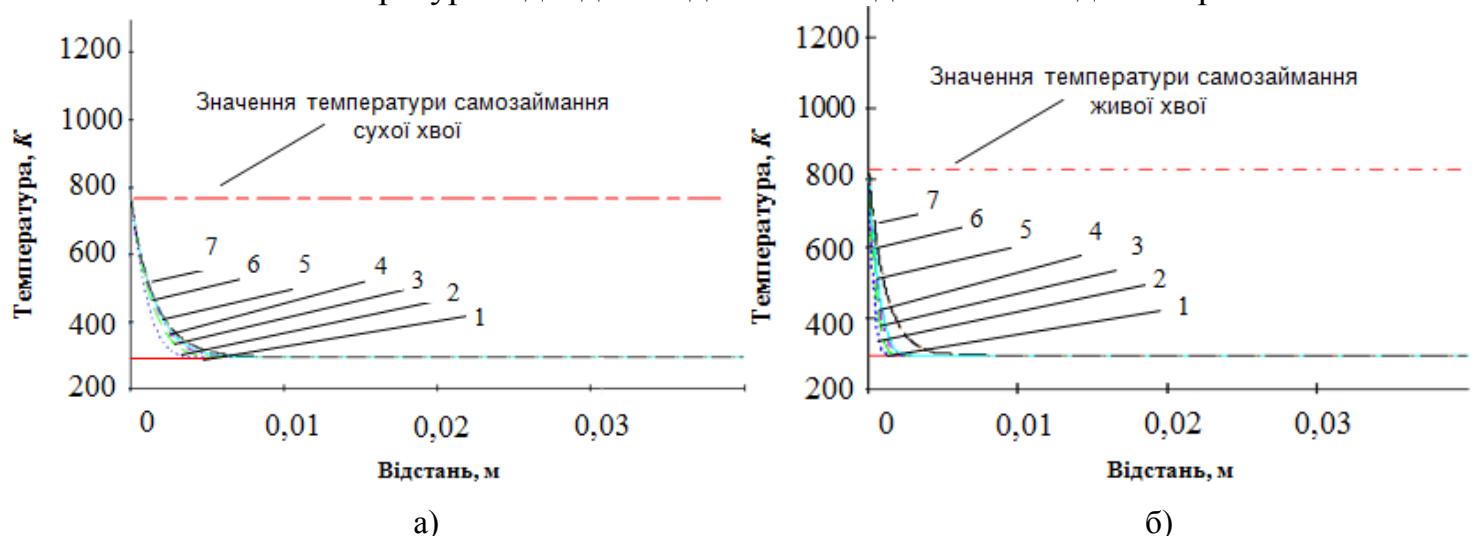


Рисунок 6 – Залежності температури сухої (а) та живої (б) хвої від відстані до точки, яка нагрівається тілом з високою температурою з урахуванням теплообміну з повітрям через бічну поверхню в моменти часу від початку нагрівання: 1–0 с; 2–1 с; 3–2 с; 4–3 с; 5–4 с; 6–100 с; 7–400 с

З метою перевірки адекватності зазначених моделей проведено експериментальне дослідження з використанням розробленого пристрою [9]. Суха хвоя в процесі експерименту займалася і горіла. А у випадку живої хвої відбувалося лише тліюче горіння. За результатами експерименту встановлено, що суха хвоя займалася в середньому за 2,7 с від нагрітої до температури $471,67^\circ \text{C}$ електричної спіралі. Тління живої хвої тривало в середньому 7,0 с від початку контакту з нагрітою до температури $448,33^\circ \text{C}$ спіраллю та поширилося на відстань 6,7 мм. Наявність займання сухої хвої у всіх дослідах свідчить про її вищу пожежну небезпеку, а невелика довжина частини хвої, яка тліє, свідчить, що процес нагрівання хвоїнки краще описує модель з урахуванням конвективного теплообміну з бічною поверхнею (4) – (5).

