

перетину, статичних моментів та координат центра мас інтегруванням по області  $\phi \in [0, 2\pi]$ , схилиють саме до вибору моделі Фур'є для опису поперечних перетинів колоди.

**Висновки.** Встановлено, що основною вимогою до побудови математичної моделі поперечного перетину колоди є проходження модельної кривої через всі інтерполяційні вузли. Для відшукання оптимальної моделі реалізовано алгоритм, який передбачає введення надлишкового параметра з подальшою мінімізацією площі поперечного перетину.

Для великої кількості вузлів сканування (характерної для джерел сканування із пучковими променями) найдієвішою є побудова відповідного тригонометричного многочлена Фур'є. У випадку малої кількості вузлів сканування більш адекватною з точки зору уникнення зайвих гармонік є методика кусково-лінійної інтерполяції, яка дає змогу побудувати найпростіший опуклий контур на вузлах сканування. Однак, враховуючи значну втрату точності моделі для малої кількості вузлів інтерполяції та громіздкий математичний апарат програмної реалізації методики кусково-лінійної інтерполяції для великої кількості вузлів, перевагу надано многочлену Фур'є.

Удосконалено методику математичного моделювання поперечних перетинів колоди для опису її реальної форми за результатами поздовжнього сканування поверхні колоди. Розроблена методика є математично обґрунтованою і придатною для подальшого прикладного застосування, зокрема для ефективного прогнозування реального об'ємного виходу пиломатеріалів та вибору раціональних варіантів розпилювання колод з урахуванням специфікації пилопродукції.

### Література

1. Mayevskyy V.O. Mathematical simulation of surface shape for real log / V.O. Mayevskyy, A. Ya. Vus // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во НЛТУ України. – 2010. – Вип. 36. – С. 48-56.
2. Носовський Т.А. Технологія лісопилно-деревообробних виробництв : навч. посібн. [для студ. ВНЗ] / Т.А. Носовський, Р.І. Мащок, В.В. Маслій. – К. : Вид-во НМК ВО, 1993. – 196 с.
3. Фельдман Х.Л. Система максимальних поставок на распиловку / Х.Л. Фельдман. – М.-Л. : Гостехлесиздат, 1932. – 275 с.
4. Песоцкий А.Н. Лесопильное производство. – Изд. 4-ое, [перераб. и доп.]. / А.Н. Песоцкий. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1970. – 432 с.
5. Маевський В.О. Науково-технологічні основи виробництва пилопродукції з урахуванням форми та розмірно-якісної характеристики лісоматеріалів : дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.06 – "Технологія деревообробки, виготовлення меблів та виробів з деревини" / Маевський Володимир Олександрович. – Львів, 2013. – 447 с.
6. Яковлев М.К. Совершенствование учёта и раскроя круглых лесоматериалов на основе метода индивидуальных моделей : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук: спец. 05.21.05 – "Древесиноведение, технология и оборудование деревообработки" / М.К. Яковлев. – Минск, 1995. – 19 с.
7. Zeng Y. Integration of an expert system and dynamic programming approach to optimize log breakdown using 3-dimensional log and internal defect shape information: PhD Thesis / Zeng Yimin. – Oregon State University, 1995. – 133 p.
8. Nordmark U. Prediction of board values in Pinus sylvestris sawlogs using X-ray scanning and optical three-dimensional scanning of stems / U. Nordmark, J. Oja // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2004. – Vol. 19, № 5. – Pp. 473-480.
9. Sawmilling and sawing process in the future / A. Usenius, P. Holmila, A. Heikkilä [et al.] // The future of quality control for wood & wood products: The final conference of COST Action E53, 4-7th May 2010. – Edinburgh, Great Britain, Europe, 2010. – 9 p.

10. Lin W. A three-dimensional optimal sawing system for small sawmills in central Appalachia / W. Lin, J. Wang, E. Thomas // Proceedings of the 17th Central Hardwood Forest Conference GTR-NRS-P-78. – 2011. – Pp. 67-76.

11. Fritz van Zyl. Determining the optimal log position during primary breakdown using internal wood scanning techniques and meta-heuristic algorithms / Fritz van Zyl. // Thesis submitted in Engineering at the University of Stellenbosch. – 2011. – 116 p.

