

СТРАТЕГІЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТАКТИКИ ЛІКВІДАЦІЇ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ В ПРОЦЕСІ УПРАВЛІННЯ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ

Розглянуто особливості застосування методології системного аналізу для вироблення оптимальної тактики ліквідації лісової пожежі при управлінні пожежно-рятувальними підрозділами. Обґрунтовано мету оптимальної стратегії пожежогасіння. Отримано функціональні залежності, які дають змогу визначити оптимальну кількість та чисельність сил і засобів пожежогасіння, необхідну для ліквідації лісової пожежі з мінімальним сукупним збитком від неї, що свідчатиме про ефективність реалізації мети управління.

Ключові слова: лісова пожежа, тактика гасіння лісової пожежі, оптимальна стратегія пожежогасіння.

Вступ. Згідно з [1], тактика гасіння пожежі – це вибір методів, способів і засобів її ліквідації залежно від характеристики ділянок, охоплених нею, і умов, що існують у момент гасіння. Незважаючи на те, що тактику гасіння лісових пожеж почали активно розробляти ще на початку 30-х років ХХ ст., ефективність роботи пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП) при гасіння масштабних лісових пожеж на сьогодні становить 1-2% [2]. Як наслідок, щорічно в середньому лісові пожежі знищують [3, 4]: близько 48 тис. га – в Греції, понад 28 тис. га у Франції, в Іспанії – 218 тис. га, в Італії – 126 тис. га, у Кореї – 1,39 млн. га, у Монголії – близько 100 тис. га, у Росії – від 0,5 до 2,1 млн. га та понад 5 тис. га – в Україні.

Метою роботи є обґрунтування стратегії вибору оптимальної тактики гасіння лісової пожежі при управлінні пожежно-рятувальними підрозділами. Побудова математичної моделі, яка дасть змогу визначити оптимальну кількість та чисельність сил і засобів пожежогасіння, необхідну для ліквідації лісової пожежі з мінімальним сукупним збитком від неї, що свідчатиме про ефективність реалізації мети управління.

Виклад основного матеріалу. Основна мета оптимальної стратегії ліквідації лісової пожежі [5] полягає у якнайшвидшій її локалізації (ΣT^l) та подальшому гасінні суцільних та поодиноких джерел вогню (ΣT^r) з найменшими сукупними матеріальними (ΣZ^M) і екологічними (ΣZ^e) збитками за умови обмежених можливостей задіяних до цього сил і засобів пожежогасіння. У цьому випадку потрібно мінімізувати такі функції мети

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

при таких обмеженнях

$$\begin{cases} \sum_{j \in J} ПРП_j^n \leq ПРП^n; \\ \sum_{k \in K} ЗПГ_k^n \leq ЗПГ^n, \end{cases} \quad (2)$$

де: $ПРП_j^n$ – запланована кількість ПРП, які будуть виконувати j -те тактичне завдання; $ПРП^n$ – наявна кількість ПРП; $ЗПГ_k^n$ – запланована кількість засобів пожежогасіння, які будуть задіяні для виконання роботи k -го типу; $ЗПГ^n$ – наявна кількість засобів пожежогасіння.

Для успішної реалізації стратегії пожежогасіння необхідно своєчасно зосередити сили і засоби на концептуальних ділянках лісової пожежі, вибрати вирішальні напрями реалізації тактичних завдань, виконати активні наступальні дії з врахуванням різних тактик пожежогасіння.

Врахування рельєфу місцевості та метеорологічних умов у зоні лісової пожежі, поєднання великої кількості та різних тактичних характеристик сил, що залучаються до процесу її гасіння, і засобів, які визначаються організаційно-технічними параметрами антропогенних дій

на пожежу, призводить до ліквідації лісової пожежі у терміни, набагато пізніші від встановлених, з набагато більшою вигорілою площею ніж передбачається та з більшими збитками від неї. Ці та багато інших не зовсім сприятливих чинників роблять досягнення мети управління ПРП при реалізації стратегії ліквідації лісової пожежі неоднозначною. 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, досягнення мети стратегії пожежогасіння може виявитися неможливим.

Успішна реалізація стратегії ліквідації лісової пожежі складається з якісного виконання поточних дій окремими ПРП: своєчасного отримання повідомлення про виникнення пожежі; вчасний виїзд і безперешкодне слідування ПРП до джерела пожежі; результативна розвідка і вдале тактичне розгортання сил і засобів; локалізація крайки вогню; ліквідація процесу горіння; догашування залишків джерел вогню усередині області пожежі; організація охорони периметра пожежі; згорання ПРП і повернення їх у пожежну частину.

