

МОДЕЛЮВАННЯ ТАКТИКИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ТА ГАСІННЯ ПОЖЕЖ НА ВІДКРИТИХ СКЛАДАХ ЛІСОМАТЕРІАЛІВ

Розроблена математична модель для оптимізації вибору тактики локалізації та гасіння пожеж на відкритих складах лісоматеріалів деревообробних підприємств. Модель включає всі необхідні залежності для встановлення оптимального часу локалізації і гасіння пожежі з урахуванням впливу швидкості та напрямку дії вітру, що призводить до зміни швидкості розповсюдження полум'я пожежі. Крім цього, математична модель дає можливість обґрунтовано визначити оптимальний варіант тактики і тривалості локалізації і гасіння пожежі з необхідною для цього кількістю сил і засобів та необхідними для ліквідації пожежі газодимозахисним спорядженням і термозахисним одягом. Наукова новизна полягає в тому, що вперше за допомогою оптимізаційної математичної моделі розглядаються та обґрунтовуються основні положення тактичних дій системи пожежогасіння на відкритих складах лісоматеріалів деревообробних підприємств.

Ключові слова: математична модель, тактика локалізації і гасіння пожежі, пожежний ствол, тепла радіація.

А.М. Коваль

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАКТИКИ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОТКРЫТЫХ СКЛАДАХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Разработана математическая модель для оптимизации выбора тактики локализации и тушения пожаров на открытых складах лесоматериалов деревообрабатывающих предприятий. Модель включает все необходимые зависимости для установления оптимального времени локализации и тушения пожара с учетом влияния скорости и направления действия ветра, что приводит к изменению скорости распространения пламени пожара. Кроме этого, математическая модель позволяет обоснованно определять оптимальный вариант тактики и продолжительности локализации и тушения пожара с необходимым при этом количеством сил и средств, а также необходимым газодимозащитным снаряжением и термозащитной одеждой. Научная новизна заключается в том, что впервые с помощью оптимизационной математической модели рассматриваются и обосновываются основные положения тактических действий системы пожаротушения на открытых складах лесоматериалов деревообрабатывающих предприятий.

Ключевые слова: математическая модель, тактика локализации и тушения пожара, пожарный ствол, тепловая радиация.

О.М. Koval

SIMULATION OF FIRECONTAINMENT AND EXTINGUISHING STRATEGY AT THE OPEN TIMBER STORAGE

A mathematical model for optimizing the choice of fire containment and extinguishing strategy at the open timber storage has been developed. The model includes all the dependencies to determine the optimal time to contain and extinguish the fire and the influence of the speed and direction of wind, which leads to a change in the rate of flame spread. In addition, the mathematical model can reasonably determine the best option so-tics and duration of fire containment and extinguishing with the necessary amount of forces and means, as well as the necessary protective equipment and thermal protective clothing. Scientific novelty lies in the fact that the mathematical model has been used for the first time to analyze and explain the main techniques of fire containment and extinguishing at the open timber storages.

Keywords: mathematical model, tactics localization and fire extinguishing, fire trunk, thermal radiation.

Постановка проблеми. Одним із найбільш небезпечних пожеж є пожежі на відкритих складах лісоматеріалів. Такі пожежі в основному мають вигляд масової пожежі. Вивчення пожеж і способів їх гасіння на відкритих складах лісоматеріалів розпочато, наприклад в Радянському Союзі, в 50 - 60 роки минулого століття з використанням результатів експериментальних досліджень на натурних об'єктах. Узагальнення цих результатів опубліковано в роботах [1, 2]. Пожежі на складах лісоматеріалів характеризуються розкидом іскор і головешок на значні відстані, радіус яких залежить від висоти їх підйому конвективним потоком, а також швидкості вітру. Автори цих робіт вказують, що середня швидкість розповсюдження вогню при пожежі на складах круглого лісу становить 0,23 ... 0,36 м/хв. З початку 80-х років у ВНДПО (Росія) почали розробляти методи математичного моделювання розвитку пожеж на відкритих складах лісоматеріалів. При цьому розглядали поширення пожежі завдяки теплової радіації, конвекції, а також переносу іскор і головешок вітром [3]. Але в той же час зовсім не розглядалися питання застосування методів математичного моделювання тактичних дій локалізації та гасіння пожеж на відкритих складах лісоматеріалів, що давало б можливість значно зменшити втрати від пожежі у порівнянні з загальноприйнятим підходом. Тому несвоєчасна ліквідація такої пожежі призводять до значних збитків.

Зменшення цих збитків можливе тільки при оперативному та якісному виконанні оптимально необхідних тактичних прийомів підрозділами державної служби надзвичайних ситуацій для швидкої локалізації і гасіння пожеж. Безумовно для реалізації такої умови необхідно керівнику гасіння пожежі (КГП) мати дуже великий практичний досвід та необхідний довідниковий науково обґрунтований матеріал для швидкого прийняття оптимальних рішень в умовах невизначеності.

Існують нормативні документи для орієнтовного визначення тривалості гасіння пожежі, які враховують багаточисельні статистичні дані [4]. Але в кожному конкретному випадку такий підхід не може бути обґрунтованим. Тому виникає проблема у більш точному прогнозуванні часу ліквідації пожежі, на значення якого в першу чергу впливає оптимальний для конкретних умов варіант тактичних дій при локалізації та гасінні пожежі. Розв'язування такої проблеми можливе в першу чергу завдяки розробленню і можливості оперативного використання КГП математичної моделі вибору оптимальних тактичних прийомів для локалізації та гасіння пожеж на відкритих складах лісоматеріалів деревообробних підприємств. Враховуючи той факт, що для локалізації та гасіння пожеж на відкритих складах лісоматеріалів деревообробних підприємств математичні моделі тактичних прийомів відсутні, розв'язування цієї проблеми є актуальною і своєчасною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші кроки у встановленні вимог до виконання максимального об'єму тактичних робіт на пожежі були розглянуті в роботі [4], що стало основою для прийняття відповідних обмежень в процесі розроблення математичних моделей для оптимального розміщення сил і засобів локалізації пожежі. При розробленні оптимізаційних моделей стосовно визначення сил і засобів для гасіння пожежі необхідно приймати відповідні критерії. Вибір обґрунтованих критеріїв прийняття відповідних рішень розглянуто в роботах [5, 6] при розгляді гасіння пожеж в резервуарних парках нафтопродуктів.

Вперше моделювання дій пожежних підрозділів із локалізації пожеж в резервуарних парках розглянуто в роботах [7, 8]. Автори розглядають питання про найкраще розміщення пожежних стволів в процесі локалізації пожежі. На їх оцінку впливають відповідні чинники, а саме: 1) ефективність охолодження резервуарів; 2) безпека можливого вибуху або розливу нафтопродукту; 3) досяжність водяним струменем пожежних стволів резервуара; 4) безпечний рівень теплового потоку від пожежі до пожежників; 5) відсутність перешкод між водним струменем ствола та резервуаром, який охолоджується; 6) обмеження, які пов'язані з ТТХ стволів та правилами безпеки праці. Перший з наведених чинників був прийнятий за критерій оптимального розміщення стволів для охолодження резервуарів, всі інші – були прийняті за обмеження. Розв'язок оптимізаційної математичної моделі дозволив в залежності від існуючих умов пожежі раціонально розміщувати пожежні стволи для локалізації пожежі в резервуарному парку. Застосування моделювання для розроблення плану тактичних дій локалі-

зації пожежі дало можливість зменшити втрати від пожежі на 40 % у порівнянні з загальноприйнятним підходом.

