

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Руководство по международным договорам в области охраны озонового слоя. Венская конвенция (1985 год). Монреальский протокол (1987 год). Пятое издание (2000 год).*-439 с.;
2. *Концептуальні засади діяльності щодо зменшення залежності України від використання озоноруйнівних речовин групи галонів в сфері пожежної безпеки;*
3. *План управління озоноруйнівними вогнегасними речовинами групи галонів у сфері пожежної безпеки України;*
4. *СТП 320.300.19801.047-2002 Перелік будівель, споруд, приміщень і відкритих технологічних майданчиків з установами їх категорій за вибухопожежною та пожежною небезпекою, а також класів вибухо і пожежонебезпечних зон згідно з ДНАОП 0.00-1.32-01;*
5. *НАПБ Б.07.005-86 (ОНТП 24-86) Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности;*
6. *ГОСТ 12.1.011-78 Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний;*
7. *ДНАОП 0.00-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок;*
8. *Норми пожежної безпеки в газовій промисловості;*
9. *ГОСТ 27331-87 Пожарная техника. Классификация пожаров;*

УДК 614.843(075.32)

*Е.М.Гуліда, д.т.н. професор., І.О.Мовчан, Д.П.Войтович (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)*

### ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПОЖЕЖОГАСІННЯ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Розглянуто технологічний процес гасіння пожежі на машинобудівному підприємстві. Для аналізу та вибору оптимального варіанту технологічного процесу розроблено каскадний граф варіантів технологічного процесу пожежогасіння з використанням теорій графів. З метою оптимізації розроблено блок-схему алгоритму вибору оптимального варіанту технологічного процесу з використанням методу Монте-Карло.

**Сучасний стан проблеми.** На підставі аналізу технічної літератури [1] було встановлено, що не можливо, спираючись лише на аналітичні розрахунки, вибрати оптимальний варіант технологічного процесу гасіння пожежі на машинобудівному підприємстві з урахуванням його особливостей. Необхідно враховувати, що до складу машинобудівного підприємства входять цехи: ливарні, ковальсько-пресові, заготівельні, механообробні, механоскладальні, фарбувальні тощо. Крім того, на території підприємства розташовуються склади паливно-мастильних матеріалів, склади заготовок, склади готової продукції, адміністративно-господарські та побутові споруди [10]. Всі вони несуть велике пожежне навантаження. Тому у разі виникнення пожежі та для швидкої її ліквідації велике значення має вибір обґрунтованого оптимального варіанта технології пожежогасіння.

**Мета роботи.** Розробка для умов машинобудівного підприємства технологічного процесу гасіння пожежі та оптимізаційної математичної моделі вибору оптимального варіанта.

**Розробка технологічного процесу гасіння пожежі для умов машинобудівного підприємства.** На підставі результатів аналізу технічно-довідникової літератури [2] було розроблено технологічний процес гасіння пожежі на машинобудівному [6] підприємстві, який включає в себе 14 технологічних операцій від початку виникнення пожежі до її

ліквідації. Значна кількість технологічних операцій може виконуватися за кількома варіантами. У загальному випадку цей технологічний процес можна представити у вигляді, який наведено у табл.1.

Таблиця 1  
Технологічний процес гасіння пожежі на машинобудівному підприємстві [5]

