

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЛОКАЛІЗАЦІЙНОЇ ГРАНИЦІ ТА ЧИННИКІВ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ**

Розроблена методологія визначення границі штучних локалізаційних бар'єрів вздовж периметра лісової пожежі та вплив різних чинників на їх здійснення. Встановлено, що на швидкість розповсюдження крайки пожежі в першу чергу впливає тип лісової засухи. При максимальній лісовій засусі, у порівнянні з її мінімальним значенням, швидкість розповсюдження крайки лісової пожежі зростає до п'яти разів. Також встановлено вплив на збільшення периметра і площі лісової пожежі тривалості і кількості рейсів доставляння спеціальної важкої техніки від місця її дислокації до місця пожежі. Результати аналізу лісових пожеж в Україні дали можливість встановити середньостатистичні значення довжин існуючих природних бар'єрів і розривів крайки пожежі в частинах периметра. Отримана залежність для визначення відстані лінії локалізації до границі пожежі по нормалі до крайки пожежі і ця відстань не повинна бути меншою за 50 м.

**Ключові слова:** лісова пожежа, локалізаційна границя, локалізаційні бар'єри, крайка пожежі.

*Е.М. Hulida*

## **DETERMINATION OF THE LOCALIZATION BORDER AND FACTORS OF LOCALIZATION OF FOREST FIRE**

A methodology for determining the boundaries of artificial localization barriers along the perimeter of a forest fire and the influence of various factors on their implementation have been developed. It is established that the type of forest drought affects first of all the speed of fire edge propagation. At maximum forest drought, in comparison with its minimum value, the speed of propagation of the edge of the forest fire increases up to five times. Also, the duration and number of flights for the delivery of special heavy equipment from the site of its deployment to the site of the fire have been determined to increase the perimeter and area of the forest fire. The results of the analysis of forest fires in Ukraine made it possible to establish the average statistical values of the lengths of existing natural barriers and ruptures of the edge of the fire in fractions of the perimeter. The obtained dependence for determining the distance of the localization line to the boundary of the fire along the normal to the edge of the fire and this distance should not be less than 50 m.

**Key words:** forest fire, localization boundary, localization barriers, fire edge.

**Постановка проблеми.** На території України розташовано 10,8 млн. га лісів і торфовищ, що становить 15,6 % від усієї її площі [1]. При цьому виникає проблема лісових пожеж, яких щорічно реєструється від 3 до 7 тис., а це призводить до знищення понад 5 тис. га лісу [1]. Тому основною проблемою є своєчасне виявлення та локалізація лісових пожеж, що дає змогу значно зменшити збитки і тим самим захистити біологічне середовище країни.

Стосовно своєчасного виявлення лісової пожежі, то вже розроблено значну кількість методів і методик, які дають змогу в оперативному режимі виявляти не тільки лісові пожежі, а і степові. Наприклад, в роботі [2] розглянута система сприйняття багатофункціональних низькорівневих функцій обробки зображень, включаючи сегментацію, стабілізацію послідовностей зображень і географічну прив'язку. Вона призначена для автоматичного виявлення лісових пожеж з використанням безпілотних літальних апаратів. Аналогічна робота [3], ре-

зультати якої присвячені розробленню системи виявлення лісових пожеж, на основі бездротової сенсорної мережі. В нашій країні, наприклад, була розроблена методика виявлення лісових і степових пожеж на основі аерокосмічних досліджень в державній установі «Науковий центр аерокосмічних досліджень землі інституту геологічних наук НАН України» [4].

Питання виконання тактики локалізації лісових пожеж на сучасному етапі розкриті недостатньо. Тому в більшості випадків виникає проблема для оперативного прийняття обґрунтованого рішення керівником гасіння пожежі (КГП) для проведення тактики локалізації і відповідно гасіння лісової пожежі.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Основним чинником, який впливає на процес успішного виконання тактики локалізації і гасіння лісової пожежі, є визначення загальної довжини крайки пожежі. В роботі [5] наведена методологія визначення загальної довжини крайки лісової пожежі  $L_{л.н}$

$$L_{л.н} = \left( \bigcup_{i=1}^I L_{E^i} \right) \cup \left( \bigcup_{j=1}^J L_{A_j} \right) \cup \left( \bigcup_{q=1}^Q L_{Dq} \right) \cup \left( \bigcup_{g=1}^G L_{\tilde{A}g} \right), \quad (1)$$

