

**ЕВОЛЮЦІЙНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ  
НАЙКОРОТШОГО ШЛЯХУ ПРОЇЗДУ ПОЖЕЖНОГО РОЗРАХУНКУ  
ДО МІСЦЯ ПОЖЕЖИ З ОПТИМІЗОВАНИМ ПРОСТОРОМ ПОШУКУ**

*У статті запропоновано метод визначення найкоротшого шляху проїзду пожежного автомобіля до місця пожежі за критерієм мінімізації часу з використанням еволюційного моделювання. Досліджено алгоритм його реалізації на базі повного і оптимізованого простору пошуку можливих рішень. Розглянуто аспекти формування моделей цільової функції і програмної реалізації методу. Виконано експериментальну верифікацію і наведено результати порівняльного аналізу з експертними висновками.*

**Вступ.** Пошук найкоротшого шляху є задачею дискретної оптимізації. При цьому визначення оптимального шляху проїзду пожежного автомобіля до місця пожежі має аспекти, які виділяють його із загального ряду таких задач. Так, практично, це єдина задача, яка розв'язується в критичних умовах, від правильності її розв'язання залежать людські життя.

Традиційно пропонують обґрунтування маршруту проїзду пожежного автомобіля, виходячи з критерію мінімізації часу прибуття особового складу і пожежно-технічного озброєння до місця пожежі. У статті [1] виконано аналіз факторів, що впливають на аварійну безпеку дороги: ширини проїжджої частини, узбіччя, кількості смуг руху, радіуса кривизни, видимості, інтенсивності транспортних потоків. Запропоновано визначати коефіцієнт дорожніх умов за формулою:

$$D = \left[ \sum_{i=1}^n \left( \prod_{j=1}^m k_{ij} \right) L_i \right] / L, \tag{1}$$

де  $n$  – кількість ділянок маршруту;  $m$  – число чинників, що визначають дорожні умови;  $k_{ij}$  – коефіцієнт важливості  $j$ -го чинника дорожніх умов на  $i$ -ій ділянці маршруту;  $L_i$  – довжина  $i$ -ої ділянки;  $L$  – загальна довжина маршруту проїзду. Виїзд пожежного розрахунку передбачається маршрутом, що має найбільше значення  $D$ .

У багатьох наукових публікаціях розглядаються аналогічні підходи. Їх недоліком є необхідність розгляду фіксованого, бажано повного набору можливих маршрутів, що практично важко реалізуване. Не передбачена можливість варіювання значень важливості чинників дорожніх умов, що в умовах зміни дорожньої обстановки, ремонту дорожнього полотна, погодних умов призводить до зміни передбачуваного часу проїзду. Необхідна розробка адекватної моделі часу проїзду, як залежності від значущих чинників, з можливістю її уточнення і адаптації до зовнішніх умов, що змінюються.

**Постановка задачі визначення оптимального шляху проїзду пожежного автомобіля.** Вважатимемо, що структура доріг є прямокутною (рис. 1). Пронумеруємо кожне перехрестя у відповідності до центрально-радіальної схеми. Місцезнаходження пожежного підрозділу має нульовий номер, найвіддаленішому "північно-східному" перехрестю відповідає найбільший номер. Кількість перехресть –  $N$ . Розглянутій структурі доріг відповідає матриця відстаней між перехрестями  $S = (s_{ij})_{i,j=0}^{N-1}$ , де  $s_{ij}$  – відстань від  $i$ -го до  $j$ -го перехрестя. Знаючи середню швидкість руху пожежного розрахунку, матриці відстаней можна поставити у відповідність матрицю часу проїзду між перехрестями  $T = (t_{ij})_{i,j=0}^{N-1}$ .

27	14	5	24	39
15	6	1	12	23
7	2	0	4	11
17	8	3	10	21
31	18	9	20	35

Рис. 1. Центрально-радіальна нумерація перехресть

Чинники, що впливають на час проїзду, за формою представлення їх значень можна розділити на три групи: детерміновані, ймовірно-статистичні і суб'єктивні.