№ опер.	Назва операції	№ вар. операції	Назва варіанта операції
<b>Виникнення пожежі</b>			
1.	Повідомлення про пожежу	1.1	Повідомлення за допомогою телефонного зв'язку (ЦППЗ, ПЗЧ).
		1.2	Повідомлення очевидця (ЦППЗ, ПЗЧ).
		1.3	Повідомлення про пожежу під час слідування (повернення) на пожежу (з пожежі) (ЦППЗ, ПЗЧ).
		1.4	Повідомлення за допомогою пожежної сигналізації (радіомоніторингу)
2.	Опрацювання сигналу	2	Попереднє визначення складу підрозділу та пожежної техніки в орієнтовних межах. Вибір варіантів маршруту слідування
3.	Збір особового складу за сигналом „Тривога” і виїзд.	3	Збір особового складу за сигналом „Тривога” і виїзд.
4.	Слідування на пожежу	4.1	Слідування на пожежу найкоротшим шляхом по звичайних вулицях.
		4.2	Слідування на пожежу найкоротшим шляхом по звичайних вулицях з використання ділянок швидкісних доріг.
		4.3	Слідування на пожежу по звичайних вулицях з використання об'їздів аварійних ділянок дороги.
5.	Прибуття до місця виникнення пожежі.	5.1	Прибуття до місця виникнення пожежі на початковому етапі пожежі
		5.2	Прибуття до місця виникнення пожежі на етапі розвитку пожежі
		5.3	Прибуття до місця виникнення пожежі на завершальному етапі пожежі
6.	Оцінка ситуації на пожежі, прийняття рішення, віддання розпоряджень	6	Оцінка ситуації на пожежі, прийняття рішення, віддання розпоряджень

№ опер.	Назва операції	№ вар. операції	Назва варіанта операції
7.	Визначення вирішального напрямку бойових дій	7	Визначення вирішального напрямку бойових дій
8.	Вибір засобів захисту пожежного	8.1	Захист органів дихання і зору
		8.2	Вибір типу захисного одягу
		8.3	Вибір типу рятувального спорядження
9.	Рятувальна	9.1	Ліквідація загрози людям (рятування людей)
		9.2	Ліквідація загрози вибуху
		9.3	Ліквідація загрози тваринам (рятування тварин)
		9.4	Ліквідація загрози майну
10.	Визначення кількості сил та засобів необхідних для ліквідації пожежі	10	Визначення кількості сил та засобів необхідних для ліквідації пожежі
11.	Гасіння пожежі	11.1	Гасіння пожежі ручними водяними пожежними стволами
		11.2	Гасіння пожежі ручними водяними комбінованими пожежними стволами
		11.3	Гасіння пожежі ручними повітряно –пінними стволами
		11.4	Гасіння пожежі лафетними водяними стволами
		11.5	Гасіння пожежі лафетними комбінованими стволами
		11.6	Гасіння пожежі стаціонарними лафетними стволами
		11.7	Гасіння пожежі генераторами піни середньої кратності
		11.8	Гасіння пожежі генераторами піни високої кратності
		11.9	Гасіння пожежі установкою імпульсного пожежогасіння
		11.10	Гасіння пожежі вогнегасниками (різного типу)
12.	Проливання конструкцій	12	Проливання конструкцій
13.	Розбирання конструкцій	13	Розбирання конструкцій
14.	Збирання пожежно-технічного обладнання	14	Збирання пожежно-технічного обладнання
<b>Ліквідація пожежі (повідомлення ЦППЗ)</b>			
15.	Повернення в частину	15	Повернення в частину

В розглянутому технологічному процесі не наведена операція розвідки пожежі [3], яка виконується з моменту отримання повідомлення про виникнення пожежі до моменту отримання доповіді про ліквідацію пожежі, та ведеться паралельно з технологічним процесом, що дає змогу вводити корективи в цей процес [4]. Крім цього, враховується варіант гасіння пожежі установками автоматичного пожежогасіння, який також не наведено в технологічному процесі гасіння пожежі.

Для більш наочного розгляду варіантів технологічного процесу гасіння пожежі представимо його у вигляді каскадного графа (рис.1), на якому вершини відображають варіанти технологічних операцій а ребра – зв'язки між ними. Представлений граф варіантів технологічного процесу гасіння пожежі дає можливість визначити загальну кількість можливих варіантів  $V_{\Sigma}$  за залежністю

$$V_{\Sigma} = \prod_{i=1}^n O_i; \quad (1)$$

де  $O_i$  – кількість варіантів кожної технологічної операції від першої до n-ої.