Під час пожежі нагрівання хвої у кронах дерев відбувається здебільшого внаслідок радіаційного теплообміну з полум'ям низової пожежі. Для оцінювання часу нагрівання до температури самозаймання хвоїнки, розташованої на відстані r , м від поверхні полум'я низової пожежі, вважатимемо полум'я горизонтальним прямокутником зі сторонами a і d , м , а хвоїнка розташована над прямокутником та проектується в його середину. Процес нагрівання хвоїнки, розмірами якої нехтуємо, описує диференціальне рівняння

$$cm dT = \sigma \varepsilon (T_1^4 - T^4) \psi S d\tau \quad (7)$$

з початковою умовою

$$T(0) = T_0, \quad (8)$$

де $T(\tau)$ – температура хвоїнки, K ; компонент часу τ , s ; c – питома теплоємність, $Дж/кг \cdot K$; m – маса хвоїнки, $кг$; T_1 – температура полум'я, K ; ψ – кутовий коефіцієнт опромінення; ε – випромінювальна здатність; σ – стала Стефана-Больцмана; S – площа поверхні хвої, яка зазнає опромінення, $м^2$. Розв'язком задачі (7)–(8) є функція

$$\tau(T) = \frac{cm}{\sigma \varepsilon \psi S} \frac{1}{4T_1^3} \left(\ln \left| \frac{T_1 + T}{T_1 - T} \right| + 2 \operatorname{arctg} \frac{T}{T_1} \right) + C, \quad (9)$$

де C – стала часу (s) для сухої та живої хвої, яку отримуємо з (8). За функцією (9) будуємо графіки залежності температури хвоїнки від тривалості нагрівання (рис. 7).

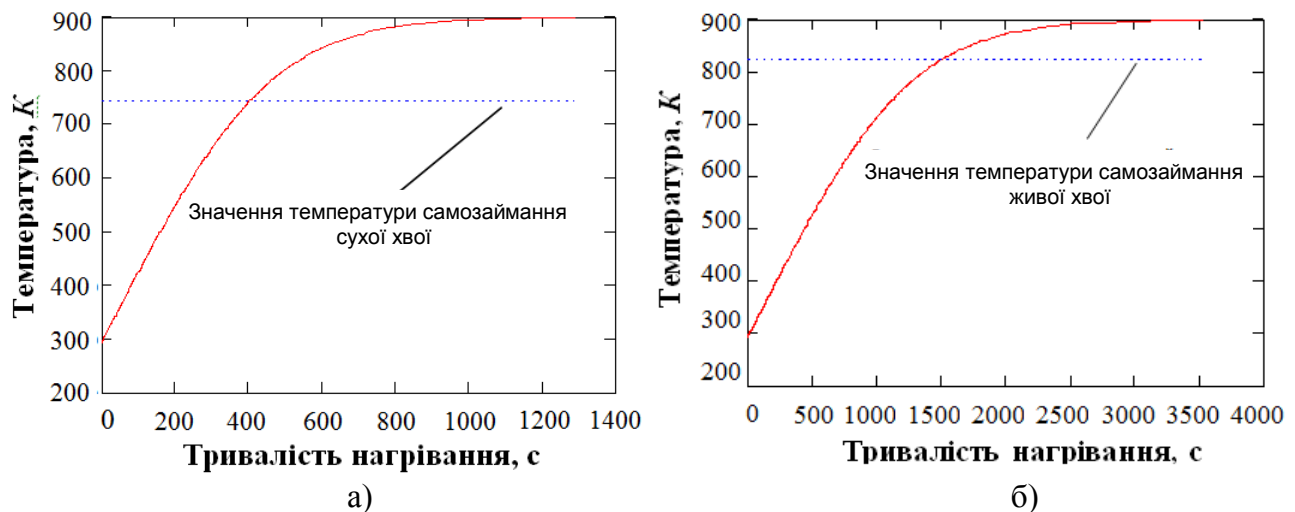


Рисунок 7 – Залежності температури сухої хвоїнки від тривалості внаслідок нагрівання тепловим випромінюванням: а – суха хвоя; б – жива хвоя

За результатами моделювання встановлено проміжок часу до виникнення займання живої і сухої хвоїнки, розташованої на різній висоті від поверхні полум'я (табл. 2).

Таблиця 2

Проміжок часу до займання хвоїнки внаслідок нагрівання тепловим випромінюванням від полум'я низової пожежі

Висота над поверхнею полум'я, м	Проміжок часу до займання, с	
	Суха	Жива
4	271,7	1008,0
2	91,2	338,8
1	39,0	144,6

Оскільки проведення експериментальних вогневих досліджень становить небезпеку і потребує наявності ділянок різного віку, було проведено комп'ютерне моделювання пожежі молодих соснових насаджень у WFDS. Моделювання пожежі проводили для повних деревостанів віком від 5 до 40 років з періодом 5 років. З таблиць ходу росту отримували лісівничі характеристики деревостану, необхідні для дослідження: середній діаметр на висоті 1,3 м, висоту дерев та густоту насадження. Форму крон дерев 5–15-річного віку вважали конічною, а з 20-річного віку – зрізаного конуса. Стовбур вважали конусом з висотою, що дорівнює висоті дерева, та відповідним діаметром основи на рівні ґрунту, який розраховували за діаметром на висоті 1,3 м. На ділянці 5-річних дерев наземним горючим матеріалом вибирали траву

