

*І.В. Паснак<sup>1</sup>, канд. техн. наук, О.М. Фурсенко<sup>2</sup>*

*(<sup>1</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

*<sup>2</sup>Відділ освіти і науки Департаменту персоналу ДСНС України)*

## **ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТУ РУХУ СПЕЦІАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ІЗ УРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ**

Встановлено, що сьогодні недостатньо вичерпно вивчене питання вибору оптимального маршруту руху спеціальних транспортних засобів із урахуванням параметрів вулично-дорожньої мережі. Отримано залежності для визначення коефіцієнтів відносної аварійності на перехрестях та ділянках вулично-дорожньої мережі залежно від показника добової інтенсивності дорожнього руху. Для оптимізації маршрутів руху спеціальних транспортних засобів розроблена імітаційна модель вибору оптимальних маршрутів за критеріями вибору найбезпечнішого маршруту руху та найменших витрат на слідування до місця виклику.

**Ключові слова:** автомобільний транспорт, маршрут руху, вулично-дорожня мережа, аналіз аварійності, імітаційна модель, оптимізація маршруту.

*І.В. Паснак, А.Н. Фурсенко*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ**

Установлено, что сегодня недостаточно исчерпывающе изучен вопрос выбора оптимального маршрута движения специальных транспортных средств с учетом параметров улично-дорожной сети. Получены зависимости для определения коэффициентов относительной аварийности на перекрестках и участках улично-дорожной сети в зависимости от показателя суточной интенсивности дорожного движения. Для оптимизации маршрутов движения специальных транспортных средств разработана имитационная модель выбора оптимальных маршрутов по критериям выбора безопасного маршрута движения и наименьших затрат на следование к месту вызова.

**Ключевые слова:** автомобильный транспорт, маршрут движения, улично-дорожная сеть, анализ аварийности, имитационная модель, оптимизация маршрута.

*I.V. Pasnak, O.M. Fursenko*

## **ROUTE OPTIMIZATION FOR SPECIAL VEHICLES BASED ON THE PARAMETERS OF ROAD NETWORK**

It has been discovered that the issue of choosing the optimal route for special vehicles taking into account the parameters of the road network has not been thoroughly studied yet. The conditions to determine the relative ratios of accidents at junctions and sections of the road network, depending on the rate of daily traffic intensity have been identified. To optimize the routes for special vehicles the simulation model for selecting optimal routes to reach the destination has been developed.

**Keywords:** road transport, route, road network, accident analysis, simulation model, route optimization.

**Постановка проблеми.** В складі транспортного потоку вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міста рухається велика кількість транспортних засобів, що належать не тільки приватним особам, а й здійснюють народногосподарські перевезення та виконують інші господарські чи спеціальні функції. Бурхливе зростання автомобілізації, зокрема в Україні, призводить до перенасичення ВДМ транспортними засобами. Зокрема, за останні 7 років кількість автомобілів у Львові зростає вдвічі. Це, своєю чергою, значно впливає на основні показники, які характеризують транспортний потік: швидкість та інтенсивність руху, щільність транспортного потоку тощо.

Особливо актуальною ця проблема стає для транспортних засобів спеціальних служб: оперативно-рятувальної, швидкої медичної допомоги, аварійної газової служби, міліції тощо. Адже одним із найголовніших завдань зазначених служб є якомога швидше прибуття до місця виклику.

Тому, в умовах сьогодення, необхідно здійснювати пошук напрямів оптимізації маршрутів руху спеціальних транспортних засобів із урахуванням параметрів ВДМ для:

- зменшення тривалості слідування до місця виклику;
- вибору найбезпечнішого маршруту руху транспортного засобу;
- зменшення витрат на слідування до місця виклику.