Тоді загальна кількість варіантів технологічного процесу гасіння пожежі на машинобудівному підприємстві буде рівною

$$V_{\Sigma} = 4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1 = 4320 \text{ варіантів.}$$

Кількість варіантів технологічного процесу може збільшитися в декілька разів при умові об'єднання технологічних операцій 11.1 ... 11.10 в залежності від складу речовин які знаходяться в будівлях або спорудах машинобудівного підприємства.

Таким чином вибір оптимального варіанту технологічного процесу гасіння пожежі є багатоваріантною задачею, яку можна розв'язати на підставі розв'язку оптимізаційної математичної моделі.

Оптимізаційну математичну модель вибору варіанта технологічного процесу гасіння пожежі можна представити у вигляді:

мінімізувати функцію мети

$$T \rightarrow \min;$$

при обмеженнях

$$T \leq b; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} a_1 \leq L \leq b_1; & \quad a_4 \leq K_p \leq b_4; \\ a_2 \leq V \leq b_2; & \quad a_5 \leq K_r \leq b_5; \\ a_3 \leq K \leq b_3; & \quad a_6 \leq K_T \leq b_6. \end{aligned} \quad (3)$$

де  $T$  – час гасіння пожежі;  $L$  – шляхруху;  $V$  – швидкість руху;  $K$  – кількість пожежних автомобілів;  $K_p$  – кількість відділень для рятувальних робіт;  $K_r$  – кількість відділень для гасіння пожежі;  $K_T$  – кількість пожежних стволів;  $a_1, a_2, \dots, a_6$  – мінімальні значення обмежень;  $b$  – орієнтовний прогнозований максимальний загальний час виконання всіх технологічних операцій гасіння пожежі, який визначається на

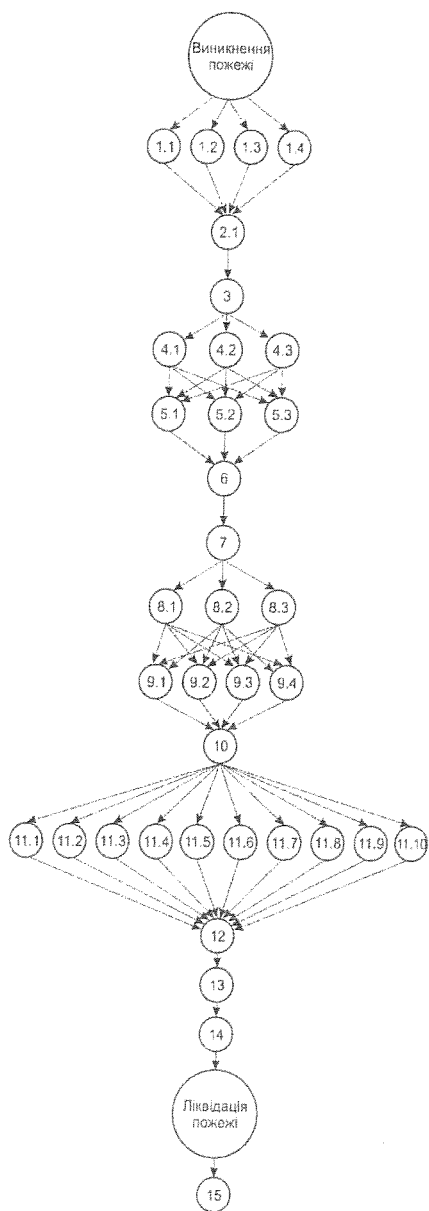


Рис.1. Каскадний граф варіантів технологічного процесу гасіння пожежі на машинобудівному підприємстві

початковому етапі на підставі рекомендованих нормативних даних для кожного конкретного випадку;  $b_1, b_2, \dots, b_6$  – максимальні значення обмежень.

