

*Р.Г. Мелешенко, к.т.н., ст. викладач, НУЦЗУ,
В.К. Мунтян, к.т.н., доцент, зав. каф., НУЦЗУ,
О.А. Тарасенко, д.т.н., с.н.с., пров. наук. співр., НУЦЗУ*

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ПОЖЕЖНИХ ЛІТАКІВ АН-32П ПРИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПРИРОДНОЇ ПОЖЕЖІ

На основі розв'язку задачі відшукування оптимальної висоти скиду води з літака Ан-32П, що максимізує швидкість створення локалізаційного бар'єру сумісними зусиллями наземних та авіаційних сил, отримано номограми, які дозволяють пілоту і штурману літака обрати оптимальну висоту і дистанцію між скидами, а також обчислити швидкість локалізації і необхідну кількість літако-вилетів в залежності від інтенсивності пожежі і продуктивності наземних сил пожежогасіння.

Ключові слова: пожежний літак Ан-32П, локалізаційний бар'єр, номограма, практичні рекомендації, природна пожежа.

Постановка проблеми. На озброєнні ДСНС України знаходяться пожежні літаки Ан-32П, які неодноразово застосовувалися для боротьби з природними пожежами, як на території України, так і за кордоном.

Конструкційні особливості системи скидання води літака Ан-32П призводять до утворення порівняно невеликих водяних плям, а недостатня прицільність разом з впливом випадкових чинників не гарантують можливості формування неперервного протипожежного бар'єра (НПБ) серією послідовних скидань.

Для розрахунку сил і засобів для ліквідації природної пожежі керівник гасіння повинен оперувати значенням швидкості (продуктивності) створення НПБ (швидкості локалізації пожежі). В той же час, вказана швидкість залежить від інтенсивності пожежі, продуктивності наземних бойових одиниць, а також від параметрів, що пов'язані з застосуванням пожежного літака – прицільності скидань, характеру розподілу шару води в межах окремої водяної плями, величини розривів між плямами. Останні фактори залежать від параметрів скидання води з пожежного літака, а саме – від висоти скидання і дистанції між послідовними точками прицілювання.

До цього часу відсутні як теоретичні, так і експериментальні дослідження з оцінки впливу вказаних параметрів на швидкість локалізації природної пожежі за допомогою авіації (при заданій продуктивності наземних сил).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] запропоновано процедуру пошуку оптимальної відстані d між скидами води з літака Ан-32П з метою максимізації швидкості створення локалізаційної

полоси сумісними зусиллями наземних і авіаційних сил пожежогасіння. При цьому отримано залежності максимальної швидкості V_{loc}^M від двох параметрів – необхідної товщини δ^* шару води в межах окремої водяної плями і висоти H скидання води з літака при фіксованих значеннях часового інтервалу між скидами води (15 хв.) і для набору значень продуктивності V_g наземних сил пожежогасіння ($V_g = 1, 2 \dots 8 \text{ м} \cdot \text{хв}^{-1}$).

В той же час, необхідна для зупинки вогню товщина δ^* шару води не може розглядатися як незалежна змінна, оскільки її значення лімітується інтенсивністю тепловиділення крайки природної пожежі.

Таким чином, знаходження максимальної швидкості зводиться до відшукування оптимальної висоти скидання (при знайденій раніше оптимальній дистанції) для відомої інтенсивності тепловиділення.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є розробка практичних рекомендацій, що дозволяють пілоту і штурману літака обрати оптимальну висоту і дистанцію між скидами, а також обчислити швидкість локалізації і необхідну кількість літако-випусків в залежності від інтенсивності пожежі і продуктивності наземних сил пожежогасіння.

Необхідна для стримування пожежі товщина шару води δ^* визначається через питому масу m РГМ (рис. 1) інтенсивністю пожежі I (рис. 2) [2].