Стосовно відкритих складів лісоматеріалів деревообробних підприємств подібних математичних моделей, як показав аналіз публікацій, не розроблялося. Тому ставиться задача розробити математичну модель, яка б дозволяла, виходячи з умов пожежі, приймати оптимальний тактичний план розміщення сил і засобів для локалізації та гасіння пожежі на відкритих складах лісоматеріалів деревообробних підприємств.

Мета роботи. Розробити математичну модель для вибору оптимального тактичного плану локалізації та гасіння пожеж на відкритих складах лісоматеріалів деревообробних підприємств.

Постановка задачі та її розв’язання. Для постановки задачі скористаємося рекомендаціями [9], на підставі яких розглянемо план розташування штабелів одного кварталу складу круглих лісоматеріалів штабельного зберігання. Згідно з цими рекомендаціями площа кварталу груп штабелів круглих лісоматеріалів слід приймати не більше 4,5 га. Ширина кожної групи штабелів в кварталі може бути не більше 50 м, а кварталу – не більше 100 м. Групи штабелів круглих лісоматеріалів в кварталі слід відокремлювати між собою поздовжніми і поперечними розривами. Ширина поздовжніх розривів повинна бути не менше полуторної висоти, а поперечних – не менше однієї висоти штабелів. По поздовжніх розривах слід прокладати тверде покриття завширшки не менше 3 м для проїзду пожежних машин. Відстані від штабелів круглих лісоматеріалів до середини зазначених доріг слід приймати з урахуванням кута природного розсіпання штабелів при пожежі, але не менше 8 м. На підставі розглянутих рекомендацій план розташування штабелів одного кварталу складу круглих лісоматеріалів штабельного зберігання зображений на рис. 1.

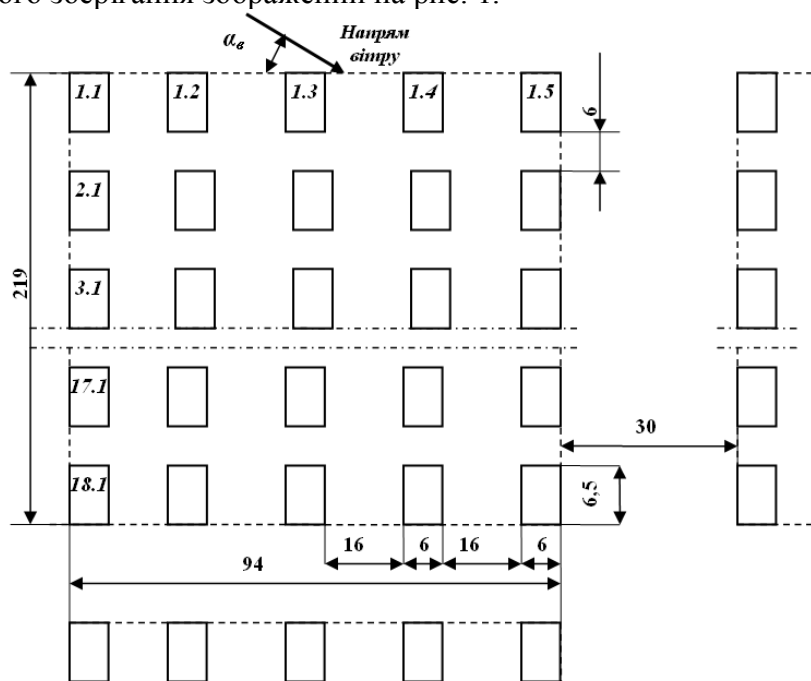


Рисунок 1 – План кварталу складу круглих лісоматеріалів штабельного зберігання

Основні параметри кварталу складу: штабелі, згідно з рекомендаціями [10] розміром $b \times l \times h = 6 \times 6,5 \times 6$ м; ширина поздовжніх розривів між штабелями $b_n = 16$ м; ширина поперечних розривів між штабелями $b_{non} = 6$ м; загальна кількість поздовжніх рядів кварталу 5 сумарною шириною $B_k = 94$ м; загальна кількість поперечних рядів 18 сумарною довжиною $L_k = 219$ м; загальна площа кварталу $20586 \text{ м}^2 \approx 2$ га; протипожежні розриви між кварталами при висоті штабелів 6 м дорівнюють 30 м.

Першочерговою задачею процесу гасіння пожежі є її локалізація, від успішного виконання якої залежить швидкість процесу гасіння. Відомо, що існує значна кількість позицій розміщення сил і засобів для проведення процесу локалізації. Тому виникає задача визначення найкращої (оптимальної) позиції їх розміщення, розв'язок якої залежить від багатьох чинників, а саме:

1. Тривалість часу локалізації і гасіння пожежі.
2. Матеріальні втрати від пожежі.
3. Тривалість часу вільного розвитку пожежі.
4. Площа пожежі та місце її розміщення на складі.
5. Безпечний рівень теплового потоку від фронту пожежі.
6. Мінімум необхідна кількість пожежних стволів для локалізації і гасіння пожежі.
7. Тактико-технічні характеристики пожежних стволів, які використовуються для локалізації і гасіння пожежі.
8. Правила охорони праці при локалізації і гасінні пожежі.

Пояснимо кожний чинник, який впливає на розміщення сил і засобів для успішної локалізації пожежі. Під тривалістю часу локалізації пожежі будемо розуміти найменший час, який задовольняє всі чинники 2...8. В цьому випадку матеріальні втрати від пожежі і пожежно-рятувальних підрозділів повинні бути найменшими.

Тривалість часу вільного розвитку пожежі в значній мірі впливає на тривалість часу локалізації. Цей час в першу чергу залежить від оперативності пожежно-рятувальних підрозділів, тобто від тривалості часу початку процесу локалізації першими стволами.

Площа пожежі та місце її розміщення на складі лісоматеріалів впливають на розміщення сил і засобів локалізації пожежі. Крім цього, необхідно враховувати площу пожежі на час початку її локалізації.

Тепловий потік від фронту пожежі може ускладнювати дію пожежних підрозділів і може потребувати їх додаткового захисту, згідно із правилами охорони праці при локалізації і гасінні пожежі. Тому необхідно вибирати позицію з меншим тепловим потоком. В процесі локалізації фронт пожежі може бути розміщений за певними перешкодами від штабелів. В практичній ситуації кожний прилад для локалізації пожежі повинен знаходитися на вільному просторі.