Мінімальна кількість перехресть на шляху проїзду – детермінований чинник, його можливі значення – натуральні числа, рівні номеру квазіконцентричного кола (рис. 1) і віддалення перехрестя призначення, що збільшуються в міру, від місцезнаходження пожежного підрозділу. Завантаженість доріг  $U$  –

ймовірісно-статистичний чинник, який характеризується статистичним рядом розподілу (табл. 1), де у верхній частині таблиці знаходяться часові інтервали, в нижній – відносні частоти кількості автомобілів на дорозі в цих часових інтервалах. Якість дорожнього покриття є суб'єктивним чинником і визначається функцією приналежності, яка може бути як безперервною, так і дискретною. Її побудова здійснюється одним з двох способів, перший з яких базується на парних порівняннях, виконаних одним експертом [2], другий – на статистичній обробці думок групи експертів [3].

Таблиця 1

Статистичний ряд

Інтервали	$[t_0, t_1]$	$[t_1, t_2]$	...	$[t_{n-1}, t_n]$
Відносні частоти	$f_1$	$f_2$	...	$f_n$

Припустимо, що місце пожежі  $H$  знаходиться між двома перехрестями  $n_1$  і  $n_2$ . Тоді необхідно визначити оптимальний маршрут, що відповідає розв'язку задачі [4]:

$$\min_t \{L_{on_1} + L_{n_1H}; L_{on_2} + L_{n_2H}\}, \tag{2}$$

де  $L_{ij}$  – маршрут від  $i$ -го пункту до  $j$ -го. Початковими даними для розв'язання задачі (2) є значення елементів матриць  $S; T; K = (k_{ij})_{i=1, j=1}^N, 2$ , де  $k_{i1}$  – номер перехрестя призначення,  $k_{i2}$  – мінімальна кількість перехресть, яку необхідно проїхати при проходженні до  $k_{i1}$ ;  $G = (g_{ij})_{i=1, j=1}^{24, 2}$ , де  $g_{i1}$  – номер часового інтервалу (доба розбита на 24 проміжки: з 0 годин до 1-ої години (1), з 1-ої до 2-ої години (2),...);  $g_{i2}$  – відносні частоти кількості автомобілів в  $g_{i1}$  – у часовому інтервалі,  $\sum_{i=1}^{24} g_{i2} = 1; \sum_{i=1}^{24} g_{i2} = 1;$

$Q = (q_{ij})_{i,j=1}^N$ , де  $q_{ij} \in (0, 1)$  – коефіцієнти, які визначають якість дорожнього покриття на ділянці від  $i$ -го перехрестя до  $j$ -го. Помітимо, що матриця  $G$  може мати не статистичну, а суб'єктивну природу. Якщо рух в один і той же час на різних ділянках дороги є нерівномірним, то матриця буде тривимірною, одне з вимірювань якої відповідатиме номеру ділянки дороги. Залежно від особливостей конкретного міста або ситуації, кількість матриць значень чинників, що впливають на швидкість руху пожежного розрахунку, може бути збільшено. Відзначимо, що змістовно суть врахування інших чинників не відрізнятиметься від вже розглянутих.

**Передумови розв'язання задачі визначення оптимального шляху за допомогою еволюційного моделювання.** Помітимо, що така задача має деякі загальні аспекти з відомою задачею комівояжера. Відомо, що точного методу розв'язання даної задачі будь-якої розмірності, окрім повного перебору всіх варіантів, не існує. Задовільні результати дають метод гілок і границь [5, 6], метод послідовного аналізу варіантів [7], пошук оптимального шляху з використанням нейронної мережі Хопфілда [8]. Проте за допомогою останнього методу точний результат одержують, приблизно, в 50 % обчислень, точність перших методів залежить від розмірності задачі, вірогідним також є попадання в локальний оптимум.

