
УДК 614.842

А.С. Рогозін, А.Я. Калиновський, Р.І. Коваленко, С.С. Смолянiнов

Національний університет цивільного захисту України, Харків

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ПОЖЕЖНИХ ТА АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ АВТОМОБІЛІВ ПО ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛАХ МІСТА ХАРКОВА

У статті проведений аналіз виїздів пожежних та аварійно-рятувальних автомобілів (ПРА) з пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП) міста Харкова на обслуговування викликів та визначено, що частота виїздів ПРА з різних ПРП неоднакова. В ході проведення досліджень була побудована та розрахована цільова функція оптимального розміщення ПРА по ПРП міста Харкова з метою рівномірного розподілу навантаження на особовий склад чергових караулів.

Ключові слова: виїзди пожежно-рятувальних підрозділів на виклики, цільова функція оптимального розміщення пожежних та аварійно-рятувальних автомобілів, пожежно-рятувальні підрозділи.

Вступ

Постановка проблеми. Пожежно-рятувальні підрозділи (ПРП) щодня здійснюють виїзди на обслуговування викликів, що пов'язані з ліквідацією надзвичайних ситуацій (НС) та допомогою населенню. У

2014 році по місту зафіксовано 5404 виїзди на обслуговування викликів, тобто в середньому за добу ПРП здійснюють 15 виїздів на виклики. Кожен ПРП має свій район виїзду і в залежності від кількості населення, особливостей забудови району та інших чинників відрізняється і кількість виїздів в них (рис. 1).

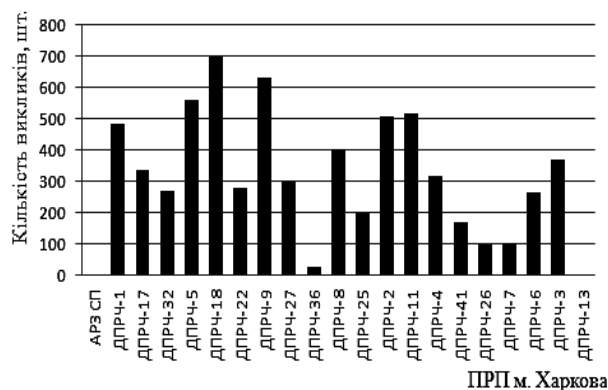


Рис. 1. Діаграма розподілу кількості викликів по ПРП міста Харкова впродовж 2014 року

Так як кількість виїздів на виклики для кожного ПРП різна, то по різному розподіляється навантаження і на особовий цих підрозділів, також це впливає і на експлуатацію пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів (ПРА) тому, що інтенсивність їх використання в кожному окремому підрозділі різна, а термін експлуатації в них згідно нормативних документів [1] однаковий і становить 10 років.

Отже виникає необхідність оптимізації розміщення ПРА по ПРП з метою встановлення рівномірного навантаження на особовий склад чергових караулів та рівномірної експлуатації всіх ПРА в підрозділах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні основним керівним документом, що регламентує чисельність ПРА, а також особливості їх розміщення в населених пунктах є ДБН 360-92** [2]. Згідно даного нормативного документу необхідна кількість ПРА приймається в залежності від кількості населення, що проживає на території певного населеного пункту, при цьому такі показники як щільність населення, віковий склад населення, особливості забудови населеного пункту (щільність забудови, поверховість будинків, термін експлуатації будинків та ін.) до уваги не приймається, але головним чином саме від цих показників залежить кількість викликів, що будуть надходити до ПРП.

Проаналізувавши вимоги нормативного документу [2], можна говорити про те, що в нашій державі нормативна база, яка стосується визначення необхідної кількості та особливостей розміщення ПРП, а також відповідно і ПРА є недосконалою.

