

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нечасва В.В., Япушкевич Ю.В., Смиловешко О.О., Лосик С.А., КИИ МЧС РБ. Комплекс для технического обслуживания пожарных рукавов.
2. Логинов В.И., Ртищев С.М., Козырsev В.Н. Современное состояние и перспективы развития пожарного рукавного оборудования. М.: ВНИИПО, 2012. 447 с.
3. Звіт про науково-дослідну роботу “Провести дослідження з визначення шляхів підвищення ефективності експлуатації пожежних рукавів у підрозділах Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту МНС України” (Експлуатація пожежних рукавів). / УкрІДЦЗ – К.: 2012. – 358 с.
4. ДСТУ 3810-98 Техніка пожежна. Рукава пожежні папірні. Загальні технічні умови. – К.: Держстандарт України, 1999. – 28 с.
5. ДСТУ 3931-99 Техніка пожежна. Рукава пожежні всмоктувальні та папірпо-всмоктувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань. – К.: Держстандарт України, 2000. – 16 с.
6. НАПБ 05.017-94 Інструкція по експлуатації та ремонту пожежних рукавів;
7. ДСТУ 2273:2006 Протипожежна техніка. Терміни та визначення основних понять.- К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 44 с.
8. Методическое руководство по организации и порядку эксплуатации пожарных рукавов утверждено приказом МЧС РФ 14.11.2007 г.;
9. Инструкция по эксплуатации и ремонту пожарных рукавов, утверждена приказом МЧС Республики Казахстан 12.09.2011 г. № 382;
10. ГОСТ Р 51049-2008 Техника пожарная. Рукава пожарные папоротные. Общие технические требования. Методы испытаний;
11. Наказ ДСНС України від 01.04.2013 р. “Про затвердження Методичних рекомендацій з експлуатації та ремонту пожежних рукавів”.

S-1-t-59

УДК [004.451]:621.7.01

### ПРОБЛЕМА ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ЛІКВІДАЦІЇ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ

*Смотр О.О., ст. викл.; Грицюк Ю.І., д.т.н., проф.*

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

У практиці пожежогасіння неминучі ситуації, коли необхідно прогнозувати динаміку контура лісової пожежі та її наслідки [2, 4, 7]. Найбільше значення тут мають результати прогнозування динаміки крайки вогню для низових пожеж, оскільки вони становлять більше 80 % всіх лісових пожеж, а верхові здебільшого розвиваються тільки після них. Достовірні прогнози поширення лісової пожежі на певній території за різних погодних умов [4] потрібні для вибору оптимальних шляхів доставки сил і засобів пожежогасіння до джерела її виникнення. Ефективне управління стратегічними і тактичними діями пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП) при гасінні лісових пожеж на великих територіях [1] дає змогу скоротити тривалість її локалізації, забезпечити умови для швидкої її ліквідації і, як наслідок, зменшити розміри матеріальних збитків, втрати лісових масивів і витрати на їх гасіння [5].

Проблема вибору оптимальної стратегії ліквідації лісової пожежі [7] полягає у якнайшвидшій її локалізації ( $\Sigma T^L$ ) та реалізації активних наступальних дій ПРП при подальшому гасінні суцільних і поодиноких джерел вогню ( $\Sigma T^F$ ) з найменшими

сумарними матеріальними ( $\Sigma Z^m$ ) і екологічними ( $\Sigma Z^e$ ) збитками за умови обмежених можливостей залучених до цього сил і засобів пожежогасіння. У цьому випадку потрібно мінімізувати такі функції мети

$$\begin{aligned} T &= \Sigma T^t + \Sigma T^r \rightarrow \min; \\ C &= \Sigma Z^m - \Sigma Z^e \rightarrow \min \end{aligned} \quad (1)$$

при таких обмеженнях

$$\sum_j ПРП_j^u \leq ПРП^u \rightarrow \sum_k ЗПГ_k^u \leq ЗПГ^u, \quad (2)$$

де,

$ПРП^u$  – наявна кількість ПРП;

$ПРП_j^u$  – запланована кількість ПРП, які будуть виконувати  $j$ -те тактичне завдання;

$ЗПГ^u$  – наявна кількість засобів пожежогасіння;

$ЗПГ_k^u$  – запланована кількість засобів пожежогасіння, які будуть залучені для виконання роботи  $k$ -го типу.