Особливістю задачі пошуку оптимального шляху пожежного розрахунку полягає у тому, що правильний розв'язок шукається за критерієм мінімуму часу. При цьому необхідно враховувати кількість перехресть по шляху проїзду, завантаженість доріг (середня кількість автомобілів на дорозі в одиницю часу), їх якість. Облік інших чинників також є можливим при їх особливій значущості і необхідності. Відзначимо, що технологія визначення оптимального шляху проїзду пожежного розрахунку до місця пожежі реалізується з урахуванням суб'єктивних і статистичних чинників. Базовим її елементом є еволюційний метод визначення найкоротшого шляху, який полягає в наступному.

Без обмеження представимо (2) як задачу знаходження:

$$\min_t L_{on_1}. \tag{3}$$

Очевидно, що для розв'язання задачі (2) необхідно двічі вирішити (3) і виконати деякі уточнення результату. Пошук оптимального шляху здійснюватимемо за допомогою еволюційного алгоритму (ЕА) спеціального виду, який дозволяє знаходити глобальний оптимум, в загальному випадку, недиференційованих функцій. Визначимо його основні принципи і базові елементи.

Основним поняттям ЕА є генеральна сукупність – вся безліч можливих розв'язків. У нашому випадку визначимо генеральну сукупність як безліч векторів  $X = (X_0, X_1, X_2, \dots, X_k, X_n)$ , де  $X_0$  – місцезнаходження пожежного підрозділу;  $X_n$  – номер перехрестя, найближчого до місця пожежі. Таким чином, значеннями елементів вектора  $X$  є послідовність номерів перехресть, які необхідно проїхати для того, щоб прибути в  $X_n$ . Помітимо, що кількість перехресть, в загальному випадку, є змінною.

Мінімальне значення визначається номером квазікола (див. рис. 1), на якому лежить перехрестя, максимальне значення може бути достатньо великим. Всі  $X_i, i = \overline{0, k}$  є різними і жодне з них не співпадає з  $X_n$ . На перший погляд, оптимальними будуть ті варіанти, у яких  $X_i < X_j$  для всіх  $i < j$ , але виконання такої умови не є обов'язковим.

Адекватне застосування ЕА пов'язане з перетвореннями числових значень з двійкової системи числення в десяткову і навпаки. При цьому виникає інформаційний надлишок, оскільки не всі двійкові уявлення мають свої аналоги в десятковій системі. У загальному випадку це призводить до необхідності залучення додаткових обчислювальних ресурсів і збільшення часу розв'язання задачі [9, 10].

Вищевикладені факти вказують на значну трудомісткість і недоцільність формування генеральної сукупності. Про приналежність до неї свідчатимуть результати перевірки. Важливою процедурою є визначення вибіркової послідовності, яка повинна мати властивість репрезентативності [11–14]. Вектори вибіркової послідовності можуть мати різну кількість елементів, що пов'язано з кількістю перехресть на шляху проїзду. Їх генерація відбувається з урахуванням змісту матриці  $S$ . Перший і останній елементи векторів однакові (перехрестя, де знаходиться пожежне депо і найближче перехрестя до місця пожежі). Інші елементи визначаються випадковим чином, але з урахуванням виконання умови, що з місця дислокації пожежного підрозділу можна потрапити на одне з 4-х перехресть, а з кожного з них – вже на одне з трьох. Позначимо  $P$  – кількість елементів у вибірковій сукупності.

Для формування цільової функції (fitness-function) можна застосувати два підходи. У першому випадку необхідно мати достатню безліч статистичних даних, згрупованих в табл. 2, і здійснити ідентифікацію залежності

Таблиця 2

Структура початкових даних для ідентифікації fitness-function

Довжина шляху, $L$	Кількість перехресть, $K$	№ часового інтервалу, $g$	Якість дорожнього покриття, $q$	Час проїзду, $T$
--------------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------------	------------------

$$T = F(L, K, g, q), \tag{4}$$

де  $T$  – час проїзду пожежного розрахунку до місця пожежі;  $K$  – кількість перехресть, які він проїхав;  $g$  – номер часового інтервалу;  $q$  – показник якості дорожнього покриття, який інтегрує в собі і погодні умови. При правильній формалізації задачі здійснити ідентифікацію (4) нескладно. Достатньо заздалегідь виконати нормалізацію даних і застосувати метод найменших квадратів для побудови рівняння лінійної регресії [15], метод Брандона – для нелінійної регресії [16], методи самоорганізації моделей – для поліноміальних залежностей (метод групового врахування аргументів [17] або метод послідовних спрощень [18]).