### Вус А.Я., Маевский В.О. Математическое моделирование поперечных сечений бревна по результатам его сканирования

Рассмотрено два подхода к аналитическому построению модели огибающих кривых, описывающих контуры поперечных сечений бревна по результатам его продольного сканирования. Установлено, что моделирование контура с помощью тригонометрического многочлена Фурье является эффективной и практически применяемой методикой для разработки адекватной математической модели бревна. Для нахождения оптимальной модели контура использован алгоритм, предусматривающий введение избыточного параметра с дальнейшей минимизацией площади поперечного сечения. Предложена методика эффективного прогнозирования реального объемного выхода пиломатериалов и выбора рациональных вариантов распиливания бревен с учетом спецификации пилопродукции.

**Ключевые слова:** бревно, поперечное сечение, огибающая кривая, сканирование, форма поверхности, математическое моделирование, тригонометрический многочлен, кусочно-линейная интерполяция.

### Vus A.Ya., Mayevskyy V.O. Mathematical Simulation of Log Cross Sections Based on the Results of their Scanning

Two approaches to the analytical model building of envelope curves describing contours of log cross sections based on the results of their longitudinal scanning are examined. It was determined that simulation of contour by Fourier trigonometric polynomial is an effective method which can be used in practice for development of appropriate mathematical model of the log. The algorithm that requires insertion of excess option with further minimization of cross section area was used to find the optimal model of contour. The method for effective prediction of real volume yield of lumber and choice of rational methods of log sawing with taking into account sawn timber specification is proposed.

**Keywords:** log, cross section, envelope curve, scanning, surface shape, mathematical simulation, trigonometric polynomial, straight-line interpolation.

УДК 614.843(075.32)

Докторант О.М. Коваль<sup>1</sup>, канд. техн. наук –  
НУ цивільного захисту України

### ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЮ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ТА ГАСІННЯ ПОЖЕЖ НА ДЕРЕВООБРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Розглянуто та проаналізовано наявні критерії прийняття рішень для оптимізації процесів локалізації та гасіння пожеж. На підставі цього аналізу прийнято за основу для розроблення критерію прийняття рішень в умовах невизначеності процес локалізації пожежі. Розглянуто втрати об'єкта від пожежі та пожежно-рятувальних підрозділів на виконання процесу ліквідації пожежі. Основними чинниками, які впливають на втрати, є тривалість вільного розвитку пожежі та тривалість процесу її локалізації. Для отримання значення критерію складено рівняння втрат як для об'єкта, так і для пожежно-рятувальних підрозділів, а після їх сумування, взяття похідної за часом та прирівняння отримано-

<sup>1</sup> Наук. консультант: проф. Е.М. Гуліда, д-р техн. наук

го рівняння до нуля отримано значення критерію. Рекомендовано отримане значення критерію використовувати під час розроблення оперативних планів і карток пожежогасіння для деревообробних підприємств.

**Ключові слова:** пожежа, критерій оптимізації, процес локалізації пожежі, втрати об'єкта від пожежі, втрати пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідацію пожежі.

**Постановка проблеми.** Основним проблемним питанням теорії прийняття рішення є визначення критерію для прийняття рішення в умовах невизначеності [1]. Для оптимізації тривалості часу локалізації та гасіння пожеж на деревообробних підприємствах важливим є оцінювання мінімальних витрат і збитків, які пов'язані з ліквідацією пожежі та використанням для її ліквідації оптимальної кількості сил і технічних засобів. Основними документами пожежно-рятувальних підрозділів для організації процесу ліквідації пожежі на об'єкті є оперативні плани та картки пожежогасіння.

Оперативний план – це документ, в якому передбачається розроблення питань організації гасіння пожежі на об'єкті з використанням необхідних оперативно-тактичних прийомів, сил і технічних засобів пожежогасіння. Оперативні плани розробляють для важливих пожежонебезпечних об'єктів. На всі інші об'єкти розробляють картки пожежогасіння. Зазначені документи розробляють заздалегідь на підставі суб'єктивних поглядів розробника. Використання пожежно-рятувальними підрозділами для організації процесу ліквідації пожежі на об'єкті оперативних планів або карток пожежогасіння здебільшого призводить до значних збитків. Наприклад, в Україні за 2014 р. тільки прямі збитки від пожеж становили 1489741 тис. грн [2]. Такі збитки за статистикою з кожним роком збільшуються. Наприклад, у 2014 р. вони збільшилися у 2,2 раза, порівняно з 2013 р. Наведені збитки від пожеж можна пояснити головним чином внаслідок розроблення на неналежному рівні оперативних планів і карток пожежогасіння, в яких в умовах невизначеності не наведено потрібної кількості сил і засобів ліквідації пожежі для відповідного об'єкта.

