

## ЗМЕНШЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ВІЛЬНОГО РОЗВИТКУ ПОЖЕЖІ НА ОСНОВІ ОПТИМІЗАЦІЇ ШЛЯХУ СЛІДУВАННЯ ПОЖЕЖНИКІВ ДО МІСЦЯ ЇЇ ВИНИКНЕННЯ

Розроблено графову модель оптимізації шляху слідування пожежної техніки та пожежно-рятувального підрозділу від пожежного депо до місця виклику. На підставі графової моделі розроблена методологія оптимізації шляху слідування, яка дає змогу зменшити час слідування і відповідно тривалість вільного розвитку пожежі на 2,5...5 хв. Отримані результати дають можливість значно підвищити ефективність реагування на виклик пожежно-рятувальних підрозділів міста.

**Ключові слова:** пожежа, пожежна техніка, збитки від пожежі, час слідування, графова модель, вільний розвиток пожежі.

**Постановка проблеми.** Відомо, що тривалість вільного розвитку пожежі закінчується тільки після подачі в осередок пожежі першими стволами вогнегасної речовини пожежним відділенням, яке прибуло на пожежному автомобілі до місця її виникнення. Цей час можна визначити за залежністю

$$\tau_{в.р} = \tau_{в.в} + \tau_{сн} + \tau_{о.о} + \tau_{з.с} + \tau_{зб} + \tau_{сл} + \tau_{роз}, \quad (1)$$

де  $\tau_{в.р}$  – час з моменту виникнення до моменту виявлення пожежі (на практиці цей час коливається в межах 5...8 хв [1]); 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 [1] (середнє значення  $\tau_{в.в} = 3,5$  хв);  $\tau_{о.о}$  – час на отримання та опрацювання сповіщення про пожежу;  $\tau_{о.о} = 1$  хв [2];  $\tau_{з.с}$  – 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 [2];  $\tau_{сл}$  – середній час слідування на пожежу;  $\tau_{сл} = 13,9$  хв (після статистичної обробки результатів робіт [3, 4] та даних журналу виїздів підрозділів ДПРЧ-3 і ДПРЧ-4 м. Львова за жовтень 2013 року);  $\tau_{роз}$  – час оперативного розгортання;  $\tau_{роз} = 7$  хв [1].

На підставі наведених нормативних і статистичних даних можна за залежністю (1) визначити середнє значення тривалості вільного розвитку пожежі

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

Аналізуючи отриманий результат, можна зробити висновок, що найбільшою складовою  $\tau_{в.р}$  є середній час слідування на пожежу  $\tau_{сл}$ , який з кожним роком зростає внаслідок перевантаження в містах шляхів слідування автомобільним та іншими видами транспорту. Наприклад, в 2002 році середній час слідування на пожежу по Україні дорівнював 11,95 хв, в 2005 році – 12,41 хв [3], в 2008 році – 17 хв [4] і так далі. Тому виникає проблема зменшення тривалості вільного розвитку пожежі і в першу чергу шляхом зменшення часу слідування на пожежу. Наприклад, зменшення часу слідування  $\tau_{сл}$  тільки на 5 хв дасть змогу отримати по Україні зменшення прямих збитків за площею пожежі приблизно на 24%, що становить близько 205608 тис. грн (за даними статистики пожеж в 2012 році [5]). Такий підхід до розв'язання цієї проблеми є актуальним і необхідним на сучасному етапі розвитку нашої країни.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Проблемою зменшення тривалості вільного розвитку пожежі займалися багато вчених науково-дослідних та вищих навчальних закладів як в Україні, так і за кордоном. Одним із перших цією проблемою почав займатися д.т.н., проф. М.М. Брушлінський, який на основі результатів імітаційного моделювання змінив границі районів обслуговування пожежно-рятувальними підрозділами з урахуванням транспортної мережі міста та швидкостей руху пожежних автомобілів. Результати моделювання дозволили отримати нові межі районів виїзду для пожежних підрозділів, за яких було більш рівномірно розподілено кількість викликів до пожежних частин і на 9% зменшився час доїзду до місця виклику [6].

Розглянуті результати роботи були удосконалені для м. Львова у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності. Завдяки оптимізації меж районів обслуговування пожежно-рятувальними підрозділами було зменшено час слідування до місця виклику на 3% [7]. В роботі [11] здійснено аналіз зон обслуговування пожежно-рятувальних частин міста, на підставі якого було встановлено, що доцільним є створення модуля поділу міста на зони обслуговування, алгоритм роботи якого базується на діаграмах Вороного.