висотою 0,4 м у сухому стані (вологість – 6 %), що спостерігається в період підвищеної пожежної небезпеки, восени і навесні. У вегетаційний період використовували вологість 100 %. Оскільки у 10-річному віці в насадженнях відбувається змикання крон, яке спричиняє зникнення трав'яного покриття, наземним горючим матеріалом вибирали хвойну підстилку, вологість якої 6 %, а товщина – 3 см. Для насаджень старшого віку товщина підстилки змінюється незначно і досягає у віці 40 років 4 см.

Процес самоочищення стовбурів спричиняє висихання нижніх гілок, внаслідок чого зростає висота нижніх гілок. Цей показник зумовлює перехід низової пожежі у верхову. Відстань від нижніх гілок до підстилки в WFDS використовували за результатами польових досліджень та моделі (J. Hynunen, 1994). У 10-річному віці враховували наявність сухих гілок в нижній частині крони, виявлену під час польових досліджень. Максимальний час симуляції встановлювали 300 с. За результатами моделювання обчислювали значення середньої швидкості поширення низової та верхової пожежі (рис. 8). У насадженнях віком 5 років виникла суцільна (низова і верхова) пожежа. Зокрема, у віці 10-15 років пожежа розвивається з меншою швидкістю, що пояснюємо відсутністю сухих нижніх гілок, які сприяють поширенню пожежі кронами. За наявності обох форм пожежі (суцільна пожежа), висока швидкість поширення якої зумовлена значним запасом трави у сухому стані та становила понад 11 м/хв. У вегетаційний період вологість трави становила понад 100 % і поширення горіння не відбувалося. У віці 10-20 років за відсутності трави відбувалася одночасно низова і верхова пожежа, причому швидкість низової пожежі зменшувалась із збільшенням віку, а верхової – збільшувалась. Зростання з віком насаджень швидкості верхової пожежі зумовлена збільшенням запасу горючого матеріалу в кронах насаджень, а відповідне зменшення швидкості низової пожежі – збільшенням відстані від нижніх гілок крон до підстилки, що зумовлює зменшення впливу полум'я верхової пожежі на наземний горючий матеріал – хвойну підстилку. У віці 20–40 років верхова пожежа не виникає, а швидкість поширення низової пожежі зростає з віком

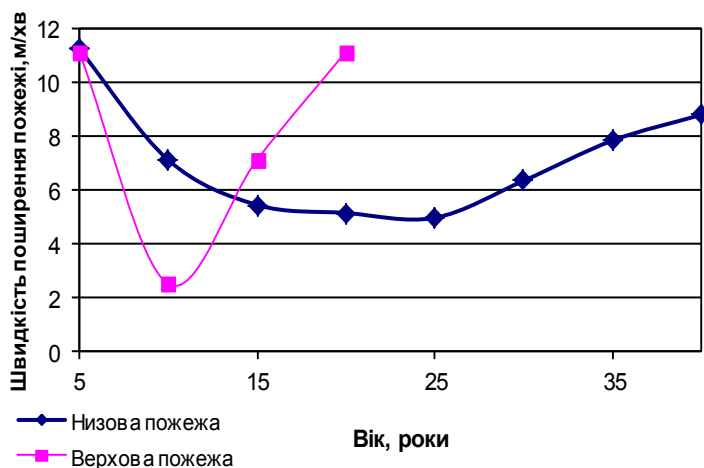


Рисунок 8– Залежності швидкостей поширення низової та верхової лісової пожежі в соснових молодняках від їх віку

насаджень, що пояснюється збільшенням запасу підстилки.

Тому найбільш пожежонебезпечними є соснові молодняки віком до 20 років, особливо у віці 15–20 років, у яких низова пожежа переходить у верхову. У насадженнях віком понад 20 років небезпека менша, оскільки відбувається лише низова пожежа.

У п'ятому розділі наведено відомості щодо апробування та впровадження результатів досліджень.

Пристрій для дослідження займистості горючого матеріалу з використанням

електронагрівального елемента та методику, яку він реалізує, апробовано в лісовому господарстві (рис. 9). Дослідження займання підстилки соснових молодняків проводили в соснових насадженнях віком 15–20 років. Перед

проведенням досліджень визначали вологість хвої запропонованим методом дієлькометрії, значення якої становило $12,95 \pm 2\%$.