На переміщення фронту пожежі впливає вітер, який призводить до збільшення або зменшення швидкості розповсюдження пожежі. Тому цей чинник необхідно обов'язково враховувати при розміщенні сил і засобів в процесі локалізації пожежі. При розміщенні пожежних стволів необхідно враховувати їх місця розташування, які б дозволяли подавати струмінь на необхідну глибину від фронту пожежі. Крім цього, треба також брати до уваги можливість довжини рукавної лінії. Необхідно також забезпечувати правила охорони праці для пожежників в процесі локалізації і гасіння пожежі

Математична постановка задачі оптимізації. Перший чинник приймаємо за функцію мети, яка в нашому випадку повинна мати при розв'язанні задачі найменше значення, тобто

$$\tau_{eie} + \tau_a \Rightarrow \min, \quad (1)$$

де $\tau_{лок}$, τ_2 – відповідно тривалість часу локалізації і гасіння пожежі, хв.

Другий чинник за умови проведення оптимізації приймаємо за критерій оцінки отриманого результату. Для поставленої задачі матеріальні втрати B від пожежі повинні бути мінімальними, а саме

$$B \Rightarrow \min. \quad (2)$$

Чинники 3...8 є обмеженнями при розв'язку оптимізаційної задачі. В цьому випадку ставиться задача отримання найменшого часу локалізації і гасіння пожежі виходячи з наявних сил і засобів таким чином, щоб втрати від пожежі були мінімальними та одночасно виконати обмеження 3...8.

Сформулюємо **основні допущення**, які відносяться до задачі оптимізації.

1. Для проведення локалізації пожежі маємо N_{Σ} пожежних стволів з часом оперативного розгортання $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_{N_{\Sigma}}$. Різний час оперативного розгортання для кожного ствола пов'язаний з неодноразовим прибуттям до місця пожежі пожежно-рятувальних підрозділів. В цьому випадку отримуємо нерівність

$$\tau_1 \leq \tau_2 \leq \tau_3 \leq \dots \leq \tau_{N_x}. \quad (3)$$

2. В процесі оперативного розгортання сил і засобів пожежогасіння обставини на пожежі не змінюються, тобто не виникає нових загорянь, вибухів тощо.

Після цього розглянемо основні обмеження для проведення процесу локалізації і гасіння пожежі.

Тривалість часу вільного розвитку пожежі залежить від багатьох чинників роботи пожежно-рятувальних підрозділів. Для обґрунтування розроблення математичної моделі оптимізації тривалості локалізації пожеж на відкритих складах лісоматеріалів деревообробних підприємств визначимо прогнозований час з моменту виникнення пожежі до початку її локалізації силами пожежно-рятувальних підрозділів Державної служби надзвичайних ситуацій (ДСНС) України, тобто прогнозований час вільного горіння $\tau_{в.з}$:

$$\tau_{в.з} = \tau_{в.в} + \tau_{сн} + \tau_{о.о} + \tau_{з.с} + \tau_{зб} + \tau_{сл} + \tau_{роз}, \quad (4)$$

де: $\tau_{в.в}$ – час з моменту виникнення до моменту виявлення пожежі (на практиці цей час коливається в межах 5...8 хв [4,11]); середнє значення $\tau_{в.в} = 6,5$ хв; $\tau_{сн}$ – час з моменту виявлення пожежі до моменту сповіщення про неї в пожежно-рятувальний підрозділ 3...4 хв [4] (середнє значення $\tau_{сн} = 3,5$ хв); $\tau_{о.о}$ – час на отримання та опрацювання сповіщення про пожежу; $\tau_{о.о} = 1$ хв [12]; $\tau_{з.с}$ – час на залучення сил та засобів гарнізону для гасіння пожежі; $\tau_{з.с} = 3$ хв (наказ МВС України №325 від 01.07. 1993); $\tau_{зб}$ – час збору особового складу; $\tau_{зб} = 1$ хв [12]; $\tau_{сл}$ – середній час слідування на пожежу; $\tau_{сл} = 13,9$ хв (після статистичної обробки результатів робіт [13, 14]); $\tau_{роз}$ – час оперативного розгортання; $\tau_{роз} = 7$ хв [4,11].

На підставі наведених нормативних і статистичних даних можна за залежністю (4) визначити середнє значення тривалості вільного розвитку пожежі

$$\tau_{в.з} = 6,5 + 3,5 + 1 + 3 + 1 + 13,9 + 7 = 35,9 \text{ хв.}$$

Аналізуючи отриманий результат, можна зробити висновок, що час тривалості вільного розвитку пожежі значний, тобто за цей час на об'єкті, на якому виникла пожежа, зазнає значних збитків. Тому необхідно якомога швидше локалізувати пожежу і приступити до її гасіння. Для цього необхідно для кожного виду пожежі проводити оптимізацію тривалості локалізації пожежі завдяки раціональному вибору сил і засобів та тактичних планів їх розміщення, що в більшості випадків зменшує час локалізації і гасіння пожежі та відповідно збитки як для об'єкта, так і для пожежно-рятувальних підрозділів.

Площа пожежі та місце її розміщення на складі. Розглянемо можливі обмеження для оперативного розгортання, які пов'язані з площею пожежі та пожежними ситуаціями, тобто місцями їх розміщення на складі лісоматеріалів. Для цього скористаємося схемою кварталу, яка зображена на рис. 2.

Результати аналізу виникнення пожеж на складах лісоматеріалів деревообробних підприємств показали, що існує велика кількість можливих пожежних ситуацій, але в більшості випадків (86%) вони відповідають тринадцяти пожежним ситуаціям, які зображені на рис. 2 [15]. Розмістивши склад лісоматеріалів в системі координат XY (рис. 2), визначимо координати розміщення кожної пожежної ситуації: 1(0; L_K); 2(0,5 B_K ; L_K); 3(B_K ; L_K); 4(0; 0,75 L_K); 5(B_K ; 0,75 L_K); 6(0; 0,5 L_K); 7(0,5 B_K ; 0,5 L_K); 8(B_K ; 0,5 L_K); 9(0; 0,25 L_K); 10(B_K ; 0,25 L_K); 11(0; 0); 12(0,5 B_K ; 0); 13(B_K ; 0). Для кожної пожежної ситуації залежно від площі пожежі можливі різні тактичні плани розміщення сил і засобів для локалізації та гасіння пожежі.

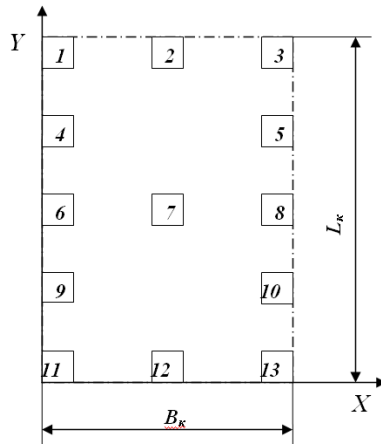


Рисунок 2 – Схема складу лісоматеріалів деревообробного підприємства з можливими пожежними ситуаціями

Аналізуючи схему складу лісоматеріалів (рис. 2) можна зауважити, що у випадку виникнення пожежі на ділянках 1, 3, 11 і 13 вони будуть кутовими 90°, на ділянках 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12 – кутовими 180°, а на ділянці 7 – круговою 360°.