У роботі [3] була розроблена методологія створення комп'ютерних імітаційних систем (КІС), а також створена КІС «КОСМАС» (комп'ютерна імітаційна система моделювання аварійних служб). Призначенням КІС «КОСМАС» є дослідження процесу функціонування оперативних підрозділів екстрених і аварійно-рятувальних служб міста, а також експертиза проектних, організаційних і управлінських рішень, пов'язаних з оперативною діяльністю

цих служб. В даній роботі говориться про те, що за допомогою КІС «КОСМАС», попередньо дослідивши процес функціонування ПРП можна виконувати перерозподіл ПРА по ПРП з урахуванням оперативної обстановки, склалася в місті. В самій роботі відсутні будь-які відомості про цільову функцію оптимального розміщення ПРА по ПРП, тому є незрозумілим, яким чином це виконується в КІС «КОСМАС».

У роботі [4] було на основі проведеного регресійного аналізу чинників, що впливають на виклики ПРП у штаті Массачусетс (США), спрогнозовані ймовірні місця виникнення надзвичайних подій, що були нанесені на карту і за допомогою розробленої авторами геоінформаційної системи виконувалася оптимізація розміщення ПРП по критерію мінімального часу прибуття ПРА до місця виклику. В даній роботі також як і у роботі [3] були відсутні відомості стосовно використовуваної оптимізаційної функції.

Метою роботи є виконання оптимального перерозподілу ПРА по ПРП міста Харкова для рівномірного розподілу навантаження на особовий склад чергових караулів, а також для забезпечення рівномірної експлуатації ПРА в підрозділах з урахуванням оперативної обстановки пов'язаної з виникненням НС на території міста.

Виклад основного матеріалу

Для досягнення поставленої мети необхідно спочатку розробити цільову функцію оптимального розміщення ПРА по ПРП, яка б враховувала реальну ймовірність залучення ПРА до обслуговування виклику.

Розроблена функція має такий вигляд:

$$f(W) = \sum_{j=1}^{19} \left(\frac{M[W_j]}{W_j + \sum_{i=1}^{18} \left(\frac{m \cdot (W_i - M[W_i]) \cdot \mu_j \times}{- \mu_j \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}} \right)} \right) + \sum_{j=1}^{19} \left(\frac{M[W_j]}{W_j - (m \cdot (W_j - M[W_j]))} \right) \quad (1)$$

де $M[W_j]$, $M[W_i]$ – оцінка очікування відносного залучення ПРА до ліквідації наслідків НС в районі виїзду j-го та i-го ПРП;

W_j , W_i – відносна частка ПРА в j-му та i-му ПРП;

m – коефіцієнт, що враховує, яку частину вільних ПРА можна залучати до ліквідації НС з інших ПРП.

Внесок ПРА залучених з інших ПРП у ліквідацію НС оцінювався таким чином:

$$\mu_j \exp \left(- \mu_j \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} / (k v_{cp}) \right) \quad (2)$$

де μ_j – параметр закону розподілу часу ліквідації НС в районі виїзду j-го ПРП; k – коефіцієнт непрямої-

нійності транспортних сполучень в місті; v_{cp} – середня швидкість прямування ПРА в місті, км/год; x_i, y_i, x_j, y_j – координати центрів i -го та j -го районів виїзду ПРП; $e=2,7$ – число Ейлера (математична константа).

Оптимізаційна функція була доповнена наступними обмеженнями:

$$\sum_{j=1}^{19} W_j = 1; \quad W_j > 0.$$

До розрахунку приймалися ПРП, які мали зони виїзду в місті Харкові. Для спрощення розрахунків приймалося припущення, що ПРП знаходяться в центрі закріплених за ними районів виїзду. Відстані між ПРП визначалися за допомогою картографічного сервісу «Яндекс. Карти» [5], що дало можливість не враховувати коефіцієнт непрямої лінійності транспортних сполучень в місті, бо відстані між ПРП були визначені по реальній вулично-дорожній мережі.

Враховуючи те, що кожна ділянка дороги має свою пропускну спроможність, а також різний коефіцієнт завантаження, що змінюється впродовж доби [6], для визначення середньої швидкості прямування ПРА в місті, з 5404 виїздів на обслуговування викликів в місті Харкові, які сталися у 2014 році було обрано 100 випадкових та визначені відстані прямування ПРА до місць викликів і час прямування. Отримавши такі дані середня швидкість прямування ПРА до місця виклику визначалася наступним чином:

$$V_i = \frac{S}{t}, \quad (3)$$

де V_i – швидкість прямування ПРА на виклик, км/год;

S – відстань між ПРП та місцем виклику, км;

t – час прямування ПРА на виклик, год.

$$V_{cp} = \frac{\sum V_i}{n}, \quad (4)$$

де V_{cp} – середня швидкість прямування ПРА до місця виклику, км/год;

$n=100$ – кількість випадково обраних викликів.