У другому випадку формування цільової функції відбувається емпірично з використанням вагових і поправочних коефіцієнтів. При цьому використовуються дані матриці. Середній час проїзду з  $X_0$  у  $X_n$  визначається за формулою (по одному з маршрутів):

$$T_{cp} = \sum_{i=0}^n \sum_{j \neq i} t_{ij} \cdot \chi(s_{ij} \neq 0), \tag{5}$$

де  $\chi^*$  – функція-індикатор. З огляду на те, що, в середньому, час проїзду пожежного розрахунку збільшується із збільшенням кількості перехресть, уточнимо (5):

$$T = w_1 \cdot k_{n2} \cdot T_{cp}, \tag{6}$$

де  $w_1$  – ваговий коефіцієнт, який визначає значущість параметра кількості перехресть. З урахуванням якості дорожнього покриття цільова функція (5)–(6) є такою:

$$T = w_1 \cdot w_2 \cdot k_{n2} \cdot \sum_{i=0}^n \sum_{j \neq i} t_{ij} \cdot q_{ij} \cdot \chi(s_{ij} \neq 0), \tag{7}$$

де  $w_2$  – ваговий коефіцієнт, який вказує на важливість параметра якості дорожнього покриття. Оскільки у різний час доби тривалість проїзду пожежного розрахунку до місця пожежі буде різною, то модель (7) необхідно уточнити:

$$T_v = \frac{\prod_{i=1}^3 w_i}{g_{t2}} \cdot k_{n2} \cdot \chi(v = g_{t1}) \cdot \sum_{i=0}^n \sum_{j \neq i} t_{ij} \cdot q_{ij} \cdot \chi(s_j \neq 0), \quad (8)$$

де  $w_3$  – ваговий коефіцієнт важливості часових інтервалів;  $v$  – номер часового інтервалу.

Зробимо ряд зауважень. Значення функції (8) необхідно розраховувати залежно від часу пожежі. Вагові коефіцієнти визначаються емпірично експертами. Таким чином, використання запропонованого підходу суб'єктивізовано. Побудова функції (4) здійснюється аналітично і, в більшості випадків, може бути теоретично обґрунтована. Залежність (8) одержують, виходячи з емпіричних висновків, і процедура її верифікації є достатньо тривалою. Другий підхід до отримання моделі раціонально використовувати при малій ретроспективі апріорних даних.

Враховуючи те, що кожна вершина (перехрестя) інцидентна лише чотирьом іншим вершинам, а їх загальна кількість є достатньо великою (використовується при побудові матриць  $S$  і  $T$ ), застосовувати традиційне бінарне представлення елементів вектора сукупності (хромосоми) в класичному ЕА нераціонально. Нехай  $X_1, X_2, \dots, X_p$  – вектори вибіркової сукупності (містять безліч перехресть-маршрутів), впорядковані за кількістю елементів, тобто  $|X_i| \leq |X_j|, i < j$ . Для кожного з них, розрахувавши значення функції (4), одержимо  $T_1, T_2, \dots, T_p$ .