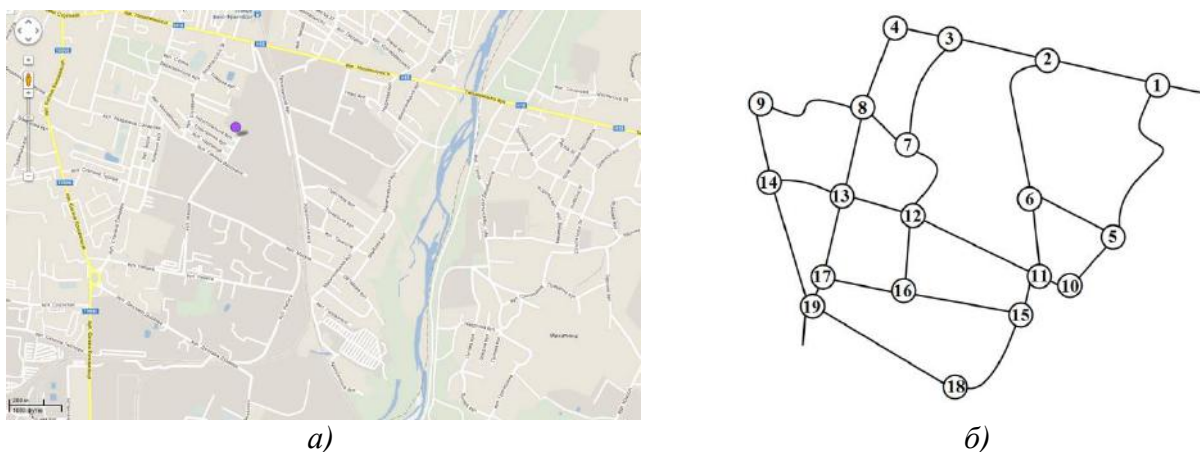
**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Відома низка наукових праць, що стосуються оптимізації тривалості слідування пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику [1-4]. Однак, у зазначених роботах недостатньо уваги приділено впливу особливостей улаштування ВДМ, її характеристик та інших чинників на тривалість слідування до місця виклику.

Відзначимо, що транспортно-експлуатаційні характеристики спеціальних транспортних засобів у процесі слідування до місця виклику необхідно досліджувати з використанням праць, які стосуються динаміки автомобільного транспорту. Тут доцільно звернути увагу на наукові роботи [5-7].

**Мета роботи.** Розробити методика вибору оптимального маршруту руху спеціальних транспортних засобів із урахуванням параметрів ВДМ.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо можливість оптимізації маршруту руху спеціальних транспортних засобів із урахуванням параметрів ВДМ за вищевказаними напрямками. Для здійснення вибору оптимального маршруту руху автомобіля за критерієм безпеки дорожнього руху необхідно схематично зобразити обрану ділянку ВДМ.

Якщо розглянути карту ВДМ міста, по якій рухається транспортний потік, то можна виокремити основні її елементи – перехрестя (транспортні вузли) та відрізки дороги (дуги), що їх з'єднують. Виходячи з цього, ВДМ із використанням її карти можна зобразити схематично, позначивши вищеописані основні елементи (рис. 1).



**Рисунок 1** – Картографічне та схематичне зображення ВДМ для проведення досліджень: а – карта досліджуваного району (зображення Google maps); б – схема ВДМ досліджуваного району

Використовуючи рис. 1 для побудови маршруту з найменшою аварійністю транспортних засобів, необхідно провести кількісний аналіз дорожньо-транспортних пригод (ДТП), які трапились на транспортній мережі району за рік, та визначити найбільш небезпечне перехрестя та ділянку ВДМ. Для цього необхідно визначити добову інтенсивність руху транспортних потоків на кожному перехресті.

Для отримання показників інтенсивності дорожнього руху в перерізі доріг можна використовувати дані короткострокових спостережень за інтенсивністю і складом потоку на стаціонарному пункті обліку. Облік інтенсивності руху в цьому випадку ведеться з обов'язковим поділом складу потоку за вантажопідйомністю та за значенням часу і дати проведення спостережень.