де  $\bigcup_{i=1}^I L_{E^i}$  – довжина штучних локалізаційних бар'єрів при їх загальній кількості  $I$ ;

$\bigcup_{j=1}^J L_{A_j}$  – довжина існуючих бар'єрів природного походження при їх загальній кількості  $J$ ;

$\bigcup_{q=1}^Q L_{Dq}$  – довжина існуючих розривів крайки пожежі при їх загальній кількості  $Q$ ;

$\bigcup_{g=1}^G L_{\tilde{A}g}$  – довжина крайки лісової пожежі без урахування локалізаційних бар'єрів та розривів

крайки пожежі при загальній кількості цих ділянок  $G$ .

Аналізуючи залежність (1) можна констатувати, що для визначення довжини крайки лісової пожежі необхідно мати топографічну схему території лісової пожежі. На час виникнення лісової пожежі таку схему отримати практично неможливо. На цей час можливо тільки отримати орієнтовну площу лісової пожежі  $S_0$ .

В роботі [6] розглянуто визначення прогнозованої довжини крайки лісової пожежі  $L_{л.н}$  залежною від площі пожежі  $S_0$

$$L_{л.н} = P = 500\sqrt{S_0} + 3,3V_{кр} \cdot \Delta\tau, \quad \text{м} \quad (2)$$

де  $P$  – периметр пожежі, м;  $S_0$  – початкова площа пожежі, га;  $V_{кр}$  – швидкість розповсюдження крайки лісової пожежі, м/год;  $\Delta\tau$  – час розповсюдження пожежі після виявлення початкової площі пожежі  $S_0$ , год.

У роботі [7] розглянуто не лише виявлення, а і процес керування локалізацією лісових пожеж за допомогою бездротових сенсорних мереж. Автори роботи [8] розглянули вибір оптимальної тактики гасіння пожежі з точки зору розв'язку задачі оптимального розміщення бойових одиниць вздовж контура пожежі з визначенням їх початкового місця на контурі. Було також встановлено, що тактика гасіння полягає в одночасному оточенні контура пожежі з переважним зосередженням сил на ділянках з більш швидким розповсюдженням крайки.

Результати аналізу публікацій показали, що зовсім не розглядалися питання розміщення локалізаційних бар'єрів відносно крайки пожежі, не враховувався час доставки до місця пожежі пожежної техніки і техніки для виконання робіт, які пов'язані з локалізацією, та не визначалася лінійна швидкість здійснення штучних локалізаційних бар'єрів. Тому була поставлена мета роботи розглянути питання, які пов'язані з існуючою проблемою.

**Мета роботи.** Розробити метод визначення оптимальної відстані розміщення локалізаційних штучних бар'єрів від крайки пожежі та лінійної швидкості їх здійснення.

**Постановка задачі та її розв'язання.** Для реалізації поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Розробити метод визначення загальної довжини природних локалізаційних бар'єрів і розривів крайки пожежі в долях периметра пожежі.
2. Визначити кількість одиниць техніки для здійснення штучних локалізаційних бар'єрів та час її слідування до місця виникнення пожежі.
3. Визначити час і лінійну швидкість здійснення штучних локалізаційних бар'єрів та відстань їх розміщення від крайки пожежі.

**На першому етапі** визначаємо загальну найбільш імовірну довжину природних локалізаційних бар'єрів і розривів крайки пожежі в долях периметра пожежі для лісів України. Для розв'язання поставленої задачі скористаємося даними лісових пожеж, які виникали в різних областях України протягом останніх років [9]. Аналіз площі цих пожеж дав можливість визначити середньостатистичне значення довжини існуючих природних бар'єрів і розривів крайки пожежі в долях периметра з використанням залежностей для:

- 1) існуючих природних бар'єрів

$$\varepsilon = \frac{L_B}{P}, \quad (3)$$

де  $L_B$  – загальна довжина існуючих природних бар'єрів для однієї площі пожежі, м;

- 2) розривів крайки пожежі

$$\rho = \frac{L_P}{P}, \quad (4)$$

де  $L_P$  – загальна довжина розривів крайки для однієї площі пожежі, м.