Визначимо площу штабеля $S_{Пш}$, яка охоплюється подум'ям пожежі, м²

$$S_{I_o} = bl + 2h(b + l). \quad (5)$$

Використовуючи результати експериментальних досліджень Н.П. Копилова про вплив вітру на швидкість розповсюдження фронту полум'я по штабелю круглих лісоматеріалів [16], була отримана емпірична залежність для визначення найбільш вірогідної швидкості розповсюдження полум'я по штабелю $V_{Пв}$ з урахуванням швидкості вітру і кута його дії на штабелю

$$V_{Ia} = V_I K_a K_\alpha, \quad (6)$$

де $V_{П}$ – швидкість розповсюдження полум'я по штабелю, м/с; K_α – коефіцієнт, який враховує вплив швидкості вітру на швидкість розповсюдження полум'я по штабелю

$$K_\alpha = 0,9912 \exp(0,0388V_\alpha); \quad (7)$$

V_α – швидкість вітру, м/с; K_a – коефіцієнт, який враховує вплив напрямку дії вектора швидкості вітру на швидкість розповсюдження полум'я по штабелю

$$K_a = -5 \cdot 10^{-5} \alpha_a^2 + 0,0123 \alpha_a + 0,374; \quad (8)$$

α_α – кут напрямку вітру (при $\alpha_\alpha = 90^\circ$ розглядається попутний напрям вітру, який збігається з повздовжнім розміщенням штабелів кварталу (рис. 1); при $\alpha_\alpha = 270^\circ$ – зустрічний напрям вітру), град.

За основу приймемо значення швидкості розповсюдження полум'я по штабелю при пожежі, яке отримане на підставі результатів експериментальних досліджень у ВДППО (Росія) [17]. Згідно з цими результатами, швидкість розповсюдження полум'я по штабелю $V_{П} = 0,0585$ м/с при швидкості вітру $V_\alpha = 0$ м/с і з вологістю деревини 11...12%. Штабелі укомплектовані хвойними породами круглих лісоматеріалів завдовжки 6,5 м і діаметром 18...20 см.

Для визначення площі пожежі необхідно встановити тривалість часу розповсюдження полум'я по штабелю та тривалість часу спалаху сусіднього штабеля від штабеля, який охоплений полум'ям. В цьому випадку скористаємося наступним.

Згідно даних роботи [18], для розповсюдження пожежі по штабелях від теплового випромінювання необхідно визначити густину теплового потоку q_p результуючого випромінювання від штабеля, який горить

$$q_p = \frac{\sigma(T_o^4 - O_a^4)}{\frac{1}{A_o} + \frac{1}{A_a} - 1 + \frac{3\alpha_o}{4}}, \text{ Вт/м}^2 \quad (9)$$

де $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8}$ Вт / (м²К⁴) - стала Стефана - Больцмана; T_ϕ - температура факела, К; T_o - температура займання деревини, К (за даними [19] температура займання деревини сосни вологістю 11-12% дорівнює 528 К, ялини - 487 К, дуба - 511 К); $A_\phi = 0,9$ - поглинальна здатність факела полум'я штабелю, який горить [16]; $A_o = 0,6$ - поглинальна здатність деревини штабеля, який сприймає випромінювання від штабеля, що горить [16]; $\bar{\alpha}$ - усереднений за спектром коефіцієнт поглинання середовища (за даними роботи [18] $\bar{\alpha} = 0,45/l_c$, де l_c - найбільша товщина шару середовища між сусідніми штабелями, м); x - дійсна відстань між штабелями, м.

Температуру факела T_ϕ (К) штабеля, який горить, визначаємо за залежністю [17]

$$T_o = \frac{Q_{\min} \psi_n \tau_o}{n_p G}, \quad (10)$$

де Q_{\min} - значення нижчої робочої теплоти згорання горючого навантаження, кДж/кг; ψ_n - питома швидкість вигорання, кг/м²с; τ_o - час охоплення полум'ям одного штабеля, с;

$$\tau_o = 2 \sqrt{\frac{S_{I_o}}{\alpha V_{I_a}^2}}; \quad (11)$$

c_p - питома теплоємність штабеля, для якого розглядається пожежа, кДж/кг·К; G - пожежне навантаження, становить 0,3 маси одного шару штабеля на відкритій для полум'я поверхні штабеля, кг/м²

$$G = 0,075 \pi d \gamma_a; \quad (12)$$

d - діаметр круглого лісоматеріалу, м; γ_a - густина круглого лісоматеріалу, кг/м³ (густина при вологості 12%: сосна - $\gamma_a = 520$ кг/м³; ялина - $\gamma_a = 450$ кг/м³; дуб - $\gamma_a = 810$ кг/м³).

Визначаємо тепловий потік Q (Вт) випромінювання

$$Q = q_p S_{aei}, \quad (13)$$

де S_{aei} - площа випромінювання від штабеля, який горить з урахуванням висоти конвективної колонки H (м) над штабелем, м²; значення H коливається в межах 1...2 м [21].

Тоді температура T_{ui} (К) на боковій поверхні сусіднього штабеля буде

$$T_o = \frac{Q}{\alpha_o S_o} + O_o, \quad (14)$$

де α_{ui} - коефіцієнт тепловіддачі бічної площини штабеля, кВт/(м²К); S_{ui} - площа бічної площини штабеля в поперечних або поздовжніх розривах між штабелями, м²; T_o - температура навколишнього середовища, К.

Усереднене значення коефіцієнта тепловіддачі [17]

$$\alpha_o = 0,0159 \left(\frac{blh \gamma_a K_p}{S_{aei}} \right)^{0,222}, \quad (15)$$

де K_p - щільність укладання круглого лісоматеріалу в штабелі (при розрахунках приймають середнє значення $K_p = 0,785$)

Якщо $T_{ui} \geq T_o$ для сусіднього штабеля, то відбувається його займання, але при цьому, згідно з даними роботи [20], необхідно враховувати час затримки загорання коефіцієнтом $k = 0,4...0,6$. Згідно з даними роботи [21], встановлено, що умова $T_{ui} \geq T_o$ виконується вже при тривалості часу τ_{ui} . Тоді загорання сусіднього штабеля в цьому випадку відбудеться за час τ_c

$$\tau_c = \frac{\tau_o}{k}. \quad (16)$$

На підставі отриманих даних можна визначити відповідні площі пожежі з урахуванням часу вільного горіння $\tau_{a,z}$. При цьому необхідно враховувати кількість груп n загорянь штабелів залежно від форми пожежі

$$n = \frac{\tau_{a,a}}{\tau_c} \quad (17)$$

В цьому випадку площі пожежі можна визначити за залежностями:

- кутова пожежа 90° (ділянки складу: 1, 3, 11, 13 рис. 2)

$$S_I = 16,67n^{1,18}bl, \text{ м}^2; \quad (18)$$

- кутова пожежа 180° (ділянки складу: 2, 12 рис. 2)

$$S_I = 23,8n^{1,11}bl, \text{ м}^2; \quad (19)$$

- кутова пожежа 180° (ділянки складу: 4, 5, 9, 10 рис. 2)

$$S_I = 22,29n^{1,34}bl, \text{ м}^2; \quad (20)$$

- кутова пожежа 180° (ділянки складу: 6, 8 рис. 2)

$$S_I = 22,17n^{1,35}bl, \text{ м}^2; \quad (21)$$

- кругова пожежа 360° (ділянка складу 7 рис. 2)

$$S_I = 29,72n^{1,35}bl, \text{ м}^2. \quad (22)$$

Безпечний рівень теплового потоку від фронту пожежі впливає на відстань l_q від пожежного зі стволем до фронту пожежі. Для вибору критичного значення густини теплового потоку для пожежного скористаємося рекомендаціями, які наведені в роботі [4] (табл. 1).