Однак, беручи до увагу витрати, необхідні для встановлення та обслуговування стаціонарних пунктів дослідження дорожнього руху, для дослідження показників дорожнього руху доцільно скористатися методом, наведеним в [8]. Цей метод дослідження параметрів дорожнього руху передбачає застосування відеореєстратора, встановленого в легковому автомобілі. Легковий автомобіль паркується у необхідному для дослідження місці ВДМ та відбувається дослідження параметрів дорожнього руху.

На рис. 2 наведено фотографії процесу збору інформації для дослідження параметрів дорожнього руху із застосуванням методу [8].



**Рисунок 2**– Процес збору інформації для дослідження параметрів дорожнього руху:  
а – вигляд з кабіни автомобіля у момент фіксації транспортних засобів реєстратором;  
б – кадр із запису реєстратора, де відтворена дана інформація

Відеореєстрація може здійснюватися як в присутності людини, так і автономно. Після проведення необхідних досліджень, результати опрацьовуються камеральним способом із використанням ПК. Отримані дані можуть відображатися у вигляді таблиць чи графіків залежно від поставленої задачі дослідження.

Для проведення досліджень доцільно визначати інтенсивність руху методом натурних спостережень із використанням методики 6-хвилинних відрізків часу. Цей метод полягає у вимірюванні кількості автомобілів на досліджуваному перерізі дороги 6 хвилин у ранковий (8.00) і вечірній (18.00) пікові періоди, а також в обідню пору (13.30).

Для встановлення найнебезпечнішого перехрестя необхідно за даними інтенсивності руху на дугах мережі визначити добову інтенсивність руху транспортних потоків на кожному перехресті. Її визначають шляхом підсумовування інтенсивностей на дугах, що примикають до цього перехрестя. Причому підсумовують значення інтенсивностей, «вхідних» у перехрестя або «вихідних» з нього. Такі розрахунки інтенсивностей руху проводять для всіх перехресть досліджуваної частини ВДМ.

Для розрахунку кількості ДТП за рік на певному перехресті беремо до уваги добову інтенсивність руху транспортних потоків на кожному перехресті  $N_i$ . Безпосередньо визначення кількості ДТП за рік на  $i$ -му перехресті здійснюємо за залежністю, отриманою в ДніпродорНДИ (м. Москва):

$$n_{ДТПi} = 0,38 + 1,6 \cdot 10^{-4} N_i, \quad (1)$$

де  $N_i$  – інтенсивність руху на  $i$ -му перехресті, авт./доб.

Використавши (1), отримаємо залежність, яка дасть змогу встановити показник відносної аварійності для кожного перехрестя залежно від інтенсивності руху

$$k_{ai} = \frac{3,8 \cdot 10^3 k_n + 1,6 N_i k_n}{3,65 N_i}, \quad (2)$$

де  $k_n$  – коефіцієнт добової нерівномірності руху.