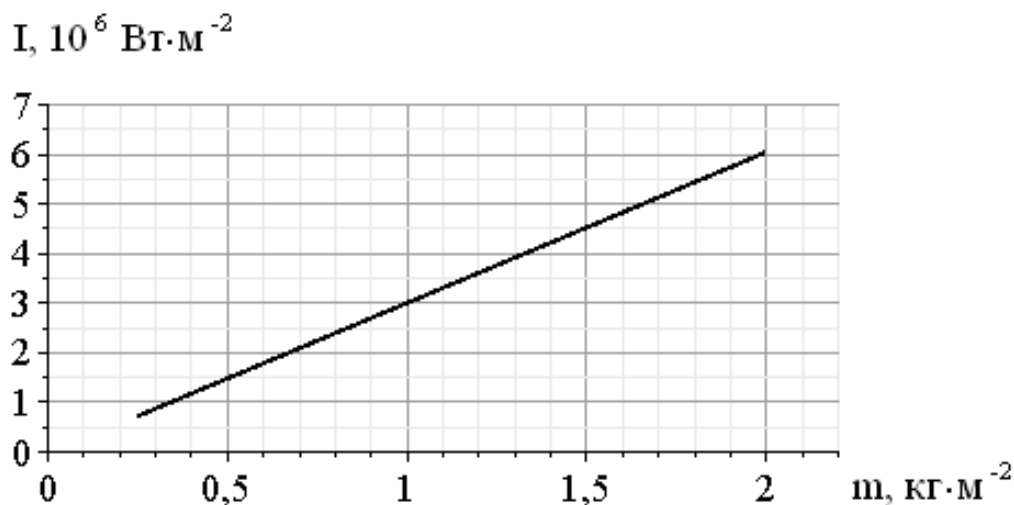


Рис. 1. Графік залежності інтенсивності горіння I від питомої маси горючої речовини m

Таким чином, дану величину при локалізації конкретної ділянки пожежі можна вважати фіксованою.

Тому перед штурманом, що здійснює скидання води, постає питання про вибір такого оптимального значення висоти скидання, залежного від наперед заданого значення товщини шару води, яке забезпечить найбільшу швидкість створення локалізаційної смуги спільно з наземними силами, що характеризується відомою продуктивністю.



Рис. 2. Графік залежності товщини необхідного шару води δ^* від інтенсивності горіння I і виду горючого матеріалу: 1 – чгарник; 2 – трава

Формалізація даної задачі може бути виражена у вигляді

$$H^*(\delta^*) = \arg(V_{loc}^m(H, \delta^*) \rightarrow \max). \quad (1)$$

Задача (1) зводиться до знаходження невідомої лінії екстремуму $H^* = H(\delta^*)$.

Розв'язання даної задачі може бути здійснене при аналізі рис. 3, де видно, що на поверхні $V_{loc}^m(H, \delta^*)$ простежується наявність «гребеня» (вздовж лінії 1 на рис. 3), прямування вздовж якого забезпечує максимум швидкості локалізації (при фіксованому значенні δ^*).

Для знаходження залежності $H^*(\delta^*)$ на першому етапі проведено інтерполяцію тривимірного масиву $[H_k; \delta_q^*; V_{lockq}^m]$ (при $V_g = 2 \text{ м} \cdot \text{хв}^{-1}$), отриманого в [1], у вигляді усюди аналітичної бікубічної сплайн-поверхні Кунса [3]

$$V_{loc}^m(H, \delta^*) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{q=0}^{Q-1} Z_{kq}(H, \delta^*) (\eta(H - H_k) - \eta(H - H_{k+1})) (\eta(\delta^* - \delta_q^*) - \eta(\delta^* - \delta_{q+1}^*)), \quad (2)$$

де $K = 30$; $Q = 10$; $Z_{kq}(H, \delta^*) = \sum_{u=0}^3 \sum_{v=0}^3 a_{uv}^{kq} (H - H_k)^v (\delta^* - \delta_q^*)^u$ – елементарний бікубічний сплайн, який описує шукану поверхню всередині kq -ої комірки; $\eta(x)$ – функція Хевісайда. При цьому коефіцієнти a_{uv}^{kq} від-

шуковують з умови гладкого зшивання всіх сусідніх сплайнів на підставі значень масиву $[H_k; \delta_q^*; V_{loc kq}^m]$ згідно [4].