Рисунок 9 – Загальний вигляд процесу визначення температури займання та проміжку часу до займання у польових умовах з використанням розробленого пристрою

Проведено 15 дослідів щодо визначення температури займання та проміжку часу до займання і встановлено, що лісова підстилка в соснових молодняках є пожежонебезпечною і займається з ймовірністю, близькою до 1/2 від джерела з температурою 450°C за 25,7 с.

З урахуванням результатів експериментальних досліджень та моделювання у WFDS запропоновано удосконалення «Шкали оцінки природної пожежної небезпеки земельних ділянок лісового фонду України», регламентованої Правилами пожежної безпеки в лісах України, шляхом поділу I класу природної пожежної небезпеки на підкласи: Ia та Ib (табл. 3).

Таблиця 3

Удосконалена шкала оцінки природної пожежної небезпеки земельних ділянок лісового фонду України, запропонована за результатами дисертаційних досліджень

Клас пожежної небезпеки	Підклас пожежної небезпеки	Об'єкт загоряння (характерні типи насаджень і умов місцезростання, категорії не вкритих лісовою рослинністю і нелісових земель)	Найбільш імовірні види пожеж, умови і тривалість періоду їх можливого виникнення і розповсюдження
1	2	3	4
I	Ia	Хвойні, зокрема соснові насадження віком 5–20 років в усіх типах умов місцезростання (ТУМ).	Протягом усього пожежонебезпечного періоду є підвищена загроза виникнення низових лісових пожеж з переходом у верхові.
	Ib	Хвойні, зокрема соснові насадження віком 25–40 років в усіх типах умов місцезростання (ТУМ). Насадження хвойних порід старші 40 років з індексами 0 (дуже сухі), 1 (сухі). Насадження сосни гірської, ялівцю, туї незалежно від віку та ТУМ. Незімкнуті лісові культури усіх порід. Зруби з-під хвойних порід, згарища, загиблі насадження (вітровали, буреломи та інші). Зруби з-під листяних порід, інші не вкриті лісовою рослинністю землі (крім лісових шляхів, просік, протипожежних розривів), які розташовані серед насаджень хвойних порід. Лісові насадження з рівнем радіаційного забруднення 15 кі/кв.км і вище, незалежно від породного складу, віку і ТУМ.	Протягом усього пожежонебезпечного періоду є загроза виникнення низових лісових пожеж без переходу у верхові.

Продовження табл. 3

1	2	3	4
II	Не класифікується	Насадження хвойних порід старші 40 років в ТУМ з індексом 2 (свіжі). Насадження листяних порід в ТУМ з індексами 0,1	Низові пожежі можливі протягом усього пожежонебезпечного періоду, верхові - в періоди пожежних максимумів
III	Не класифікується	Насадження хвойних порід старші 40 років в ТУМ з індексами 3 (вологі), 4 (сирі). Насадження листяних порід в ТУМ з індексом 2	Низові і верхові пожежі можливі в період літнього пожежного максимуму
IV	Не класифікується	Насадження хвойних порід старші 40 років в ТУМ з індексом 5 (мокрі). Насадження листяних порід в ТУМ з індексами 3, 4. Зруби з-під листяних порід (серед насаджень листяних порід), інші не вкриті лісовою рослинністю землі	Низові пожежі можливі тільки в періоди пожежних максимумів
V	Не класифікується	Листяні насадження в ТУМ з індексом 5. Не вкриті лісовою рослинністю землі (лісові шляхи, просіки, візири, протипожежні розриви). Нелісові землі (крім сіножатей, пасовищ, садів, ягідників)	Виникнення пожежі можливо тільки при довгострокових посухах

На відміну від фактичної шкали, запропонована враховує особливості впливу чинників на пожежну безпеку в соснових молодняках, зокрема, що в пожежонебезпечний період у соснових насадженнях пожежна безпека соснових молодняків віком до 20 років, особливо у віці від 5 до 20 років, суттєво відрізняється від пожежної безпеки соснових насаджень старшого віку, за швидкості вітру 1–4 м/с пожежі соснових молодняків на відміну від пожеж насаджень віком понад 20 років переходять з низових у верхові, при цьому лінійна швидкість поширення пожежі зростає у 2–5 разів. Запропонована шкала впроваджена в діяльність ДП «Рава-Руське лісове господарство», що засвідчується відповідним актом. Практичне використання запропонованої шкали дає змогу здійснювати науково обґрунтований вибір критерію оцінювання пожежної безпеки соснових насаджень, як найбільш поширених серед хвойних, своєчасно та об'єктивно прогнозувати пожежну безпеку, а також планувати відповідні протипожежні заходи в таких місцях зростання лісових насаджень.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науковою роботою, в якій наведено розв'язання актуального наукового завдання розкриття особливостей впливу чинників на пожежну небезпеку соснових молодняків лісового фонду України як підґрунтя підвищення ефективності забезпечення їх пожежної безпеки.

