

УДК 614.8

С. В. Говаленков, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0001-5610-814X)

О. С. Олейник, курсант (ORCID 0000-0002-3911-4385)

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНИХ ДЕПО В СІЛЬСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ

В роботі досліджено математичні моделі для оптимізації розміщення пожежних депо в сільській місцевості. Проведено аналіз і порівняння моделей покриття району колами нормованого радіусу та використання методу найменших квадратів. На стадії проектування району забудови доцільно використовувати моделі покриття району колами нормованого радіусу. Такий підхід дозволяє для пожежного захисту району визначати необхідну кількість депо, їх раціональні місця розташування, площу та відповідні їй метричні характеристики земельної ділянки, визначати кругову зону захисту пожежної частини. Задача раціонального розміщення пожежних депо вирішується для кожної кругової зони захисту на стадії проектування району забудови, коли в основному визначені архітектурне та планувальне рішення. Метод дозволяє використовувати середньострокове планування, коли вже відома нова територія, що відводиться під забудову та її передбачувана чисельність населення. На цьому етапі визначається мінімальна кількість необхідних пожежних депо, які своїми круговими нормованими зонами захисту, разом із зонами захисту існуючих пожежних депо, повністю покривають район відповідальності пожежної частини. Для існуючої сітки покриття пожежними підрозділами доцільно використовувати метод найменших квадратів, який дає можливість побудови математичної моделі з урахуванням таких факторів як рельєф місцевості, покриття доріг, кількість колій руху (значення дороги, магістральні, місцеві тощо), рух по населеному пункту чи за його межами, стан доріг у зоні дії пожежного підрозділу і середню швидкість руху пожежних автомобілів. Математична модель дає змогу пов'язати радіус і площу обслуговування із часом прибуття перших підрозділів до місця виклику. При такому вирішенні поставленої задачі з'являються нові підходи та можливості щодо оптимального розміщення пожежних депо за критерієм мінімального часу прибуття перших пожежних підрозділів до місць виклику та визначенням більш реальної площі районів виїзду пожежних частин.

Ключові слова: пожежне депо, пожежний підрозділ, радіус і площа обслуговування, нормований радіус, метод найменших квадратів

1. Вступ

Для надійного захисту сільської місцевості від пожеж необхідно організувати в них ефективну протипожежну службу. Вона повинна бути організована так, щоб у будь-який момент часу негайно відреагувати необхідною кількістю сил і засобів на будь-яку ситуацію, що виникла в сільській місцевості. При цьому повинні виконуватися дві основні умови:

- прибуття сил і засобів пожежних підрозділів до місця виклику повинно бути своєчасним (тобто укладатися в допустимі інтервали часу, які обумовлені фізико-хімічними закономірностями розвитку пожежі);

- загальна кількість сил і засобів пожежних підрозділів в районі (населеному пункті) не повинна бути надмірною (іншими словами, повинна бути економічно виправданою).

Населені пункти знаходяться на різній відстані від пожежних депо, що обумовлює час прибуття підрозділів на пожежу і, як наслідок, ефективність бойових дій пожежних підрозділів. Для скорочення часу прибуття до місць виклику сил і засобів, достатніх для успішного гасіння пожежі, необхідно здійснити оптимальний розподіл місць дислокації пожежних депо. Тому одним з пріоритетних завдань забезпечення ефективного функціонування системи пожежної охорони в сільській місцевості є оптимізація розміщення пожежних депо для надійного протипожежного захисту району відповідальності.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Забезпечення пожежної безпеки на території України, регулювання відносин у цій сфері органів державної влади, органів місцевого самоврядування, суб'єктів господарювання і громадян здійснюється відповідно до Кодексу цивільного захисту, законів України та інших нормативно-правових актів [1]. Серед умов, що сприяють поширенню пожеж, найбільш вагомим показником є зavelика відстань від пожежного депо до місця виклику (третина від усіх показників) [2].

Для створення дієздатної системи захисту від пожеж та їх наслідків в сільській місцевості необхідно вирішення двох основних питань: по-перше – це методика визначення місць оптимального розташування пожежних депо; по-друге – розробка механізмів та підходів щодо вирішення проблеми фінансування служби пожежної охорони в сільській місцевості [3]. На даному етапі можна констатувати істотне відставання організації, техніки і тактики пожежогасіння від тих вимог, що пред'являються до них в сучасних умовах. Пояснюється це тим, що безупинно розробляються, створюються і впроваджуються в практику принципово нові речовини, матеріали, конструкції, прилади, пристрої, технологічні процеси, будинки, споруди і т. ін., пожежна небезпека яких вивчена недостатньо [4–5].

