

УДК 614.843(075.32)

І.В. Паснак, к.т.н., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТУ СЛІДУВАННЯ ПОЖЕЖНОГО АВТОМОБІЛЯ ДО МІСЦЯ ВИКЛИКУ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ

Встановлено, що сьогодні недостатньо вичерпно вивчене питання вибору оптимального маршруту руху пожежного автомобіля із урахуванням параметрів вулично-дорожньої мережі. Запропоновано залежності для прогнозування тривалості слідування пожежно-рятувального підрозділу до місця виклику та витрат на цей проїзд із урахуванням особливостей улаштування вулично-дорожньої мережі. Для оптимізації маршрутів руху пожежного автомобіля розроблена імітаційна модель вибору оптимальних маршрутів за критеріями найменшої тривалості та мінімальних витрат на слідування до місця виклику.

Ключові слова: вільний розвиток пожежі, тривалість слідування, вулично-дорожня мережа, маршрут слідування, оптимізаційна модель.

Постановка проблеми. Бурхливе зростання автомобілізації, зокрема в Україні, призводить до перенасичення вулично-дорожньої мережі (ВДМ) транспортними засобами. Зокрема, за останні 7 років кількість автомобілів у Львові зросла вдвічі.

Це, в свою чергу, значно впливає на основні показники, які характеризують транспортний потік: швидкість та інтенсивність руху, щільність транспортного потоку тощо. Відомо, що однією із найважливіших проблем із царини пожежної безпеки є зменшення тривалості вільного розвитку пожежі. Одним із напрямків її вирішення є зменшення тривалості слідування пожежно-рятувальних підрозділів до місця пожежі, на що перенасичення ВДМ транспортними засобами впливає вкрай негативно. Тому, в умовах сьогодення необхідно здійснювати пошук напрямів оптимізації тривалості слідування пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику для зменшення тривалості вільного розвитку пожежі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням зменшення тривалості вільного розвитку пожежі (зокрема, шляхом оптимізації тривалості слідування пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику) займалася низка вчених. Зокрема, варто відзначити роботи [1-4]. Однак, зазначені роботи мало уваги приділяють впливу особливостей улаштування ВДМ, її характеристик та інших чинників на тривалість слідування пожежників до місця виклику.

Варто відзначити, що транспортно-експлуатаційні характеристики пожежних автомобілів у процесі слідування до місця виклику можна досліджувати з використанням праць, які стосуються динаміки автомобільного транспорту. Тут варто відзначити роботи [5-7].

При розгляді питання оптимізації маршрутів слідування з точки зору організації дорожнього руху варто взяти до уваги праці [8, 9].

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є розроблення методики вибору оптимального варіанту маршруту слідування пожежно-рятувального підрозділу до місця виклику з урахуванням особливостей ВДМ. Вирішення поставленої задачі відбувалося шляхом застосування імітаційного моделювання із розробленням алгоритмічної блок-схеми вибору оптимального маршруту слідування пожежно-рятувального підрозділу за обраними критеріями з використанням отриманих залежностей.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Для оптимізації маршруту слідування пожежно-рятувального підрозділу необхідно також враховувати особливості ВДМ, по якій, власне, пожежний автомобіль рухається до місця виклику. Її параметри безпосередньо впливають на головні показники дорожнього руху, зокрема на швидкість та інтенсивність руху.

З точки зору зменшення тривалості вільного розвитку пожежі відомі наукові праці вкрай рідко спрямовують свою увагу на вплив характеристик ВДМ на параметри руху пожежного автомобіля, який слідує до місця виклику. Тому, ця робота спрямована на вирішення актуального науково-технічного завдання, яке передбачає розроблення методики вибору оптимального варіанту маршруту слідування пожежно-рятувального підрозділу до місця виклику з урахуванням особливостей ВДМ.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. В роботах [1, 10] доведено, що в більшості випадків на тривалість вільного розвитку пожежі найбільше впливає тривалість слідування пожежно-рятувальних підрозділів до місця її виникнення. Керуючись рекомендаціями [11, 12] за залежністю (1), побудовано теоретичні залежності значення площі пожежі від тривалості вільного розвитку пожежі з урахуванням середньої лінійної швидкості розповсюдження пожежі (кутової).

$$S_n = k \cdot \pi \cdot (0,5 \cdot V_n \cdot \tau_1 + V_n \cdot \tau_2)^2, \text{ м}^2, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, що враховує кут розвитку пожежі ($k=0,5$ при куті 180° , $k=0,25$ при куті 90°); V_n – лінійна швидкість розповсюдження пожежі, м/хв. [11, 12]; τ_1 – перші 10 хв. вільного розвитку пожежі (const); τ_2 – тривалість вільного розвитку пожежі на момент локалізування без урахування τ_1 .