Для зменшення збитків від пожежі необхідно насамперед кожному пожежно-рятувальному підрозділу дотримуватися оптимальної тривалості часу вільного розвитку пожежі, локалізації, гасіння та ліквідації пожежі на об'єкті, на якому вона виникла. Тому для кожного об'єкта необхідно розробляти кілька варіантів оперативних планів або карток пожежогасіння і на підставі їх аналізу з використанням відповідного критерію оптимізації приймати найбільш раціональний варіант ліквідації пожежі, який би забезпечував визначений критерій. Але в практичній діяльності пожежно-рятувальних підрозділів такий підхід практично відсутній. Передусім, це пов'язано з тим, що наявні критерії не охоплюють всіх основних чинників ліквідації пожежі. На цій основі ставиться проблема у визначенні такого критерію, який би забезпечував вибір обгрунтованого варіанта ліквідації пожежі та забезпечував мінімальні збитки від пожежі як для об'єкта, так і для пожежно-рятувального підрозділу на її ліквідацію. Тому вирішення проблеми визначення критерію прийняття рішення для оптимізації процесів локалізації та гасіння пожеж на деревообробних підприємствах є важливим і актуальним завданням сьогодення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для розроблення оперативних планів і карток пожежогасіння для кожного об'єкта необхідно на підставі основних положень теорії прийняти найбільш вірогідне рішення  $P_{ij}$  з ліквідації поже-

жі з його оцінкою за відповідним варіантом  $B_i$  та умовами  $Y_j$ , які можуть характеризуватися відповідними економічними показниками. Такими показниками можуть бути, наприклад, витрати у вигляді прямих збитків об'єкта від пожежі  $B_{o,j}(\tau)$  та витрати пожежно-рятувальних частин  $B_{ni}(\tau)$  на ліквідацію пожежі за  $i$ -тим варіантом прийнятого рішення в  $j$ -тій ситуації розвитку пожежі [3]

$$P_{ij} = B_{o,j}(\tau) + B_{ni}(\tau). \quad (1)$$

Використовуючи рівняння (1), у пожежній практиці розглядають такі основні критерії для оптимізації тривалості часу ліквідації пожежі: 1) мінімакний критерій (ММ) на основі песимістичної позиції; 2) критерій Байєса-Лапласа; 3) критерій Севіджа; 4) критерій Гурвіца; 5) критерій Ходжа-Лемана; 6) критерій Гермейера; 7) критерій добутку; 8) критерій Нейтралітету; 9) оптимістичний критерій [4]. Наведені критерії можна використовувати за умови орієнтовного прогнозу виникнення пожежних ситуацій та розрахунку відповідної кількості сил і засобів для ліквідації пожежі в різних ситуаціях її розвитку. Для оптимізації задач, які пов'язані з ліквідацією пожеж, такий підхід є дуже складним і не обгрунтованим. Результати дослідження [4] показують, що в більшості випадків відсутні статистичні дані для точного розрахунку значення  $P_{ij}$ . Тому в пожежній практиці доцільно використовувати тільки критерій Севіджа або мінімакний критерій (ММ) на основі песимістичної позиції. Використання цих критеріїв для прийняття рішень не завжди дає оптимальні результати, але на їх основі можна отримати тільки "достатньо" раціональні рішення [4].

Для прийняття рішення з ліквідації пожежі в умовах невизначеності використовують також т. зв. різницевий критерій, який складається з двох часткових критеріїв [5]. Цей критерій представляє різницю між прямими збитками об'єкта від пожежі  $B_o$  (перший частковий критерій) та витратами пожежно-рятувальних підрозділів  $B_n$ , які беруть участь в її ліквідації (другий частковий критерій). За модулем ця різниця має наближатися до мінімального значення і навіть може дорівнювати нулю

$$|B_o - B_n| \Rightarrow \min. \quad (2)$$

Результати аналізу останніх досліджень і публікацій показали, що для визначення критерію прийняття рішення в умовах невизначеності у пожежній практиці під час розроблення оперативних планів і карток пожежогасіння найбільш доцільними на сучасному етапі є такі критерії: критерій Севіджа, мінімакний критерій (ММ) на основі песимістичної позиції та різницевий критерій. На підставі цього висновку ставиться мета, яка полягає в розробленні методу визначення більш досконалого за своїм значенням критерію прийняття рішення для оптимізації процесів локалізації та гасіння пожежі на деревообробних підприємствах.

**Мета роботи.** На підставі результатів досліджень розробити метод визначення критерію прийняття рішення для оптимізації процесів локалізації та гасіння пожежі на деревообробних підприємствах.