Згідно існуючої нормативної бази, радіус виїзду аварійно-рятувальних підрозділів складає 3–4 км. Світова та європейська практика свідчить, що доцільно використовувати часові нормативи. Наприклад, у Німеччині зона відповідальності пожежного депо обмежена часом прибуття перших підрозділів до місць виклику не більше ніж 5–6 хвилин для міст, та 8-10 хвилин для селищ. Всі заходи щодо організації гасіння пожеж в містах та населених пунктах спрямовані на те, щоб пожежні підрозділи прибули до місця пожежі та ввели до дії засоби гасіння в мінімальний строк. Тому задача полягає у знаходженні оптимального розміщення пожежних депо в сільській місцевості за критерієм визначеного часу прибуття перших аварійно-рятувальних підрозділів до місць виклику.

При вирішенні задач покриття найчастіше використовується математичний апарат годографа вектор-функції щільного розміщення об'єктів [6]. Враховуючи процеси випадкових подій викликів підрозділів та руху пожежних автомобілів використовують стохастичні математичні моделі для прийняття рішень під час руху автомобілів [7].

Результати аналізу показують недостатню достовірність моделей при вирішенні поставленої задачі. У зв'язку з цим доцільно розглянути інші моделі оптимізації розміщення пожежних депо в сільській місцевості з урахуванням вище перелічених особливостей.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є дослідження математичних моделей для оптимізації розміщення пожежних депо в сільській місцевості за критерієм мінімального часу прибуття перших пожежних підрозділів до місць виклику. Моделі повинні враховувати стан доріг у зоні відповідальності пожежного підрозділу і середню швидкість руху пожежних автомобілів, пов'язувати радіус і площу обслуговування із часом прибуття перших підрозділів на місце виклику. Моделі повинні бути адаптовані до нормативів, що використовуються в країнах ЄС для протипожежних служб.

Задачею дослідження є аналіз та порівняння моделей «покриття» місцевості на стадії проектування району забудови, та для існуючої сітки «покриття» пожежними депо в сільській місцевості.

4. Розробка моделей «покриття» місцевості на стадії проектування району забудови

При організації гасіння пожеж важливим є створення умов, які дозволяють першому підрозділу прибути на місце та ввести засоби гасіння ще в першому періоді пожежі, коли для локалізації та ліквідації горіння вимагаються мінімальні сили та засоби. При горінні твердих горючих матеріалів тривалість цього періоду коливається від 3 до 30 хвилин. Якщо пожежні підрозділи прибувають на пожежу під час її швидкого розвитку, для ліквідації горіння вимагаються значні сили та засоби, а збиток від пожежі різко зростає.

Багато пожеж розвивається в крупні за причиною віддаленості пожежних підрозділів в сільській місцевості, відсутності в деяких населених пунктах бєздатних протипожежних формувань та протипожежного водопостачання.

Звичайно, що для забезпечення належного рівня пожежної безпеки та вчасного виконання покладених обов'язків на пожежні підрозділи такий нормативний показник як радіус виїзду не може бути однаковим для міст та сільських населених пунктів. Але якщо за цей показник прийняти мінімальний час слідування пожежних підрозділів, то в наслідок різниці в інтенсивності руху, покритті доріг та інших чинників отримаємо різні зони виїзду для міст та сільських населених пунктів.

Тому для забезпечення належного рівня пожежної безпеки сільської місцевості району чи області за допомогою математичних методів, використання такого показника як час слідування, а не радіус виїзду підрозділів, дає можливість побудови математичної моделі з урахуванням таких факторів як рельєф місцевості, покриття доріг, кількість колій руху (значення дороги, магістральні, місцеві тощо), рух по населеному пункту чи за його межами. При такому вирішенні поставленої задачі з'являються нові підходи та можливості щодо оптимального розміщення пожежних депо з обґрунтованими відстанями та більш реальними районами виїзду.

На етапі проектування розміщення пожежних депо використовуються моделі покриття району колами нормованого радіусу [6] де метою проектування є визначення такої кількості n пожежних депо (ПД) та параметрів їх розміщення $u(x_1, y_1, \dots, x_n, y_n)$, при яких показник безпечного мешкання максимізується

$$n(u) = \max_{\substack{R=\text{fix} \\ u \in W}} M(u, R),$$

де $u = u(x_i, y_i), i = 1, \dots, n$ – параметри розміщення ПД, що завдають місце розташування ПД в районі (положення власної системи координат об'єкта S_i у просторі R^2); W – область припустимих розв'язків задачі, яка описує обмеження задачі.