Використовуючи принцип послідовного подолання невизначеності, кроссовер проводимемо за принципом послідовного відбору [19, 20], відповідно до якого велику вірогідність участі в рекомбінаціях мають вектори з меншим значенням fitness-function. Припустимо, що необхідно визначити оптимальний маршрут до перехрестя № 39 (рис. 1). Для кроссовера вибрані вектори (0, 1, 5, 24, 12, 23, 39) і (0, 1, 12, 4, 11, 23, 39). Визначаємо, чи є однакові елементи в цих векторах, окрім перших двох і останнього елемента. Такий елемент – 12, він і є точкою рекомбінації. Здійснивши кроссовер, одержимо два вектори-нащадки: (0, 1, 12, 23, 39) і (0, 1, 5, 24, 12, 4, 11, 23, 39). Якщо однакових елементів немає, то один з векторів (з мінімальним значенням fitness-function) залишаємо і випадковим чином (з використанням принципу пропорційності) вибираємо інший вектор з вибіркової сукупності. Результатом кроссовера буде нуль, один або два вектори. Нуль, якщо  $\exists X_i, X_j : X_i = X_j, i \neq j$  в кожному з векторів; один – якщо в одному; два, якщо вказані умови не виконані ні для одного з векторів-нащадків.

Одержавши  $P$  нащадків, серед них і серед батьків вибираємо  $P$  найкращих векторів. Такий відбір називається елітним. Окрім нього, існують і інші методи відбору: селективний, панміксія, відбір з витісненням [13]. Практичне моделювання засвідчило перевагу саме елітного відбору, оскільки при ньому не втрачаються оптимальні вектори-розв'язки. З усіх видів відбору тільки для елітного теоретично доведено [21], що ітераційний процес пошуку оптимального розв'язку збігається.

Для запобігання попаданню fitness-function в локальний оптимум передбачена процедура мутації. Відбувається вона з вірогідністю 0,01 за такою схемою. Розігруємо випадкове рівномірне розподілене на множині  $\{1, 2, \dots, P\}$  число. Якщо  $\xi = k$ , то мутації підлягає  $k$ -й вектор вибіркової сукупності. Якщо кількість елементів в ньому дорівнює  $d$ , то розігрується випадкове число  $\eta$  на множині  $\{2, 3, \dots, d-1\}$ . Мутації здійснюються у  $\eta = L$  елементів, для чого здійснюється випадковий вибір з двох варіантів  $(L+1)$ -го елемента. Критерієм закінчення процесу пошуку оптимального розв'язку є виконання однієї з наступних умов:

- досягнення необхідного значення fitness-function;
- вибіркова популяція складається з однакових елементів;
- для будь-якого значення  $\varepsilon > 0 : |T_i - T_j| < \varepsilon, \forall i, j, i \neq j$ .

Якщо виконуються перша або третя умови, то розв'язком задачі буде вектор, значення fitness-function якого є якнайменшим.

Такий метод має свої переваги перед класичним ЕА і недоліки, пов'язані з особливостями задачі. Перевагою є значне скорочення кількості операцій, що пояснюється невикористанням процедури перетворення чисел в ЕА з десяткової системи обчислення в двійкову і навпаки. Десяткове уявлення оптимізує процедуру кроссовера за рахунок зменшення часу формування векторів-нащадків. На користь запропонованого методу свідчить також те, що він не "прив'язаний" до прямокутної структури вулиць. Якщо на деяких з них виконується ремонт, то в матрицях  $S$  і  $T$  достатньо на відповідних місцях поставити нулі. До недоліків віднесемо проблему формування вибіркової сукупності, що пов'язане з різною кількістю елементів у векторів-представників. Крім того, процедура визначення кожного наступного елемента вектора вимагає перегляду рядка матриці відстаней або часу, що при великій кількості перехресть значно збільшує час роботи алгоритму.

Запропонована технологія орієнтована на те, що відповідний програмний модуль працюватиме як в активному, так і в пасивному режимах. У пасивному режимі для кожного часового інтервалу по відомих матрицях кількості перехресть на шляху проїзду пожежного підрозділу і якості дорожнього покриття розраховується оптимальний маршрут і записується в базу даних. При пожежі пожежному розрахунку видаватиметься розпорядження з двома варіантами маршрутів до суміжних перехресть. При зміні параметрів в одній з визначальних матриць або виникненні ситуації, при якій виникає потреба в екстреній видачі інформації про маршрут, якого немає в базі даних, система переводиться в активний режим роботи і екстрено розв'язує задачу.