**Постановка задачі та її розв'язання.** Для постановки задачі скористаємося значеннями прогнозованої тривалості часу з моменту виникнення пожежі до початку її локалізації (прогнозований час вільного горіння  $\tau_{a,z}$ ) та тривалістю часу зайнятості сил пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП) на повну ліквідацію пожежі (прогнозований час зайнятості ПРП  $\tau_{3,n,n}$ ):

- прогнозований час вільного горіння

$$\tau_{в,з} = \tau_{в,в} + \tau_{сн} + \tau_{о,о} + \tau_{з,с} + \tau_{зб} + \tau_{сл} + \tau_{роз}, \quad (3)$$

де:  $\tau_{в,в}$  – час з моменту виникнення до моменту виявлення пожежі, хв;  $\tau_{сн}$  – час з моменту виявлення пожежі до моменту сповіщення про неї в пожежно-рятувальний підрозділ, хв;  $\tau_{о,о}$  – час на отримання та опрацювання сповіщення про пожежу, хв;  $\tau_{з,с}$  – час на залучення сил та засобів гарнізону для гасіння пожежі, хв (наказ МВС України №325 від 01.07. 1993);  $\tau_{зб}$  – час збирання особового складу, хв;  $\tau_{сл}$  – час слідування на пожежу, хв;  $\tau_{роз}$  – час оперативного розгортання, хв;

- прогнозований час зайнятості ПРП для ліквідації пожежі

$$\tau_{з,л,н} = \tau_{о,о} + \tau_{з,с} + \tau_{зб} + \tau_{сл} + \tau_{роз} + \tau_{лок} + \tau_2 + \tau_{лік}, \quad (4)$$

де:  $\tau_{лок}$  – час локалізації пожежі, хв;  $\tau_2$  – час гасіння пожежі, хв;  $\tau_{лік}$  – час на завершення ліквідації пожежі (остаточне гасіння), хв.

Значення складників  $\tau_{в,в}$ ,  $\tau_{сн}$ ,  $\tau_{о,о}$ ,  $\tau_{з,с}$ ,  $\tau_{зб}$ ,  $\tau_{роз}$  залежностей (3) і (4) наведено в роботі [6] та в нормативному документі [7]. Для визначення складника  $\tau_{сл}$  використовують залежність

$$\tau_{сл} = \frac{60Lk_n}{V_{сл}}, \quad (5)$$

де:  $L$  – відстань від пожежно-рятувальної частини до об'єкта, на якому виникла пожежа, км;  $k_n$  – коефіцієнт, який враховує непрямолінійність вуличної мережі (у містобудівельній практиці його максимальне значення приймають  $k_n = 1,4$ );  $V_{сл}$  – середня швидкість руху пожежних автомобілів, км/год (у денний час  $V_{сл} = 32$  км/год; вночі – до 60 км/год [8]).

Значення тривалості локалізації  $\tau_{лок}$  можна визначити за залежністю [8]

$$\tau_{лок} = \frac{6,39S_{лок}^{0,893}}{2N_A + N_B^f} K_I K_d, \quad (6)$$

де:  $S_{лок}$  – площа локалізації, м<sup>2</sup>;  $K_I$  – коефіцієнт, який враховує інтенсивність подання  $I_n^f$  (л/м<sup>2</sup>с) в осередок пожежі вогнегасної речовини (рекомендоване значення для ручних стволів  $I_n^f = 0,2$  л/м<sup>2</sup>с);  $K_d$  – 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; у випадку використання стволів  $A$  і  $B$  приймають середнє значення  $d = 16$  мм); для кругової і кутової пожеж  $S_{лок} = \alpha h [10V_{л} + 2V_{л}(\tau_{в,з} - 10) - h]$ ;  $V_{л}$  – лінійна швидкість поширення пожежі, м/хв;  $h$  – глибина подачі вогнегасної речовини в осередок пожежі ( $h = 5$  м для ручних стволів [9]), м;  $K_I = 1,62 - 3,04I_n^f$ ;  $K_d = 1,4983 - 0,0262d$ ;  $\alpha$  – кутовий коефіцієнт, який враховує форму пожежі: кругова (360 °)  $\alpha = 3,14$  рад; кутова (180 °)  $\alpha = 1,57$  рад; кутова (90 °)  $\alpha = 0,785$  рад;  $N_B^f$  – кількість стволів  $B$  на локалізацію і гасіння пожежі [8]

$$N_B^f = \frac{S_{лн} I_n^f}{Q_B}; \quad (7)$$

де  $N_B^f$  – кількість стволів  $B$  на захист

$$N_B^f = \frac{0,25K_3 S_{лн} I_n^f}{Q_B}, \quad (8)$$

де:  $Q_B$  – розхід вогнегасної речовини стволом  $B$ , л/с (розхід за тиску вогнегасної речовини 0,4 МПа і діаметра насадки  $d = 13$  мм становить 3,7 л/с);  $K_3 = 2,0 \dots 2,2$  – коефіцієнт, який враховує збільшення площі захисту порівняно з площею пожежі;  $N_A$  – кількість стволів  $A$  на локалізацію і гасіння пожежі [8]