Модель зміни необхідної кількості пожежних депо для захисту передбачуваної території під забудову має вигляд

$$\dot{n} = \left\lceil \frac{\dot{S}}{S_n} \right\rceil,$$

де \dot{n} – кількість ПД, що вводяться в t році, \dot{S} – площа, що вводиться під забудову в t році, S_n – нормована площа, що контролюється одним пожежним депо, $\lceil \bullet \rceil$ – найменше ціле, більше або рівне \bullet .

В [6] розглядається етап середньострокового планування (до 5 років), коли вже відома в районі $S_0(x_0, y_0)$ конкретна нова під забудову територія $S'_0(x_0, y_0)$ та її передбачувана чисельність населення.

На цьому етапі визначається мінімальна кількість ПД, які своїми круговими нормованими зонами захисту $S_i^r(x_i^*, y_i^*)$, $i = 1, \dots, n$ разом із зонами захисту існуючих ПД району $S_j^r(x_j^*, y_j^*)$, $j = 1, \dots, m$ повністю покривають район $S'_0(x_0, y_0)$. Обмеження задачі визначаються за допомогою використання вектор-функції – деякої невід'ємної неперервної функції, що є мірою площини покритої області. Математичний апарат географа вектор-функції щільного розміщення об'єктів досліджено в [6], де задача раціонального розміщення пожежних депо вирішується для кожної кругової зони захисту на стадії проектування району забудови, коли в основному визначені архітектурне та планувальне рішення.

В цьому випадку маємо наступну формалізовану задачу:

Визначити такі параметри розміщення $(x_i^*, y_i^*, \theta_i^*)$ об'єкта $S_i(0,0,0)$ (земельної ділянки під ПД) та його метричні характеристики, які визначають розміри матеріального об'єкту $S_i(x_i^*, y_i^*, \theta_i^*)$, щоб скоротити час прибуття пожежних підрозділів до місць виклику, тобто

Знайти

$$\kappa_2(u^*) = T_{ip}^*(x_i^*, y_i^*, \theta_i^*) = \min_{(x_i, y_i, \theta_i) \in W_2} \max_p T_{ip}(x_i, y_i, \theta_i),$$

де $T_{ip}(x_i, y_i, \theta_i) = \min_{l \in L_{ip}} t(l)$ – мінімальний час руху від ПД з координатами розміщення (x_i^*, y_i^*) та орієнтацією θ_i^* до можливого осередку пожежі (x_p, y_p) , які визначають пожежні підрозділи, на множині шляхів руху L_{ip} , складеному з лінійних ділянок траси та перехресть; W_2 – область припустимих розв'язків.

Виходячи з вищенаведеного, задача покриття району колами нормованого радіусу (рис. 1), територія району покривається n колами, при цьому непокриті області затушовані.

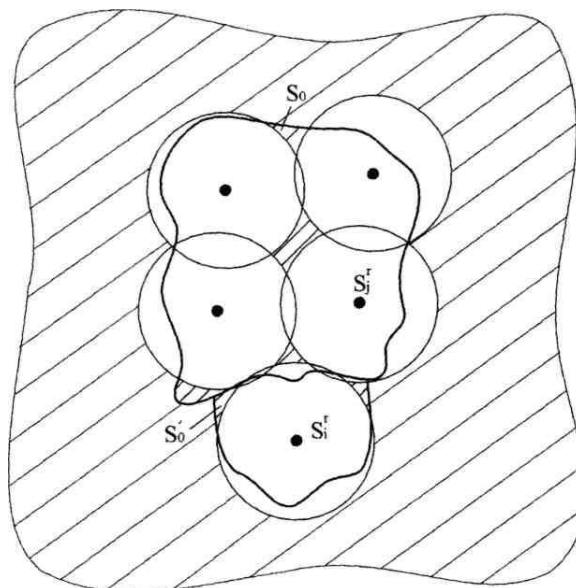


Рис. 1. Область покриття пожежними депо на площині

Для повного покриття району потрібно ще m кіл. Таким чином, розрахункова схема забезпечує покриття району мінімально необхідною кількістю ПД, ніж та, яка існує. Викладений підхід дозволяє для пожежного захисту району визначати необхідну кількість ПД, їх раціональні місця розташування, виходячи з розглянутих обмежень задачі, обирати типовий проект для кожного депо, площу та відповідні їй метричні характеристики земельної ділянки, відведеної під забудову депо, а також для кожного депо визначати кругову зону захисту, яку воно контролює.