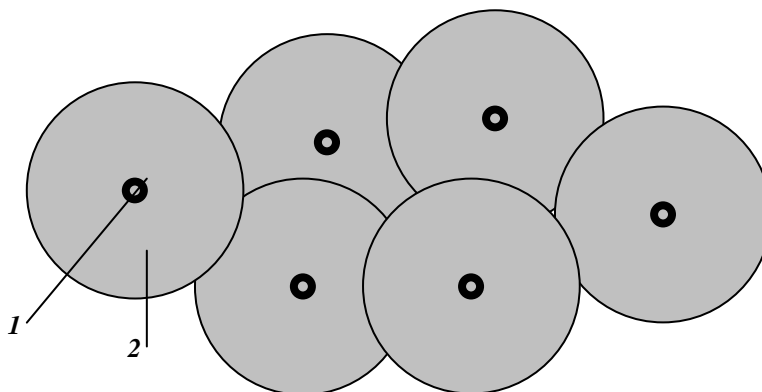
Відомо, що в США середній час слідування пожежного підрозділу по місту до місця виклику становить 2,4 ... 5,9 хв [8]. Це в 3...5 разів менше, ніж в європейських містах та містах України. Пояснити таке швидке реагування пожежно-рятувальних підрозділів можна тим, що пожежні частини обслуговують набагато менші за площею райони міста від 1,7 км<sup>2</sup> до 6 км<sup>2</sup> території на одне депо [8], а в Україні – до 28...30 км<sup>2</sup>.

Заслуговує на увагу результат роботи у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності із розроблення пожежного модуля, який може переміщуватися за допомогою квадратора навіть по тротуарах міста у випадку заторів на автомобільних шляхах [9]. Використання цього модуля скорочує час прибуття до місця виклику у порівнянні з пожежним автомобілем АЦ-40(130)63Б в межах 41...49% залежно від часу доби.

Безумовно наведені заходи дають змогу зменшити час слідування пожежної техніки до місця виклику, але впровадження оптимізації границь районів обслуговування для деяких пожежно-рятувальних підрозділів практично неможливе. Це можна пояснити в першу чергу складним рельєфом місцевості районів обслуговування, відсутністю достатньої кількості міських доріг при зміні границь цих районів, а також неможливістю зменшення встановленої норми площі району обслуговування одним пожежно-рятувальним депо. Тому ставиться задача розробити нові підходи для можливого зменшення часу слідування пожежної техніки до місця виклику в будь-який час доби. В першу чергу це стосується визначення оптимального шляху проїзду пожежно-рятувальної частини до місця виклику, особливо в години пік, проїзду автотранспорту на дорогах і перехрестях міста, початковий напрям досліджень в цьому питанні наведено в роботі [12].

**Мета роботи.** Розробити методологію оптимізації часу слідування пожежної техніки та пожежно-рятувального підрозділу до місця виклику з урахуванням пропускнуої можливості доріг сполучення міста для автотранспорту упродовж доби, днів тижня та пори року.

**Викладення основного матеріалу.** Відомо, що згідно з ДБН 360-92 радіус району обслуговування в Україні однією пожежно-рятувальною частиною, тобто одним пожежним депо, дорівнює 3 км, що становить площу в залежності від рельєфу місцевості 28...30 км<sup>2</sup>. Виходячи з цієї норми, можна представити райони обслуговування для міст у вигляді кругів, площі яких можуть частково перекриватися площами суміжних районів. Приклад розміщення шести пожежних депо та районів міста, які обслуговуються ними (пожежно-рятувальними підрозділами) зображено на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема розміщення в місті пожежних депо – 1 та районів обслуговування – 2

Безумовно, насправді такий поділ міста на райони обслуговування пожежно-рятувальними підрозділами неможливий. На практиці розподіл районів виконується за певними вулицями, які використовуються як границі, із закріпленням за кожною частиною площі обслуговування в межах до 30 км<sup>2</sup>. І такі райони в більшості випадків виглядають як багатокутники, на яких пожежні депо в більшості випадків розміщені зі зміщенням відносно їх центрів. Нами розглянута схема (рис. 1) для спрощення розуміння питання, пов'язаного з районами обслуговування.

Для забезпечення поставленої мети, а саме для зменшення тривалості вільного розвитку пожежі на основі оптимізації шляху слідування пожежної техніки до місця її виникнення, розглянемо запропонований алгоритм розв'язку цієї задачі.