Для розв'язання цієї задачі використовуємо метод Монте-Карло, [9] який полягає в наступному. Область допустимих розв'язків, яка визначається обмеженнями на перемінні, окреслюється  $n$ -мірним паралелепіпедом. За спеціальною програмою створюється послідовність псевдовипадкових точок рівномірно розподілених в інтервалі  $0, \dots, 1$ , які рівномірно розподілені в цьому паралелепіпеді. З точок, які попали в область допустимих розв'язків, вибирається та, для якої функція мети має найменше значення. Число необхідних випробовувань залежить від імовірності попадання точки, отриманої при окремому випробуванні, в околі точки мінімуму функції мети, яка визначається заданою точністю.

Область допустимих розв'язків  $D$  в задачі, що розглядається, представляє собою перетин  $n$ -мірного паралелепіпеда  $A$ , що визначається обмеженнями (3), і деякої області  $B$ , яка визначається функцією мети (2). Схематично для двомірного випадку це зображено на рис.2. Область  $D$  допустимих розв'язків на ньому заштрихована. Якщо позначити число всіх випробувань -  $N$ , а число точок, які попали в область  $D$ , через  $k$ , то імовірність  $P$  попадання точки в область допустимих розв'язків при окремому випробуванні можна охарактеризувати відношенням  $P=(k/N)$ .

Розроблена для ПЕОМ програма передбачає випробовування в паралелепіпеді  $A$ , який включає область допустимих рішень  $D$ . При цьому в паралелепіпеді (3) утворюється послідовність випадкових точок  $(L_1, V_1, K_1, K_{p1}, K_{r1}, K_{t1}); (L_2, V_2, K_2, K_{p2}, K_{r2}, K_{t2}); \dots; (L_n, V_n, K_n, K_{pn}, K_{rn}, K_{tn});$  Величини  $L_i, V_i, K_i, K_{pi}, K_{ri}, K_{ti}$  попарно незалежні і рівномірно розподілені на відрізках  $[a_1, b_1], [a_2, b_2], \dots, [a_6, b_6]$ .

Точки для яких не виконується умова (3), відкидаються, а для точок які попали в область  $D$ , визначаються значення  $T$ . Це значення, отримане на кожному етапі, порівнюється з попереднім. Менше з них і відповідні йому значення  $L, V, K, K_p, K_r, K_t$  запам'ятовуються і весь процес повторюється.

В ході розрахунків із точок, які попали в область  $D$ , вибирається точка з найменшим значенням  $T$ .

Отримані числа за формулами:

$$\begin{aligned} L_i &= a_1 + \xi_i (b_1 - a_1); V_i = a_2 + \xi_i (b_2 - a_2); K_i = a_3 + \xi_i (b_3 - a_3); \\ K_{pi} &= a_4 + \xi_i (b_4 - a_4); K_{ri} = a_5 + \xi_i (b_5 - a_5); K_{ti} = a_6 + \xi_i (b_6 - a_6); \end{aligned} \quad (4)$$

перетворюємо до інтервалів змінних  $L, V, K, K_p, K_r, K_t$  і заокруглюємо до цілого числа в більшу сторону. Для визначення значення функції мети  $T$  використовуємо залежність

$$T = \sum_{j=1}^n T_j, \quad (5)$$

де  $n$  – загальна кількість технологічних операцій пожежогасіння;  $T_j$  – основний технологічний час виконання кожної  $j$ -ої операції. Основний технологічний час виконання операції визначається у функціональній залежності від змінних чинників  $L, V, K, K_p, K_r, K_t$  та від їх значень. Для першої операції основний технологічний час визначається як різниця між оперативним часом повідомлення про пожежу та оперативним часом виникнення

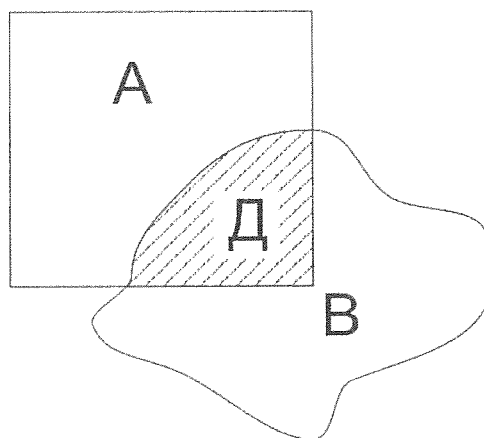


Рис.2. Область допустимих розв'язувань  $D$ .

