

Д.М.Деревинський, А.В.Антонов, к.т.н.,с.н.с., В.М.Жартовський, д.т.н.,професор,
Ю.В.Цапко, к.т.н. (Український науково-дослідний інститут пожежної безпеки МНС
України)

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНГІБУВАЛЬНОЇ, ВОГНЕГАСНОЇ ТА ФЛЕГМАТИЗУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТЕЙ ПЕНТАФТОРЕТАНУ (HFC 125) ТА ЙОГО СУМІШЕЙ З ДІОКСИДОМ ВУГЛЕЦЮ

Методом оптичної спектроскопії експериментально визначено інгібувальну здатність пентафторетану, проведено теоретичні розрахунки умов припинення горіння та флегматизування н-гептану двокомпонентною (CO₂ + хладон 125) вогнегасною газовою речовиною. На підставі проведених досліджень зроблено висновок про перспективність застосування в системах газового пожежогасіння пентафторетану як індивідуальної вогнегасної речовини, так і в комбінації з інертними розріджувачами, зокрема з діоксидом вуглецю.

На підприємствах транспорту газу України експлуатуються понад 100 установок пожежогасіння споряджених або галоном 1301, або галоном 2402. Як відомо, ці вогнегасні речовини є чинниками руйнування озонового шару Землі і підпадають під дію Монреальського протоколу [1-3]. Україна може використовувати для внутрішніх потреб лише наявні на її території запаси або регенеровані вогнегасні речовини до повного їх вичерпання. З огляду на це, озоноруйнівні хладони (галони) вже не повинні закладатись у проектні рішення новостворюваних систем газового пожежогасіння.

Таблиця 1. Характеристики деяких газових вогнегасних речовин [6]

Назва ГВР, хім. формула	Молекулярна маса	C _{мв} (н- гептан), % об.	C _{нв} , % об.	Вартість 1 кг ГВР, \$ USA	M _{ГВР} , кг/м ³ 1)	M _{ГВР} /M _{хладон} 13B1 2)
хладон 114B2, CF ₃ Br-CF ₂ Br	260	1,9	2,3	8,0	0,33	1,4
галон 1301, CF ₃ Br	149	3,2	3,8	20,0	0,24	1
хладон 125, HFC 125, CF ₃ -CHF ₂	120	8,1	9,7	18,0	0,55	2,3
діоксид вуглецю, CO ₂	44	21	35,7	0,98	0,82	3,4
азот, N ₂	28	37,5	45	1,14	0,99	4,1

Примітка: 1) – маса ГВР, що необхідна для створення нормативної концентрації в 1 м³ захищеного об'єму;

2) – відношення мас ГВР і хладону 13B1, що необхідні для створення відповідних нормативних концентрацій.

Відомо [4,5], що в якості газових вогнегасних речовин поряд з інгібіторами горіння (хладон 13B1 (1301), хладон 114B2 (2402), хладон 124, хладон 125, хладон 23, хладон 227ea, хладон 236 ef тощо та інертними розріджувачами (inergen (IG-541), argonite (IG-55) діоксид вуглецю (CO₂), азот (N₂) тощо) застосовуються або можуть бути перспективними і їх суміші

(15% 2402 + 85% CO₂, 50% 2402 + 50% CO₂ тощо). Характеристики деяких газових речовин наведено у таблиці 1.

В якості одного з альтернативних озоноруйнівним вогнегасним речовинам є пентафторетан (хладон 125), виробництво якого налагоджено у деяких країнах, зокрема в Росії. Проте застосування цієї речовини в системах протипожежного захисту певною мірою стримується її високою вартістю, необхідністю модернізувати або повністю міняти автоматичну установку газового пожежогасіння, обмеженістю або відсутністю даних щодо інгібувальних властивостей, флегматизувальної та вогнегасної здатностей її сумішей з інертними розріджувачами, зокрема, з діоксидом вуглецю.

Розуміння процесів і особливостей взаємодії активних радикалів полум'я з вогнегасними речовинами є підґрунтям наукового підходу до вибору як нових, так і модернізації уже відомих вогнегасних речовин.

Одним з методів, який дозволяє визначити вплив на полум'я вогнегасної речовини, є оптична спектроскопія.