Керівник гасіння лісової пожежі для досягнення стратегічної мети часто може проводити перегрупування відповідних сил і засобів залежно від оперативної обстановки, формуючи тимчасово ланки, бригади чи групи [6] і визначає набір засобів для кожної з них відповідно до поставлених перед ними тактичних завдань. Кожне з таких пожежних формувань надалі вважатимемо пожежно-рятувальними підрозділами, які характеризуються своїми тактичними можливостями. Ці можливості ПРП виразимо таким інтегральним показником як продуктивність процесу локалізації/гасіння лісової пожежі, тобто обсяг загашеної ділянки лісу за одиницю часу.

Продуктивність роботи ПРП має немаловажне значення в процесі ліквідації лісової пожежі, особливо в початковій стадії її розвитку, коли важливо якомога швидше і більше локалізувати фронт вогню. Якість її виконання значною мірою залежить від професіоналізму ПРП. Проте, окрім професійної підготовки особового складу, їхнього фізичного стану і оснащення, продуктивність їх роботи значною мірою залежить від природних і погодних умов – характеру лісової рослинності, рельєфу місцевості, стану погоди, сили вітру та інших змінних чинників.

При гасінні лісової пожежі ефективність праці пожежного також залежить від його психологічного стану. Напруженість виконуваних робіт, задимленість території, висока температура й інші чинники сприяють зниженню позитивних емоцій, а отже, і працездатності особового складу. Зниження працездатності настає через 3,0-3,5 год, а при великих навантаженнях – через 2,0-2,5 год виконуваних робіт з ліквідації пожежі. Зміна режиму роботи, короткочасний відпочинок, підміна втомлених і упевнені дії керівника гасіння пожежі відновлюють психологічний стан і працездатність особового складу. Тому керівник має діяти впевнено, ставити реальні завдання та передбачати результат виконання прийнятих рішень.

Загалом локалізація лісової пожежі – це комбінація непрямого (пасивна локалізація без взаємодії сил пожежогасіння з вогнем) та прямого методів гасіння (активна локалізація – безпосереднє гасіння крайки вогню). Пасивна локалізація лісової пожежі здійснюється на відстані, не менше 50 м від крайки вогню [6]. Ця відстань вважається зоною безпечної локалізації і залежить від швидкості розповсюдження крайки вогню та інтенсивності процесу горіння. При цьому продуктивність роботи ПРП має забезпечувати процес локалізації зі швидкістю дещо більшою, ніж швидкість її поширення, яка своєю чергою безпосередньо залежить від інтенсивності процесу горіння, тобто тепловиділення.

Переміщаючись 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, в т.ч. запалювальних апаратів, шпурових зарядів і т.д [7].

Введемо такі позначення:

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

Загалом кожен ПРП може функціонувати в двох режимах – маршовому та робочому. Маршовий рух i -го ПРП здійснюється з максимально можливою швидкістю v_{ij}^M переміщення у таких випадках: а) при русі до джерела займання лісової пожежі та від згарища після її локалізації; б) при русі між ділянками лісу, не охоплених вогнем; в) при русі між розривами крайки вогню уздовж контура області пожежі. Робочий рух, тобто продуктивний режим роботи, передбачає виконання тактичного завдання, внаслідок чого i -ий ПРП переміщається з так званою швидкістю процесу локалізації v_{ij}^l або гасіння v_{ij}^c крайки вогню через j -ту ділянку лісу (рис. 1).

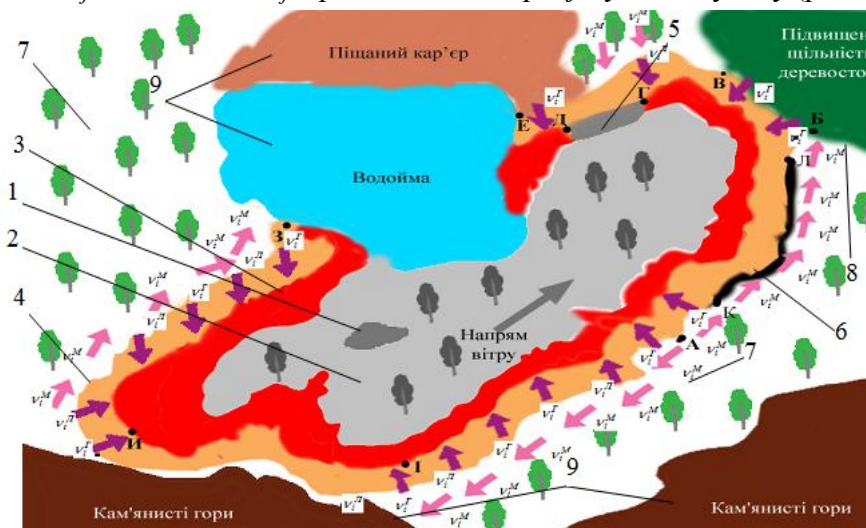


Рис. 1. Схема ліквідації лісової пожежі: 1 – джерело займання; 2 – область пожежі; 3 – крайка пожежі; 4 – зона безпечної локалізації; 5 – розрив крайки пожежі; 6 – локалізаційна смуга; 7 – не уражені пожежею ділянки лісу; 8 – захаращена ділянка з підвищеною щільністю деревостану; 9 – негорючі ділянки