Таблиця 1

Потрібний захист і допустимий час перебування людей в зоні теплової радіації

Густина теплового потоку q , кВт/м ²	Допустимий час перебування людей, хв	Потрібний захист людей	Ступінь теплової дії на шкіру людини
3,0	Не обмежується	Без захисту	Больові відчуття відсутні
4,2	Не обмежується	В захисному одязі та в касці із захисним склом	Нестерпні больові відчуття через 20 с
7,0	5	Те ж	Нестерпні больові відчуття, які виникають миттєво

Для визначення відстані пожежного зі стволем від фронту пожежі l_q в м на підставі багаточисельних розрахунків за залежностями (9), (10), (17) – (22) було отримано залежність з використанням і обробкою отриманих результатів методами математичної статистики. При цьому для залежності (9) використовувалися рекомендації [17] для випадку, який розглядається, а саме: $\bar{\alpha} = 0,89 \text{ м}^{-1}$; x – дійсна відстань між пожежним зі стволем і центром факела осередку пожежі, м. Тоді

$$l_q = 23,2 \left(\frac{S_I^{0,27}}{[q]} \right)^{0,7}, \quad (23)$$

де $[q]$ – допустиме значення густини теплового потоку для заданих умов локалізації і гасіння пожежі (табл. 1), кВт/м².

Мінімально необхідна кількість пожежних стволів для локалізації і гасіння пожежі може бути визначена на підставі рекомендацій робіт [4]. Згідно із рекомендаціями, визначаємо кількість стволів B на гасіння (N_B^A) і захист (N_B^C)

$$N_B^A = \frac{S_I \cdot ?_i^A}{Q_A}, \quad (24)$$

$$N_B^C = \frac{0,25K_c S_I \cdot ?_i^A}{Q_B}, \quad (25)$$

де: Q_B – розхід вогнегасної речовини із ствола B , л/с (розхід при тиску вогнегасної речовини 0,4 МПа і діаметрі насадки $d = 13$ мм становить 3,7 л/с); $?_i^A$ – інтенсивність подачі вогнегасної речовини для локалізації гасіння пожежі, л/м²с (рекомендоване значення для ручних стволів $?_i^A = 0,2$ л/м²с); $K_3 = 2,0 \dots 2,2$ – коефіцієнт, який враховує збільшення площі захисту у порівнянні з площею пожежі.

Визначене значення кількості стволів B заокруглюють до цілого числа в більшу сторону. Після цього визначають кількість стволів A (N_A) на локалізацію і гасіння від загальної кількості стволів N_B^A на підставі рекомендацій [4]

$$N_A = 0,3N_B^A. \quad (26)$$

Тоді загальна кількість стволів буде

$$N_\Sigma = N_B^A + N_B^C + N_A. \quad (27)$$

Тактико-технічні характеристики пожежних стволів, які використовуються для локалізації і гасіння пожеж класу А, наведені в ДСТУ 2112-92. До таких стволів відносять такі основні типи: **РС-50, РС-70, РСК-50, РСП-50, РСП-70, РСКЗ-70**. Дальність подачі суцільного струменя цими стволами коливається в межах $L_{\max} = 28 \dots 32$ м. Крім того, ствол **РСКЗ-70** може утворювати захисну завісу.

Правила охорони праці при локалізації і гасінні пожежі зобов'язують кожного пожежника, у випадку виникнення у зоні ліквідації пожежі небезпечних чинників, використовувати, згідно [24,25], газодимозахисне спорядження та захисний одяг.

Розглянемо необхідність використання газодимозахисного спорядження та захисного одягу для ліквідації пожежі. Пожежно-рятувальні підрозділи прибувають на місце виникнення пожежі та приступають до її локалізації в середньому через 20...40 хв. За цей час вільного розвитку пожежі на лісоскладі по її фронту температура через теплову радіацію досягає великих значень, а враховуючи максимально можливу довжину суцільного струменя пожежного ствола для локалізації і гасіння пожежі, яка може бути недостатньою для безпечного розміщення пожежника, необхідно кожного пожежника захистити спеціальним захисним одягом.

Для захисту органів дихання та зору під час роботи в непридатному для дихання середовищі необхідно використовувати апарат на стисненому повітрі SCBA ProffAir APS/4. Захищати пожежника від теплової радіації необхідно шляхом використання термозахисних костюмів «Індекс-1», «Індекс-3» та «Індекс-1200», які дають змогу працювати при температурі 200°C протягом 15 хв, а термозахисний костюм «Індекс-1200» – при температурі 1200°C до 5 хв.

Для обґрунтованого прийняття рішення про необхідність використання пожежним термозахисного костюма скористаємося залежністю (23), на підставі якої визначимо дійсне мінімальне значення теплової радіації q_{\min} в кВт/м² залежно від максимально допустимої відстані пожежника $l_{q\max}$ в м від фронту пожежі при площі пожежі S_{II} в м²

$$q_{\min} = \frac{90\sqrt{S_{II}}}{\sqrt{l_{q\max}^3}}. \quad (28)$$

Після розгляду **всіх основних чинників**, які впливають на розміщення сил і засобів для успішної локалізації і гасіння пожежі, переходимо до розгляду **тактичних дій** пожежно-рятувальних підрозділів для виконання цього процесу. Для гасіння пожеж на лісоскладах штабельного зберігання головним чином використовують воду [22]. Тому при прибутті по-

жежно-рятувальних підрозділів на об'єкт, де виникла пожежа, в процесі їх оперативного розгортання, в першу чергу необхідно поставити пожежні автоцистерни на найближчі вододжерела і розгорнути пожежні рукава від вододжерел до осередку пожежі, в тому числі від гідрантів кільцевої господарчо-пожежної магістралі високого тиску. При виникненні пожежі в місцях складу 1...13 (рис. 2) можливі такі варіанти тактики локалізації пожежі

Тактичний варіант 1. У випадку виникнення пожежних ситуацій 1, 3, 11 і 13 (кутова пожежа 90°) розміщення сил і засобів пожежогасіння виконують по периметру фронту пожежі з обов'язковим виділенням стволів «Б» на захист сусідніх штабелів від займання. Крім цього, необхідно враховувати напрям вітру. При напрямі вітру на квартал лісоскладу, то вирішальний напрямок оперативних дій підрозділів повинен бути спрямований проти вітру. При відсутності вітру сили пожежогасіння можуть бути розміщені рівномірно по периметру фронту пожежі.