Інший шлях вирішення задачі – моделювання за допомогою використання методу найменших квадратів доцільно використовувати при існуючій сітці покриття ПД відповідної площі. Такий метод доцільно використовувати для підвищення надійного забезпечення пожежної безпеки сільської місцевості при існуючому розміщенні ПД.

Розглянемо задачу, коли задано гранично припустимий час прибуття перших аварійно-рятувальних підрозділів на пожежу t_{\max} , тоді максимально допустима відстань від пожежі до ПД буде дорівнювати $S_{\max} = V_{\text{cp}} t_{\max}$, де V_{cp} – середня швидкість пожежного автомобіля.

Будемо шукати площу, яку захищає пожежний підрозділ у вигляді кола. Встановимо радіус обслуговування, тобто радіус цього кола R . Оскільки від пожежного депо (ПД) до кожного з об'єктів у зоні відповідальності веде не пряма дорога, то відстань S_i , яку має проїхати автомобіль до об'єкту i , буде більше, ніж відстань R_i , що знайдена по прямій на карті (рис. 2). Задача полягає в тому, щоби знайти так званий коефіцієнт звивистості доріг $K_{\text{зв}}$ такий, що $S_i \approx K_{\text{зв}} R_i$.

Очевидно, що $K_{\text{зв}} \geq 1$. Коефіцієнт звивистості показує у скільки разів відстань на місцевості (з урахуванням доріг) більше, ніж відстань по прямій на карті. Після того, як він буде знайдений, можна буде стверджувати, що середня відстань до граничних точок кола, радіуса R і центром у пожежній частині, приблизно дорівнює $K_{\text{зв}} R$. Це означає, що радіус відповідальності можна обрати як $R_{\text{в}} = \frac{S_{\max}}{K_{\text{зв}}}$.

Тоді площа відповідальності знаходиться за формулою $S_{\text{в}} = \pi R_{\text{в}}^2$.

Зупинимось на тому, як знайти коефіцієнт звивистості доріг, маючи реальні відстані на місцевості S_i і відстані R_i , знайдені по прямій на карті. Найпростіший шлях полягає в тому, щоби скласти співвідношення $\frac{S_i}{R_i}$ і знайти їх середнє значення

$$K_{\text{зв}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{R_i}.$$

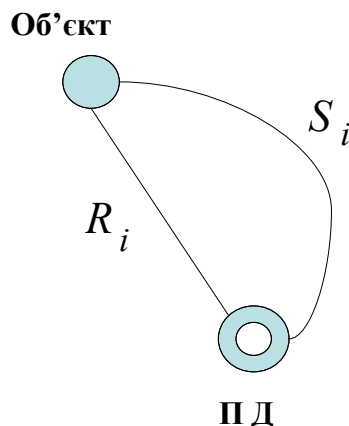


Рис. 2. Геометрична модель для визначення площі обслуговування

Інший шлях полягає в тому, щоб застосувати метод найменших квадратів і знайти $K_{зв}$ як розв'язок задачі мінімізації

$$\sum_{i=1}^n (S_i - K_{зв} R_i)^2 \rightarrow \min .$$

Для її розв'язку достатньо розв'язати рівняння:

$$\frac{d}{dK_{зв}} \sum_{i=1}^n (S_i - K_{зв} R_i)^2 = 0;$$

$$K_{зв} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i R_i}{\sum_{i=1}^n R_i^2} .$$

Для обчислення максимально допустимого шляху S_{max} від пожежної частини до місць виклику ми користувалися середньою швидкістю пожежного автомобіля V_{cp} . Але середня швидкість суттєво залежить від якості доріг: на дорогах із твердим покриттям вона досягає в середньому 50 км/год., а на ґрунтових – лише 30 км/год. Нехай у прилеглий до пожежної частини зоні довжина доріг з твердим покриттям складає $L_{тв}$, а ґрунтових – $L_{гр}$. Знайдемо середню відстань L , яку встигне проїхати автомобіль протягом часу t_{max} , якщо відстані, які він проїжджає по дорогам з твердим покриттям $S_{тв}$ і по ґрунтовим дорогам $S_{гр}$, відносяться як

$$\frac{S_{тв}}{S_{гр}} = \frac{L_{тв}}{L_{гр}} .$$

При цьому

$$S_{тв} = V_{тв} t_{тв}, S_{гр} = V_{гр} t_{гр},$$

де $V_{тв}$ – швидкість на дорогах з твердим покриттям; $t_{тв}$ – час, витрачений на пересування по дорогам з твердим покриттям; $V_{гр}$ – швидкість на ґрунтових дорогах; $t_{гр}$ – час, витрачений на пересування по ґрунтовим дорогам.