Маршова швидкість (v_{ij}^M) переміщення i -го ПРП неоднорідним рельєфом місцевості як і швидкість процесу локалізації/гасіння (v_{ij}^l або v_{ij}^c) крайки вогню залежать від характер-

них особливостей j -ої ділянки лісу (r_j^M), через яку рухається фронт вогню, напряму руху ПРП (h_j^P) та інтенсивності процесу горіння (тепловиділення) ($\gamma_j^{n\phi}$), тобто є диференціальними характеристиками.

Введемо такі позначення:

- $\tilde{L}^n = \{l_j^n, j = \overline{1, N^n}\}$ – протяжність j -ої ділянки лісу, на якій ПРП має здійснювати локалізацію крайки вогню, м;
- $\tilde{L}^z = \{l_j^z, j = \overline{1, N^z}\}$ – протяжність j -ої ділянки лісу, на якій ПРП має здійснювати гасіння крайки вогню, м;
- $\tilde{L}^M = \{l_j^M, j = \overline{1, N^M}\}$ – протяжність j -ої ділянки лісу, яка не горить, через яку мають перейти ПРП для виконання тактичних завдань, м;
- $\tilde{L}^{\phi} = \{l_j^{\phi}, j = \overline{1, N^{\phi}}\}$ – протяжність j -ого протипожежного бар'єру, вздовж якого мають перейти ПРП для виконання тактичних завдань, м;
- $\tilde{L}^P = \{l_j^P, j = \overline{1, N^P}\}$ – 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^n або l_j^z), 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 гасіння усієї крайки вогню з урахуванням наявних розривів, або реалізація комбінації цих двох способів [6]. Штучні локалізаційні бар'єри, які часто доводиться створювати ПРП, з причини їх малої ширини відносно довжини, можна вважати лінійними. Маршрути переміщення ПРП при гасінні крайки вогню також є певними кривими. Прокладання маршрутів переміщення ПРП вздовж цих кривих здійснюється диференційовано, позаяк продуктивність роботи кожного ПРП є різною. Протяжність бар'єрів і розривів можна об'єднати і надалі позначити як $l_j^{\phi P}$. На рис. 1 ці ділянки області ліквідації лісової пожежі схематично зображено дугами таких кривих:

$$\Sigma L^n = \overline{ИЗ}; \Sigma L^z = \overline{АИ \cup АК \cup ЛБ \cup БВ \cup ВГ \cup ДЕ}; \Sigma L^M = \overline{ИИ}; \Sigma L^P = \overline{FD}; \Sigma L^{\phi} = \overline{KL}.$$

З врахуванням цього загальна протяжність L^{Π} контура області ліквідації лісової пожежі визначатиметься як сума усіх перерахованих кривих, а саме:

$$L^{\Pi} = \Sigma L^n + \Sigma L^z + \Sigma L^M + \Sigma L^{\phi P} = \sum_{j=1}^{N^n} l_j^n + \sum_{j=1}^{N^z} l_j^z + \sum_{j=1}^{N^M} l_j^M + \sum_{j=1}^{N^{\phi P}} l_j^{\phi P}. \quad (3)$$

Відповідно ділянки лісу протяжністю l_j^M , які не горять, i -ий ПРП проходить із швидкістю $v_{ij}^M()$, крайки вогню при їх локалізації протяжністю l_j^n – зі швидкістю $v_{ij}^n()$, крайки вогню при їх гасінні протяжністю l_j^z – із швидкістю $v_{ij}^z()$, а бар'єри та розриви протяжністю $l_j^{\phi P}$ – зі швидкістю $v_{ij}^{\phi P}()$. З врахуванням цих позначень, отримуємо такі функціональні залежності для визначення тривалості процесів ліквідації лісової пожежі відповідними ПРП:

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

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

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

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

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

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

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

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

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^M), рельєфу місцевості (h^P), стану погоди ($w^П(\tau)$) і сили вітру ($q^B(\tau)$), які є функціями від часу, й інших змінних чинників, тобто є диференціальними характеристиками:

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

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

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

Розрахунок обсягу матеріальних витрат при прокладанні штучних бар'єрів і при переміщенні різних ПРП тими чи іншими маршрутами призводить до встановлення опосередкованого (ΣZ^0) збитку від лісової пожежі за умови знаходження їх точної довжини:

$$\Sigma Z^0 = f(\Sigma L^z, \Sigma L^e; \Sigma L^M; \Sigma L^{\bar{p}}). \quad (10)$$

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

$$\Sigma Z^п = f(\Sigma \Omega^{лп}; \Sigma B^{лп}). \quad (11)$$

Тоді сукупний збиток від лісової пожежі (Z^z) визначатиметься сумою прямого та опосередкованого збитків, а саме

$$Z^z = \Sigma Z^п + \Sigma Z^0, \quad (12)$$

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 пожежі.

Висновки. Результати аналізу тактичних завдань пожежно-рятувальних підрозділів при ліквідації лісової пожежі дали змогу сформулювати стратегію вибору оптимальної тактики ліквідації лісової пожежі, яка дає змогу якнайшвидше локалізувати та в подальшому загасити суцільні та поодинокі джерела вогню з найменшими матеріальними витратами.

Побудова розглянутих вище математичних моделей потребує проектування відповідних алгоритмів і вибору адекватних методів їх реалізації. Наявність цих моделей є необхідною умовою вибору оптимальної тактики ліквідації лісової пожежі, а також встановлення оптимальної кількості сил і засобів пожежогасіння, що свідчатиме про ефективність реалізації мети оптимальної стратегії пожежогасіння.

Література:

1. **Кимстач Н.Ф.** Пожарная тактика / Н.Ф. Кимстач, П.П. Девлишев, Н.М. Евтюшкин. – М. : Стройиздат, 1984. – 590 с.
2. **Абдурагимов И.М.** Проблема тушения крупных лесных пожаров (и крупномасштабных пожаров твердых горючих материалов в зданиях) / И.М. Абдурагимов // Пожарное дело. [Электронный ресурс]. – Доступный з [http://www.pozhdelo.ru/index.php?option=com_content &view=article&id](http://www.pozhdelo.ru/index.php?option=com_content&view=article&id).
3. **Fosberg, M.A.** 1990. Global change: effects on forest ecosystems and wildfire severity / M.A. Fosberg, J.G. Goldammer, D. Rind, C. Price // In: Fire in the tropical biota. Ecosystem processes and global challenges. (J.G. Goldammer, ed.), 463-486. Ecological Studies 84, SpringerVerlag. – Berlin.
4. **Офіційний сайт МНС України.** [Електронний ресурс]. – Доступний з http://www.mns.gov.ua/content/national_lecture.html
5. **Иванников В.П.** Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1987. – 288 с.
6. **Рекомендації щодо гасіння лісових та торф'яних пожеж** / М. Откідач, В. Чеповський, В. Орел та ін. – К: УкрНДІПБ, 2007. – 53 с. [Електронний ресурс]. – Доступний з http://firesafety.at.ua/_ld/0/27_recommen-dations.pdf.
7. **Абрамов Ю.А.** Маршрут движения подразделений при ликвидации наземного ландшафтного пожара / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко, О.Е. Безуглов // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков : Изд-во "Фолио". – 2011. – Вып. 30. – С. 8-15.

О.А. Смотр, Ю.И.Грыцюк

СТРАТЕГИЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ТАКТИКИ ЛИКВИДАЦИИ ЛЕСНОГО ПОЖАРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ

Рассмотрены особенности применения методологии системного анализа для выработки оптимальной тактики ликвидации лесного пожара при управлении пожарно-спасательными подразделениями. Обосновано цель оптимальной стратегии пожаротушения. Получены функциональные зависимости, которые дают возможность определить оптимальное количество сил и средств пожаротушения, необходимую для ликвидации лесного пожара с минимальным совокупным убытком от нее, что будет свидетельствовать об эффективности реализации цели управления.

Ключевые слова: лесной пожар, тактика тушения лесного пожара, оптимальная стратегии пожаро-тушения.

Smotr O.O., Grytsyuk Yu.I.

THE STRATEGY CHOICE OF OPTIMAL TACTICS OF LIQUIDATION OF FOREST FIRES IN CASE OF MANAGEMENT OF FIRE-RESCUE UNITS

The peculiarities of the methodology of system analysis for develop of optimal tactics of liquidation of forest fires in case of management of fire-rescue units are described in the article. The aim of optimal strategy of firefighting is substantiated. Functional dependence is received. It gives the opportunity to calculate optimal number and quantity firefighting means which necessary in consequence of forest fires with a minimum damage from it.

Keywords: forest fire, tactics of forest fire extinguishing, optimal strategy of firefighting.