Основні наукові та практичні результати роботи наведено нижче.

1. За результатами аналізу світового та вітчизняного досвіду з питань пожежної безпеки лісів виявлено зокрема, що у 2014 році тільки в Росії відбулось 16865, Польщі – 4685, а в Україні – понад 2 тис лісових пожеж, які призвели до значних матеріальних та екологічних збитків. Зокрема знищується лісовий фонд, виникають збитки для флори і фауни, а також біосфери. Також небезпечним фактором лісових пожеж є викиди парникових газів, тільки впродовж 2014 року їх обсяг в Україні досяг таких значень: вуглекислого газу 342,02; чадного газу 23,32; метану 1,02 оксидів азоту 0,65, тис. тонн відповідно. Наймасштабніші лісові пожежі класифікуються як надзвичайні ситуації природного характеру.

2. На підставі результатів аналізу сучасного стану забезпечення пожежної безпеки соснових насаджень лісового фонду України встановлено, що пожежна небезпека ділянок молодих соснових насаджень є вищою порівняно з насадженнями старшого віку, у той час як шкалою оцінки природної пожежної небезпеки земельних ділянок лісового фонду не передбачено урахування цього факту. Це може призводити до помилкових управлінських рішень в системі забезпечення пожежної безпеки відповідних об'єктів лісового фонду України.

3. Висунуто ідею, що підвищення ефективності системи забезпечення пожежної безпеки молодих соснових насаджень може бути досягнуто шляхом удосконалення методології оцінювання їх природної пожежної небезпеки, яка враховує особливості впливу чинників на її стан.

4. Обґрунтовано застосування методу дієлькометрії для визначення вологості голок хвої як чинника впливу на показники їх пожежної небезпеки та встановлено, що значення вологості (W , %) описується функцією, $W = -0,0461C^3 + 3,7016C^2 - 87,781C + 658,57$, де C – ємність дієлькометра, пФ.

5. За результатами експериментальних досліджень виявлено, що швидкість вигорання зразків хвої змінюється в сторону збільшення в ряду свіжозірвана – опала – висушена і на 60-ій с вигорання відрізняється в 1,3 рази для висушеної хвої порівняно зі значенням для свіжозірваної, і корелює із зміненням їх вологості.

6. Розроблено, виготовлено, апробовано та впроваджено захищений патентом України на корисну модель пристрій для дослідження займистості твердих горючих речовин та матеріалів з використанням електронагрівального елемента, який відрізняється тим, що при його використанні можна досліджувати займистість матеріалів в широкому діапазоні температур; наявність автономного джерела живлення дає змогу застосовувати пристрій на об'єктах з відсутнім електроживленням. Із застосуванням цього пристрою в польових умовах визначено, що лісова підстилка соснових молодняків займається внаслідок

контакту протягом не більше 30 с з нагрітим до температури 450° С електронагрівальним елементом розробленого пристрою.

7. Експериментальними дослідженнями виявлено, що температура займання (t , °C) хвої соснових молодняків залежить від її вологості і описується залежністю $t = -0,002W^2 + 0,8466W + 204,49$.

8. За результатами комп'ютерного моделювання:

– розраховано лінійну швидкість розповсюдження пожежі в соснових молодняках, яка практично співпадає зі значенням, визначеним за результатами експерименту в польових умовах (1,87 м/хв та 1,85 м/хв відповідно);

– встановлено, що в соснових насадженнях пожежна безпека соснових молодняків віком до 20 років (особливо у віці від 5 до 20 років) суттєво відрізняється від пожежної небезпеки насаджень старшого віку, зокрема пожежі соснових молодняків на відміну від пожеж насаджень віком понад 20 років переходять з низових у верхові, при цьому лінійна швидкість поширення зростає у 3–5 разів.