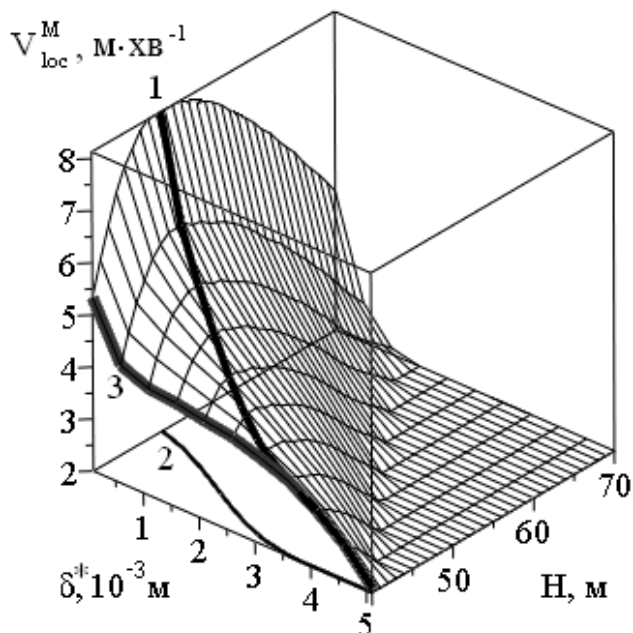


Рис. 3. Графік функції $V_{loc}^M(H, \delta^*)$ при $V_g = 2 \text{ м} \cdot \text{хв}^{-1}$: 1 – лінія $V_{loc}^*(H^*(\delta^*))$; 2 – лінія $H^*(\delta^*)$; 3 – лінія $V_{loc}^M(H, \delta^*)|_{H=40\text{м}}$

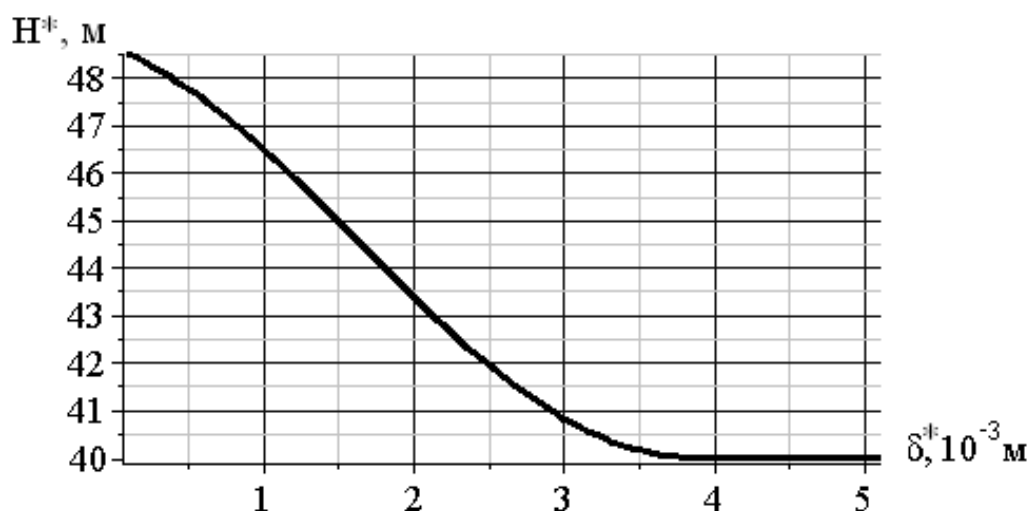
На другому етапі для отриманої поверхні $V_{loc}^M(H, \delta^*)$ було знайдено множину розв’язків H_i^* рівняння