На **першому етапі** район обслуговування необхідно розділити на декілька секторів за встановленими в оперативно-диспетчерській службі напрямками слідування пожежної техніки (на 5...6 секторів з границями по вулицях) таким чином, щоб кожен сектор мав в своїх межах від 3 до 5 доріг для можливого проїзду в радіальному напрямі від пожежного депо до крайньої границі сектора району обслуговування з використанням поперечних доріг для переїзду на радіальні дороги, які менш завантажені транспортними засобами.

На **другому етапі** для кожного прийнятого сектора необхідно розробити каскадні графи варіантів доріг для проїзду від пожежного депо в радіальному напрямі до крайньої границі сектора з урахуванням всіх можливих перехресть. Приклад каскадного графа зображено на рис. 2.

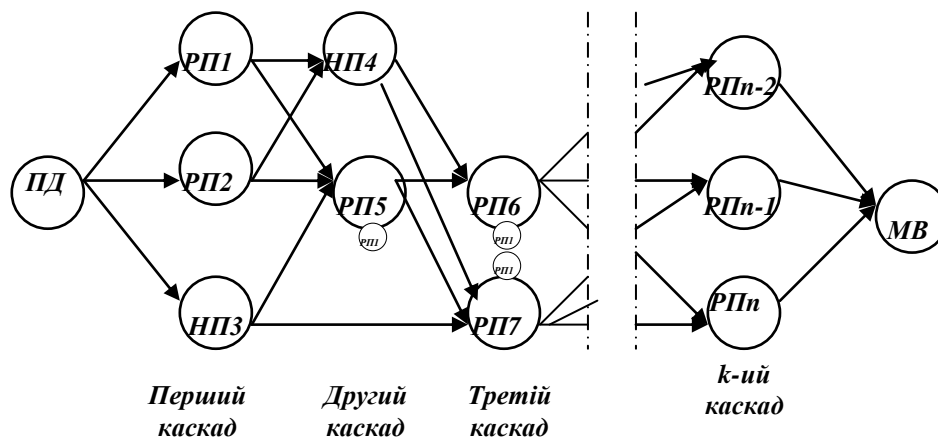


Рис. 2. Каскадний граф варіантів проїзду пожежної техніки від пожежного депо (ПД) до місця виклику (МВ) по дорогах довжиною  $l_i$  (ребра графа) з урахуванням регульованих (РП) і нерегульованих (НП) перехресть

Каскадний граф варіантів проїзду пожежної техніки та пожежно-рятувального підрозділу від пожежного депо (ПД) до місця виклику (МВ) (рис. 2) будується з урахуванням всіх можливих радіальних і поперечних доріг, довжина яких  $l_i$  відповідає кожному певному ребру графа. Кожна вершина графа відповідає перехрестю доріг, які можуть бути регульованими з використанням світлофорів (РПі) і нерегульованими (НПі).

На **третьому етапі** необхідно визначити за результатами спостережень середнє значення інтенсивності руху  $N$  (од/с) автотранспорту для радіальних доріг. Після цього встановити за результатами спостережень вплив оперативного часу доби  $\tau_{on}$  на завантаженість доріг і відповідно на інтенсивність руху, оцінюючи цей вплив коефіцієнтом  $k_1$ . Значення коефіцієнта  $k_1$  можна визначити за результатами виконаних спостережень за умови

$$k_1 = \frac{N_{\bar{a}}}{N},$$

де  $N_{\bar{a}}$  – дійсне значення інтенсивності руху, од/с.

Результати спостережень можуть бути представлені так, як зображено на рис. 3.

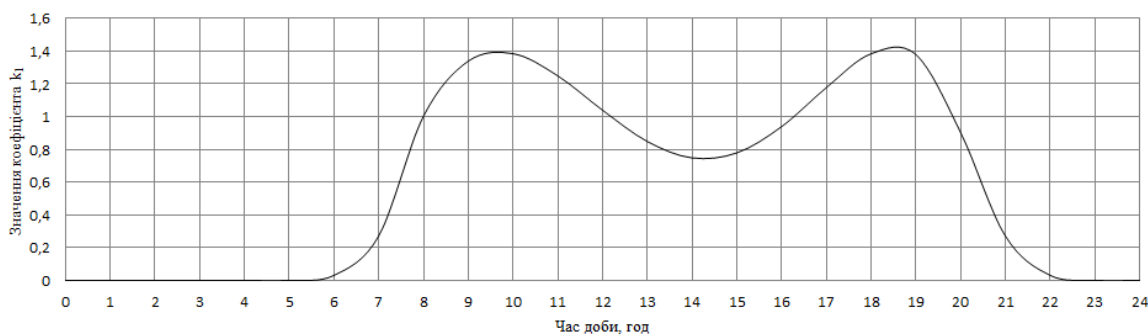


Рис. 3. Вплив оперативного часу доби  $\tau_{on}$  на значення коефіцієнта  $k_1$