В роботах [5,7] проводились дослідження з визначення інгібуючих властивостей газових вогнегасних речовин таких як: азот, діоксид вуглецю, галон 1301, хладон 114B2 та їх сумішей. Зокрема показано, що інтенсивність утворення гідроксильних радикалів має значно менші значення у разі застосування інгібіторів горіння (хладон, галон), ніж у разі застосування флегматизаторів горіння (азот, CO₂). Зазначено, що для зменшення інтенсивності ОН-радикалів, а отже і швидкості поширення полум'я на одну і ту ж величину, потрібно менше хладону, якщо він подається у суміші з розріджувачем. Підтверджено, що вогнегасна концентрація хладону залежить від вмісту кисню, яку можна зменшити шляхом додавання інертного розріджувача разом з хладоном. Таким чином можна зменшити вартість газової вогнегасної речовини.

Дослідження з визначення інгібуючих властивостей хладону 125, який на ринку вогнегасних речовин представлено як альтернативну заміну озоноруйнівним ГВР групи галонів, а також вогнегасних та флегматизувальних властивостей його сумішей з інертними розріджувачами, зокрема CO₂, не проводились.

На підставі аналізу робіт [4,5,7] нами було зроблено припущення, що інгібувальна здатність хладону 125 та його сумішей з CO₂ повинна корелювати з їх вогнегасною здатністю.

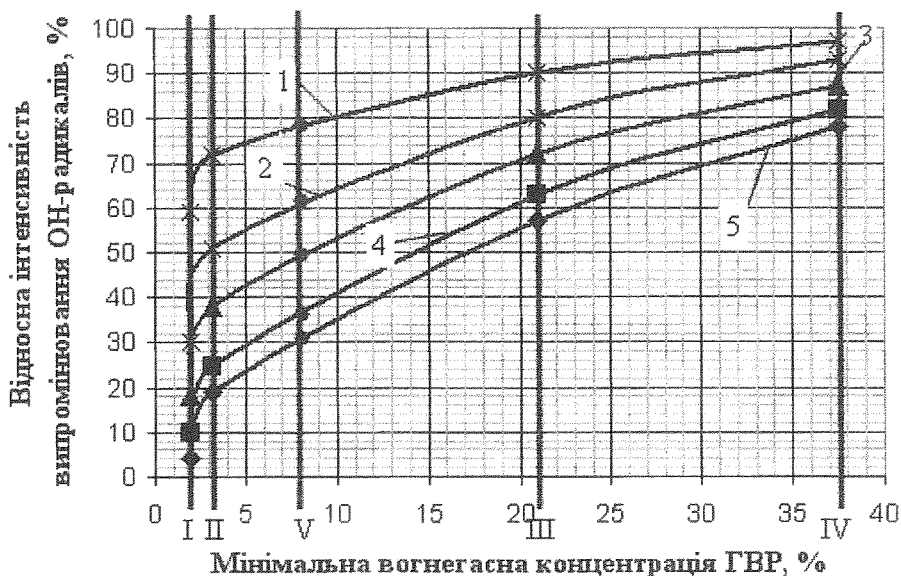
На рис.1 наведено номограму, яка ілюструє залежність мінімальних вогнегасних концентрацій від відносної інтенсивності ОН-радикалів полум'я н-гептану за даними, отриманими у роботі [5] та табл.1. Перетини прямої, проведеної паралельно до осі ординат через значення мінімальної вогнегасної концентрації для хладону 125 (8,1 %), з кривими витрат дають орієнтовні теоретичні значення відносної інтенсивності ОН-радикалів при об'ємних витратах хладону 125: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 дм³/хв., які дорівнюють значенням: 78; 61; 49; 37; 31 відповідно.

З метою виявлення впливу на активні ОН-радикали полум'я хладону 125, були проведені відповідні експериментальні дослідження. Робота проводилась з використанням установки та методики дослідження інгібуючих властивостей твердих, рідких та газоподібних речовин, наведених в роботі [8]. Як горючу речовину використовували пару н-гептану, одержану способом карбюрації.

Хладон 125 подавався в пальник разом з парами н-гептану. Витрату регулювали редуктором та контролювали її газовим ротаметром.