Тактичний варіант 2. У випадку виникнення пожежних ситуацій 2, 4...6, 8...10 і 12 (кутова пожежа 180°) розміщення сил і засобів пожежогасіння виконують по фронту пожежі з обов'язковим виділенням стволів В на захист сусідніх штабелів від займання. Для спрощення оперативного розгортання половина пожежних автоцистерн повинна бути розміщена на прокольних розривах складу на небезпечній відстані зі сторони переміщення фронту пожежі та з обов'язковою перекачкою до них води від вододжерел. При напрямі вітру на квартал лісоскладу, вирішальний напрямок локалізації пожежі [25] повинен бути спрямований проти вітру. За відсутності вітру сили пожежогасіння можуть бути розміщені рівномірно по периметру фронту пожежі.

Тактичний варіант 3. У випадку виникнення пожежної ситуації 7 (кругова пожежа 360°) розміщення сил і засобів пожежогасіння виконують за двома протилежно розміщеним фронтам пожежі, яка виникла в центральній частині складу лісоматеріалів, в яких відсутня пожежа. Захист сусідніх штабелів від займання виконують по всьому периметру пожежі. При цьому більша частина стволів В повинна бути розміщена проти вітру. Вирішальний напрямок локалізації пожежі повинен бути спрямований проти вітру. Для зменшення тривалості часу оперативного розгортання пожежні автоцистерни повинні бути розміщені на поздовжніх розривах складу на безпечній відстані від фронтів пожежі та з обов'язковим перекачуванням до них води від вододжерел. Більша частина пожежних автоцистерн повинна бути розміщена на складі на стороні фронту пожежі, який переміщується з напрямом вітру. За відсутності вітру сили пожежогасіння можуть бути розміщені рівномірно по периметру фронту пожежі.

Крім цього, при виконанні кожного тактичного варіанта необхідно в першу чергу збивати полум'я із зовнішніх поверхонь штабеля, щоб зменшити вплив теплового випромінювання, а потім подавати компактний струмінь всередину деревини штабеля з торцевої сторони для їх проливання.

Після розгляду всіх питань, які пов'язані з математичною постановкою задачі оптимізації, переходимо до **розроблення оптимізаційної математичної моделі** тактики локалізації і гасіння пожежі.

Вхідні дані: 1) координата пожежі $I(x; y)$, де $I = 1, 2, \dots, 13$ – номер можливої пожежної ситуації; 2) V_{Π} – лінійна швидкість розповсюдження полум'я пожежі, м/с; 3) швидкість вітру $V_{\text{в}}$, м/с; кут дії вітру $\alpha_{\text{в}}$, град; 4) тип ствола N_B та L_{max} ; тип ствола N_A та L_{max} ; 5) тип термозахисних костюмів і апаратів для захисту органів дихання та зору під час роботи в непридатному для дихання середовищі, вибір яких залежить від q_{min} ; 6) тактичні варіанти розміщення сил і засобів локалізації і гасіння пожежі, кожен з яких вибирається в залежності від координати пожежі $I(x; y)$ в цеху; 7) значення обмежень a_i і b_i , які необхідно визначити заздалегідь; 8) $[p]$ – допустиме значення імовірності для прийняття оптимального значення функції мети.

Функція мети

$$\tau_{\text{eic}} + \tau_a \Rightarrow \min; \quad (29)$$

за критерієм

$$B = B_o + B_n \Rightarrow \min; \quad (30)$$

за обмеженнями

$$a_1 \leq N_B^A \leq b_1; \quad (31)$$

$$a_2 \leq N_B^C \leq b_2; \quad (32)$$

$$a_3 \leq N_A \leq b_3; \quad (33)$$

$$a_4 \leq \tau_{a.a} \leq b_4; \quad (34)$$

$$a_5 \leq l_q \leq b_5; \quad (35)$$

$$p \geq [p], \quad (36)$$

де $\tau_{лок}$ – тривалість локалізації пожежі, хв; τ_c – тривалість гасіння пожежі, хв; значення цих часів визначаємо за залежностями [23]

$$\tau_{eie} = \frac{6,39 S_{eie}^{0,893}}{2N_A + N_A^A} K_I K_d; \quad \tau_a = \tau_{eie} \left(\frac{S_I}{S_{eie}} - 1 \right); \quad (37)$$

$S_{лок}$ – площа локалізації, м²; K_I – коефіцієнт, який враховує інтенсивність подання I_i^A (л/м²с) в осередок пожежі вогнегасної речовини; K_d – коефіцієнт, який враховує вплив діаметра насадки d (мм) ствола (рекомендоване значення діаметра насадки для ручних стволів N_B $d = 13$ мм; для стволів N_A $d = 19$ мм; для розрахунку приймають середнє значення $d = 16$ мм); для кругової і кутової пожеж $S_{eie} = [2V_{Ia} (\tau_{a.a} - 5)h - h^2] \alpha$; h – глибина подачі вогнегасної речовини в осередок пожежі ($h = 5$ м для ручних стволів [4]); $K_I = 1,62 - 3,04 I_i^A$; $K_d = 1,4983 - 0,0262d$; α – кутовий коефіцієнт, який враховує форму пожежі: кругова (360?) $\alpha = 3,14$ рад; кутова (180?) $\alpha = 1,57$ рад; кутова (90?) $\alpha = 0,785$ рад; B_o – прямі збитки на об'єкті від пожежі, грн; $B_o = C_o S_I$; C_o – середня вартість 1м² площі лісоскладу, на якому виникла пожежа, грн/м²; B_n – витратами пожежно-рятувальних частин, які брали участь в її ліквідації пожежі, грн; $A_i = C_A \tau_{e.i}^{-0,8725}$; $C_B = 1,68 \cdot 10^5$ – коефіцієнт пропорційності; $\tau_{л.н} = \tau_{лок} + \tau_c$ – сумарна тривалість локалізації і гасіння пожежі, хв; a_1, a_2, \dots, a_5 – мінімальні значення обмежень; b_1, b_2, \dots, b_5 – максимальні значення обмежень; p – імовірність попадання досліджуваної i -ої точки в область допустимих розв'язків ($p = k/N$, де k – кількість циклів роботи програми, при яких досліджувані точки попали в область допустимих розв'язків; N – загальна кількість циклів роботи програми); $[p]$ – допустиме значення імовірності, від значення якого залежить кількість досліджень для прийняття оптимального значення.