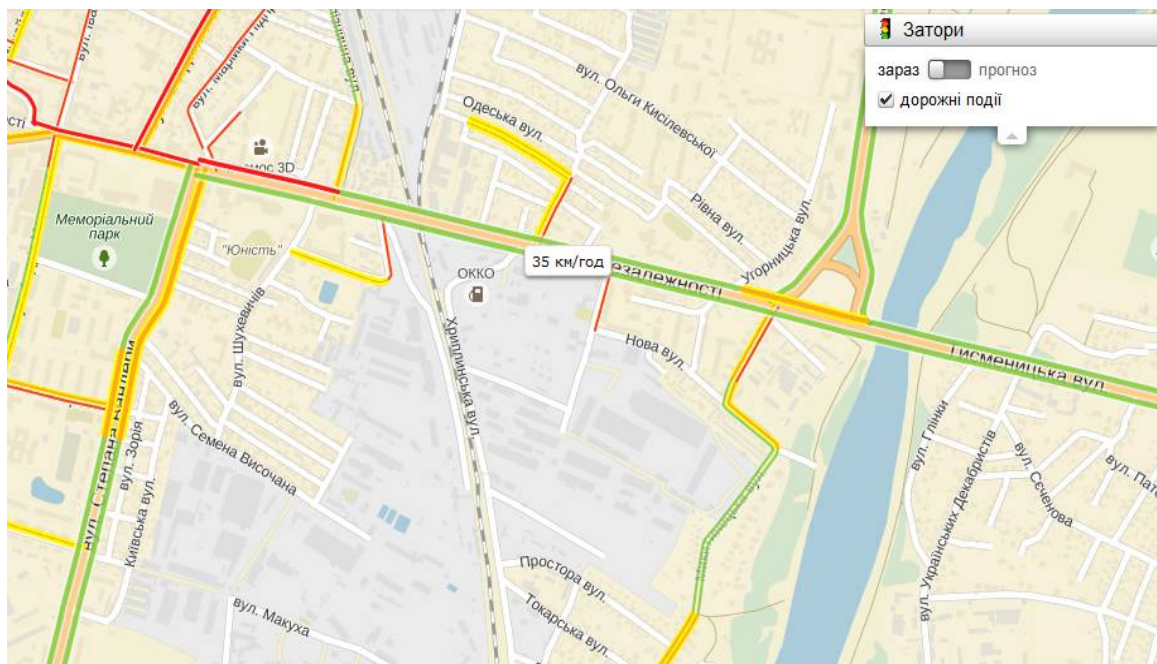
Аналогічно отримуємо залежність для визначення показника відносної аварійності для кожної дуги ВДМ:

$$k_{al-J} = \frac{3,8 \cdot 10^3 k_n + 1,6 N_{I-J} k_n}{3,65 N_{I-J}}. \quad (3)$$

де  $N_{I-J}$  – інтенсивність руху на дузі  $I-J$ , авт./доб.

Що стосується витрат на проїзд ділянки ВДМ, то вони визначаються великою кількістю чинників. Найзначніше на ці витрати впливають такі показники, як довжина дуги, середня швидкість автомобіля, відносна аварійність на ділянці.

Визначення середньої швидкості руху може здійснюватися таким способом. При визначенні необхідних дуг ВДМ для встановлення середньої швидкості можна скористатися одним із інтернет-сервісів. Наприклад, сервіс «Яндекс пробки» показує середню швидкість на дорогах міст України.



**Рисунок 3** – Приклад визначення середньої швидкості транспортного потоку на вул. Незалежності у м. Івано-Франківськ (сервіс Яндекс пробки)

Скориставшись вказаним сервісом, випикуємо середню швидкість у будні в ранковий (8.00) і вечірній (18.00) пікові періоди, а також в обідню пору (13.30). З отриманих даних визначаємо середнє арифметичне й отримуємо необхідну для розрахунків середню швидкість.

Звичайно, за зазначеною методикою визначення середньої швидкості руху транспортного потоку можемо отримати узагальнені значення, проте їх достатньо для подальшої оптимізації маршруту руху транспортних засобів.

Проїзд 1 км дороги з урахуванням аварійності супроводжується збитками

$$C_{al-J} = \frac{k'_{al-J}}{365N_{I-J}} C_{ДТП} \text{ [грн]}, \quad (4)$$

де  $C_{ДТП}$  – середній народногосподарський збиток від одного ДТП, грн, а

$$k'_{al-J} = \frac{n_{ДТП_{I-J}}}{l_{I-J}}, \quad \text{ДТП / км}, \quad (5)$$

де  $l_{I-J}$  – довжина дуги  $I-J$ , км.