Після проведених розрахунків було встановлено, що середня швидкість прямування ПРА до місця виклику в місті Харкові становить 25 км/год.

Відносні частки параметрів $M[W_j]$ і $M[W_i]$ приведені в табл. 1.

Параметри $M[W_j]$ і $M[W_i]$ розраховувались наступним чином:

$$M[W_{i,j}] = \frac{E_{i,j}}{P_{i,j}}, \quad (5)$$

де $E_{i,j}$ – кількість ПРА, що були залучені на обслуговування викликів в i -му або j -му районі виїзду ПРП;

$P_{i,j}$ – кількість викликів i -го або j -го ПРП за рік.

Параметр закону розподілу часу ліквідації НС в районі виїзду j -го ПРП – μ_j , являється середнім часом ліквідації НС на території j -го ПРП вираженим в годинах.

Таблиця 1

Відносні частки величин параметрів $M[W_j]$, $M[W_i]$, величини показників W_j , W_i та μ_j , результати розрахунку

Найменування ПРП	Кількість викликів ПРП за рік, $P_{i,j}$	Кількість ПРА, що були залучені на обслуговування викликів, $E_{i,j}$	Відносна частка $M[W_j]$, $M[W_i]$	Параметр закону розподілу часу ліквідації НС в районі виїзду j -го ПРП, μ_j	Відносна частка ПРА від загальної кількості ПРА, що знаходяться в i -му або j -му ПРП, W_j та W_i	Результати розрахунку
ДПРЧ-1	309	471	0,05201	0,833333	0,063829787	0,012786933
ДПРЧ-17	300	455	0,05175	0,883333	0,021276596	0,008994763
ДПРЧ-32	243	422	0,05925	0,633333	0,063829787	0,061848208
ДПРЧ-5	368	586	0,05433	0,716667	0,063829787	0,061221414
ДПРЧ-18	546	821	0,0513	0,616667	0,085106383	0,084466686
ДПРЧ-22	249	381	0,05221	0,616667	0,042553191	0,040378083
ДПРЧ-9	489	706	0,04926	0,75	0,085106383	0,082793615
ДПРЧ-27	264	435	0,05622	0,783333	0,042553191	0,049467379
ДПРЧ-36	27	33	0,0417	0,45	0,021276596	0,022301344
ДПРЧ-8	319	477	0,05102	0,633333	0,085106383	0,082354143
ДПРЧ-25	101	109	0,03682	0,7	0,042553191	0,040932389
ДПРЧ-2	352	533	0,05166	0,8	0,063829787	0,065242293
ДПРЧ-11	476	698	0,05003	0,633333	0,042553191	0,04591555
ДПРЧ-4	268	443	0,0564	0,8	0,042553191	0,050391738
ДПРЧ-41	160	294	0,06269	0,8	0,021276596	0,025493058
ДПРЧ-26	86	143	0,05673	0,9	0,042553191	0,043349493
ДПРЧ-7	91	141	0,05287	0,916667	0,042553191	0,043111182
ДПРЧ-6	218	391	0,0612	0,866667	0,063829787	0,062202807
ДПРЧ-3	289	445	0,05254	0,983333	0,063829787	0,116748921
			$\Sigma=1$		$\Sigma=1$	$\Sigma=1$

Відносна частка ПРА від загальної кількості ПРА, що знаходяться в і-му або j-му ПРП розраховувалась наступним чином:

$$W_{i,j} = \frac{\sum N_{\text{ПРА}}}{N_{\text{ПРА}(i,j)}} \quad (6)$$

де $\sum N_{\text{ПРА}}$ – загальна кількість ПРА, що знаходяться в ПРП міста Харкова;

$N_{\text{ПРА}(i,j)}$ – кількості ПРА, що знаходяться в і-му або j-му ПРП міста Харкова.

Величини показників W_j , W_i та μ_j наведені в табл. 1.