9. За результатами математичного моделювання встановлено, що наслідком контакту сухої хвої з тілом, нагрітим до температури понад 743 К, є виникнення полуменевого горіння на відміну від контакту свіжозірваної хвої з нагрітим тілом до температури 823 К, за якого виникає тільки тління. Встановлено, що внаслідок радіаційного випромінювання полум'я низової пожежі, проміжок часу до займання сухої хвої на нижніх гілках крон до температури самозаймання не буде перевищувати 404 с, що в 4 рази менше порівняно зі свіжозірваною хвоєю.

10. Запропоновано внесення змін до «Шкали оцінки природної пожежної небезпеки земельних ділянок лісового фонду», регламентованої Правилами пожежної безпеки в лісах України, шляхом поділу I класу небезпеки на два підкласи: Ia – для соснових молодняків віком до 20 років, Ib – для соснових молодняків від 20 до 40 років.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У наукових фахових виданнях:

1. Кузик А. Д., Товарянський В. І. Про пожежну небезпеку молодих соснових насаджень. *Пожежна безпека: Збірник наукових праць. ЛДУ БЖД. Львів, 2014. № 24. С. 68—73.*

2. Кузык А. Д., Товарянский В. И. Оценка влажности хвои сосны обыкновенной как фактора пожарной опасности по измерению ее диэлектрической проницаемости. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza. Józefów, 2015. Vol. 39, Issue 3. Pp. 111—117.*

3. Кузик А. Д., Товарянський В. І. Масова швидкість вигорання хвої сосни звичайної як показник пожежної небезпеки. *Пожежна безпека: Збірник наукових праць. ЛДУ БЖД. Львів, 2014. № 25. С. 57—61.*

4. Товарянський В. І., Кузик А. Д., Петровський В. Л. Взаємозв'язок між температурою та часом до займання хвої молодих соснових насаджень. *Пожежна безпека: Збірник наукових праць. ЛДУ БЖД. Львів, 2015. № 26. С. 167—171.*

5. Товарянський В. І., Кузик А. Д. Дослідження пожежі молодих соснових насаджень. *Пожежна безпека: Збірник наукових праць. ЛДУ БЖД. Львів, 2016. № 28. С. 113—120.*

6. Кузик А. Д., Товарянський В. І. Математичне моделювання процесів кондуктивного і радіаційного теплообміну під час пожежі в соснових лісах *Пожежна безпека: Збірник наукових праць. ЛДУ БЖД. Львів, 2017. № 30. С. 105—113.*

7. Товарянський В. І., Кузик А. Д. Оцінювання залежності пожежної небезпеки соснових молодняків від віку. *Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. Львів, 2016. Вип. 26.5. С. 220—226.*

Особистий внесок здобувача у роботах, які опубліковані у співавторстві:

[1–4] – здобувач провів аналіз літературних джерел пожежної небезпеки соснових насаджень у молодому віці, виявлення шляхів підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки в молодих соснових лісах України, а також експериментально дослідив виявлення впливу чинників на показники пожежної небезпеки хвої з ділянок молодих соснових насаджень у лабораторних і польових умовах.

[5–7] – проведення експериментальних досліджень з виявлення впливу чинників на процеси виникнення та поширення горіння в молодих соснових насадженнях, математичне та комп'ютерне моделювання, удосконалення шкали оцінки природної пожежної небезпеки земельних ділянок лісового фонду України для соснових молодняків.

Опубліковано в інших виданнях:

1. Товарянський В. І. Залежність вологості хвої сосни звичайної від її діелектричної проникності як фактор пожежної небезпеки. Всеукраїнська науково-практична конференція рятувальників: матеріали наук.-практ. конф. (Київ, 23–24 вер. 2014). Київ, 2014. С. 294—296.

2. Кузик А. Д., Товарянський В. І. Масова швидкість вигорання хвої сосни звичайної як показник пожежної небезпеки. *Надзвичайні ситуації : безпека та захист. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. (Черкаси, 9–10 жов. 2015). Черкаси, 2015. С. 84—86.*

3. Кузык А. Д., Товарянський В. І. Пожароопасные свойства хвои сосны обыкновенной в возрасте молодняка. *Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации ЧС* : матер. науч.-техн. конф. (Гомель, 25 мар. 2016). Гомель. 2016. С. 94—95.

4. Кузик А. Д., Товарянський В. І. Моделювання пожежі соснових молодняків. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій* : матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Черкаси, 19–20 травня). ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України. Черкаси, 2016. С. 219—220.