У загальному випадку, розв'язок (8) є локальним оптимумом, оскільки процес його пошуку визначається вибором початкової точки і величини кроку пошуку. Тому виникає необхідність використання еволюційних методів, які є інваріантними до такого вибору.

**Технологія оптимізації простору пошуку розв'язку задачі.** В процесі моделювання виявлено дві проблеми. Перша з них полягала у тому, що з кожного перехрестя, звичайно, є маршрути до чотирьох інших. В той же час, в матриці відстаней, як мінімум, на порядок більше варіантів, тому виникає значна обчислювальна надлишковість. Інша проблема полягає в раціональному представленні хромосом-розв'язків. Зокрема, апріорно неможливо визначити, яку довжину повинна мати хромосома, кількість елементів якої відповідає кількості перехресть, які повинен проїхати пожежний розрахунок при проходженні до місця пожежі.

Для вирішення вказаних проблем пропонується така процедура. У відповідності до рис. 1 і матриці відстаней будуємо матрицю  $N = (n_{ij})_{i,j=1}^{4,m}$  (таблиця напрямів, в якій показані перехрестя, суміжні фіксованому) і матрицю  $L = (l_{ij})_{i,j=1}^{4,m}$  (таблиця відстаней від фіксованого перехрестя до суміжних) (табл. 3). Очевидно, що до фіксованого перехрестя існує велика кількість відстаней, кожна з яких проходить через різну кількість проміжних перехресть.

Таблиця 3

Таблиця напрямів

Перехрестя	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Наліво	2	6	7	8	0	14	15	*	17	18	3	4	1
Прямо	1	5	6	0	12	*	14	15	2	3	4	23	24
Направо	4	12	0	10	11	24	1	6	3	20	21	*	23
Назад	3	0	8	9	10	1	2	17	18	*	20	21	4

Таблиця відстаней між перехрестями

Перехрестя	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Наліво	1	3	3	5	6	3	2	*	3	2	4	4	2
Прямо	9	1	1	3	7	*	2	3	1	2	2	3	3
Направо	6	2	1	4	4	2	3	3	5	1	2	*	3
Назад	3	9	1	2	2	1	1	2	1	*	2	3	7

Мінімальна кількість таких перехресть визначається номером квазіконцентричного кола, що проходить через фінальне перехрестя. Максимальна кількість перехресть визначається експертним шляхом і, найчастіше, не перевищує потрійної кількості мінімальних перехресть в критичних випадках, і подвійного – в штатних ситуаціях.

Визначимо як кінцеве перехрестя № 39 (див. рис. 1). Він належить четвертому колу, тому найменша довжина хромосоми дорівнює чотирьом і вона буде такою:

x(1)	x(2)	x(3)	x(4)
------	------	------	------

У хромосомі  $x(1) = 0$  стартова точка (депо),  $x(4) = 39$  – кінцева точка. Максимальну довжину хромосоми покладемо рівною восьми. Паралельно з виконанням традиційних операцій ЕА в запропонованій процедурі необхідно дотримуватися таких кроків. При ініціалізації вибіркової популяції забезпечити рівномірне представництво хромосом різної довжини. Для цього розігруємо випадкове рівномірно розподілене ціле число з множини  $\{4, 5, 6, 7, 8\}$ , яка відповідає довжині хромосоми. Якщо це число 4, то перший і останній її фрагменти вже відомі. Допоміжна хромосома складається з чотирьох генів. Перші два гени кодують напрям руху з  $x(1)$  (відповідно: 00 – наліво, 01 – прямо, 10 – направо, 11 – назад), інші два – з  $x(4)$ . На допустимість рішення вказує виконання обмеження, яке визначає те, що перехрестя  $x(2)$  і  $x(3)$  є сусідніми. Для хромосом з більшою довжиною така процедура виконується рекурсивно.