Враховуючи рельєфу місцевості та метеорологічних умов у зоні лісової пожежі [2], поєднання великої кількості ПРП та різних їх тактичних характеристик, що залучаються до процесу її гасіння, і засобів, які визначаються організаційно-технічними параметрами антропогенних дій на пожежу (порядку введення ПРП, задавання напрямку їх руху, вибору способів і прийомів пожежогасіння і т.д.), призводять до ліквідації лісової пожежі у терміни, набагато пізніші від встановлених, з різними значеннями вигорілої площі, тривалості її ліквідації та понесеного збитку від неї. Ці та багато інших не зовсім сприятливих чинників роблять досягнення мети стратегії ліквідації лісової пожежі неоднозначною [7, 8]. Понад це, за умов дефіциту сил і засобів пожежогасіння, а також низької кваліфікації чи відсутності досвіду керівного персоналу ПРП, дії яких часто призводять до нераціональної організації процесу ліквідації лісової пожежі, здебільшого досягнення мети стратегії пожежогасіння може виявитися зовсім неможливою [5].

Як при локалізації крайки вогню, так і при гасінні самого згарища ПРП мають максимально використовувати наявні в зоні пожежі природні та штучні протипожежні бар'єри: водоймища, кам'янисті та нерозволені ділянки території, лісові дороги, мінералізовані смуги і т.д. При виконанні тактичних завдань рух ПРП потрібно здійснювати від початку опорних рубежів [5]. Тактичні ПРП, які здійснюють гасіння крайки вогню лісової пожежі, рухаються уздовж динамічної її межі (із зовнішнього її боку) безпосередньо поблизу неї, або на відстані, не більшій дальності вильоту струменя води із пожежних стволів. Водночас, тактичні ПРП, які здійснюють локалізацію крайки вогню, під час створення штучного протипожежного бар'єру, в основному рухаються уздовж динамічної її межі на п'ятдесятиметровій відстані від неї. Призупинивши рух крайки вогню, тактичні ПРП приступають до подальшого догашування джерел вогню всередині згарища [8].

Переміщуючись уздовж динамічної крайки вогню зі швидкістю (продуктивністю), яка визначається тактичними можливостями ПРП, можна прокласти маршрут, протяжність якого визначає часові витрати сил і засобів на локалізацію/гасіння лісової пожежі, а також витрати вогнегасної речовини і пального при використанні основної автомобільної техніки і допоміжних технічних засобів і т.д. [1, 7].

Введемо такі позначення:

- $M^{n\phi}$  – кількість пожежних формувань (зокрема, ПРП), які планується залучити для ліквідації лісової пожежі;
- $\tilde{V}^n = \{\tilde{V}_i^n = \{v_{ij}^n = f(r_j^m, h_j^p, \gamma_j^{nc}), j = \overline{1, N^n}\}, i = \overline{1, M^{n\phi}}\}$  – швидкість переміщення  $i$ -го ПРП при локалізації крайки вогню на  $j$ -ій ділянці лісу, м/год;

- $\tilde{V}^c = \{\tilde{V}_i^c = \{v_{ij}^c = f(r_j^c, h_j^p, \gamma_j^{nc}), j = 1, N^c\}, i = 1, M^{nc}\}$  – швидкість переміщення  $i$ -го ПРП при гасінні крайки вогню на  $j$ -ій ділянці лісу, м/год;
- $\tilde{V}^m = \tilde{V}_i^m = \{v_{ij}^m = f(r_j^m, h_j^p), j = 1, N^m\}, i = 1, M^{nc}\}$  – швидкість переміщення  $i$ -го ПРП через  $j$ -ту ділянку лісу, яка не горить (маршовий рух), м/год;
- $N^{dn}$  – кількість ділянок лісу, на які поділено контур області ліквідації лісової пожежі;
- $\tilde{R}^m = \{r_j^m = f(g, p, \dots), j = 1, N^{dn}\}$  – характерні особливості  $j$ -ої ділянки лісу, через яку рухається фронт вогню ( $g$  – властивості ґрунту,  $p$  – рельєф місцевості, тощо);
- $\tilde{Y}^{nc} = \{\gamma_j^{nc} = f(q, p, \dots), j = 1, N^{dn}\}$  – інтенсивність процесу горіння (тепловиділення) на  $j$ -ій ділянці лісу, через яку рухається фронт вогню ( $q$  – тип рослинного покриву,  $p$  – рельєф місцевості, тощо);
- $\tilde{H}^p = \{h_j^p = f(p, \dots), j = 1, N^{dn}\}$  – напряму руху ПРП на  $j$ -ій ділянці лісу ( $p$  – рельєф місцевості, тощо).