Після оброблення статистичних даних методом математичної статистики можна отримати поліноміальну залежність для визначення коефіцієнта  $k_1$  від оперативного часу доби  $\tau_{on}$  виду

$$k_1 = b_0 + b_1\tau_{ii} + b_2\tau_{ii}^2 + \dots + b_5\tau_{ii}^5, \quad (2)$$

де  $\tau_{on}$  – оперативний час доби, при якому може виконуватися від'їзд пожежної техніки від пожежного депо на виклик, год.

Наприклад, для міста Львова для визначення коефіцієнта  $k_1$  був отриманий поліном виду

$$k_1 = -19,04 + 3,93 \cdot \tau_{ii} + 0,05312 \cdot \tau_{ii}^2 - 0,05402501 \cdot \tau_{ii}^3 + 0,0037642 \cdot \tau_{ii}^4 - 0,000078125 \cdot \tau_{ii}^5.$$

Крім того, необхідно враховувати вплив пор року коефіцієнтом  $k_2$  на інтенсивність руху автотранспорту. Приймавши умовне позначення пор року через  $\Pi = 1$  – літо;  $\Pi = 2$  – осінь;  $\Pi = 3$  – зима;  $\Pi = 4$  – весна, можна значення  $k_2$  визначити за залежністю

$$k_2 = 1,935 - 0,644\Pi + 0,09\Pi^2. \quad (3)$$

Безумовно на інтенсивність автомобільного руху також впливають дні тижня. Цей вплив враховують введенням коефіцієнта  $k_3$ , значення якого можна отримати при використанні залежності, в якій дні тижня  $D$  відповідають таким даним:  $D = 1$  – понеділок;  $D = 2$  – **вівторок**; ...  $D = 7$  – неділя. Тоді отримуємо

$$k_3 = 0,8314 + 0,1807D - 0,0061D^2 - 0,0039D^3. \quad (4)$$

На підставі отриманих даних визначають дійсне значення інтенсивності руху  $N_d$  **транспортних засобів**

$$N_d = Nk_1k_2k_3. \quad (5)$$

На **четвертому етапі** необхідно визначити час затримки  $\tau_s$  транспортних засобів на регульованих світлофорах та нерегульованих перехрестях:

– на регульованих перехрестях за залежністю Вебстера [10]

$$\tau_s = \frac{T_{\text{Ц}}(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2N(1-x)} - 0,65 \left( \frac{T_{\text{Ц}}}{N_d^2} \right)^{\frac{1}{3}} x^{(2+5\lambda)}, \quad \text{с} \quad (6)$$

де  $T_{\text{Ц}}$  – цикл регулювання світлофора, с (при розрахунках  $T_{\text{Ц}}$  можна приймати в межах 60...80 с);  $\lambda$  – відношення сигналу, який дозволяє рух, до циклу (при розрахунках  $\lambda$  приймають в межах 0,6...0,75);  $N_d$  – дійсне значення інтенсивності руху транспортних засобів в напрямку, що розглядається, од/с (визначають за залежністю (5));  $x$  – ступінь насичення фази, тобто це показник відношення середньої кількості автомобілів, що прибувають на перехрестя, до кількості автомобілів, які можуть через нього проїхати

$$x = \frac{N_{\ddot{a}}}{M_{\ddot{a}} \lambda}; \quad (7)$$

$M_{\ddot{a}}$  – дійсний потік насичення в даному напрямі, од/с:  
– для однорядного руху

$$M_{\ddot{a}} = \frac{1800}{1 + \frac{1,525}{R}}; \quad (8)$$

– для дворядного руху

$$M_{\ddot{a}} = \frac{3000}{1 + \frac{1,525}{R}}; \quad (9)$$

$R$  – радіус повороту на перехресті, м;