Випромінювання полум'я фіксувалось за допомогою спектрометра СДЛ-1. За міру ефективності дії хладону 125 приймалось зменшення інтенсивності випромінювання смуги 3064 Å, яка належить ОН-радикалу, одному з найважливіших радикалів, що відповідає за

поширення ланцюгової реакції горіння. Результати досліджень щодо взаємодії хладону 125 з полум'ям *n*-гептану наведено у таблиці 2.



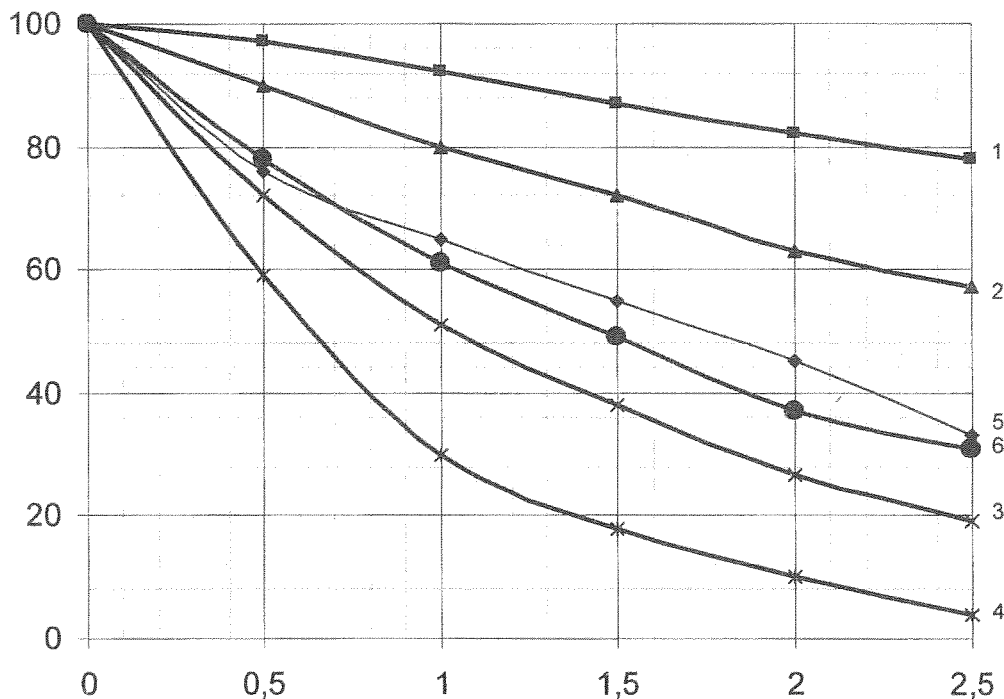
1-5 – криві, що відповідають витратам газових вогнегасних речовин: 1 – 0,5 дм³/хв.; 2 – 1,0 дм³/хв.; 3 – 1,5 дм³/хв.; 4 – 2,0 дм³/хв.; 5 – 2,5 дм³/хв.; I – пряма, проведена через значення мінімальної вогнегасної концентрації для хладону 114B2 (1,9 % об.), II – галону 1301 (3,2 % об.), III – діоксиду вуглецю (21 % об.), IV – азоту (37,5 % об.) та V – хладону 125 (8,1 % об.).

Рис.1. Номограма залежності відносної інтенсивності випромінювання ОН-радикалів при різних витратах газової вогнегасної речовини та її зв'язок із значенням мінімальної вогнегасної концентрації.

Таблиця 2. Результати визначення значення відносних інтенсивностей випромінювання ОН-радикалів полум'я парів *n*-гептану при різних значеннях об'ємної витрати введеного в нього хладону 125

Об'ємна витрата введеного у полум'я хладону 125, дм ³ /хв	Усереднене значення відносної інтенсивності випромінювання ОН-радикалів полум'я, %	
	За теоретичними припущеннями	Отримані експериментально
0	100	100
0,5	78	76
1,0	61	65
1,5	49	55
2,0	37	45
2,5	31	33

На рис.2 наведено криві залежності відносної інтенсивності випромінювання гідроксильних радикалів $I_{\text{відн.}}$ від витрати газової речовини, що подавалась у полум'я н-гептану, які отримано у [5] та за результатами наших досліджень.