Загалом кожен ПРП може функціонувати в двох режимах – робочому та маршовому [7]. Робочий рух, тобто продуктивний режим роботи, передбачає виконання тактичного завдання, внаслідок чого  $i$ -ий ПРП переміщається з так званою швидкістю процесу локалізації  $v_{ij}^c$  або гасіння  $v_{ij}^m$  крайки вогню через  $j$ -ту ділянку лісу. Маршовий рух  $i$ -го ПРП здійснюється з максимально можливою швидкістю  $v_{ij}^m$  переміщення у таких випадках: а) при русі до джерела лісової пожежі та від згарипця після її локалізації; б) при русі між ділянками лісу, не охоплених вогнем, уздовж зовнішнього боку крайки вогню; в) при русі між розривами крайки вогню уздовж контура області пожежі.

Маршова швидкість ( $v_{ij}^m$ ) переміщення  $i$ -го ПРП неоднорідним рельєфом місцевості як і швидкість процесу локалізації/гасіння ( $v_{ij}^c$  або  $v_{ij}^m$ ) крайки вогню залежать від характерних особливостей  $j$ -ої ділянки лісу ( $r_j^m$ ), через яку рухається фронт вогню, напряму руху ПРП ( $h_j^p$ ) та інтенсивності процесу горіння (тепловиділення) ( $\gamma_j^{nc}$ ), тобто с диференціальними характеристиками.

Оскільки поширення лісової пожежі відбувається здебільшого за умов малопрхідної та не прхідної місцевості, за наявності різноманітної лісової рослинності, а також за відсутності прямої видимості між ПРП і обмеженого огляду крайки вогню, то процес ліквідації лісової пожежі може вважатися завершеним тільки при повному охопленні контура області пожежі маршрутами переміщення ПРП [7].

Введемо такі позначення:

- $\tilde{L}^c = \{l_j^c, j = 1, N^c\}$  – протяжність  $j$ -ої ділянки лісу, на якій потрібно ПРП здійснювати локалізацію крайки вогню, м;
- $\tilde{L}^m = \{l_j^m, j = 1, N^c\}$  – протяжність  $j$ -ої ділянки лісу, на якій потрібно ПРП здійснювати гасіння крайки вогню, м;
- $\tilde{L}^n = \{l_j^n, j = 1, N^m\}$  – протяжність  $j$ -ої ділянки лісу, яка не горить, через яку мають перейти ПРП для виконання тактичних завдань, м;
- $\tilde{L}^o = \{l_j^o, j = 1, N^o\}$  – протяжність  $j$ -ого протипожежного бар'єру, вздовж якого мають перейти ПРП для виконання тактичних завдань, м;
- $\tilde{L}^p = \{l_j^p, j = 1, N^p\}$  – протяжність  $j$ -ого розриву крайки вогню, вздовж якого мають перейти ПРП для виконання тактичних завдань, м.

З врахуванням наведених позначень вважатимемо, що  $i$ -ий ПРП, відповідно до його тактичного завдання та можливостей засобів пожежогасіння, має переміщатися  $j$ -им

маршрутом ( $l_j^a$  або  $l_j^c$ ), здійснюючи локалізацію або гасіння крайки вогню, або рухаючись  $j$ -ою ділянкою лісу ( $l_j^m$ ), яка не горить.