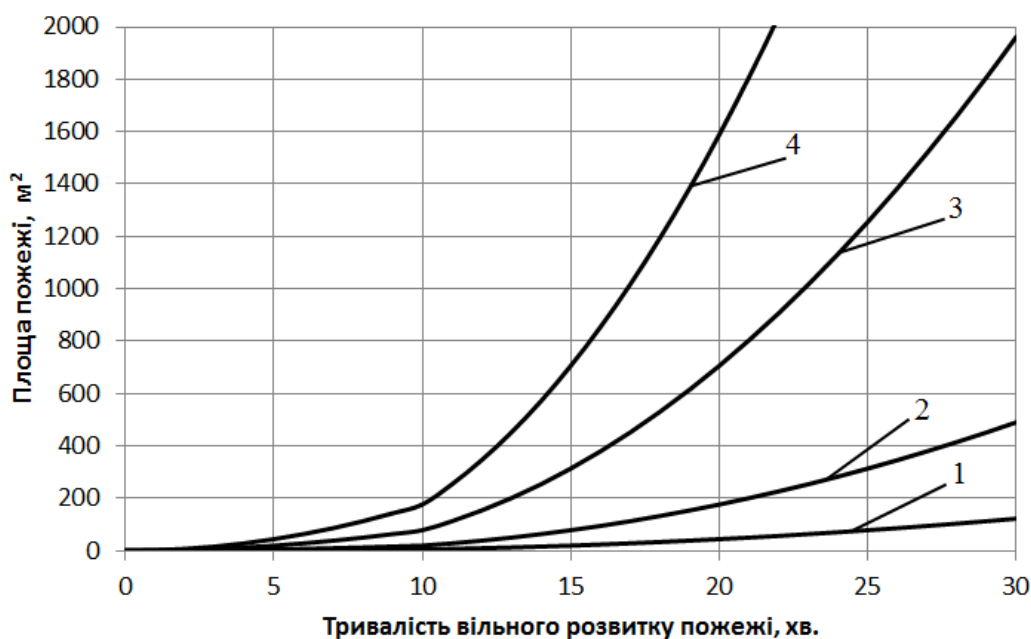


Рисунок 1 – Теоретична залежність площі пожежі (кутова, 90°) від тривалості її вільного розвитку з урахуванням середньої лінійної швидкості розповсюдження пожежі V_n , де:

- 1 – $V_n=0,5$ м/хв.;
- 2 – $V_n=1,0$ м/хв.;
- 3 – $V_n=2,0$ м/хв.;
- 4 – $V_n=3,0$ м/хв.

З рис. 1 видно, що навіть незначне зменшення тривалості вільного розвитку пожежі, особливо за умов великого значення лінійної швидкості розповсюдження пожежі, дозволить значно зменшити площу пожежі та, відповідно, обсяг завданих нею матеріальних збитків.

Якщо розглянути карту ВДМ міста, по якій пожежний автомобіль рухається до місця виклику, 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 вищеписані основні елементи (рис. 2).