– на нерегульованих перехрестях при виїзді з другорядної дороги на головну час затримки  $\tau_{\zeta}$  визначають з урахуванням прискорення та сповільнення руху автомобіля [10]

$$\tau_{\zeta} = \frac{e^{N_{\ddot{a},\ddot{a}} \cdot t_{\ddot{a}\ddot{a}}} - N_{\ddot{a},\ddot{a}} \cdot t_{\ddot{a}\ddot{a}} - 1}{N_{\ddot{a},\ddot{a}} - N_{\ddot{a},\ddot{a}\ddot{a}} (e^{N_{\ddot{a},\ddot{a}} \cdot t_{\ddot{a}\ddot{a}}} - N_{\ddot{a},\ddot{a}} \cdot t_{\ddot{a}\ddot{a}} - 1)} + \frac{v_{\ddot{a}}}{7,2} \left( \frac{1}{\dot{a}_{\ddot{a}}} + \frac{1}{\dot{a}_{\ddot{d}}} \right), \text{ с} \quad (10)$$

де  $N_{\ddot{a},\ddot{z}}$  та  $N_{\ddot{d},\ddot{d}p}$  – дійсна інтенсивність руху на головній та другорядній дорозі, од/с;  $a_{\ddot{z}}$  та  $a_{\ddot{p}}$  – сповільнення (гальмування) та прискорення (розгін) руху, м/с<sup>2</sup> ( $a_{\ddot{z}}=3..4$  м/с<sup>2</sup>;  $a_{\ddot{p}}=1..1,5$  м/с<sup>2</sup>);  $t_{\ddot{z}p}$  – граничний інтервал часу, що залежить від виду маневру (при перетині дороги з двома смугами  $t_{\ddot{z}p}=6..8$  с; при повороті ліворуч 10..13 с; при повороті праворуч 4..7 с).

На ***n'ятому етапі*** визначають загальну кількість варіантів проїзду до місця виклику за залежністю

$$B = \left( \sum_{i=1}^n B_{1i} \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^n B_{2i} \right) \cdot \dots \cdot \left( \sum_{i=1}^n B_{ki} \right), \quad (11)$$

де  $B_{1i}, B_{2i}, \dots, B_{ki}$  – варіанти перехресть доріг згідно з усіма каскадами графа (рис. 2) (від 1-го до  $k$ -го);  $n$  – кількість варіантів перехресть на відповідному одному каскаді графа.

На ***шостому етапі*** виконуємо за допомогою ПЕОМ з використанням пакета прикладних програм, який розроблено у ЛДУ БЖД, розрахунки шляху слідування  $L_j$  та часів затримки  $T_j$  для всіх варіантів  $B$  проїзду від пожежного депо до місця виклику за залежностями

$$L_j = \sum_{i=1}^k l_i; \quad T_j = \frac{1}{60} \sum_{i=1}^k \tau_{\zeta,i}, \quad (12)$$

де  $l_i$  – довжина шляхів між перехрестями доріг за відповідним маршрутом  $j$ , км;  $\tau_{\zeta,i}$  – часи затримки на перехрестях доріг за відповідним маршрутом  $j$ , хв (розраховані значення  $\tau_{\zeta,i}$  за залежностями (6) і (10) в с).

На ***сьомому етапі*** визначаємо час слідування  $\tau_{cl,j}$  для всіх варіантів  $B$  проїзду від пожежного депо до місця виклику за залежністю

$$\tau_{\ddot{n}\ddot{e},j} = \frac{60L_j}{v_{\ddot{a}}} + T_j, \quad (13)$$

де  $v_{\ddot{a}}$  – швидкість руху пожежного автомобіля, км/год (з 7<sup>00</sup> до 21<sup>00</sup>  $v_{\ddot{a}}$  приймають в межах 45...55 км/год; з 21<sup>00</sup> до 7<sup>00</sup>  $v_{\ddot{a}} = 60$  км/год).

Після визначення для всіх варіантів  $B$  проїзду часів слідування  $\tau_{cl,j}$ , вибираємо з отриманих значень найменший час, тобто  $\tau_{cl,\min}$ , і приймаємо відповідний цьому часу маршрут слідування.

Результати розрахунків за наведеною методологією для Державної пожежно-рятувальної частини №1 міста Львова показали, що час слідування завдяки вибору оптимального маршруту руху зменшується приблизно на 2,5...5 хв.

#### **Висновки**

1. Розроблено методологію вибору оптимального маршруту руху пожежної техніки від пожежного депо до місця виклику пожежно-рятувального підрозділу, яка дає змогу скоротити час слідування і відповідно зменшити тривалість вільного розвитку пожежі на 2,5...5 хв.