Значення обмежень a_1, a_2, a_3 можна приймати однаковими і такими, що дорівнюють одиниці. Такий підхід можна обґрунтувати тим, що при приїзді першої пожежної автомашини, на якій знаходиться одна ланка, яка може після оперативного розгортання залучити до локалізації пожежі тільки таку кількість засобів пожежогасіння. Значення обмежень b_1, b_2, b_3 визначають за залежностями (24), (25) і (26) відповідно. Мінімальне значення обмеження a_4 можна визначити за залежністю

$$a_4 = \frac{60Lk_i}{V_{ne}} + 20,5, \quad \text{хв} \quad (38)$$

де L – відстань від пожежно-рятувальної частини до об'єкта, на якому виникла пожежа, км; k_n – коефіцієнт, який враховує непрямолінійність вуличної мережі (в містобудівній практиці його максимальне значення приймають $k_n = 1,4$); V_{cl} – середня швидкість руху пожежних автомобілів, км/год (в денний час $V_{cl} = 32$ км/год; вночі – до 60 км/год [23]).

Максимальне значення обмеження b_4 приймаємо з урахуванням прогнозованого максимального значення часу вільного горіння

$$b_4 = \frac{60Lk_i}{V_{ne}} + 29, \text{ хв.} \quad (39)$$

Мінімальне значення обмеження a_5 приймаємо рівним 10 м, а максимальне значення $b_5 = L_{\max} - h$.

Для розв'язування оптимізаційної моделі скористаємося методом Монте-Карло. Область допустимих розв'язків, яка визначається обмеженнями (31)...(35), оточують m -мірним паралелепіпедом, в якому проводимо дослідження. Поставлену задачу краще всього розв'язувати з використанням ПЕОМ. За допомогою давача комп'ютера утворюють послідовність псевдовипадкових чисел $?_{ji}$ в інтервалі $0 \dots 1$. Для перетворення псевдовипадкових чисел $?_{ji}$, які рівномірно розподілені в інтервалі $0 \dots 1$, до значень N_B^A , N_B^C , N_A , $\tau_{в.г}$ та l_q використовуємо залежності виду, наприклад, для l_q

$$l_{qi} = a_5 + \mu_{5i}(b_5 - a_5)$$

де: $?_{5i}$ – псевдовипадкове число для визначення чинника l_{qi} на певному i -тому циклі розрахунку.

В процесі розрахунку на кожному циклі роботи програми визначаються значення $\tau_{лок}$ і τ_2 за залежностями (37) та критеріїв B_o і B_n , які перевіряються зі значеннями попереднього циклу. Ці процедури виконуються до тих пір, поки буде виконана умова (36). Після завершення роботи програми на друк видаються такі дані: S_{II} на час початку локалізації; $\tau_{сл}$, $V_{Пв}$, $\tau_{лок}$ і τ_2 , N_B^A , N_B^C , N_A , l_q , p ; тип апарату для захисту органів дихання та зору; тип термозахисного одягу; тривалість роботи в осередку пожежі, хв; тактичний варіант локалізації і гасіння пожежі.

Для реалізації оптимізаційної моделі був розроблений для ПЕОМ пакет прикладних програм мовою C++ для роботи в середовищі Windows XP. Час роботи ПЕОМ становив 5-7 с для 5 тисяч випробувань (N_i – циклів) при імовірності попадання досліджуваної i -ої точки в область допустимих розв'язків $p = 0,94 \dots 0,96$.

Висновки

1. Розроблено математичну модель оптимізації тактики локалізації і гасіння пожеж на лісоскладах деревообробних підприємств, яка дає можливість оперативно і обґрунтовано визначати оптимальний варіант тактики і тривалості локалізації і гасіння пожежі з необхідною при цьому кількістю сил і засобів та необхідними для ліквідації пожежі газодимозахисним спорядженням і термозахисним одягом.

2. Впровадження в пожежно-рятувальних підрозділах Державної служби надзвичайних ситуацій математичної моделі оптимізації тактики локалізації і гасіння пожеж на лісоскладах деревообробних підприємств дає можливість, як показали попередні розрахунки, зменшити тривалість ліквідації пожежі на 32% і відповідно зменшити збитки від пожежі на 21%.

3. Необхідна подальша робота з метою удосконалення оптимізаційної моделі з урахуванням впровадження в пожежну практику новітніх тактичних прийомів ліквідації пожеж на лісоскладах деревообробних підприємств з використанням удосконаленого пожежного спорядження та засобів вогнегасіння і вогнезахисту підвищеної ефективності.

Список літератури

1. Курбатский О.М. Результаты исследования тушения пожаров лесобирж / О.М. Курбатский // Вопросы пожаротушения и пожарной профилактики: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1959. – С. 41-52.
2. Курбатский О.М. Тушение пожаров на складах лесопиломатериалов / О.М. Курбатский, И.И. Петров // Успехи пожарной науки и техники: Сб. науч. тр. – М.: Стройиздат, 1967. – С. 60-66.
3. Копылов Н.П. О влиянии ветра на величину тепловых потоков от пламени открытого пожара / Н.П. Копылов, Г.М. Гроздов // Пожарная профилактика: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1980, вып. 16. – С. 68-73.

4. Пархоменко Р.В. Пожежна тактика. Практикум. Вид. 2-ге / Р.В.Пархоменко, Б.В.Болібрух, Д.О.Чалий. – Кам'янець-Подільський: ПП «Медобори-2006», 2013. – 416 с.
5. Кудин А.И. Обзор критериев принятия решения для целей создания оперативного плана тушения пожаров в резервуарных парках / А.И. Кудин, В.И. Пермьяков // Тез. докл. 51-й НТК. – Харьков: ХГТУСА, 1996. – с. 73.
6. Кудин А.И. Организация базы знаний для экспертной системы принятия решения при тушении пожаров с нефтепродуктами / А.И. Кудин, В.И. Пермьяков // Проблемы пожарной безопасности. – К.: МВС України, 1995. – С. 244-245.
7. Абрамов Ю.А. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов. – Харьков: АГЗУ, 2006. – 251 с.
8. Абрамов Ю.А. Алгоритм оптимального расположения сил и средств для тушения пожара в резервуарном парке / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов. // Проблемы надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. АЦЗ України. – Харків: Фоліо, 2006. – Вип. 3. – С. 26-32.
9. СНиП 21-03-2003. Склады лесных материалов. Противопожарные нормы РФ. – М.: «Пожарный Центр», 2003. – 18 с.
10. ГОСТ 2292-88. Лесоматериалы круглые. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 9 с.
11. Бут В.П. Практичний посібник з пожежної тактики / В.П. Бут, Л.Б. Куціщій, Б.В. Болібрух. – Львів: СПОЛОМ, 2003. – 133 с.
12. Нормативи по пожежно-стройовій підготовці. – К.:УДПО МВС України, 1995. – 14 с.
13. Огляд стану організації пожежогасіння, пожежно-рятувальних робіт, застосування пожежної та спеціальної техніки ПРП МНС України у 2005 році. – К.: Департамент ЦЗ МНС України, 2005. – 31 с.
14. Крайнюк О.І. Підходи до визначення місць дислокації та площі обслуговування підрозділів місцевої пожежної охорони. / О.І. Крайнюк // Науковий вісник УкрНДІПБ, 2008, № 2 (18). – С. 180-185.
15. Климась Р. Статистика пожеж на деревообробних підприємствах за 2011 і 2012 роки / Р. Климась. – К.: УкрНДІЦЗ, 2013. – 5 с.
16. Копылов Н.П. Моделирование пожаров на складах лесоматериалов / Н.П. Копылов // Моделирование пожаров и взрывов. – М.: Изд. «Пожнаука», 2000. – С. 189-197.
17. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
18. Коваль О.М. Моделювання розвитку та поширення пожежі на відкритих складах пиломатеріалів / О.М. Коваль // Науковий вісник НЛТУ України. Випуск 23.09, 2013 / Львів: НЛТУ. – С. 317-322.
19. Цапко Ю.В. Визначення ефективності вогнезахисту целюлозовмісних матеріалів / Ю.В. Цапко // Зб. наук. праць. – Львів: ЛПБ, 2005, № 7. – С. 132-134.
20. Гуліда Е.М. Математична модель розповсюдження лісової пожежі за рахунок теплового випромінювання / Е.М. Гуліда, О.О. Карабин, О.О. Смотр. // Наук. зб. УкрНДІПБ, 2006, № 1 (13). – С. 24-30.
21. Коваль А.М. Скорость распространения фронта пожара на открытых складах круглых лесоматериалов штабельного хранения / А.М. Коваль // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. Научно-техн. журнал НИИПБ и проблем ЧС МЧС Республики Беларусь. Выход № 1(37), 2015. – С. 55-63.
22. Повзик Я.С. Пожарная тактика / Я.С. Повзик, П.П. Ключ, А.М. Матвейкин. – М.: Стройиздат, 1990. – 335с.
23. Hulida E. Mathematical model of the optimization of fire extinguishing time length in the woodworking enterprises` workshops / E. Hulida, O. Koval. // Econtechmod. – Lublin; Rzeszow, 2015. – Vol. 4, № 1. – P. 18-25.