1 – азот^[5]; 2 – діоксид вуглецю^[5]; 3 – хладон 13B1^[5]; 4 – хладон 14B2^[5]; 5 – хладон 125 (експериментальні значення); 6 – хладон 125 (теоретичні значення).

Рис.2. Залежність відносної інтенсивності випромінювання гідроксильних радикалів $I_{\text{відн.}}$ від витрати газових вогнегасних речовин a , що подаються в полум'я н-гептану.

Аналіз наведених результатів дозволяє зробити висновок, що за своїми інгібувальними властивостями в напрямку послаблення ряд ефективності досліджуваних речовин має такий вигляд: хладон 114B2 (галон 2402); хладон 13B1 (галон 1301); хладон 125 (HFC 125); діоксид вуглецю (CO_2); азот (N_2), що співпадає з рядом ефективності для цих речовин за мінімальними вогнегасними концентраціями (див табл.1).

У роботі [7] визначено, що значення мінімальної флегматизувальної концентрації $C_{\text{МФ}}$ перевищують значення мінімальної вогнегасної концентрації $C_{\text{МВ}}$ для газової вогнегасної речовини. На підставі експериментальних досліджень в роботі [7] запропоновано таку формулу:

$$C_{\text{МФ}} = K C_{\text{МВ}}, \quad (1)$$

де K – для інертних розріджувачів (азот, діоксид вуглецю) становить 1,5, а для інгібіторів горіння (хладонів) – 2,5.

Урахування такої залежності є підставою для теоретичного припущення, що ряд ефективності для розглядуваних нами газових вогнегасних речовин буде мати такий вигляд: хладон 114B2; 13B1; 125; діоксид вуглецю та азот.

Наступним кроком в нашій роботі було проведення теоретичних розрахунків вогнегасної та флегматизувальної концентрації сумішей хладону 125 з діоксидом вуглецю, а також орієнтовної відносної вартості витрати таких сумішей для протипожежного захисту одиниці об'єму.

Для теоретичних розрахунків було використано формулу, запропоновану у [4]:

$$G_{\text{вогн.}} = \frac{(21 - C_{O_2(CO_2)}) \cdot C_{\text{хл}}}{0,21 \cdot C_{\text{хл}} + (C_{O_2(\text{хл})} - C_{O_2(CO_2)}) \cdot n_{\text{хл}}} \quad (2)$$

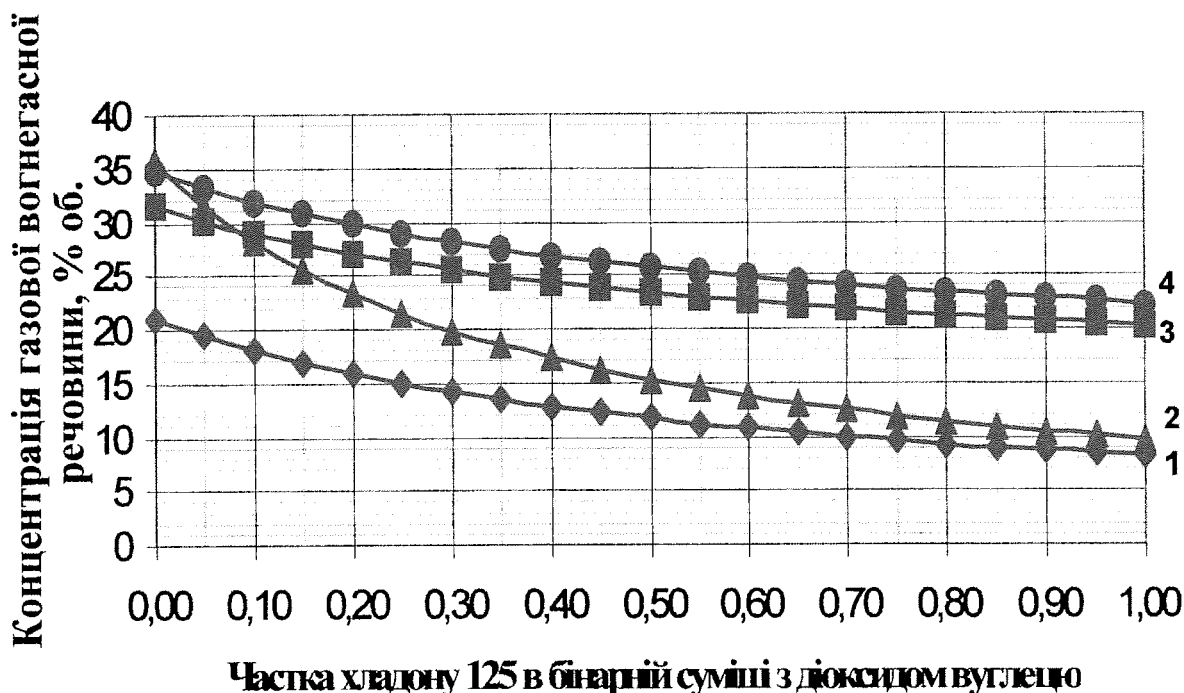
де $C_{\text{вогн.}}$ – вогнегасна концентрація комбінованого складу, % об.;