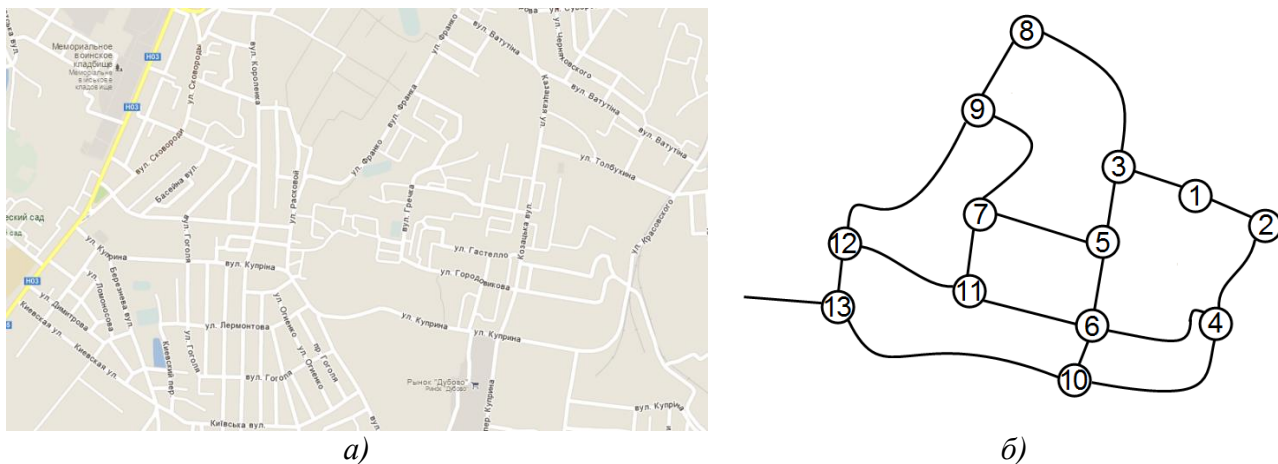


Рисунок 2 – Картографічне та схематичне зображення ВДМ для проведення досліджень, де:
 а – карта досліджуваного району (зображення Google maps);
 б – схема ВДМ досліджуваного району.

Як уже йшлося, в умовах сьогодення, необхідно здійснювати пошук напрямів оптимізації маршрутів руху пожежних автомобілів із урахуванням параметрів ВДМ для вирішення першочергової задачі – зменшення тривалості слідування до місця виклику із урахуванням зменшення витрат слідування до місця виклику. В такому випадку функція мети матиме вигляд

$$\tau_{сл.} \rightarrow \min. \tag{2}$$

$$C \rightarrow \min. \tag{3}$$

де C – витрати на слідування пожежно-рятувального підрозділу до місця виклику.

Що стосується витрат на проїзд ділянки ВДМ, то вони визначаються великою кількістю чинників. Найзначніше на ці витрати впливають такі показники, як довжина дуги, швидкість автомобіля, відносна аварійність на ділянці. Витрати на проїзд ділянки ВДМ визначають за залежністю [8, 9]:

$$C_{I-J} = C_{зм.} l_{I-J} + C_{пост.} \frac{l_{I-J}}{V_{I-J}} + C_{ал-J} l_{I-J}, \tag{4}$$

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

Визначення середньої швидкості руху V_{I-J} 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 (рис. 3).

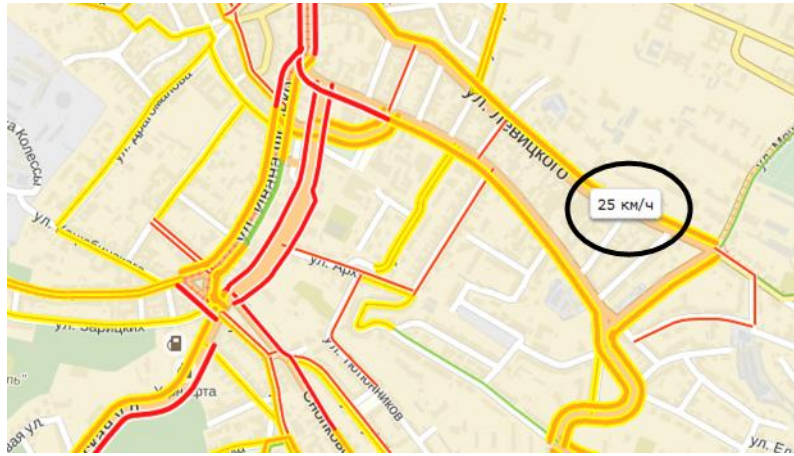


Рисунок 3 – Приклад визначення середньої швидкості транспортного потоку на вул. Левицького у м. Львові (сервіс Яндекс пробки).

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

Звичайно, зазначена методика визначення середньої швидкості руху транспортного потоку дозволяє отримати узагальнені значення, проте їх достатньо для подальшої оптимізації маршруту руху транспортних засобів.