**Аналіз результатів моделювання.** Час експериментального моделювання без виконання процедури звуження простору пошуку на комп'ютері Pentium 2,0 GHz склав, в середньому, 12–16 хвилин. Якщо ж в алгоритмі пошуку виконується допоміжна процедура, то час пошуку оптимального рішення за рахунок скорочення невірних кроків зменшився до 0,8–1,1 хвилин. Якщо цільовою функцією є залежність (8) із заздалегідь встановленими експертним шляхом ваговими коефіцієнтами, то час проїзду до місця пожежі за маршрутом, визначеним за допомогою моделювання, на 7–10 % є меншим, ніж час, який відповідає маршруту, запропонованому експертами (начальниками бойових розрахунків), або співпадає. Верифікація цього факту досягається обчисленням цільової функції по двох запропонованих маршрутах при постійних значеннях вагових коефіцієнтів, що визначають особливості проїзду.

**Висновки.** Метод визначення найкоротшого шляху проїзду пожежного розрахунку до місця пожежі з оптимізацією простору пошуку є технологією, що дозволяє запобігти людські втрати і зменшити матеріальний збиток. Його ефективне застосування припускає наявність інформаційної бази, що містить дані про кількість перехресть, стану дороги і дорожньої ситуації, а також її оновлення в режимі реального часу. Кількість "пробок", що збільшується на дорогах, підкреслює актуальність запропонованого методу. Зміна інформації припускає перерахунок оптимального маршруту.

Обчислювальна складність еволюційних алгоритмів обґрунтовує необхідність розробки методів, направлених на збільшення швидкості розрахунків при незмінній точності. Тому перспективним представляється розробка оптимізованих моделей цільових функцій, процедур зменшення інформаційної надлишковості початкових даних. Важливо помітити, що запропоновані моделі володіють властивістю відкритості, тобто допускають облік і інших значущих чинників, а вагові коефіцієнти доцільно розділити на локальні (характеризуючи ділянки дороги) і глобальні, які є атрибутами дорожньої ситуації в цілому.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. *Пряничников В.А., Роенко В.В.* Критерий выбора маршрутов следования пожарных автомобилей // Организация работ по профилактике и тушению пожаров: Сб. научн. тр.– Москва: ВНИИПО, 1988. – С. 89–92.

2. *Ротштейн А.П.* Влияние методов дефазификации на скорость настройки нечеткой модели // Кибернетика и системный анализ. – 2002. – № 1. – С. 34–45.
3. *Zadeh L.* Fuzzy sets // Information and control. – 1965. – № 8. – Р. 338–353.
4. *Снитюк В.Е., Джулай А.Н.* Интеллектуальная технология оптимизации пути следования пожарного расчета к месту пожара // АСУ и приборы автоматики. – 2004. – Вып. 129. – С. 41–46.
5. *Luger G.F.* Artificial intelligence. Structures and strategies for complex problem solving. – Addison Wesley: Boston, 2002. – 864 p.
6. *Зайченко Ю.П.* Исследование операций. – Киев: Випол, 2000. – 688 с.
7. *Волкович В.Л., Волошин А.Ф., Заславский В.А., Ушаков И.А.* Модели и методы оптимизации надежности сложных систем. – Киев: Наукова думка, 1993. – 312 с.
8. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. – Москва: Юнити, 1992. – 240 с.
9. *Кисляков А.В.* Генетические алгоритмы: математический анализ некоторых схем репродукции // Информационные технологии. – 2000. – № 12. – С. 9–14.
10. *Кисляков А.В.* Генетические алгоритмы: операторы скрещивания и мутации репродукции // Информационные технологии. – 2001. – № 1. – С. 29–34.
11. *Goldberg D.E.* Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. – Addison wesley, 1989. – 196 p.
12. *Werbos P.* Beyond regression: new tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. – PhD thesis: Harvard university, 1974. – 240 p.
13. *Исаев С.А.* Разработка и исследование генетических алгоритмов для принятия решений на основе многокритериальных нелинейных моделей: Автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.13.17 / Нижегородск. гос. унив. – Нижний Новгород, 2000. – 18 с.
14. *Jensen Mikkel. T.* Robust and flexible scheduling with evolutionary computation // phd thesis. – University of Aarhus, Denmark. – 2001. – 299 pp.
15. *Наконечный С.И., Терещенко Т.О., Романюк Т.П.* Эконометрия. – Киев: КНЭУ, 1997. – 352 с.
16. *Чавкин А.М.* Методы и модели рационального управления в рыночной экономике. – Москва: Финансы и статистика, 2001. – 320 с.
17. *Ивахненко А.Г.* Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. – Киев: Техника, 1975. – 312 с.
18. *Васильев В.И.* Взаимозаменяемость метода группового учета аргументов (МГУА) и метода предельных упрощений (МПУ) // Искусственный интеллект. – 2001. – № 1. – С. 29–42.
19. *Витковски Т., Эльзвай С., Антчак А.* Проектирование основных операций генетических алгоритмов для планирования производства // Проблемы управления и информатики. – 2003. – № 6. – С. 129–138.
20. *Алгулиев Р.М., Алыгулиев Р.М.* Генетический подход к оптимальному назначению заданий в распределенной системе // Искусственный интеллект. – 2004. – № 4. – С. 79–88.
21. *Harti R.E.* A global convergence proof for class of genetic algorithms. – Wien: Technische Universitaet, 1990. – 136 p.