Тактичні дії ПРП при ліквідації лісової пожежі передбачають її повне оточення локалізаційними штучними чи природними протипожежними бар'єрами, або здійснити гасіння усєї крайки вогню з урахуванням наявних розривів, або реалізувати комбінацію цих двох способів [4, 8]. Протяжність бар'єрів і розривів можна об'єднати і надалі позначити як  $l_j^{op}$ . Штучні локалізаційні бар'єри, які часто доводиться створювати ПРП, з причини їх малої ширини за відношенням до довжини, можна вважати лінійними. Маршрути переміщення ПРП при гасінні крайки вогню також є деякими кривими. Прокладання маршрутів переміщення ПРП вздовж цих кривих здійснюється диференційовано, позаяк продуктивність роботи кожного ПРП є різною. Внаслідок цього загальна протяжність  $L''$  контура області ліквідації лісової пожежі визначається як сума усіх перерахованих кривих, а саме:

$$L'' = \sum_{j=1}^{N^a} l_j^a + \sum_{j=1}^{N^c} l_j^c + \sum_{j=1}^{N^m} l_j^m + \sum_{j=1}^{N^{op}} l_j^{op}. \quad (3)$$

Відповідно, ділянки лісу протяжністю  $l_j^m$ , які не горять,  $i$ -ий ПРП проходять із швидкістю  $v_{ij}^m()$ , крайки вогню при їх локалізації протяжністю  $l_j^a$  – зі швидкістю  $v_{ij}^a()$ , крайки вогню при їх гасінні протяжністю  $l_j^c$  – із швидкістю  $v_{ij}^c()$ , а бар'єри та розриви протяжністю  $l_j^{op}$  – зі швидкістю  $v_{ij}^{op}()$ . З врахуванням цих позначень, отримуємо такі функціональні залежності для визначення тривалості певних процесів ліквідації лісової пожежі:

- тривалість процесу локалізації крайки вогню  $i$ -им ПРП, год

$$\tilde{T}^a = \left\{ t_i^a = \sum_{j=1}^{N^a} \frac{l_j^a}{v_{ij}^a(r_j^a, h_j^a, \gamma_j^a)}, i = \overline{1, M^{ap}} \right\}; \quad (4)$$

- тривалість процесу гасіння крайки вогню  $i$ -им ПРП, год

$$\tilde{T}^c = \left\{ t_i^c = \sum_{j=1}^{N^c} \frac{l_j^c}{v_{ij}^c(r_j^c, h_j^c, \gamma_j^c)}, i = \overline{1, M^{cp}} \right\}; \quad (5)$$

- тривалість переміщення  $i$ -ого ПРП ділянками лісу, які не горять, год

$$\tilde{T}^m = \left\{ t_i^m = \sum_{j=1}^{N^m} \frac{l_j^m}{v_{ij}^m(r_j^m, h_j^m)}, i = \overline{1, M^{mp}} \right\}; \quad (6)$$

- тривалість переміщення  $i$ -ого ПРП вздовж протипожежних бар'єрів і між розривами крайки вогню, год

$$\tilde{T}^{op} = \left\{ t_i^{op} = \sum_{j=1}^{N^{op}} \frac{l_j^{op}}{v_{ij}^{op}(r_j^{op}, h_j^{op})}, i = \overline{1, M^{opf}} \right\}. \quad (7)$$

Розрахунок кількості ПРП при ліквідації лісової пожежі залежить від допустимої тривалості їхньої роботи, тобто ефективного фонду робочого часу. Як було зазначено вище, окрім професійної підготовки особового складу, їхнього фізичного стану і оснащення, їхня тривалість роботи багато в чому залежить від характеру лісової рослинності ( $r^a$ ), рельєфу місцевості ( $h^p$ ), стану погодних умов ( $w^u(\tau)$ ) і сили вітру ( $q^b(\tau)$ ), які є функціями від часу й інших змінних чинників, тобто є диференціальними характеристиками:

$$\tilde{\Phi}^{n\phi} = \{ \phi_i^{n\phi} = f(r^a, h^p, w^u(\tau), q^b(\tau), \dots), i = \overline{1, M^{n\phi}} \}. \quad (8)$$