Оскільки $t_{тв} + t_{гр} = t_{max}$, то приходимо до системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} L = V_{тв} t_{тв} + V_{гр} t_{гр} \\ \frac{V_{тв} t_{тв}}{V_{гр} t_{гр}} = \frac{L_{тв}}{L_{гр}} \\ t_{тв} + t_{гр} = t_{max} \end{array} \right. \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} L = V_{гр} t_{гр} \frac{L_{тв}}{L_{гр}} + V_{гр} t_{гр} \\ \frac{V_{тв} (t_{max} - t_{гр})}{V_{гр} t_{гр}} = \frac{L_{тв}}{L_{гр}} \\ t_{тв} = t_{max} - t_{гр} \end{array} \right. \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} L = V_{\text{гр}} t_{\text{гр}} \left(\frac{L_{\text{ТВ}}}{L_{\text{гр}}} + 1 \right) \\ V_{\text{ТВ}} L_{\text{гр}} t_{\text{max}} = V_{\text{ТВ}} L_{\text{гр}} t_{\text{гр}} + V_{\text{гр}} L_{\text{ТВ}} t_{\text{гр}} \\ t_{\text{ТВ}} = t_{\text{max}} - t_{\text{гр}} \end{array} \right. \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} L = V_{\text{гр}} t_{\text{гр}} \left(\frac{L_{\text{ТВ}}}{L_{\text{гр}}} + 1 \right) \\ t_{\text{гр}} = \frac{V_{\text{ТВ}} L_{\text{гр}} t_{\text{max}}}{V_{\text{ТВ}} L_{\text{гр}} + V_{\text{гр}} L_{\text{ТВ}}} \\ t_{\text{ТВ}} = t_{\text{max}} - t_{\text{гр}} \end{array} \right.$$

Звідки остаточно дістаємо

$$L_{\text{ТВ}} = \frac{V_{\text{ТВ}} V_{\text{гр}} L_{\text{гр}}}{V_{\text{ТВ}} L_{\text{гр}} + V_{\text{гр}} L_{\text{ТВ}}} \left(\frac{L_{\text{ТВ}}}{L_{\text{гр}}} + 1 \right) t_{\text{max}} ;$$

$$L = \frac{L_{\text{ТВ}} + L_{\text{гр}}}{\frac{L_{\text{гр}}}{V_{\text{гр}}} + \frac{L_{\text{ТВ}}}{V_{\text{ТВ}}}} t_{\text{max}} .$$

Такою формулою зручно користуватися, коли відома загальна довжина ґрунтових доріг і доріг з твердим покриттям. Тоді радіус обслуговування одним пожежним підрозділом буде знаходитись як

$$R_{\text{в}} = \frac{L}{K_{\text{зв}}} .$$

Для урахування рельєфу місцевості вводимо поправочний коефіцієнт рельєфу, який враховує ухили доріг. В табл. 1 наведені коефіцієнти $k_{\text{р}}$, що характеризують співвідношення між розрахунковими ($v_{\text{р}}$) та середніми фактичними швидкостями ($v_{\text{ф}}$) на дорогах з двома смугами руху [7]

$$K_{\text{р}} = \frac{v_{\text{ф}}}{v_{\text{р}}} .$$

Табл. 1. Значення коефіцієнтів $k_{\text{р}}$

Подовжні ухили, %	Інтенсивність руху, авт./доба				
	500	1000	1500	2000	2500
	Величина $k_{\text{р}}$				
0-25	1,00-0,98	0,98-0,96	0,96-0,94	0,94-0,90	0,92-0,87
40-50	0,98-0,94	0,95-0,90	0,90-0,84	0,84-0,78	0,80-0,70
60-75	0,94-0,89	0,89-0,83	0,83-0,70	0,71-0,58	0,60-0,45

Тоді маємо

$$R_{\text{в},i} = \frac{L_i}{K_{\text{зв},i}} \cdot k_{\text{р},i} .$$

Наведена модель розрахунку радіусів виїзду для кожного напрямку руху автомобілю з ПД, побудована на застосуванні методу найменших квадратів, дозволяє оцінити площу обслуговування, яку захищає один пожежний підрозділ в сільській місцевості України.