Собівартість проїзду 1 км дороги з урахуванням аварійності C_{al-J} визначається за залежністю [9]

$$C_{al-J} = \frac{k'_{al-J}}{365N_{I-J}} C_{ДТП}, \quad (5)$$

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

$$k_{al-J} = \frac{n_{ДТП_{I-J}}}{l_{I-J}}. \quad (6)$$

Для розрахунку кількості ДТП за рік на певній дузі беремо до уваги добову інтенсивність руху транспортних потоків на кожній дузі та перехресті, з якого дуга бере початок, N_{I-J} . Безпосередньо визначення кількості ДТП здійснюємо за залежністю [8]:

$$n_{ДТП} = 0,38 + 1,6 \cdot 10^{-4} N_{I-J}. \quad (7)$$

Беручи до уваги (6) та (7), запишемо залежність для визначення C_{al-J} у вигляді:

$$C_{al-J} = \frac{0,38 + 1,6 \cdot 10^{-4} N_{I-J}}{365N_{I-J}l_{I-J}} C_{ДТП}. \quad (8)$$

В такому випадку залежність для визначення витрат на проїзд ділянки ВДМ набуде вигляду:

$$C_{I-J} = C_{зм. I-J} + C_{пост.} \frac{l_{I-J}}{V_{I-J}} + \frac{0,38 + 1,6 \cdot 10^{-4} N_{I-J}}{365 N_{I-J}} C_{ДПП}. \quad (9)$$

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

Автором у роботі [10] запропонована залежність для визначення тривалості слідування пожежно-рятувального підрозділу до місця виклику з урахуванням особливостей улаштування ВДМ:

$$\tau_{сл.} = \sum_{i=1}^m \frac{L_{oi}}{V_{oi} \cdot \ln \left(\frac{\bar{d}_i + \bar{L}_i}{\bar{B}_i + \bar{L}_i} \right)} + \sum_{i=1}^n \tau_{н.р.н.i} + \sum_{i=1}^k \tau_{р.н.i} + \sum_{i=1}^z \tau_{н.р.р.i}, \quad (10)$$

де m – кількість дуг вулично-дорожньої мережі на маршруті слідування пожежно-рятувального підрозділу; L_{oi} – довжина i -ої дуги; де V_{oi} – швидкість, що відповідає пропускній здатності дуги вулично-дорожньої мережі; \bar{d}_i – середня дистанція між автомобілями в потоці; \bar{L}_i – середня довжина автомобіля в потоці; \bar{B}_i – середня величина відстані між автомобілями при заторі; n – кількість нерегульованих перехресть на маршруті слідування; $\tau_{н.р.н.i}$ – витрати часу на проїзд i -го нерегульованого перехрестя, визначається за методикою [8]; k – кількість регульованих перехресть на маршруті слідування; $\tau_{р.н.i}$ – витрати часу на проїзд i -го регульованого перехрестя, визначається за методиками [1, 8]; z – кількість розв'язок у різних рівнях на маршруті слідування; $\tau_{н.р.р.i}$ – витрати часу на проїзд i -ої розв'язки в різних рівнях, визначається за методикою [8].

Для вибору оптимального маршруту руху пожежного автомобіля за критеріями (2), (3) на основі залежностей (9), (10) була розроблена імітаційна модель (рис. 4).