Результати аналізу 25 площ лісових пожеж дали можливість отримати середньостатистичні значення  $\varepsilon = 0,15$  і  $\rho = 0,06$ . Отримані значення  $\varepsilon$  і  $\rho$  можуть бути прийняті за основу пожежно-рятувальними підрозділами в процесі ліквідації лісової пожежі при визначенні загальної довжини штучних локалізаційних бар'єрів.

**На другому етапі** визначаємо кількість одиниць техніки для здійснення штучних локалізаційних бар'єрів та час її слідування до місця виникнення пожежі. Для цього спочатку визначаємо швидкість крайки пожежі  $V_0$  залежно від типу лісової пожежної засухи  $T$  за залежністю

$$V_0 = (0,1688 \ln T - 0,6048)0,06, \text{ км/год} \quad (5)$$

де  $T = 100 \dots 4000$  – тип лісової засухи (мінімальне значення приймають за відсутності засухи) [3].

Після цього визначаємо дійсну швидкість крайки пожежі  $V_{кр}$  за залежністю

$$V_{кр} = V_0 K_\varphi K_\rho K_\omega, \text{ км/год} \quad (6)$$

де  $K_\varphi$  – коефіцієнт, який враховує ухил поверхні місцевості, град;  $\varphi = -20^\circ \dots 35^\circ$ ; (-) – спуск від фронту пожежі; (+) – підйом; значення  $K_\varphi$  можна визначити за залежністю  $K_\varphi = 1,1235 e^{0,043\varphi}$ ;  $K_\rho$  – коефіцієнт, який враховує відносну вологість повітря  $\rho_n$ , %; значення  $K_\rho$  можна визначити за залежністю  $K_\rho = 2,5131 e^{-0,022\rho_n}$ ;  $K_\omega$  – коефіцієнт, який враховує швидкість вітру  $\omega_m$  за даними метеостанції, м/с; значення  $K_\omega$  можна визначити за залежністю  $K_\omega = 0,9893 e^{0,4843\omega}$ , де  $\omega = \omega_m(0,4522\Pi_\delta^2 - 1,214\Pi_\delta + 0,7987)$ ;  $\Pi_\delta = 0 \dots 1$  – повнота деревостою (при  $\Pi_\delta = 0$  значення  $\omega$  буде мати максимальне значення, тобто це значення буде наближатися до значення  $\omega_m$  і повнота деревостою в цьому випадку буде дуже малою).

Наступним кроком визначаємо периметричну швидкість  $V_{\Pi}$  розповсюдження пожежі за залежністю

$$V_{\Pi} = 2\pi V_{кр}, \text{ км/год.} \quad (7)$$

Виходячи із відстані  $L$  в км від місця розташування пожежної техніки та важкої техніки для виконання локалізаційних робіт до місця пожежі, визначаємо час слідування  $\tau_p$  для одного рейсу

$$\tau_p = 2 \frac{Lk_{kp}}{V_a} + \tau_{\theta-p}, \text{ год} \quad (8)$$

де  $k_{kp} = 1,4$  – коефіцієнт, який враховує кривину дороги;  $V_a = 10 \dots 20$  км/год – швидкість автотранспорту для перевезення до місця пожежі важкої техніки;  $\tau_{\theta-p}$  – час на вантажно-розвантажувальні роботи, год [4].

Після розрахунку  $\tau_p$  переходимо до визначення необхідної кількості рейсів  $n_p$  для доставлення важкої техніки до місця пожежі

$$n_p = \frac{mk_T}{q}, \quad (9)$$

де  $m$  – маса технічних засобів важкої та іншої техніки, потрібних для швидкого переміщення автотранспортними засобами, т;  $k_T$  – коефіцієнтом транспортабельності (при розрахунках приймають  $k_T = 1,2$ );  $q$  – вантажопідйомність автотранспортного засобу, т; визначену кількість рейсів  $n_p$  заокруглюють до цілого числа в більшу сторону.