пожежі. На всі інші технологічні операції основний час визначається згідно з рекомендаціями [8].

Блок-схема алгоритму проектування оптимального варіанта технологічного процесу гасіння пожежі зображена на рис.3.

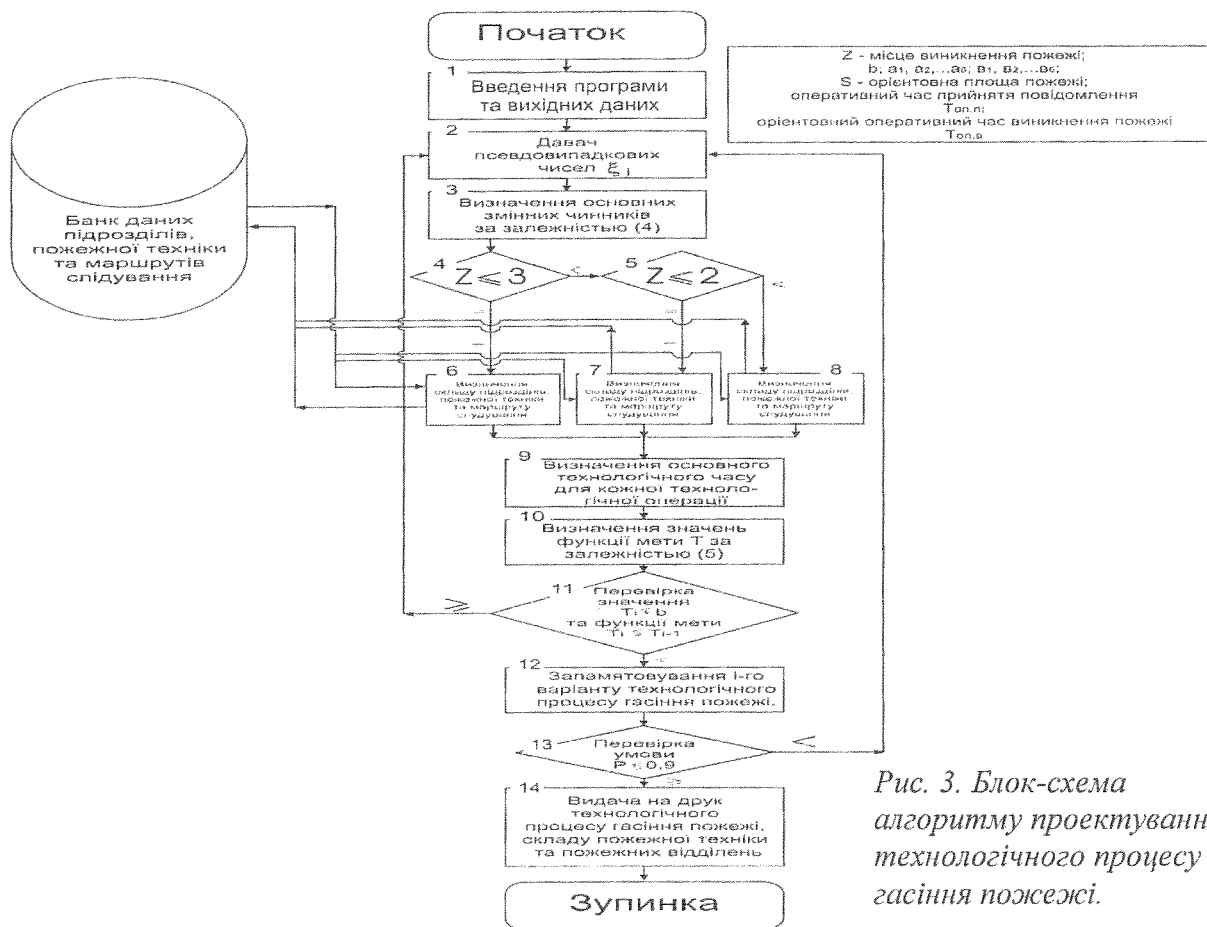


Рис. 3. Блок-схема алгоритму проектування технологічного процесу гасіння пожежі.

Вибір оптимального варіанта технологічного процесу гасіння пожежі виконується згідно з послідовністю, яка зображена на блок-схемі алгоритму (рис. 3.) на ПЕОМ. Після отримання повідомлення про пожежу здійснюється опрацювання сигналу та підключається до роботи програма проектування технологічного процесу гасіння пожежі. Для цього необхідно в блок 1 ввести вихідні данні: 1) місце виникнення пожежі ( $Z$ ), якому присвоюються такі значення:  $Z = 1$  (пожежа будівель та споруд, в яких знаходяться речовини з температурою спалаху більше  $61^{\circ}\text{C}$ ),  $Z = 2$  (пожежа в будівлях та спорудах, в яких знаходяться речовини з температурою спалаху від  $28^{\circ}\text{C}$  до  $61^{\circ}\text{C}$ ),  $Z = 3$  (пожежа в будівлях та спорудах, в яких знаходяться речовини з температурою спалаху менше  $28^{\circ}\text{C}$ ); 2) граничні обмеження  $a_1, a_2, \dots, a_6, b_1, b_2, \dots, b_6$ , значення яких приймаються таким чином:  $a_1$  - мінімальна відстань до місця виклику,  $a_2$  - мінімальна швидкість руху,  $a_3 = a_4 = a_5 = a_6 = 1$  мінімальна кількість відповідно пожежних автомобілів, відділень для проведення рятувальних робіт, відділень для проведення гасіння пожежі, кількість пожежних стволів,  $b_1, b_2, \dots, b_6$ , - максимальні значення розглянутих граничних обмежень, які можливі при виборі маршруту та часу слідування, а також наявність пожежної техніки та відділень в частині, до якої поступив виклик; 3) орієнтовна площа пожежі  $S$ .