$C_{O_2(CO_2)}$ – концентрація кисню, яка відповідає вогнегасній концентрації діоксиду вуглецю, % об.;

$C_{O_2(\text{хл})}$ – концентрація кисню, яка відповідає вогнегасній концентрації хладону, % об.;

$C_{\text{хл}}$ – вогнегасна концентрація хладону, % об.;

$n_{\text{хл}}$ – частка хладону в комбінованому складі.



1 – мінімальна вогнегасна концентрація, % об.; 2 – нормативна вогнегасна концентрація, % об.; 3 – мінімальна флегматизувальна концентрація, % об.; 4 – нормативна флегматизувальна концентрація, % об.

Рис.3 Залежність розрахункової вогнегасної та флегматизувальної концентрацій сумішей діоксиду вуглецю з хладоном 125 від співвідношення компонентів

На рис.3 подано залежності об'ємних вогнегасних та флегматизувальних концентрацій для хладону 125, CO₂ та їх сумішей, розрахованих за формулами (1,2), а у таблиці 3 наведено розрахунок орієнтовної вартості бінарних сумішей хладону 125 з CO₂, необхідних для створення мінімальних та нормативних вогнегасних і флегматизувальних концентрацій порівняно з індивідуальними їх складовими.

Таблиця 3. Результати розрахунку орієнтовної вартості бінарних сумішей хладону 125 з CO₂, необхідних для створення мінімальних та нормативних вогнегасних і флегматизувальних концентрацій порівняно з індивідуальними їх складовими

Склад вогнегасної газової суміші, % об.	C _{МВ} , % об.	C _{НВ} , % об.	C _{МФ} , % об.	C _{НФ} , % об.	Орієнтовна вартість газової суміші для захисту 1 м ³ об'єму	
					при створенні C _{НВ} , \$/м ³	при створенні C _{НФ} , \$/м ³
100 % CO ₂	21	35,7	31,5	34,65	0,64	0,62
85 % CO ₂ + 15% хладон 125 *	16,95	25,48	27,97	30,76	3,828	4,621
70 % CO ₂ + 30% хладон 125 *	14,21	19,81	25,58	28,14	5,853	7,949
50 % CO ₂ + 50% хладон 125 *	11,69	15,28	23,38	25,72	7,012	11,8
100% хладон 125	8,1	9,72	20,25	22,28	8,75	20,05

Примітка: C_{МВ} – мінімальна вогнегасна концентрація, % об.

C_{НВ} – нормативна вогнегасна концентрація, % об.

C_{МФ} – мінімальна флегматизувальна концентрація, % об.

C_{НФ} – нормативна флегматизувальна концентрація, % об.

* - значення концентрацій для сумішей CO₂ та хладону 125 розраховані за допомогою формул 1 та 2.

Результати розрахунків свідчать про те, що вартість протипожежного захисту умовного об'єму об'єкта при використанні бінарних сумішей CO₂ з хладоном 125 нижча у 1,5-3,5 рази порівняно з індивідуальним хладоном 125, але значною мірою (у 6-19 разів) перевищує вартість при застосуванні діоксиду вуглецю. Ці розрахунки будуть уточнені при подальших дослідженнях.