$$\frac{\partial V_{loc}^M(H, \delta^*)}{\partial H} = 0 \tag{3}$$

за фіксованих значень δ_i^* (із кроком 10^{-4} м) (тобто знайдено екстремуми множини одновимірних функцій $V_{loc}^m(H, \delta_i^*)$ на інтервалі $H \in [40\text{м}; 70\text{м}]$), що дозволило отримати тривимірний масив $[\delta_i^*; H_i^*; V_{loc}^m(\delta_i^*; H_i^*)]_{i=1..I}$ ($I=52$ при $\delta^* = 10^{-4} \div 5.1 \cdot 10^{-3}$ м).

На третьому етапі було здійснено МНК-апроксимацію двовимірного масиву $[\delta_i^*; H_i^*]_{i=1..I}$ у вигляді кусково-безперервної функції $H^*(\delta^*)$ (рис. 3.12)

$$H^*(\delta^*) = \begin{cases} 4,5 \cos(0,71\delta^* + 0,4) + 44,5, & \delta^* < 3,86; \\ 40, & \delta^* \geq 3,86. \end{cases} \tag{4}$$

Рис. 4. Графік функції $H^*(\delta^*)$

Вид даної функції практично однаковий за різних значень V_g (здійснено перевірку при $V_g = 1, 2, \dots, 8 \text{ м} \cdot \text{хв}^{-1}$); несуттєві відмінності можуть пояснюватись особливостями інтерполяції), тобто залежність (4) є універсальною характеристикою для літака Ан-32П.

Підстановка (4) в (2) дозволяє знайти максимальне значення швидкості локалізації залежно від товщини шару δ^* , яке позначимо як $V_{\text{loc}}^*(H^*(\delta^*))$ (див. рис. 3).

З аналізу рис. 4 випливає, що для досягнення максимальної швидкості локалізації пожежі спільними зусиллями наземних і авіаційних сил необхідно здійснювати скидання з мінімально допустимої висоти 40 м лише в разі необхідності створення перезволоженої смуги з товщиною шару більше 3,8 мм. В іншому випадку оптимальна висота скидання збільшується аж до 49 м (при $\delta^* = 0,1$ мм).

Існуюче у практиці пожежогасіння уявлення про те, що з метою зменшення втрат води скидання слід здійснювати з мінімально можливої висоти виявляється справедливим лише для високоінтенсивних пожеж – таких, де потрібне створення шару води, що перевищує 3,8 мм.

Зниження висоти скидання до мінімально можливої приводить до утворення більш компактної водяної плями, але призводить до зниження швидкості створення локалізаційної смуги.

Тому для локалізації природних пожеж необхідно використовувати тактичний прийом, що полягає у здійсненні скидань з оптимальної висоти $H^*(\delta^*)$. У цьому випадку досягається виграш відразу за кількома параметрами – тим самим відбувається підвищення швидкості створення НПБ.

Оскільки лінія $H = H^*(\delta^*)$ (4) забезпечує максимізацію швидкості локалізації, то вона ж дозволяє знайти оптимальну дистанцію між скидан-

нями $d^*(\delta^*)$ шляхом підстановки її рівняння (4) у сплайн-інтерполяцію $d^m(H, \delta^*)$, знайдену в [1]. Аналогічно можуть бути визначені мінімальний час локалізації $T^*(\delta^*)$ і відповідне число скидань води $n^*(\delta^*)$.

Здійснюючи графічні побудови, подібні до тих, які наведені для $V_{loc}^*(H^*(\delta^*))$, і варіюючи значення V_g (прийнято в діапазоні $1 \dots 8 \text{ м} \cdot \text{хв}^{-1}$), отримано номограми, що дозволяють визначити оптимальну відстань між точками прицілювання (рис. 5), а також час локалізації та кількість скидань за різних значень продуктивності наземних сил (рис. 6, 7) на ділянці завдовжки $L = 1 \text{ км}$ пожежі.