2. Для розв'язання цієї задачі найбільш доцільно використовувати графову модель, за допомогою якої дуже легко встановити загальну кількість можливих варіантів слідування від пожежного депо до місця виклику.

3. Запропонована методологія вибору оптимального маршруту руху пожежної техніки дає змогу в значною мірою підвищити ефективність реагування на виклик пожежно-рятувальних підрозділів міста.

#### **Список літератури:**

1. **Бут В.П.** Практичний посібник з пожежної тактики. / В.П. Бут, Б.В. Куціщій, Б.В. Болібрех – Львів: СПОЛОМ, 2003. – 133 с.

2. **Нормативи** по пожежно-стройовій підготовці. – К.:УДПО МВС України, 1995. – 14 с.

3. **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.

4. **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.

5. **Климась Р.** Аналіз пожеж і причин виникнення їх в Україні в 2012 році / Р. Климась, Д. Матвійчук // Пожежна безпека № 2, 2013. – с. 24-26.

6. **Брушлинский Н.Н.** Системный анализ и проблемы пожарной безопасности народного хозяйства / Н.Н. Брушлинский, В.В. Кафиров, В.И. Козлачков и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 413 с.

7. **Войтович Д.П.** Підвищення ефективності функціонування пожежно-рятувальних підрозділів в процесі ліквідації пожеж у містах / Д.П. Войтович // Автор. дис. канд. техн. наук. – Львів: ЛДУ БЖД, 2011. – 20 с.

8. **Брушлинский Н.Н.** Совершенствование организации и управления пожарной охраной / Н.Н. Брушлинский, А.К. Микеев, Г.С. Бозуков и др. – М.: Стройиздат, 1986. – 152с.

9. **Паснак І.В.** Підвищення ефективності ліквідації пожеж класу А і В на промислових підприємствах шляхом удосконалення технічних засобів пожежогасіння / І.В. Паснак // Автор. дис. канд. техн. наук. – Львів: ЛДУ БЖД, 2013. – 20 с.

10. **Кременец Ю.А.** Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.

11. **Кузик А.Д.** Аналіз зон обслуговування пожежно-рятувальних частин за допомогою діаграм Вороного / А.Д. Кузик, О.О. Карабин, О.М. Трусевич // Зб. наук. праць «Пожежна безпека», № 2, 2008. – С. 73-78.

12. **Снитюк В.Е.** Эволюционный метод определения кратчайшего пути проезда пожарного расчета к месту пожара с оптимизированным пространством поиска. / В.Е. Снитюк, А.Н. Джулай // XII-th International Conference Knowledge-Dialogue-Solution June 20-25, 2006, Varna (Bulgaria). / ARNIT – Информационные Интеллектуальные Системы.

Режим доступу: URL: [http://artint.com.ua/pdf/Russian/evolfireway\\_rus.pdf](http://artint.com.ua/pdf/Russian/evolfireway_rus.pdf).

*Э.Н. Гулида*

## **УМЕНЬШЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СВОБОДНОГО РАЗВИТИЯ ПОЖАРА НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПУТИ СЛЕДОВАНИЯ ПОЖАРНЫХ К МЕСТУ ЕЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ**

Разработана графовая модель оптимизации пути следования пожарной техники и пожарно-спасательного подразделения от пожарного депо к месту вызова. На основании графовой модели разработана методология оптимизации пути следования, которая позволяет уменьшить время следования и соответственно длительность свободного развития пожара на 2,5...5 мин. Одновременно, полученные результаты позволяют значительно повысить эффективность реагирования на вызов пожарно-спасательных подразделений города.

**Ключевые слова:** пожар, пожарная техника, убытки от пожара, время следования, графовая модель, свободное развитие пожара.

*E.M. Gulida*

## **DIMINISHING OF DURATION OF FREE DEVELOPMENT OF FIRE ON BASIS OF OPTIMIZATION OF WAY OF THE FOLLOWING OF FIREMEN TO PLACE OF HER ORIGIN**

The count model of optimization of way of the following of fire technique and fire-rescue subdivision is worked out from a fire-department to the place of call. On the basis of count model methodology of optimization of the following way is worked out, which allows to decrease the following time and accordingly duration of free development of fire on 2,5...5 min. At the same time, the got results allow considerably to promote efficiency of reacting on the call of fire-rescue subdivisions of city.

**Key words:** fire, fire technique, fire losses, following time, count model, free development of fire.