Після цього в роботу вступає блок 2, в якому створюється послідовність псевдовипадкових чисел за допомогою яких в блоці 3 на  $i$ -ому етапі визначається значення змінних чинників за залежністю (4). Блоки 4 і 5 дають можливість розпізнати програмою місце виникнення пожежі і відповідно за допомогою блоків 6, 7, 8 вибрати з банку даних кількість підрозділів, пожежної техніки та маршрут слідування. Отриманні дані є підставою

для визначення в блоці 9 основного технологічного часу для кожної технологічної операції процесу гасіння пожежі, а також для визначення в блоці 10 прогнозованого часу  $T_i$  гасіння пожежі, з урахуванням всіх технологічних операцій, тобто визначення функції мети за залежністю (5). В блоці 11 отримане значення  $T_i$  порівнюється з попереднім значенням функції мети  $T_{i-1}$  та при умові, якщо  $T_i \geq T_{i-1}$ , то цикл роботи програми повторюється з блока 2. Якщо  $T_i < T_{i-1}$ , то вибраний  $i$ -тий варіант запам'ятовується в блоці 12 і перевіряється в блоці 13 імовірність  $P$  попадання точки в область  $D$  (рис. 2.) допустимих розв'язків. Імовірність  $P$  прийнята за критерій вибору оптимального варіанта технологічного процесу гасіння пожежі. Якщо  $P < 90\%$ , то процес розв'язання задачі починається з блока 2. При  $P \geq 90\%$  процес розв'язання задачі припиняється і блок 14 видає технологічний процес на друк, а саме: технологічний процес гасіння пожежі з прогнозованим часом виконання кожної операції; маршрут слідування, середню швидкість руху, склад необхідної пожежної техніки та кількість пожежних відділень. Час роботи розглянутої програми знаходиться в межах від 30 до 60 с., а з часом на введення вихідних даних загальний час виконання 2 операції (табл.1) коливається в межах 1 ... 1,5 хв.