Беручи до уваги (1), запишемо залежність для визначення  $C_{al-J}$  у вигляді:

$$C_{al-J} = \frac{0,38 + 1,6 \cdot 10^{-4} N_{I-J}}{365N_{I-J}l_{I-J}} C_{ДТП} \text{ [грн]}. \quad (6)$$

У результаті отримуємо залежність для визначення витрат на проїзд ділянки ВДМ:

$$C_{I-J} = C_{зм.} l_{I-J} + C_{пост.} \frac{l_{I-J}}{V_{I-J}} + \frac{0,38 + 1,6 \cdot 10^{-4} N_{I-J}}{365N_{I-J}} C_{ДТП} \text{ [грн]}. \quad (7)$$

де  $C_{зм.}$  – змінні витрати автомобіля, грн/км;  $C_{пост.}$  – постійні витрати автомобіля, грн/год;  $V_{I-J}$  – середня швидкість автомобіля на ділянці  $I-J$ , км/год.

Як уже йшлося, слідування спеціальних транспортних засобів до місця виклику здійснюється по ВДМ, яка складається з транспортних вузлів та дуг, що їх з'єднують.

При розв'язанні проблеми оптимізації маршрутів руху спеціальних транспортних засобів із урахуванням параметрів ВДМ можна записати функцію мети задачі для кожного з вищерозглянутих напрямків оптимізації. Зокрема, функцію мети задачі зменшення тривалості слідування до місця виклику  $\tau_{сл.}$ :

$$\tau_{сл.} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Для вибору найбезпечнішого маршруту руху транспортного засобу функція мети матиме вигляд:

$$\sum_{i=1}^n k_{ai} + \sum_{i=1}^m k_{al-Ji} \rightarrow \min, \quad (9)$$

де  $n$  – кількість перехресть на маршруті слідування;  $m$  – кількість дуг ВДМ на маршруті слідування.

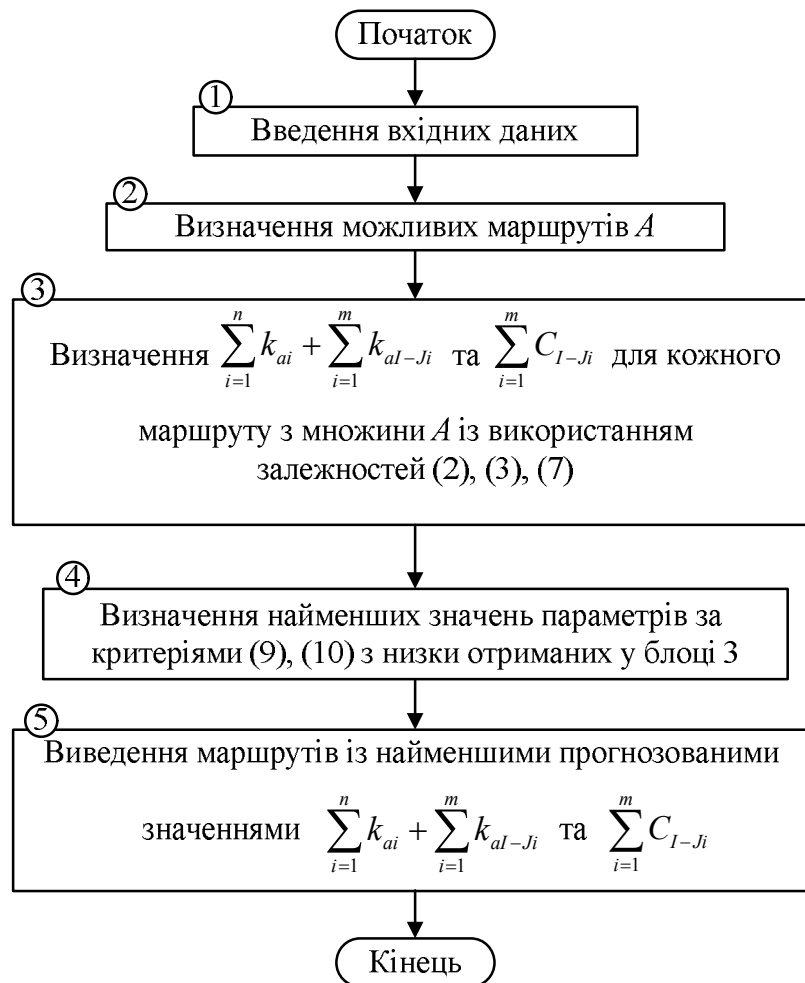
Функція мети задачі зменшення витрат на слідування до місця виклику матиме вигляд:

$$\sum_{i=1}^m C_{I-Ji} \rightarrow \min. \quad (10)$$

Автором для зменшення  $\tau_{сл.}$  розроблена імітаційна модель [9, 10] прогнозування тривалості слідування пожежно-рятувального підрозділу до місця виклику (може також застосовуватися для інших оперативних служб), що дає змогу визначити оптимальний маршрут слідування за критерієм (8).

Для вибору оптимального маршруту руху спеціальних транспортних засобів із урахуванням параметрів ВДМ за критеріями (9), (10) на основі [9, 10] була розроблена імітаційна модель (рис. 4).





**Рисунок 4**– Структурна схема імітаційної моделі вибору оптимальних маршрутів за критеріями (9), (10)

Розглянемо послідовність виконання операцій запропонованої імітаційної моделі (рис. 4). Спочатку в блок 1 необхідно ввести вхідні дані, що є координатами місця виклику та координатами розташування спеціальних транспортних засобів. Далі в блоці 2 з використанням ПК здійснюється визначення можливих маршрутів  $A$ . Це може відбуватися із використанням електронних карт місцевості та каскадного графа варіантів проїзду транспортних засобів[1] із виокремленням транспортних вузлів та дуг ВДМ.

В блоці 3 відбувається визначення сумарних значень  $k_{ai}$  та  $k_{al-Ji}$ , а також значення  $C_{I-Ji}$  для кожного з отриманих маршрутів із множини  $A$  за допомогою залежностей (2), (3), (7). Опісля у блоці 4 здійснюється визначення найменших значень параметрів за критеріями (9), (10) з низки отриманих у блоці 3. Далі в блоці 5 відбувається виведення на карту ВДМ маршруту слідування спеціальних транспортних засобів до місця виклику з найменшими значеннями параметрів за критеріями (9), (10).

Надалі на основі імітаційної моделі (рис. 4) необхідно створити програму для ПК із метою автоматизації визначення оптимальних маршрутів руху спеціальних транспортних засобів до місця виклику за критеріями (9), (10). Це також дасть змогу заздалегідь отримувати оптимальні маршрути руху в різних напрямках та до конкретних об'єктів.

### Висновки

1. На підставі аналізу сучасного стану методів оптимізації маршрутів автомобільного транспорту встановлено, що сьогодні недостатньо вичерпно вивчено питання вибору оптимального маршруту руху спеціальних транспортних засобів із урахуванням параметрів ВДМ.

2. Отримано залежності для визначення коефіцієнтів відносної аварійності на перехрестях та дугах ВДМ залежно від показника добової інтенсивності дорожнього руху.

3. Для оптимізації маршрутів руху спеціальних транспортних засобів розроблена імітаційна модель вибору оптимальних маршрутів за критеріями вибору найбезпечнішого маршруту руху та найменших витрат на слідування до місця виклику.

4. Надалі доцільно розглянути можливість удосконалення запропонованої імітаційної моделі за критерієм оптимізації тривалості слідування спеціальних транспортних засобів до місця виклику.

### Список літератури

1. **Гуліда Е. М.** Зменшення тривалості вільного розвитку пожежі на основі оптимізації шляху слідування пожежних до місця її виникнення / Е.М. Гуліда // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Л.: ЛДУБЖД, 2013. – №23. – С. 64-70.

2. **Моргун О. М.** Комп'ютерна система оптимізації вибору маршрутів слідування аварійно-рятувальної техніки / О.М. Моргун, Л.О. Моргун // Пожежна безпека: теорія і практика. Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ, 2008. – № 1.

3. **Крайнюк О. І.** Підходи до визначення місць дислокації та площі обслуговування підрозділів місцевої пожежної охорони / Науковий вісник УкрНДІПБ – К. : УкрНДІПБ. – 2008. – № 2 (18) – С. 180-185.