24. Наказ МНС України від 07.05.2007 р. № 312 «Про затвердження Правил безпеки праці в органах та підрозділах МНС України».

25. Наказ МНС України від 13.03.2012 р. № 575 «Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту».

References

1. Kurbatskyi O. Results of fire extinguishing investigation of forest exchanges / O.Kurbatskyi // Problems of fire extinguishing and fire prevention: Collection of scientific papers. – М.: VNIPO, 1959. – P. 41-52.

2. Kurbatskyi O. Fire extinguishing at warehouses of sawing materials / O.Kurbatskyi, I. Petrov // Achievements of fire science and technology: Collection of scientific papers. – М.: Stroizdat, 1967. – P. 60-66.

3. Kopylov N. About influence of wind on the size of thermal flows from open fire flame / N. Kopylov, H. Hrozdov // Fire prevention: Collection of scientific papers. – М.: VNIPO, 1980, issue № 16. – P. 68-73.

4. Parkhomenko R. Fire Tactics. Practical work. The 2nd edition / R. Parkhomenko, B. Bolibrukh, D. Chalyi. – Kamyanyets-Podilskyi: Medobory-2006 PH, 2013. – 416 p.

5. Kudin A. A review of decision making criteria for creating operative plan for fire extinguishing in tank batteries / A.Kudin, V. Permyakov // Proceedings of the 51st Scientific and technical conference. – Kharkiv: KhHTUSA, 1996. – p. 73.

6. Kudin A. Organization of a data base for an expert system of decision making for fire extinguishing with oil products / A.Kudin, V. Permyakov // Problems of fire safety. – К.: MVS of Ukraine, 1995. – P. 244-245.

7. Abramov Yu. Prevention and liquidation of emergency situations in tank batteries with oil products / Yu. Abramov, A.Basmanov. – Kharkiv: AHZU, 2006. – 251 p.

8. Abramov Yu. Algorithm of forces and means optimal location for fire extinguishing in tank batteries / Yu. Abramov, A.Basmanov. // Problems of emergency situations. Collection of scientific papers of ATSZ of Ukraine. – Kharkiv: Folio, 2006. – Issue 3. – P. 26-32.

9. SNiP 21-03-2003. Warehouses of timber. Fire-prevention norms of Russian Federation. – М.: Fire center Publishing House, 2003. – 18 p.

10. GOST 2292-88. Timber round. – М.: IPK Standart Publishing House, 2003. – 9 p.

11. But V. Practical manual on fire tactics / V. But, L. Kutsishyi, B.Bolibrukh. – Lviv: SPOLOM Publ. House, 2003. – 133 p.

12. Standarts on service in the ranks on fire and line training. – К.:UDPO MVS of Ukraine, 1995. – 14 p.

13. Review of the state of firefighting and fire-rescuing organization, application of fire and special technology of PRP MNS of Ukraine in 2005. – К.: Department of TsZ MNS of Ukraine, 2005. – 31 p.

14. Krainyuk O. Approaches to defining the places of distribution and area of servicing the subunits of local fire guard. / O. Krainyuk // Scientific papers of UkrNDIPB, 2008, № 2 (18). – P. 180-185.

15. Klymas R. Statistics of fires at woodworking enterprises for 2011 i 2012 years / R. Klymas. – К.: UkrNDITsZ, 2013. – 5 p.

16. Kopylov N. Fire modeling at warehouses of forest materials / N. Kopylov // Fires and explosions modelling. – М.: Poznauka publishing House, 2000. – P. 189-197.

17. Koshmanov Yu. Forecasting the fire dangerous factors in premises / Yu. Koshmanov. – М.: Academy of GPS MVD of Russia, 2000. – 118 p.

18. Koval O. Development and fire distribution modeling at the open warehouses of timber / O. Koval // Scientific papers of NLTU of Ukraine. Issue 23.09, 2013 / Lviv: NLTU. – P. 317-322.

19. Tsapko Yu. Definition of fire defense effectiveness of cellulose holding materials / Yu. Tsapko // Collection of scientific papers. – Lviv: LIPB, 2005, № 7. – P. 132-134.
20. Hulida E. Mathematical model of forest fire distribution at the expense of thermal radiation / E.Hulida, O. Karabyn, O.Smotr. // Scientific collection of UkrNDIPB, 2006, № 1 (13). – P. 24-30.
21. Koval A. Distribution rate of fire front at open warehouses of round timber for stack storage / A. Koval // Emergency situations: prevention and liquidation. Scientific and technical journal of NIIPB and problems of ChS MChS of Belarus Republic. Issue № 1(37), 2015. – P. 55-63.
22. Povzyk Ya. Fire tactics / Ya. Povzyk, P. Klyus, A.Matveikin. – M.: Stroizdat, 1990. – 335 p.
23. Hulida E. Mathematical model of the optimization of fire extinguishing time length in the woodworking enterprises` workshops / E. Hulida, O. Koval. // Econtechmod. – Lublin; Rzeszow, 2015. – Vol. 4, № 1. – P. 18-25.
24. Order of MNS of Ukraine of 07.05.2007, # 312 *About confirmation of Labour Safety Rules in units and subunits of MNS of Ukraine.*
25. Order of MNS of Ukraine of 13.03.2012, # 575 *About Statuteconfirmation of actions in emergency situations of management organs and subunits of operative and rescue service of civil defence.*