Для розрахунку раціонального розміщення пожежних депо використовується комп'ютерна програма «Покриття» [8], алгоритм якої наведено в [9].

При використанні комп'ютерної програми «Покриття» здійснюється розрахунок радіусу виїзду підрозділів, для чого:

- обираються існуючі діючі підрозділи, розташовані у відповідних ПД;
- населені пункти розподіляються на умовні групи, за принципом найближчої їх відстані до існуючого ПД;
- проводиться вимірювання відстані реальної та по прямій від населеного пункту до найближчого ПД, вводимо граничний час прибуття та середню швидкість автомобіля у даній місцевості;
- проводиться розрахунок радіусу зони обслуговування та її площі.

На карті це виглядатиме як коло, що позначає місцеположення підрозділу.

Дані щодо місця розташування, назви підрозділу та площі обслуговування заносяться до бази. При визначенні місць дислокації ПД слід використовувати наступні принципи:

1. площа обслуговування повинна охоплювати максимально можливу кількість сільського населення;
2. перевага для місця розташування ПД надається населеному пункту з більшою кількістю населення;
3. при визначенні місць розташування підрозділів, які захищають населені пункти на границі району та населені пункти сусіднього району слід розглядати особливості двох сусідніх районів.

Приклад проведених розрахунків розміщення ПД представлено на рис. 3, де чорним кольором позначено багатокутники, площу яких захищають існуючі пожежні підрозділи, а синім кольором – багатокутники, в центрі яких необхідно побудувати додаткові пожежні депо.

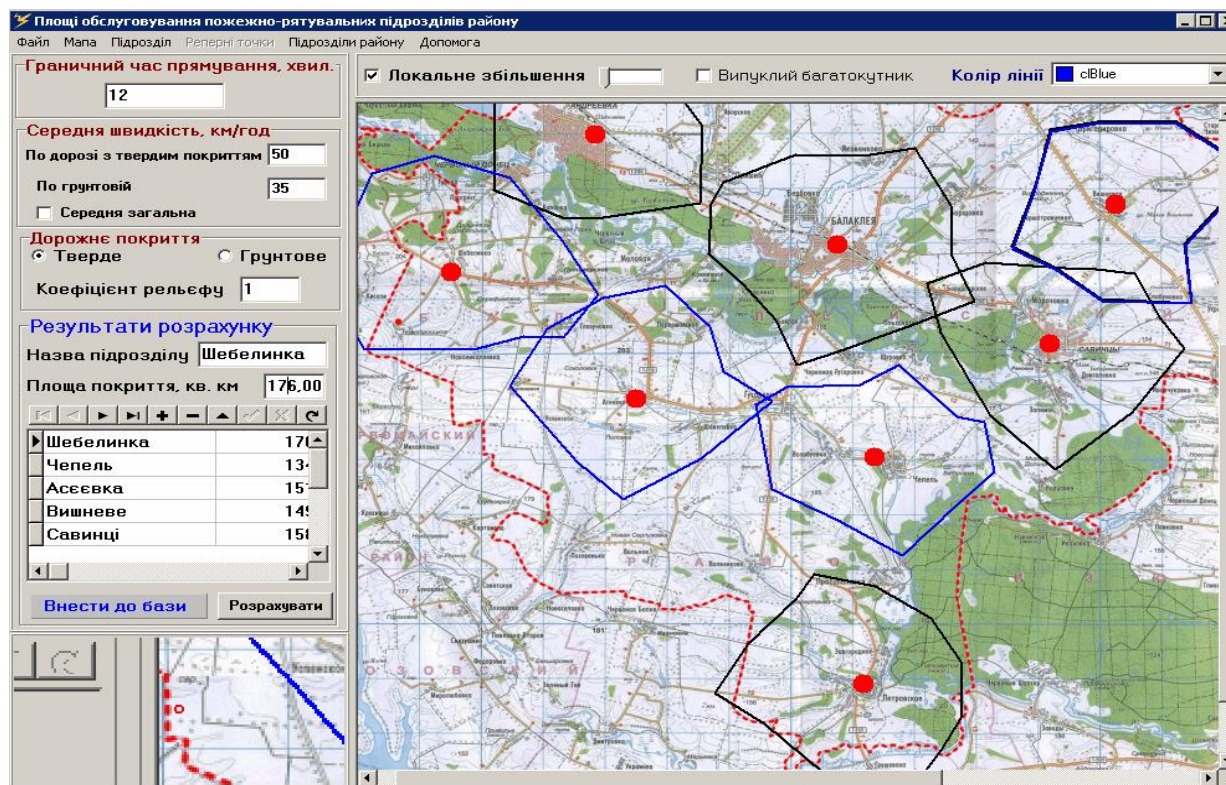


Рис. 3. Вікно «Результати розрахунку» комп'ютерної програми «Покриття»