Саме ж максимальне значення швидкості проведення локалізації при цьому може бути визначене за рис. 8.

На рис. 5-8 кожній лінії відповідає значення V_g (в $\text{м} \cdot \text{хв}^{-1}$), що дорівнює порядковому номеру лінії (наведено праворуч на кожній номограмі).

Наведені номограми отримано при обмеженнях для $t_c = 15 \text{ хв.}$, $d = 2 \dots 130 \text{ м}$ і $V_g = 1 \dots 8 \text{ м} \cdot \text{хв}^{-1}$.

Як приклад розглянемо випадок створення локалізаційної смуги з необхідною товщиною шару води $\delta^* = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ при $V_g = 4 \text{ м} \cdot \text{хв}^{-1}$ і $t_c = 15 \text{ хв.}$

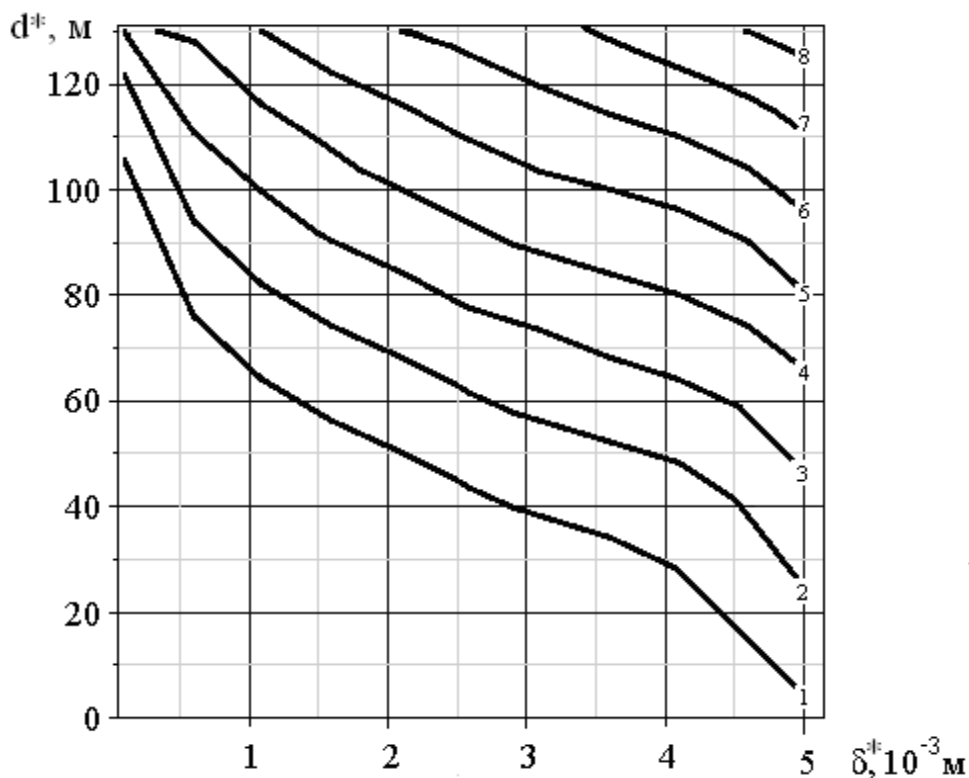


Рис. 5. Номограма для визначення оптимальної дистанції між точками прицілювання $d^*(\delta^*)$