Отже, з урахуванням введених вище позначень, отримаємо таку функціональну залежність для визначення кількості ПРП, які братимуть участь у ліквідації лісової пожежі:

$$\tilde{K}^{n\phi} = \left\{ k_i^{n\phi} = \frac{t_i^n + t_i^r + t_i^M + t_i^{\phi p}}{\phi_i^{n\phi}}, i = \overline{1, M^{n\phi}} \right\}; \quad (9)$$

Розрахунок обсягу матеріальних витрат при прокладанні штучних бар'єрів і при переміщенні різних ПРП тими чи іншими маршрутами приводить до встановлення опосередкованого ( $\Sigma Z^o$ ) збитку від лісової пожежі за умови знаходження їх точної довжини:

$$\Sigma Z^o = f(\Sigma L^n; \Sigma L^r; \Sigma L^M; \Sigma L^{\phi p}). \quad (10)$$

Площа області лісової пожежі ( $\Sigma \Omega^{n\phi}$ ) та вартість знищених і пошкоджених насаджень ( $\Sigma B^{n\phi}$ ) на ній визначають прямий збиток ( $\Sigma Z^p$ ) від неї, сумарний обсяг якого залежить від конфігурації контура площі пожежі, межею якої якраз і є маршрути переміщення ПРП, тобто

$$\Sigma Z^p = f(\Sigma \Omega^{n\phi}; \Sigma B^{n\phi}). \quad (11)$$

Тоді сукупний збиток від лісової пожежі ( $Z^{\Sigma}$ ) визначатиметься сумою прямого та опосередкованого збитків, а саме

$$Z^{\Sigma} = \Sigma Z^p + \Sigma Z^o, \quad (12)$$

і залежатиме від точного встановлення видів виконуваних робіт тим чи іншим пожежним формуванням, а також протяжністю маршрутів переміщення ПРП при виконанні ними тактичних завдань, пов'язаних з процесами локалізації та гасіння лісової пожежі.

Паповнення функціональних залежностей відповідними математичними виразами вимагає побудови відповідних алгоритмів пожежогасіння та вибору адекватних методів їх реалізації. Наявність цих залежностей є необхідною умовою побудови розглянутої вище математичної моделі ліквідації лісової пожежі, вибору оптимальної стратегії та тактики її ліквідації, а також встановлення оптимальної кількості сил і засобів пожежогасіння, що свідчатиме про ефективність реалізації вибраної мети оптимальної стратегії пожежогасіння (1).

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Болібрех Б.В. Рекомендації щодо гасіння лісових та торф'яних пожеж / Б.В. Болібрех, Р.В. Пархоменко. – К. : Вид-во ЛДУ БЖД, 2007. – 53 с.
2. Доррер Г.А. Динамика лесных пожаров / Г.А. Доррер. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. – 404 с.
3. Ключ П.П. Пожарная тактика : підручник / П.П. Ключ, В.Г. Палюх, А.С. Пустовой, Ю.М. Сенчихін, В.В. Сировой. – Харків : Вид-во "Основа", 1998. – 592 с.
4. Корнеев Д.Г. Математическое моделирование развития лесного пожара / Д.Г. Корнеев // Электронное моделирование. – 1999. – Вып. 21, № 3. – С. 84-94.
5. Кривошлыков С.Ф. Оценка необходимого количества сил и средств пожаротушения для оперативной локализации ландшафтного пожара // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – Вып. 24. – С. 98-104.
6. Повзик Я.С. Пожарная тактика / Я.С. Повзик. – М. : ЗАО Спецтехника. 1999. – 416 с.
7. Тарасенко А.А. Развитие научных основ ликвидации наземных ландшафтных пожаров : дис. ... д-ра техн. наук: спец. 21.06.02 "Пожарная безопасность" / Александр Андреевич Тарасенко; ИГУ гражданской защиты Украины. – Харьков, 2010. – 473 с.
8. Терсбнєв В.В. Противопожарная защита и тушение пожаров (леса, торфа, лесосклады) / В.В. Терсбнєв, Н.С. Артемьєв, В.А. Грачев, О.Ю. Сабинин. – М., 2006. – Кн. 6. – 294 с.