ДЖУЛАЙ Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, начальник відділення науково-дослідної роботи Черкаського інституту пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля.

Наукові інтереси:

- задачі дискретної оптимізації;
- проектування інформаційно-аналітичних систем.

Подано 14.11.2006

Джулай О.М. Еволюційний метод визначення найкоротшого шляху проїзду пожежного розрахунку до місця пожежі з оптимізованим простором пошуку

**Dgulay A.N. Evolutionary method of determination of passage short cut of fire computation to the place of fire with the optimized space of search.**

**Джулай А.Н. Эволюционный метод определения кратчайшего пути проезда пожарного расчета к месту пожара с оптимизированным пространством поиска.**

УДК 004.896.001.63

*О.М. Джулай*

*Еволюційний метод визначення найкоротшого шляху проїзду пожежного розрахунку до місця пожежі з оптимізованим простором пошуку*

У статті запропоновано метод визначення найкоротшого шляху проїзду пожежного автомобіля до місця пожежі за критерієм мінімізації часу з використанням еволюційного моделювання. Досліджено алгоритм його реалізації на базі повного і оптимізованого простору пошуку можливих рішень. Розглянуто аспекти формування моделей цільової функції і програмної реалізації методу. Виконано експериментальну верифікацію і наведено результати порівняльного аналізу з експертними висновками.

УДК 004.896.001.63

**Джулай А.Н. Эволюционный метод определения кратчайшего пути проезда пожарного расчета к месту пожара с оптимизированным пространством поиска.**

В статье предложен метод определения кратчайшего пути проезда пожарного автомобиля к месту пожара по критерию минимизации времени с использованием эволюционного моделирования. Исследован алгоритм его реализации на базе полного и оптимизированного пространства поиска возможных решений. Рассмотрены аспекты формирования моделей целевой функции и программной реализации метода. Выполнена экспериментальная верификация и приведены результаты сравнительного анализа с экспертными выводами.

УДК 004.896.001.63

**Dgulay A.N. Evolutionary method of determination of passage short cut of fire computation to the place of fire with the optimized space of search.**

In this paper the method of determination of passage short cut of fire car to the place of fire on the criterion of time minimization with the use of evolutionary design is offered. The algorithm of his realization on the base of complete and optimized space of search of possible decisions is explored. The aspects of function models forming and program realization of method having a special purpose are considered. Experimental verification is executed and the results of comparative analysis with expert conclusions are resulted.