Результати теоретичних розрахунків та проведених експериментальних досліджень дають підставу зробити такі висновки:

Теоретично та експериментально визначено інгібувальні властивості пентафторетану (HFC 125) та встановлено, що ряд ефективності за інгібувальною здатністю, визначеною за зміною інтенсивності випромінювання ОН-радикалів полум'я н-гептану, для хладонів: 2402; 1301; 125, та інертних розріджувачів CO₂ та азоту співпадає з рядом ефективності за їх мінімальними вогнегасними концентраціями і має такий вигляд у напрямку зменшення: хладон 2402 – хладон 1301 – хладон 125 – CO₂ – N₂.

Підтверджено придатність спектрального методу визначення інгібуючих властивостей сумішей за зміною інтенсивності випромінювання ОН-радикалів полум'я н-гептану, зокрема, для бінарних сумішей озононеруйнівного хладону 125 та діоксиду вуглецю, що дозволило стверджувати про перспективність застосування пентафторетану як індивідуальної вогнегасної речовини, так і створення газових вогнегасних сумішей на його основі.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Руководство по международным договорам в области охраны озонового слоя. Венская конвенция (1985 год). Монреальский протокол (1987 год). Пятое издание (2000 год).* - 439 с.

2. Постанова Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 1996 р. № 1274 „Про Програму припинення в Україні виробництва та використання озоноруйнуючих речовин”.
3. Постанова КМУ від 4 березня 2004 р. № 256 „Про затвердження Програми припинення виробництва та використання озоноруйнівних речовин на 2004-2030 роки”.
4. Николаев В.М. Состояние и перспективы развития газового пожаротушения // Юбилейный сборник трудов ВНИИПО. – М.: ВНИИПО, 1997. – С. 323-334.
5. Жартовський В.М., Откідач М.Я., Цапко Ю.В., Тропінов О.Г. Дослідження з визначення вогнегасної ефективності сумішей інгібіторів горіння та інертних розріджувачів // Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал. – № 2(8). – К.: УкрНДПБ МВС України. – 2003. – С. 5-10.
6. Звіт про наук. досл. роб. за темою „ Провести дослідження газових вогнегасних речовин щодо заміни озоноруйнівних речовин”. Кер. Антонов А.В., К., УкрНДПБ МВС України, 1999 – 155 с.
7. Цапко Ю.В. Дослідження умов флегматизування горючих газових середовищ озононеруйнівними газовими вогнегасними речовинами: Дис... канд. техн. наук: К., УкрНДПБ, 2003. – 202 с.
8. Тропинов А.Г., Жартовский В.М., Антонов А.В. Краснянский М.В. О совершенствовании методов исследования ингибирующей способности огнетушащих порошков. – Донецк, 1987. – 8 с. Рукопись представлена ВНИИГД Деп. В ЦНИИУГОЛЬ 15 января 1988, № 4397-88.

УДК 614.843(075.32)

Е.М.Гуліда, д.т.н., професор, О.О.Смотр (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

Розглянуто сучасний стан проблеми лісових пожеж. Проведено аналіз лісових пожеж (їх класифікація, виникнення та розвиток), на підставі якого визначено основні напрямки досліджень з метою підвищення пожежної безпеки лісів.

Загальна площа земель лісового фонду України понад 10,8 млн.га, що становить 15,6 % від території України [3]. Окрім того в Україні спостерігається тенденція розвитку лісогосподарської галузі та зростання площ земель вкритих лісом. Проблема охорони лісів від пожеж – одна з найбільш складних. Щороку в Україні в середньому виникає близько 3 тисяч лісових пожеж, що знищують понад 5 тис. га лісу [1,2]. Локалізація та ліквідація цих пожеж потребує значних матеріальних та людських ресурсів. Збитки від лісових пожеж протягом лише минулого року склали близько 2 млн. гривень [1,2]. Аналогічна ситуація і в інших країнах. Так щорічно в державах Європи виникає понад 140 тис лісових пожеж на площі понад 900 тис.га. [4]. До найбільш пожежонебезпечних лісових насаджень відносять соснові ліси. Ліси України налічують понад 30 видів дерев. Серед них хвойні займають 42% загальної площі [3]. Основними завданнями охорони лісів від пожеж є: попередження лісових пожеж; їх виявлення; обмеження розповсюдження і гасіння. Для успішного виконання цих завдань необхідним є досконале знання причин виникнення пожежі в лісі, її характеру та умов розвитку.