Для зображення роботи програми розглянемо приклад.

Вихідні дані: місце виникнення пожежі – *механічний цех машинобудівного заводу*  $Z = 1$ ; оперативний час виникнення пожежі  $T_{оп.в.} = 12 \text{ год } 00 \text{ хв}$ ; оперативний час прийняття повідомлення про пожежу  $T_{оп.п.} = 12 \text{ год } 08 \text{ хв}$  (повідомлення за допомогою телефонного зв'язку);  $a_1 = 2,5 \text{ км}$ ;  $b_1 = 5 \text{ км}$ ;  $a_2 = 30 \text{ км/год}$ ;  $b_2 = 60 \text{ км/год}$ ;  $a_3 = 1$ ;  $b_3 = 3$ ;  $a_4 = 1$ ;  $b_4 = 3$ ;  $a_5 = 1$ ;  $b_5 = 3$ ;  $a_6 = 1$ ;  $b_6 = 5$ ;  $b = 1,5 \text{ год}$ ; орієнтовна площа пожежі  $S = 100 \text{ м}^2$ .

Після введення вихідних даних та роботи програми протягом 42 с були отримані такі результати: прогнозований технологічний процес гасіння пожежі, який включає 14 технологічних операцій, що будуть корегуватися під час проведення розвідки; склад пожежної техніки: *2 автомобілі АЦ*, кількість відділень на гасіння – 2; стволів „А” – *2 шт.*; стволів „В” для захисту – *1 шт.*; середня швидкість руху автомобіля – *45 км/год*, довжина маршруту слідування *3 км*, прогнозований загальний час на гасіння пожежі – *51 хв*.

### Висновки

Результати виконаних досліджень дозволили зробити такі висновки:

1. Існуюче матеріально-технічне забезпечення не дає можливості оперативно отримати результати для визначення технологічного процесу гасіння пожежі, технічних засобів і кількості особового складу, необхідного для гасіння пожежі.

2. Результати виконаної роботи дали можливість розробити програмне забезпечення для оперативного проектування технологічного процесу гасіння пожежі на машинобудівних підприємствах з отриманням даних в межах 30 ... 60 с.

3. З метою подальшого вдосконалення методики проектування оптимального варіанту технологічного процесу гасіння пожежі на машинобудівних підприємствах і підвищення надійності цієї системи доцільно продовжити роботу в даному напрямку.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ключ П.П., Палюх В.Г., Пустовий А.С., Сенчихін Ю.М., Сировий В.В. *Пожежна тактика*. -Х.: Основа, 1998.-592с.
2. Бондаренко А.І., Михайлов В.М. *Методичні рекомендації та матеріали, регламентуючі оперативно-службову діяльність підрозділів пожежної охорони Київської області*. - К.: (Затверджено наказ УВС від 20.10.93р., №406), 1994
3. *Боевой Устав пожарной охраны Украины - М-во внутр. дел Украины*. К., 1993.-127с.
4. Повзик Я.С. *Пожарная тактика*. - М., 1984.-480с.
5. Повзик Я.С., Ключ П.П., Матвейкин А.М. *Пожарная тактика*. - М.:Стройиздат, 1990.-334с.
6. Иванников В.П., Ключ П.П. *Справочник руководителя тушения пожара*. - М., 1987.-288с.
7. Кимстач И.Ф., Девлишев П.П., Евтюшкин Н.М. *Пожарная тактика*. - М., 1994.-580с.