Необхідно враховувати, що лісопожежні автоцистерни АЦЛ-147 або АЦ-30(66)-146, або АРС-14 доїжджають до місця пожежі своїм ходом.

**На третьому етапі** визначаємо час і лінійну швидкість здійснення штучних локалізаційних бар'єрів та їх відстань розміщення від крайки пожежі. Першим кроком для розв'язання поставленої задачі є визначення часу  $\Delta\tau$  розповсюдження пожежі після виявлення початкової площі пожежі, значення якого входить у залежність (2)

$$\Delta\tau = \tau_p n_p, \text{ год.} \quad (10)$$

Наступним кроком є визначення прогнозованого периметра лісової пожежі  $P$  з урахуванням початкової площі пожежі  $S_0$

$$P = 500\sqrt{S_0} + 3,3 \cdot 10^3 V_{kp} \cdot \Delta\tau, \text{ м} \quad (11)$$

де  $S_0$  – початкова площа пожежі, га;  $V_{kp}$  – швидкість розповсюдження крайки лісової пожежі, км/год.

На підставі залежності (11) визначаємо прогнозоване значення периметра  $P^*$ , який дає змогу здійснювати локалізаційний штучний бар'єр

$$P^* = P[1 - (\varepsilon + \rho)] - L_{л.н}, \text{ м} \quad (12)$$

де  $L_{л.н}$  – довжина локалізаційного периметра, яка недоступна для наземної техніки, м.

На підставі отриманих даних визначаємо час  $\tau_{\theta,2}$  вільного горіння вздовж периметра

$$\tau_{\theta,2} = \frac{10^3 P^*}{V_{\Pi}}, \text{ год} \quad (13)$$

де  $V_{\Pi}$  – периметричну швидкість розповсюдження пожежі, км/год.

На наступному кроці керівник гасіння пожежі за даними розвідки приймає рішення про тривалість часу  $\tau_l$  здійснення штучних локалізаційних бар'єрів. Тривалість часу  $\tau_l$  приймають в межах 4...8 год.

На підставі значення  $\tau_l$  визначаємо ефективну швидкість  $V_{л.еф}$  здійснення штучних локалізаційних бар'єрів

$$V_{л.еф} = \frac{V_{\Pi}}{\ln\left(\frac{\tau_{\theta,2} + \tau_l}{\tau_{\theta,2}}\right)}, \text{ км/год.} \quad (14)$$

На наступному кроці визначаємо середнє значення ефективної швидкості  $V_{m.eф}$  виготовлення штучного локалізаційного бар'єра однією одиницею важкої техніки

$$V_{m.eф} = \sqrt{V_l^2 - V_{кр}^2}, \text{ км/год} \quad (15)$$

де  $V_l$  – швидкість виготовлення штучного локалізаційного бар'єра вздовж периметру лісової пожежі, км/год (значення  $V_l$  для найбільш поширеної в лігоспах країни техніки при крутості схилу  $10^\circ \dots 12^\circ$  становить  $0,2 \dots 0,3$  км/год).

На підставі значень швидкостей визначаємо потрібне число одиниць  $n_T$  техніки

$$n_T = \frac{V_{л.еф}}{V_{m.eф}}. \quad (16)$$

Отримане значення  $n_T$  заокруглюють до більшого цілого числа. На завершення визначаємо відстань  $R_\phi$  на початок виконання локалізаційних робіт від крайки лісової пожежі до границі виготовлення штучних локалізаційних бар'єрів, тобто  $R_\phi$  це відстань лінії локалізації до границі пожежі по нормалі до крайки пожежі

$$R_\phi = V_{кр} \frac{P^*}{V_{m.eф}}. \quad (17)$$

Визначене значення  $R_\phi$  має бути, згідно з рекомендаціями [3], не меншим за 50 м. При виконанні локалізаційних робіт керівнику гасіння пожежі необхідно всі дії проводити згідно із Статутом дій у надзвичайних ситуаціях [10].