5. Товарянський В. І., Кузик А. Д. Пожежна небезпека молодих соснових насаджень та шляхи її вирішення. *Проблеми екологічної безпеки* : зб. тез доповідей XIV Міжнародної наук.-практ. конф. (Кременчук, 12–14 жов. 2016) Кременчук, 2016. С. 115.

6. Товарянський В. І., Кузик А. Д. Моделювання пожежі соснових насаджень у молодому віці. *Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації* : матеріали міжнародної наук.-практ. конф. (Львів, 2016). Львів, 2016. С. 219—220.

7. Кузик А. Д., Товарянський В. І. Пожежонебезпечні властивості хвойної підстилки соснових молодняків. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації*

надзвичайних ситуацій : матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф. (Черкаси, 19–20 травня). ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України. Черкаси, 2017. С. 206—207.

8. Товарянський В. І., Кузик А. Д., Драч К. Л. Дослідження пожежної небезпеки підстилки соснових молодняків за умовами погоди. *Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку*: матеріали 19 Всеукраїнської науково-практичної конференції «Технології захисту/ПожТех – 2017» (Київ, 10–11 жовтня). Київ, 2017. С. 428—207.

9. Пат. на корисну модель 106652 Україна, МПК51 (2016.01) G01N 25/00. Пристрій для дослідження займистості горючого матеріалу з використанням електронагрівального елемента. Бюл. №8. 2016.

АНОТАЦІЯ

Товарянський В. І. Підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки в молодих соснових лісах України. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів – 2018.

Дисертація присвячена вирішенню актуального наукового завдання – підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки в молодих соснових лісах України.

Наведено методологію, а також методи і методики теоретичних та експериментальних досліджень з розкриття особливостей впливу чинників на пожежну небезпеку молодих соснових насаджень лісового фонду України. Обґрунтовано та апробовано застосування методу діелькометрії для визначення вологості хвої соснових насаджень як чинника впливу на показники її пожежної небезпеки, а також розроблено пристрій для дослідження займистості твердих горючих речовин та матеріалів з використанням електронагрівального елемента.

Виявлено, що швидкість вигорання зразків хвої змінюється в сторону збільшення в ряду свіжозірвана – опала – висушена і на 60 с вигорання відрізняється в 1,3 рази для висушеної хвої порівняно зі значенням для свіжозірваної та корелює із зміненням їх вологості. Визначено лінійну швидкість розповсюдження пожежі в соснових молодняках, яка практично співпадає зі значенням, визначеним за результатами експерименту в польових умовах – 1,87 м/хв та 1,85 м/хв відповідно.

Проведено математичне моделювання процесів займання хвої на початковій стадії пожежі внаслідок контакту з високотемпературним джерелом, зокрема теплопровідності хвоїнки за відсутності теплообміну на бічній поверхні та за його наявності, а також займання у складі нижніх гілок внаслідок радіаційного теплообміну від полум'я низової пожежі.

Набуло подальшого розвитку застосування комп'ютерної моделі WFDS для отримання лінійних швидкостей розповсюдження пожежі в соснових молодняках.

Удосконалено шкалу оцінки природної пожежної небезпеки земельних ділянок лісового фонду, регламентовану Правилами пожежної безпеки в лісах України для соснових молодняків I класу небезпеки, поділом на два підкласи: Ia – для насаджень віком до 20 років, Ib – для насаджень від 20 до 40 років.

Ключові слова: соснові молодняки, пожежа, пожежна безпека, пожежна небезпека, лісові горючі матеріали, повний деревостан, діелектрична проникність,

швидкість поширення пожежі, комп'ютерна модель, візуалізація процесу моделювання, теплота згоряння, рівняння теплопровідності, радіаційне теплове випромінювання.

АННОТАЦИЯ

Товарянский В. И. Повышение эффективности обеспечения пожарной безопасности в молодых сосновых лесах Украины. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.02 – пожарная безопасность. – Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности, Львов – 2018.

Диссертация посвящена решению актуальной научной задачи - повышения эффективности обеспечения пожарной безопасности в молодых сосновых лесах Украины.

Описана методология, а также методы и методики теоретических и экспериментальных исследований по раскрытию особенностей влияния факторов на пожарную опасность молодых сосновых насаждений на земельных участках лесного фонда Украины. Обосновано и апробировано применение метода диэлькометрии для определения влажности хвои сосновых насаждений как фактора влияния на показатели ее пожарной опасности, а также разработано устройство для исследования воспламеняемости твердых горючих веществ и материалов с использованием электронагревательного элемента.