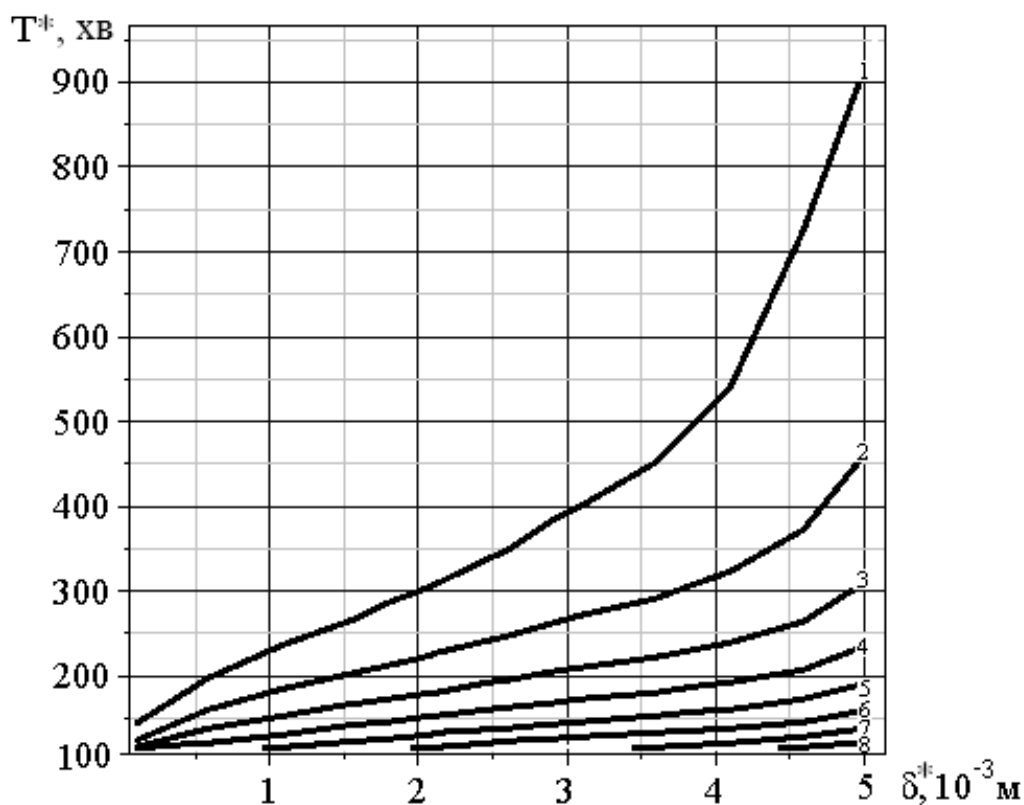


Рис. 6. Номограма для визначення часу локалізації T^* (δ^*)