4. **Кузик А.Д.** Оцінювання часу слідування пожежно-рятувальних підрозділів до місця пожежі / А.Д. Кузик, С.О. Ємельяненко // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Л.: ЛДУБЖД, 2013. – №23. – С. 86-92.

5. **Дрю Д.** Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.

6. **Хейт Ф.** Математическая теория транспортных потоков. – М.: Мир, 1966. – 286 с.

7. **Гащук П.М.,** Дубно М.В., Нефьодов О.Ф. Ідентифікація й нормування потенціалу автомобіля: Монографія. – Львів: Тріада ПЛЮС, 2007. – 240 с.

8. **Пат.** на корисну модель 79573 Україна, МПК (2006.01), В60W 40/04. Спосіб дослідження параметрів дорожнього руху / І.В. Паснак, В.Л. Душенко, П.Я. Яцків. № u 2012 12532; заявл. 02.11.2012; опубл. 25.04.2013, Бюл. №8. – 4 с.

9. **Паснак І.В.** Розкриття особливостей впливу організаційних чинників на тривалість вільного розвитку пожежі / І.В. Паснак // Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.3. – С. 372-377.

10. **Паснак І.В.** Исследование направлений сокращения продолжительности свободного развития пожара / И.В. Паснак // Вестник Кокшетауского технического института Министрства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан № 1(13) – К.: КТИ МЧС РК, 2014. – С. 43-49.

### References

1. **Hulida, E.M.** (2013). "Reduction of free fire development duration based on firefighter itinerary optimization to fire origin point", *Pozhezhna bezpeka, Zbirnyk naukovykh prats Lvivskogo derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttyediyalnosti*, no.23, pp.64-70.

2. **Morhun, O.M.,** Morhun, L.O. (2008). "Computer-driven system of movement route oprimization of search-and-rescue technique", *Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktyka. Zbirnyk naokovykh prats Akademiyi pozhezhnoyi bezpeky*, no.1

3. **Krainyuk, O.I.** (2008), "Methods of dislocation definition and space of maintenance of fire-fighting system subdivisions", *Naukovyi visnyk Ukrainського naukovo-doslidnogo instytutu pozhezhnoyi bezpeky*, no. 2 vol. 18, pp.180-185.

4. **Kuzyk, A.D.**, Yemel'yanenko, S.O. (2013), "Running time evaluation of fire and rescue units to fire location (by the example of Lviv)", *Pozhezhna bezpeka, Zbirnyk naukovykh prats Lvivskogo derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttyediyalnosti*, no.23, pp.86-92.
5. **Dryu, D.**, (1972). *Teoriya transportnykh potokov i upravlenie imi* [Theory of traffic streams and their control], Transport, Moscow. Russia
6. **Kheit, F.** (1966). *Matematicheskaya teoriya transportnykh potokov* [Mathematical theory of traffic streams], Mir, Moscow. Russia
7. **Hashchyk, P.M.**, Dubno, M.V. and Nefodov, O.F. (2007). "Identification and standartization of vehicle potential", Monography, Lviv: TriadaPlyus
8. **Pasnak I.V.**, Dushenko V.L., Yatskiv P.Ya., inventors. *Sposib doslidzhennya parametriv dorozhnogo rukhu*. Ukrainian patent, no. 79573, 2013.
9. **Pasnak, I.V.** (2014). "Some peculiarities of the impact of organizational factors on the duration on the free fire development", *Naukovyi visnyk Natsionalnogo lisotekhnichnogo universytetu: zbirnyk naukovo-tekhnichnykh prats*, vol 3, no.23, pp. 372-377.
10. **Pasnak, I.V.** (2014). "Studying of directions shortening the duration of the free development of fire", *Vestnik Kokshetauskogo tekhnicheskogo institute Ministerstva po chrezvychainym situatsiyam Respubliki Kazakhstan*, vol. 13, no .1, pp.43-49.