$$N_A = 0,3N_B^f. \quad (9)$$

На підставі отриманих даних визначаємо загальну кількість стволів  $N_B = N_B^f + N_B^z$  та  $N_{\Sigma} = N_A + N_B^f + N_B^z$ . Окрім цього, визначаємо потрібну кількість відділень  $N_6$  для ліквідації пожежі

$$N_6 = 0,25(2N_A + N_B + 0,17N_{\Sigma} + 2). \quad (10)$$

Складник  $\tau_2$  можна визначити за залежністю

$$\tau_2 = \tau_{лок} \left( \frac{S_{лн}}{S_{лок}} - 1 \right), \quad (11)$$

де  $S_{лн}$  – площа пожежі, м<sup>2</sup>.

Після цього визначаємо час  $\tau_{лік}$  на закінчення ліквідації пожежі (кінцева ліквідація спалахів після гасіння) за залежністю

$$\tau_{к,з} = 0,25(\tau_{лок} + \tau_2). \quad (12)$$

Визначивши прогнозовані тривалості часів вільного розвитку пожежі та зайнятості ПРП для її ліквідації, ставимо для визначення критерію прийняття рішення для оптимізації процесу локалізації та гасіння пожежі на деревообробних підприємствах такі задачі: 1) визначити втрати об'єкта від тривалості вільного розвитку пожежі та її локалізації; 2) визначити втрати пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідацію пожежі; 3) встановити оптимальне значення критерію прийняття рішення для оптимізації процесу локалізації та гасіння пожежі на деревообробних підприємствах.

Визначення втрат об'єкта. Для визначення втрат об'єкта від пожежі скористаємося залежністю

$$B_o = C_o S_{лн}, \quad (13)$$

де:  $C_o$  – середня вартість одного квадратного метра площі об'єкта, яка знищена пожежею, грн/м<sup>2</sup>;  $S_{лн}$  – площа об'єкта, яка знищена пожежею, м<sup>2</sup>.

Для визначення площі  $S_{лн}$  скористаємося рекомендаціями роботи [10]. У цьому випадку отримуємо

$$S_{лн} = S_{лн1} + S_{лн2} + S_{лн3}, \quad (14)$$

де:  $S_{лн1}$  – площа пожежі за перші 10 хв тривалості вільного розвитку пожежі, м<sup>2</sup>;  $S_{лн2}$  – площа пожежі за період вільного розвитку пожежі без урахування перших 10 хв, м<sup>2</sup>;  $S_{лн3}$  – площа пожежі за період локалізації пожежі, м<sup>2</sup>.

Визначаємо значення складників залежності (14). Площа пожежі за перші 10 хв тривалості вільного розвитку пожежі враховується на тій підставі, що початок її локалізації ПРП починає виконуватися за час значно більший ніж 10 хв. У цьому випадку площу пожежі  $S_{лн1}$  можна визначити за залежністю

$$S_{лн1} = (0,5V_{лн})^2 10^2 \alpha = 25V_{лн}^2 \alpha. \quad (15)$$

Площа пожежі  $S_{лн2}$  за період вільного розвитку пожежі без урахування перших 10 хв

$$S_{П2} = (\tau_{в,з} - 10)^2 V_{л}^2 \alpha. \quad (16)$$

Площа пожежі  $S_{П3}$  за період локалізації пожежі

$$S_{П3} = \tau_{лок}^2 (0,5V_{л})^2 \alpha = 0,25\tau_{лок}^2 V_{л}^2 \alpha. \quad (17)$$

На підставі отриманих даних втрати об'єкта від пожежі будуть

$$B_o = C_o V_{л}^2 \alpha (\tau_{в,з}^2 - 20\tau_{в,з} + 0,25\tau_{лок}^2 + 125). \quad (18)$$