Значення коефіцієнту m , що враховує, яку частину вільних ПРА можна залучати до ліквідації НС з інших ПРП було прийнято 0,5, тобто до ліквідації НС з інших ПРП можна було залучити половину ПРА, що перебувають в них в оперативному розрахунку.

Після визначення всіх вихідних даних з урахуванням обмежень, що наносилися на цільову функцію оптимізаційного розміщення ПРА по ПРП, а також заданому критерію мінімум ($f(W) \rightarrow \min$), був проведений відповідний розрахунок, результати якого наведені в табл. 1.

Висновки

У роботі була запропонована цільова функція оптимального розміщення і за її допомогою виконано перерозподіл ПРА по ПРП міста Харкова з врахуванням ймовірності залучення ПРА до обслуговування викликів.

В подальшому планується побудова прогнозової моделі виникнення НС на території адміністративних районів міста Харкова для оцінки та прогнозу-

вання необхідної кількості ПРА, які будуть необхідні для обслуговування викликів.

Список літератури

1. Наказ ДСНС України від 29.05.2013 року №358 «Норми табельної належності, витрат і термінів експлуатації пожежно-рятувального, технологічного і гаражного обладнання, інструменту, індивідуального озброєння та спорядження, ремонтно-експлуатаційних матеріалів підрозділів ДСНС України» [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/files/2013/6/2/normiy.doc>
2. ДБН 360-92** «Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень» [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://dbn.at.ua/load/normativy/dbn/dbn_360_92_ua/1-0-116.
3. Соколов С.В. Методологические основы разработки и использования компьютерных имитационных систем для исследования деятельности и проектирования аварийно-спасательных служб в городах: дис. ... на соискания уч. степени доктора тех. наук: 05.13.10 / Соколов Сергей Викторович. – М., 1999. – 298 с.
4. ISPAK: Interactive Visual Analytics for Fire Incidents and Station Placement [Electronic resource]. – Access to the magazine: <http://poloclub.gatech.edu/idea2015/papers/p29-das.pdf>.
5. Картографічний сервіс «Яндекс. Карти» [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://maps.yandex.ua/147/kharkiv/>
6. Тончій Р.І. Встановлення зв'язку дорожньо-транспортних умов експлуатації автомобільної техніки внутрішніх військ з безпекою руху в населених пунктах [Електрон. ресурс] // Академія внутрішніх військ МВС України. – Режим доступу: <http://irbis-nbuv.gov.ua>.

Надійшла до редколегії 4.02.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Ларін, Національний університет цивільного захисту України, Харків.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЖАРНЫХ И АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМ ГОРОДА ХАРЬКОВА

А.С. Рогозин, А.А. Калиновский, Р.И. Коваленко, С.С. Смолянинов

В статье проведен анализ выездов пожарных и аварийно-спасательных автомобилей (ПРА) по пожарно-спасательных подразделений (ПСП) города Харькова на обслуживание вызовов и определено, что частота выездов ПРА с разных ПСП неодинакова. В ходе проведения исследований была построена и рассчитана целевая функция оптимального размещения ПРА по ПСП города Харькова с целью равномерного распределения нагрузки на личный состав дежурных караулов.

Ключевые слова: выезды пожарно-спасательных подразделений на вызовы, целевая функция оптимального размещения пожарных и аварийно-спасательных автомобилей, пожарно-спасательные подразделения.

OPTIMIZATION OF FIRE AND RESCUE VEHICLES ON FIRE-RESCUE UNITS OF THE CITY OF KHARKOV

A.S. Rogozin, A.J. Kalinowsky, R.I. Kovalenko, S.S. Smolyaninov

The article analyzes the departures of fire and rescue vehicles on fire-rescue units of the city of Kharkov on service calls and determined that the frequency of visits firefighters and rescue vehicles with different fire-rescue units varies. In the course of research has been built and designed objective function optimal placement of fire and rescue vehicles on fire-rescue units of the city of Kharkov, for uniform distribution of the load on the staff of the guard on duty.

Keywords: visits fire-rescue units to the challenges, the objective function is the optimal placement of fire and rescue vehicles, fire and rescue units.