Обнаружено, что скорость выгорания образцов хвои меняется в сторону увеличения в ряду свежесорванные – опавшие – сухие и на 60 с выгорания отличается в 1,3 раза для сухой хвои по сравнению со значением для свежесорванных и коррелирует с изменением их влажности.

Экспериментально исследованы процессы распространения горения в сосновых молодняках, проведено моделирование пожаров в сосновых молодняках с использованием компьютерной модели WFDS. Определено линейную скорость распространения пожары в сосновых молодняках, которая практически совпадает со значением, полученным по результатам эксперимента в полевых условиях – 1,87 м/мин и 1,85 м/мин соответственно.

Проведено компьютерное моделирование пожара сосновых насаждений в программе WFDS с использованием данных таблиц хода роста для полного соснового древостоя разного возраста. Установлено, что в сосновых насаждений пожарная безопасность сосновых молодняков до 20 лет (особенно в возрасте от 5 до 20 лет) существенно отличается от пожарной опасности насаждениях старшего возраста, в частности пожары сосновых молодняков в отличие от пожаров насаждений старше 20 лет переходят из низовых в верховые, при этом линейная скорость распространения возрастает в 3–5 раз.

Проведено математическое моделирование процессов воспламенения хвои на начальной стадии пожара вследствие контакта с высокотемпературным источником, в частности теплопроводности хвоинки при отсутствии теплообмена на ее боковой поверхности и теплопроводности хвоинки при наличии теплообмена на боковой поверхности, а также возгорания в составе нижних веток вследствие радиационного теплообмена от пламени низового пожара. По результатам математического моделирования установлено, что вследствие контакта сухой хвои с телом, нагретым до температуры свыше 743 К, возникает

горение в отличие от контакта свежесорванной хвои с телом, нагретым до температуры 823 К, где возникает только тление. Установлено, что в результате радиационного излучения пламени низового пожара, промежутки времени до начала возгорания сухой хвои вследствие самовоспламенения не превышает 404 с, что в 4 раза меньше по сравнению с свежесорванной хвоей.

Усовершенствована методика оценки природной пожарной опасности лесных насаждений, которую регламентируют Правила пожарной безопасности в лесах Украины (насаждения хвойных пород возрастом 40 лет и меньше), а именно 1-й класс опасности разделением на два подклассы : Ia – насаждения до 20 лет и Ib – от 20 до 40 лет.

Ключевые слова: сосновые молодняки, пожар, пожарная безопасность, пожарная опасность, лесные горючие материалы, полный древостой, диэлектрическая проницаемость, скорость распространения пожара, компьютерная модель, визуализация процесса моделирования, теплота сгорания, уравнения теплопроводности, радиационное тепловое излучение.

ABSTRACT

Tovarianskyi V. I . Increasing the Effectiveness of Fire Safety in Young Pine Forests of Ukraine. – Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 21.06.02 – Fire Safety. – Lviv State University of Life Safety, Lviv – 2018.

Dissertation deals with the up to date scientific and technical task – increasing the security assurance of fire safety in young pine forests of Ukraine.

The thesis describes the methodology and methods of theoretical and experimental researches on the disclosure of the impact factors peculiarities on the fire hazard of young pine stands of the land plots fund of Ukraine. A method of determining the pine needles moisture content in laboratory and field conditions was substantiated. Apparatus for investigating the flammability of combustible material using the heating element were produced.

It was found that the mass burning rate of pine needles samples varies in the direction of increase in the number from live – to dead and dry; and at starting at 60th second from the start for burning is 1.3 times bigger for the dried needles compared with the value of fresh ones and correlates with the change in their humidity.

A mathematical simulation of heat transfer process in a pine needle as a result of heat exchange by the contact of one of the ends with a high temperature object such as glowing piece of wood, a spark, a cigarette end was carried out.

Computer model WFDS was applied to calculate linear propagation speeds of fire of a pine forest. The results confirm the adequacy of this model.

The estimation scale of the natural fire hazard of forest land plots of Ukraine has been improved, according to which the 1st class of fire danger is divided into 2 subclasses: Ia – for pine stands aged 5–20 years; and Ib – for pine stands aged 20–40 years.

Keywords: pine stands, fire safety, fire hazard, forest combustible materials, full pine stand, permittivity, spreading velocity of fire, computer model, combustion temperature, heat transfer equation, radiation heat transfer.

Підписано до друку 27.03.2018 р.
Друк різнограф.
Наклад 100 прим.

Формат 60x80/16
Ум. друк. арк. 0,9
Зам. № 03/2018