В разі виконання отриманих даних будуть виконані мінімальні нормативні вимоги країн ЄС по часу прибуття перших аварійно-рятувальних підрозділів до місць виклику в районі сільської місцевості України (наведено розрахунки для Балаклійського району Харківської області).

5. Результати досліджень

Для проведення аналізу та розрахунків щодо необхідної кількості та місць дислокації пожежних депо необхідно:

- комп'ютерний варіант карти району області (в масштабі 1 см: 2000 м), або сканована карта району;
- дані щодо кількості та місць дислокації пожежних депо в районі;
- дані щодо місць дислокації функціонуючих пожежних депо в прилеглих районах.

Після отримання необхідних даних проводимо розрахунки за допомогою комп'ютерної програми «Покриття».

6. Обговорення результатів

Основну загрозу життю людини при пожежі відіграють характеристики токсичних продуктів згоряння, а саме їх безпосередній вплив на організм людини. Максимальний час впливу монооксиду вуглецю на організм людини, коли утворюється смертельна концентрація CO – 0,003 кг/м³, становить приблизно 18-22 хвилини від початку пожежі. Виходячи з цього слід розраховувати мінімальний час прибуття перших аварійно-рятувальних підрозділів до місця пожежі. З урахуванням необхідності використання часових нормативів для забезпечення рятування людей при пожежах в сільській місцевості доцільно провести математичне моделювання раціонального розміщення пожежних депо.

Основним критерієм порівняння моделей є мінімізація часу прибуття до місць виклику сил і засобів, достатніх для успішного гасіння пожежі. Проведений аналіз застосування найбільш розповсюджених математичних моделей показує, що для вирішення такої задачі доцільно використовувати метод найменших квадратів. Використовуючи побудовану на таких моделях комп'ютерну програму та електронні карти місцевості, запропонований підхід дає можливість отримати необхідні дані по розташуванню пожежних депо для будь якого району і області.

7. Висновки

Для оптимізації розрахунку кількості пожежних депо в сільській місцевості проведено аналіз і порівняння моделей покриття району колами нормованого радіусу та використання методу найменших квадратів.

При проектуванні нового району забудови доцільно використовувати моделі покриття району колами нормованого радіусу. Такий підхід дозволяє для пожежного захисту району визначати необхідну кількість пожежних депо, їх раціональні місця розташування, виходячи з розглянутих обмежень задачі, обирати типовий проект для кожного депо, площу та відповідні їй метричні характеристики земельної ділянки, відведеної під забудову депо, а також для кожного депо визначати кругову зону захисту, яку воно контролює.

Для існуючої сітки покриття пожежними підрозділами доцільно використовувати метод найменших квадратів. Така модель враховує стан доріг у зоні дії пожежного підрозділу і середню швидкість руху пожежних автомобілів, дає змогу пов'язати радіус і площу обслуговування із часом прибуття перших підрозділів до місця виклику.

Вказана математична модель дає змогу пов'язати радіус і площу обслуговування із часом прибуття перших підрозділів на місце пожежі. Цей час може задавати, виходячи із пожежної стійкості споруд, небезпеки для населення, вартості об'єктів, і т. ін.

Розроблене програмне забезпечення «Покриття» (в середовищі DELPHI) забезпечує автоматизацію проведення розрахунків та дозволяє визначити місця дислокації пожежних депо місцевої пожежної охорони та їх радіус виїзду і площу обслуговування.