8. Бут В.П., Л. Б. Куціций, Б.В. Болібрех, *Практичний посібник з пожежної тактики*. – Л.: СПОЛОМ, 2003. – 122с.
9. Гуліда Є.М. *Управление надежностью цилиндрических зубчатых колес* – Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. Ун-те, 1983.- 136 с.
10. Козут М.С. *Механоскладальні цехи та дільниці у машинобудуванні: Підручник*. – Львів: Видавництво Державного університету „Львівська політехніка”, 2000. – 352 с.

УДК 539.3

Л.І.Гурняк к.т.н. (Національний університет “Львівська політехніка”)  
 Ю.В.Гуцуляк. к.т.н., Т.Б.Юзьків к.т.н (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)

### ПРОГНОЗУВАННЯ МІЦНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ СТЕРЖНЕВИХ ОПОР ПРИ ВИПАДКОВИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Запропоновано методику розрахунку колон з урахуванням температурних навантажень. Одержані результати дають можливість виконувати проектні розрахунки колон, а також пропонуються методи компенсації температурних напружень.

Обладнання хімічної та харчової виробництв, нафтопереробної промисловості, різноманітні будівельні споруди включають важкі надземні споруди, розташовані на вертикальних стержневих опорах-колонах, виготовлених зі стандартних профілів. При проектуванні таких колон, як правило, не враховуються можливі екстремальні ситуації, пов'язані з температурними навантаженнями. Дія температури на опори подібного типу створює додаткові навантаження, які в сумі з робочими навантаженнями можуть значно перевищувати розрахункові і бути причиною втрати стійкості.

Норми будівельного проектування, які використовуються при проектних розрахунках таких конструкцій, зазвичай побудовані на методі послідовних наближень за критерієм коефіцієнта поздовжнього згину  $\varphi$  [1], [2]. Коефіцієнти запасу стійкості при цьому не задаються явно, а є функціями коефіцієнта  $\varphi$ , і для пластичних матеріалів з різними значеннями гнучкості мають величину коефіцієнту стійкості  $n_{cm} = 1,6...2$ . При наявності температурних деформацій такі коефіцієнти запасу стійкості можуть бути недостатніми. Тому розробка методики прогнозування міцності та стійкості стержневих опор важких надземних конструкцій з урахуванням температурних навантажень є актуальною задачею, особливо, з міркувань пожежної безпеки.

Розглянемо вертикальну опору з шарнірно закріпленими краями, схема якої показана на рис.1 При інших способах закріплення опор, їх розрахунок можна проводити для еквівалентної схеми при шарнірному закріпленні зведеної довжини опори. Опора сприймає осьову силу  $F$ , яка є частиною загального навантаження на всі опори. Нехай, крім того, від джерела теплової енергії, розташованого на певній відстані від опори, температура її нагріву з одного боку має величину  $T(x)$ , а

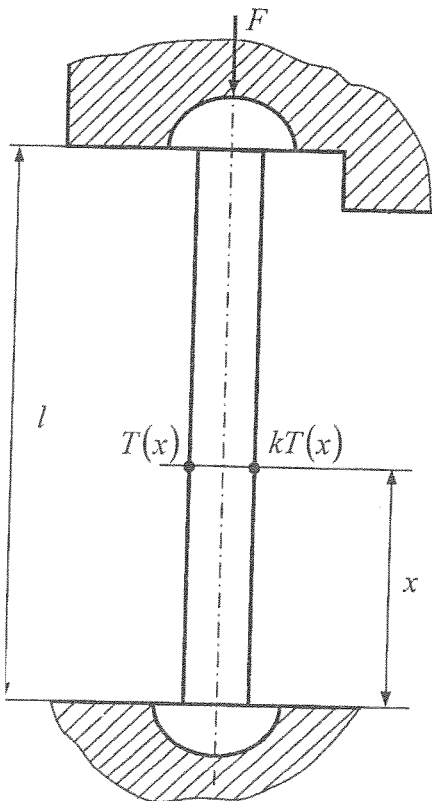


Рис. 1