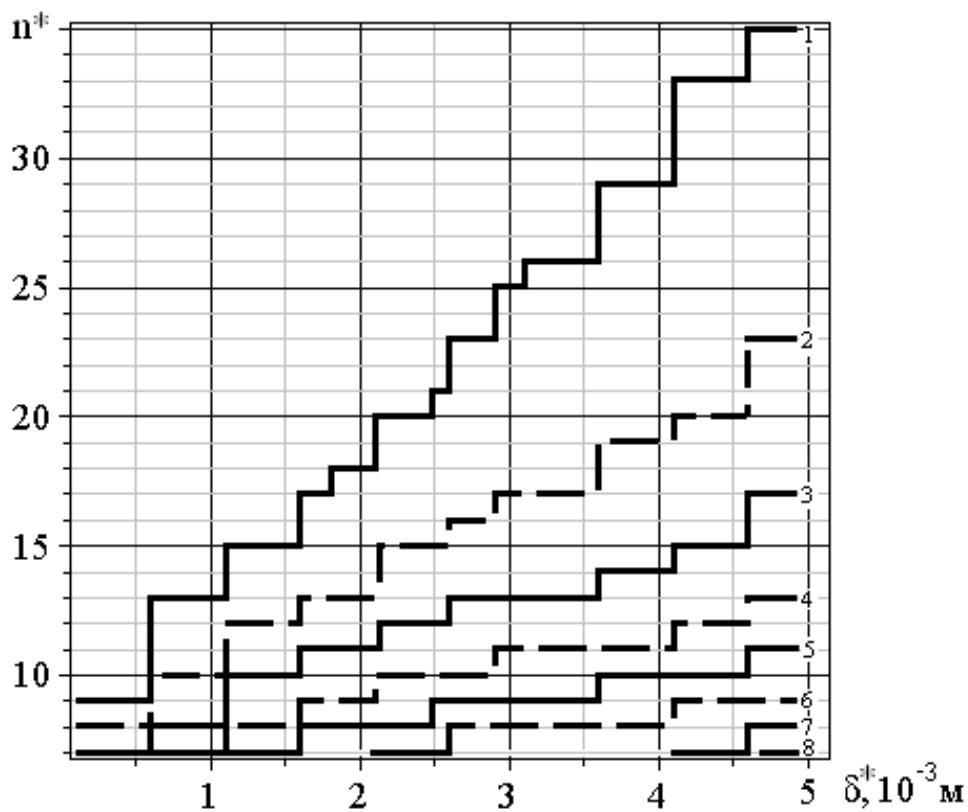


Рис. 7. Номограма для визначення кількості скидань n^* (δ^*)

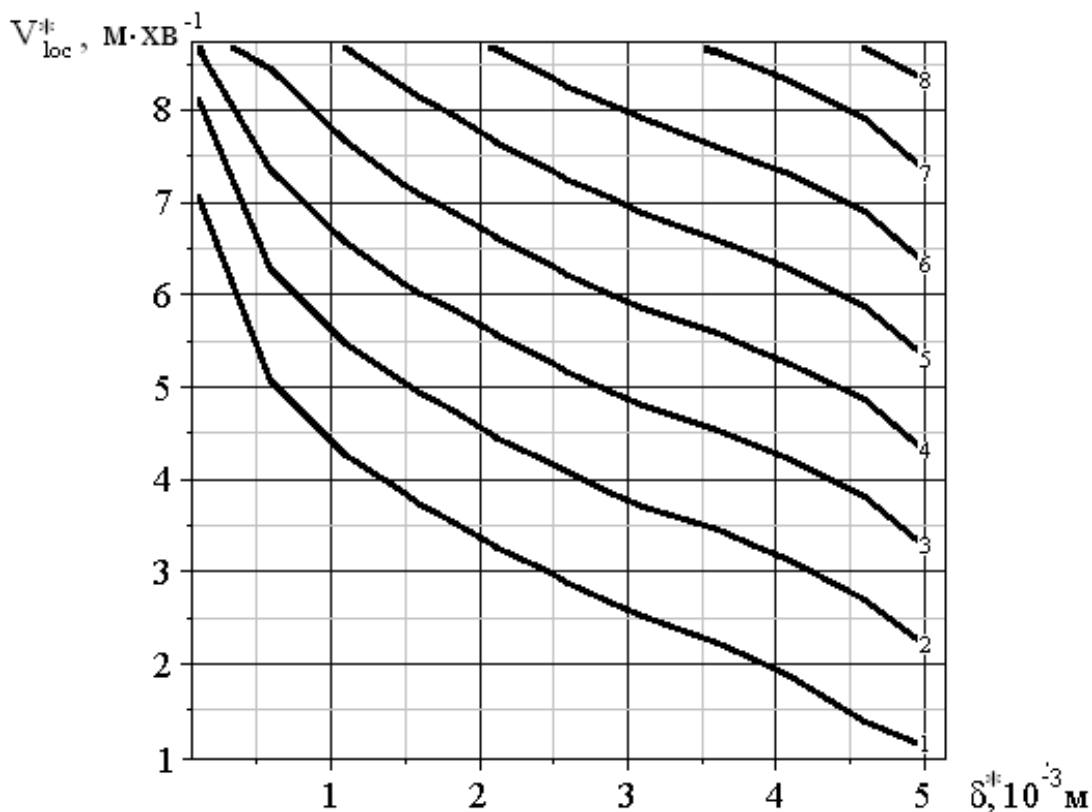


Рис. 8. Номограма для визначення швидкості прокладання локалізаційної смуги $V_{loc}^*(\delta^*)$