Визначення втрат  $B_n$  пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідацію пожежі. Для цього скористаємося середньою вартістю  $C_n$  однієї хвилини роботи ПРП в процесі ліквідації пожежі та результатом залежності (4). На підставі цих даних отримаємо

$$B_n = C_n \tau_{злп}. \quad (19)$$

Встановлення оптимального значення критерію прийняття рішення для оптимізації процесу локалізації та гасіння пожежі. Для визначення значення критерію скористаємося залежностями (18), (19) і (4). На підставі цих залежностей запишемо розгорнуту суму рівнянь (18) і (19)

$$y = C_o V_{л}^2 \alpha \tau_{в,з}^2 - 20C_o V_{л}^2 \alpha \tau_{в,з} + 0,25C_o V_{л}^2 \alpha \tau_{лок}^2 + 125C_o V_{л}^2 \alpha + C_n \tau_{оо} + C_n \tau_{зс} + C_n \tau_{зб} + C_n \tau_{сл} + C_n \tau_{поз} + 1,25C_n \left( \frac{S_{П}}{S_{лок}} - 1 \right) \tau_{лок} + 0,25C_n \tau_{лок}. \quad (20)$$

Визначаємо похідну по часу  $\tau$  від функції (20) та прирівнюємо її значення до нуля

$$\frac{dy}{d\tau} = C_o V_{л}^2 \alpha (2\tau_{в,з} - 20) + 0,5C_o V_{л}^2 \alpha \tau_{лок} + 5,25C_n + 1,25C_n \left( \frac{S_{П}}{S_{лок}} - 1 \right) = 0. \quad (21)$$

На підставі залежності (21) визначаємо оптимальне значення тривалості часу локалізації пожежі для прийнятих умов ліквідації пожежі, перепозначивши всі змінні часи вздовж осі  $x$  через  $\tau$

$$\tau_{лок,оп} = 8 - \frac{C_n [4 + 1,25(S_{П} / S_{лок})]}{2,5C_o V_{л}^2 \alpha}. \quad (22)$$

Тривалість гасіння пожежі визначаємо з використанням залежності (11), а тривалість закінчення ліквідації пожежі – за залежністю (12). Окрім цього, за умови використання залежності (6) можна виконати перевірку правильності прийняття необхідної кількості приладів для локалізації та гасіння пожежі. У цьому випадку має виконуватися умова

$$\tau_{лок} = \frac{6,39 \{ \alpha h [10V_{л} + 2V_{л}(\tau_{в,з} - 10) - h] \}^{0,893}}{2N_A + N_B^r} K_I K_d \leq \tau_{лок,оп}. \quad (23)$$

Виконання умови (23) дає змогу отримати в процесі ліквідації пожежі на об'єкті мінімальні втрати як для об'єкта, так і для пожежно-рятувальних підрозділів, тобто в цьому випадку

$$B_o + B_n \Rightarrow B_{\min}. \quad (24)$$

**Висновки:**

1. Результати аналізу наявних критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності дали змогу розробити критерій для оптимізації процесів локалізації та гасіння пожеж на деревообробних підприємствах.

2. За основу під час розроблення критерію оптимізації процесів локалізації та гасіння пожеж було прийнято тривалість часу для виконання операції локалізації, що дає змогу обґрунтовано перевіряти загальну кількість приладів для ліквідації пожежі загалом.
3. Розроблений критерій оптимізації процесів локалізації та гасіння пожеж дає змогу обґрунтовано виконувати розроблення оперативних планів і карток пожежогасіння для деревообробних підприємств.
4. Необхідна подальша робота в напрямку удосконалення критерію прийняття рішень в умовах невизначеності, що дасть змогу значною мірою зменшити збитки від пожеж.

**Література**

1. Мушик Э. Методы принятия технических решений : пер. с нем. / Э. Мушик, П. Мюллер. – М. : Изд-во "Мир", 1990. – 208 с.
2. Климась Р. Аналіз стану з пожежами в Україні за 2014 рік / Р. Климась, А. Одинець // Пожежна та техногенна безпека : Всеукр. наук.-виробн. журнал. – 2015. – № 2 (17). – С. 23-26.
3. Пермяков В.И. Перспективы разработки и применения экспертных систем при тушении пожаров / В.И. Пермяков, А.И. Кудин // Проблемы пожарной безопасности : сб. науч. тр. – Харьков : Изд-во МВД Украины, 1993. – С. 293-296.
4. Кудін А.І. Розроблення експертної системи прийняття рішень при організації гасіння пожеж : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / А.І. Кудін. – Харків : Вид-во ХІПБ, 1997. – 18 с.
5. Мовчан І.О. Забезпечення ліквідації пожежі на промислових підприємствах з урахуванням надійності пожежної техніки та устаткування : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / І.О. Мовчан. – Харків, 2007. – 18 с.
6. Бут В.П. Практичний посібник з пожежної тактики / В.П. Бут, Л.Б. Куціций, Б.В. Болібрux. – Львів : Вид-во СПОЛЮМ, 2003. – 133 с.
7. Нормативи по пожежно-стройовій підготовці. – К. : Вид-во УДПО МВС України, 1995. – 14 с.
8. Мовчан І.О. Вибір критеріїв для прийняття рішень в системі пожежогасіння / І.О. Мовчан, М.І. Васильєв // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності : зб. наук. праць. – Львів : Вид-во ЛДУ БЖД, 2013. – № 8. – С. 146-154.
9. Іванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Іванников, П.П. Ключ. – М. : Изд-во "Стройиздат", 1987. – 288 с.
10. Пархоменко Р.В. Пожежна тактика / Р.В. Пархоменко, Б.В. Болібрux, Д.О. Чалий – Кам'янець-Подільський : Вид-во ПП "Медобори-2006", 2013. – 416 с.