### Висновки

1. Розроблена методологія визначення локалізаційної границі та чинників процесу локалізації лісової пожежі для умов невизначеності, в якій може опинитися керівник гасіння лісової пожежі.
2. Отримані залежності, які наведені в методології, дали можливість встановити, що на швидкість розповсюдження крайки пожежі в першу чергу впливає тип лісової засухи. При максимальній лісовій засусі, у порівнянні з її мінімальним значенням, швидкість розповсюдження крайки лісової пожежі зростає до п'яти разів.
3. Результати аналізу лісових пожеж в Україні дали можливість встановити середньостатистичні значення довжин існуючих природних бар'єрів і розривів крайки пожежі в долях периметра. Отримані значення в долях периметра лісової пожежі для природних бар'єрів  $\varepsilon = 0,15$  і розривів крайки пожежі  $\rho = 0,06$  можуть бути прийняті за основу пожежно-рятувальними підрозділами в процесі ліквідації лісової пожежі при визначенні загальної довжини штучних локалізаційних бар'єрів.
4. Отримана залежність для визначення відстані лінії локалізації до границі пожежі по нормалі до крайки пожежі і ця відстань не може бути меншою, ніж 50 м.

### Список літератури:

1. Загальна характеристика лісів України // Офіційний сайт науково-інформаційного центру лісоуправління // [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.fmssc.com.ua/index.php>.
2. A cooperative perception system for multiple UAVs: Application to automatic detection of forest fire. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rob.20108/full>.
3. Forest fire detection system based on wireless sensor network. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5138260/?reload=true>.
4. Виявлення лісових та степових пожеж, методика вирішення тематичної задачі // [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://casre.kiev.ua/uk/achievements/technologies/138>.
5. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров. – М.: ФСЛХ РФ, 1995. – 102 с.
6. Ласута Г.Ф. Организация и тактика тушения лесных и торфяных пожаров / Г.Ф. Ласута, А.В. Врублевский, А.Д. Булва. – Минск: РЦСиЭ МЧС, 2011. – 287 с.

7. Forest Fire Detection and Localization with Wireless Sensor Networks. [Електронний ресурс] / Режим доступу: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-40148-0\\_32](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-40148-0_32).
8. Абрамов Ю. А. Формулировка задачи оптимизации параметров управленческих решений для ликвидации ландшафтного пожара / Ю. А. Абрамов, А. А. Тарасенко // Проблемы пожарной безопасности. – 2006. – Вып. 20. – С. 207-209.
9. Узагальнена інформація за даними Державного комітету статистики України [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua>.
10. Наказ МНС України від 13.03.2012 року №575 «Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту».

#### References:

1. General characteristics of forests Ukraine // Official site of Research and Information Center Forest Management // [Electronic resource]. Access mode: <http://www.fmsc.com.ua/index.php>.
2. A cooperative perception system for multiple UAVs: Application to automatic detection of forest fire. [Electronic resource]. Access mode: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rob.20108/full>.
3. Forest fire detection system based on wireless sensor network. [Electronic resource]. Access mode: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5138260/?reload=true>.
4. Detection of forest and steppe fires, solving methodology thematic problem // [Electronic resource] / Access: <http://www.casre.kiev.ua/uk/achievements/technologies/138>.
5. Guidelines for the detection and extinguishing of forest fires. – Moscow: FFLH of the Russian Federation, 1995. – 102 p.
6. Lasuta G.F. Organization and tactics of extinguishing forest and peat fires / G.F. Lasuta, A.V. Vrublevsky, A.D. Bulva. – Minsk: RCS & E of the Ministry of Emergency Measures, 2011. – 287 p.
7. Forest Fire Detection and Localization with Wireless Sensor Networks. [Electronic resource]. Access mode: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-40148-0\\_32](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-40148-0_32).
8. Abramov Yu.A. Formulating the task of optimizing the parameters of management decisions for the elimination of landscape fires / Yu.A. Abramov, A.A. Tarasenko // Problems of fire safety. – 2006. – Vol. 20. – P. 207-209.
9. Summarized information according to the State Statistics Committee of Ukraine [Electronic resource] / Access: <http://ukrstat.gov.ua>.
10. Order of the Ministry of Ukraine of 13.03.2012 year №575 «On approval of the emergency management and departments Operational Rescue Service of Civil Protection.»