За рис. 4 визначається оптимальна висота скидання – $H^* = 43 - 44 \text{ м}$ (точність висотоміра – 2 м); за рис. 5 знаходимо оптимальну дистанцію між точками прицілювання $d^* \approx 100 \text{ м}$; за рис. 8 визначається швидкість створення смуги спільними зусиллями авіаційних і наземних сил $V_{loc}^* = 6,7 \text{ м} \cdot \text{хв}^{-1}$. Час на локалізацію одного кілометра пожежі обчислюють за рис. 6 – $T^* = 150 \text{ хв}$. Кількість скидань води розраховується за рис. 7 – $n^* = 9 - 10$ (через грубу дискретизацію за товщиною шару величина n^* може визначатися за сусіднім значенням).

Якби створення протипожежного бар'єра здійснювалося лише наземними силами, дану ділянку було б локалізовано за 250 хв.

Таким чином, застосування наведених рекомендацій сприяє підвищенню ефективності проведення оперативних протипожежних заходів.

Висновки. Отримано практичні рекомендації (у вигляді номограм) для пілота і штурмана літака Ан-32П, що дозволяють знайти оптимальні параметри скидань води з літака з метою максимізації швидкості створення локалізаційного бар'єру при боротьби з природними пожежами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мелешенко Р.Г. Моделирование скорости создания противопожарного барьера при взаимодействии наземных и авиационных сил пожаротушения / Р.Г. Мелешенко, В.К. Мунтян // Проблемы пожарной безопасности. Вып. 36.-Харьков: НУГЗУ, 2014. -С.155-164.

2. Модин В.И. Методика расчета основных параметров противопожарных полос, создаваемых антипиренами // Лесные пожары и борьба с ними: Сб. науч. тр.; ЛенНИИЛХ, 1989. – С. 93-99.

3. Алберг Дж. Теория сплайнов и ее приложения / Дж. Алберг, Э. Нильсон, Дж. Уолш – М.: Мир, 1972. – 316 с.

4. Абрамов Ю.А. Моделирование пожаров, их обнаружения, локализации и тушения. Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, А.А. Тарасенко – Харьков: НУГЗУ, 2011. – 927 с.

Р.Г. Мелешенко, В.К. Мунтян, А.А. Тарасенко

Практические рекомендации по применению пожарных самолетов Ан-32П при локализации природных пожаров

На основании решения задачи поиска оптимальной высоты сброса воды с самолета Ан-32П, максимизирующей скорость создания локализационного барьера совместными усилиями наземных и авиационных сил, получены номограммы, которые позволяют пилоту и штурману самолета выбрать оптимальную высоту и дистанцию между сбросами, а также вычислить скорость локализации и необходимое количество самолето-вылетов в зависимости от интенсивности пожара и продуктивности наземных сил пожаротушения.

Ключевые слова: пожарный самолет Ан-32П, локализационный барьер, номограмма, практические рекомендации, природный пожар.

R.G. Meleschenko, V.K. Muntyan, A.A. Tarasenko

Practical recommendations about using firefighter planes An-32P for wildfire localization

On the basis of solving the problem of finding an optimal height of the discharge of water from a plane An-32P, maximizing the speed of creating localization barrier joint efforts of ground and air forces, received a nomograms, that allows pilots and navigators of the aircraft to choose the optimal height and distance between faults, as well as calculate the rate of localization and the required number of sorties, depending on the intensity of the fire and fire-fighting efficiency of ground forces.

Keywords: Firefighter plane An-32P, localization barrier, nomogram, practical recommendations, wildfires.