**Коваль А.М. Определение критерия принятия решения для оптимизации процессов локализации и тушения пожаров на деревообрабатывающих предприятиях**

Рассмотрены и проанализированы существующие критерии принятия решений для оптимизации процессов локализации и тушения пожаров. На основании этого анализа принят за основу для разработки критерия принятия решений в условиях неопределенности процесс локализации пожара. При разработке критерия рассмотрены потери объекта от пожара и пожарно-спасательных подразделений на выполнение процесса ликвидации пожара. Основными факторами, которые влияют на потери, являются продолжительность свободного развития пожара и продолжительность процесса ее локализации. Для получения значения критерия разработаны уравнения потерь как для объекта, так и для пожарно-спасательных подразделений, а после их суммирования, взятия производной по времени и приравнивании полученного уравнения к нулю получено значение критерия. Рекомендовано полученное значение критерия использовать при разработке оперативных планов и карточек пожаротушения для деревообрабатывающих предприятий.

**Ключевые слова:** пожар, критерий оптимизации, процесс локализации пожара, потери объекта от пожара, потери пожарно-спасательных подразделений на ликвидацию пожара.

**Koval O.M. Certain Decision Making Criteria to Optimize the Process of Localization and Firefighting at Woodworking Enterprises**

The existing decision-making criteria for optimizing processes of localization and extinguishing fires are reviewed and analyzed. Concerning this analysis a basis for the development of criteria for decision making under uncertainty of the process of fire localization was adopted. The criteria considered by the loss of the object from the fire and fire rescue units to perform the process of fire extinguishing are studied. The main factors that influence the duration of the loss are the free development of the fire and the duration of the process of its localization. For value criteria some equations for the loss of the object were developed, as well as for fire rescue units, and then summing them, taking the derivative with respect to time and equating to zero the resulting equation was obtained value of the criterion. It is recommended that the resulting value of the criterion should be used in the development of operational plans and cards for extinguishing wood processing enterprises.

**Keywords:** fire, optimization criterion, the process of fire localization, loss of the object from the fire, the loss of firefighters rescue units to eliminate the fire.

УДК 515.2

*Проректор І.О. Мовчан, канд. техн. наук –  
Львівський ДУ БЖД*

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЛІСОВОЇ ПОЖЕЖІ  
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇЇ ЛОКАЛІЗАЦІЇ**

На підставі аналізу сучасного стану проблеми встановлено, що незважаючи на об'єм нагромадженої інформації про лісові пожежі, на цей час не існує достатньо простої, адекватної й практично застосовної моделі поширення лісової пожежі, на базі якої можливе розроблення практичних планів локалізації та гасіння лісових пожеж. Побудовано математичну модель та оцінено вплив зміни параметрів вітру та розподілу вологості лісового пального матеріалу на динаміку низової лісової пожежі. З порівняння контурів поширення пожежі встановлено, що залежності швидкості від часу приводять до істотних змін як форм контурів розвиненої пожежі, так і напрямків їх найнебезпечніших поширень. Таким чином, форма контуру пожежі при врахуванні варіацій параметрів вітру і вологості горючого матеріалу істотно відрізняється від простої еліптичної форми.

**Ключові слова:** динаміка низової лісової пожежі, ефективність локалізації, розподіл вологості лісового пального матеріалу.

**Постановка проблеми.** Статистичні дані за останні роки свідчать про збільшення кількості лісових пожеж. Щорічно на планеті виникає до 400 тис. лісових пожеж, які ушкоджують близько 0,5 % від загальної площі лісів. Основна маса лісових пожеж – це низові пожежі, які завдають найбільше збитків і є джерелом виникнення пожеж інших типів.