Література

1. ДБН 360:1992. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень. Вид. офіц. Київ, 1993. 107 с.
2. Проаналізувати стан протипожежного захисту сільських населених пунктів та розробити методичні рекомендації щодо оцінки його рівня. Звіт про НДР. УкрНДШБ МНС України. № ДР 0105U005790. Київ, 2005. 103 с.
3. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2016 рік. URL: // <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v-Ukrayini.html>
4. McGrattan K. B., Forney G. P. Fire Dynamics Simulator: User's Guide. NISTIR 6469. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2000.
5. Брушлинский Н. Н., Соболев Н. Н. Математическая модель расчета среднего радиуса выезда оперативных отделений пожарной охраны по вызовам. Пожарная техника и пожаротушение на объектах народного хозяйства. Москва: ВНИИПО, 1986. С. 58–66.
6. Комяк В. М., Соболев О. М., Лісняк А. А., Собіна В. О. Оптимізація покриття заданих областей геометричними об'єктами зі змінними метричними характеристиками. Горлівка, 2013. 124 с.
7. Брайновский Н. О., Грановский Б. И. Моделирование транспортных систем. Москва, 1978. 125 с.
8. Альбоций В. М., Говаленков С. В., Крайнюк О. І., Басманов О. Є. Комп'ютерна програма «Покриття». Свідоцтво МОН України про реєстрацію авторського права на твір № 22272 від 05.10.2007 р.
9. Говаленков С. В., Гусєва Л. В. Алгоритм визначення площ покриття підрозділами місцевої пожежної охорони. Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: Матеріали II міжнародної наук. практ. конф. Черкаси, 2008. С. 43–45.

S. Govalenkov, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

A. Oleynik, cadet

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

RESEARCH OF MATHEMATICAL MODELS OF PLACEMENT OF FIREFIGHTER DEPOTS IN RURAL AREAS

This paper represents the results of studying the mathematical models that can be used to optimize fire stations location. The different models of covering districts with circles that have normalized radius and the use of the least squares methods were analysed and compared. At the stage of designing a district that is planned to be built, it is expedient to use models that cover the district with normalized radius circles. Such approach to fire protection allows us to determine rationally a sufficient number of fire stations, their future places, the areas of land plots and their metrical parameters, as well as, a radius of protection zone of a station. The task of rational location of fire stations should be solved for each circular protection zone at the stage of planning a district, when decisions about planning and architecture have been already

Civil Security. DOI: 10.5281/zenodo.2598109

taken. The method allows using the medium-term planning when the district's territory, assumed population are known. At this stage, a minimum number of required fire stations are determined and that number with the number of existing fire stations totally cover the area of fire stations responsibility. For the existing stations it is advantageous to use the least squares method that allows building mathematical models taking into account such factors as the terrain, road surfaces, number of lanes, hierarchy of roads, traffic within or outside a human settlement, road quality in the service zone of a fire station and average speed of fire engines. The mathematical model lets you to connect the radius and area of service with arrival time of the first brigades to a place of call. Such solution of assigned tasks provides new approaches and opportunities to locate fire stations optimally with using the criterion of minimal arrival time for the first fire brigades to a place of a call, additionally, with the determination of real service areas for fire stations.

Keywords: fire station, fire department, radius and service area, normalized radius, method of least squares

References

1. State Building Standards 360:1992. Town planning. Planning and forgetting of urban and rural settlements. Kyiv, 1993, 107.
2. To analyze the state of fire protection in rural settlements and to develop methodological recommendations for assessing its level. R & D Report / UkrNISIP of the Ministry of Emergencies of Ukraine, No. DR 0105U005790, 2005, 103.
3. Analytical review of the state of man-made and natural safety in Ukraine for 2016. URL: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v-Ukrayini.html>
4. McGrattan, K. B., Forney, G. P. (2000). Fire Dynamics Simulator: User's Guide. NISTIR 6469. Gaithersburn, MD: National Institute of Standards and Technology.
5. Brushlinsky, N. N., Sobolev, N. N. (1986). Mathematical model of calculating the average radius of departure of operational fire departments on calls. Firefighting equipment and firefighting on the objects of the national economy, 58–66.
6. Komyak, V. M., Sobol, O. M., Lisnyak, A. A., Sobina, V. O. (2013). Optimization of coverage of given areas by geometric objects with variable metric characteristics. UCD of Ukraine-Gorlovka, 124.
7. Braylovsky, N. O., Granovsky, B. I. (1978). Modeling of transport systems. Moscow, 125.
8. Alboshchy, V. M., Govalenkov, S. V., Kraineuk, O. I., Basmanov, O. E. (2007). Computer program "Coverage". Certificate of the Ministry of Education and Science of Ukraine on the registration of copyright in the work № 22272.
9. Govalenkov, S. V., Guseva, L. V. (2008). Algorithm for determining areas of coverage by units of local fire brigade. Natural sciences and their application in the activity of the Civil Protection Service: Materials of the II International Science practice conf. Cherkasy, 43–45.

Надійшла до редколегії: 05.09.2018

Прийнята до друку: 09.11.2018