Попередження й гасіння лісових пожеж є однією з найбільш актуальних і найважливіших завдань у лісовому господарстві України. Через просторість територій, покритих лісом, і недостатність засобів для ліквідації загорянь проблема боротьби з пожежами постала особливо гостро. У пожежонебезпечний сезон на території України щодня виникають сотні осередків лісових пожеж. Для визначення ефективних сценаріїв локалізації та гасіння потрібен прогноз динаміки лісової пожежі. Такий прогноз можна дати за допомогою методів математичного моделювання лісових пожеж.

**Аналіз публікацій.** За результатами аналізу літературних джерел, багато закордонних робіт, в яких досліджено математичне моделювання різних аспектів лісових пожеж та описано характерні для них параметри, процеси поширення, а

також методи локалізації та гасіння [1-2]. В Україні дослідження в цьому напрямку [3-5] викладено в працях Ю.О. Абрамова, А.М. Дигало, Р.Л. Покровсько-го, В.М. Комяк, О.А. Тарасенка, В.О. Комяка, Л.М. Куценка, Н.В. Литвина, С.В. Васильєва, О.П. Созніка й ін.

Незважаючи на об'єм нагромадженої інформації про лісові пожежі, на цей час не існує достатньо простої, адекватної і практично застосовної моделі поширення лісової пожежі, на базі якої можливе розроблення практичних планів локалізації та гасіння лісових пожеж. Тому для підвищення ефективності заходів щодо локалізації та гасіння лісових пожеж необхідним є моделювання поширення низової лісової пожежі з урахуванням таких факторів, як неоднорідний розподіл вологості горючого матеріалу й зміни параметрів приземного вітру. Таким чином, оцінювання впливу зміни параметрів вітру та неоднорідного й анізотропного розподілу вологості лісового пального матеріалу на динаміку низової лісової пожежі є актуальним науковим завданням і становить мету роботи.

**Постановка задачі.** Для визначення границь вигорання недостатньо знати тільки швидкість поширення фронтальної  $V_f$ , тилової  $V_b$  і флангової  $V_{fl}$  крайки пожежі щодо напрямку швидкості вітру  $V_w$ , необхідно розглядати залежності швидкості руху контуру від азимутального кута між напрямком швидкості вітру й напрямком поширення крайки пожежі

Запропоновано загальну математичну модель, що виходячи із загальноприйнятої гіпотези про еліптичну форму одиничного контуру вигорання, дає змогу за відомими значеннями  $V_f$ ,  $V_b$  й  $V_{fl}$ , які отримані з експериментальних або теоретичних досліджень, розрахувати годограф швидкості поширення низової лісової (або степової) пожежі, який у полярній системі координат має вигляд

$$V(V_w, \phi) = \frac{b^2 \beta \cos \phi + \sqrt{b^4 \beta^2 \cos^2 \phi + a^2 b^2 (a^2 - \beta^2) \sin^2 \phi}}{b^2 \cos^2 \phi + a^2 \sin^2 \phi}, \quad (1)$$

де:  $\phi$  – полярний кут,  $2a = V_f + V_b$ ,  $b = V_{fl}$ ,  $\beta = (V_f - V_b)/2$ , а полярна вісь збігається з напрямком вітру. Початок координат в обраній системі координат не збігається з фокусом еліпса, що принципово відрізняє запропоновану модель від наявних.

Використовуючи модель Теліцина [6] для  $V_f$ ,  $V_b$  й  $V_{fl}$ , з (1) отримуємо вираз для годографа швидкості

$$V(V_w, \phi) = \frac{2V_0 a \cos \phi + (1 + a^2) \sqrt{\cos^2 \phi + (1 - a^2) \sin^2 \phi}}{\cos^2 \phi + (1 - a^2) \sin^2 \phi}, \quad (2)$$

де  $V_0 = v_0 + kV_w$ , а параметри  $k$ ,  $v_0$ , і  $c$  – відомі.

Використання моделі Коровіна [7] для  $V_f$ ,  $V_b$  й  $V_{fl}$  та (1) призводить до виразу для годографа

$$V(V_w, \phi) = \frac{F_2 E^2 \cos \phi + F_1 E \sqrt{E^2 \cos^2 \phi + F_3 \sin^2 \phi}}{2E^2 \cos^2 \phi + F_1 \sin^2 \phi}, \quad (3)$$

де:  $A, B, C, D$  – параметри,  $F_{1,2} = (A + DV_w^2) \pm (C + DV_w)$ ,  $F_3 = (A + BV_w^2)(C + DV_w)$ .

Зауважимо, що модель Теліцина дійсна для  $V_w < 8$  м/с, а модель Коровіна – для  $V_w < 2$  м/с. Деякі результати розрахунків годографа швидкості з використанням моделі (1), а також інших авторів наведено на рис. 1.