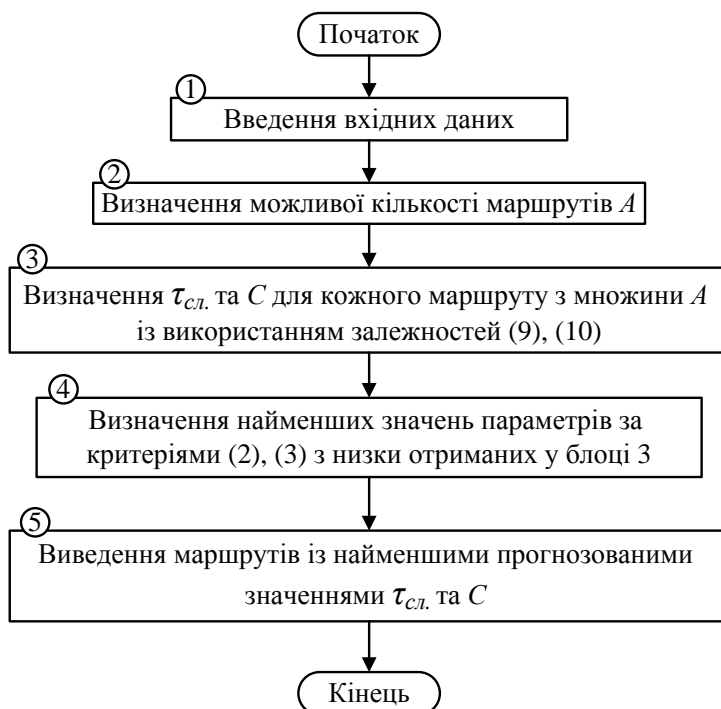


Рисунок 4 – Структурна схема імітаційної моделі вибору оптимальних маршрутів руху пожежного автомобіля за критеріями (2), (3).

Користуючись рис. 4, розглянемо послідовність виконання операцій запропонованої імітаційної моделі. Спочатку в блок 1 необхідно ввести вхідні дані, що являють собою координати місця виклику та координати розташування пожежно-рятувального підрозділу. Далі в блоці 2 з використанням ПК здійснюється визначення можливої кількості 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 значень $\tau_{сл.}$ та C для кожного з отриманих маршрутів із множини A за допомогою залежностей (9), (10). Після цього у блоці 4 здійснюється визначення найменших значень параметрів за критеріями (2), (3) з низки отриманих у блоці 3. Далі в блоці 5 відбувається виведення на карту ВДМ маршруту слідування пожежного автомобіля до місця виклику з найменшими значеннями параметрів за критеріями (2), (3), приклад таких маршрутів показано на рис. 5.

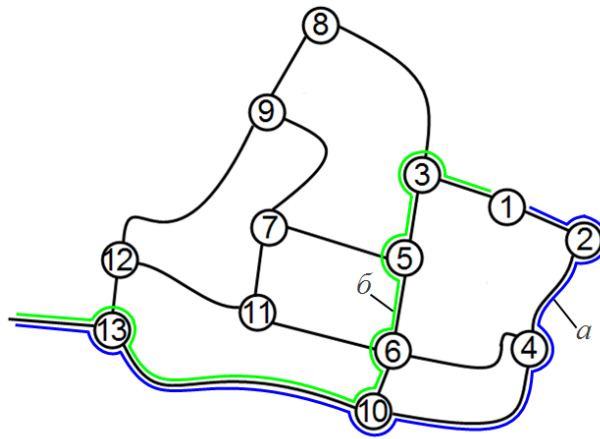


Рисунок 5 – Приклад одержаних маршрутів руху за схемою, наведеною на рис. 1, де:
 а – маршрут із найменшим значенням $\tau_{сл.}$ (критерій (2));
 б – маршрут із найменшим значенням C (критерій (2)).

Отриманий за критерієм (2) маршрут руху пожежного автомобіля є оптимальним у разі слідування до місця пожежі, оскільки в цьому випадку одним із визначальних чинників є тривалість вільного розвитку пожежі, що напряму залежить від тривалості слідування пожежних до місця виклику. Якщо ж пожежний автомобіль рухається по завданню надання послуг чи забезпечення пожежної безпеки (футбольний матч, концерт тощо), то тут доцільно обрати маршрут за критерієм (3), бо в такому випадку витрати на проїзд будуть найменшими.

В подальшому на основі імітаційної моделі (рис. 4) необхідно створити програму для ПК із метою автоматизації визначення оптимальних маршрутів руху пожежного автомобіля до місця виклику за критеріями (2), (3). Це також дозволить заздалегідь отримувати оптимальні маршрути руху в різних напрямках та до конкретних об'єктів.

Висновки. Запропоновано залежності для прогнозування тривалості слідування пожежно-рятувального підрозділу до місця виклику та витрат на цей проїзд із урахуванням особливостей улаштування ВДМ. Для оптимізації маршрутів руху пожежного автомобіля розроблена імітаційна модель вибору оптимальних маршрутів за критеріями найменшої тривалості та мінімальних витрат на слідування до місця виклику. Доцільно в оперативних планах пожежогасіння вказувати оптимальний маршрут слідування пожежно-рятувальних підрозділів до місця виклику з урахуванням особливостей улаштування ВДМ.

Перспективи подальших досліджень. Доцільно розробляти та вдосконалювати існуючі математичні моделі руху пожежного автомобіля шляхом урахування параметрів транспортних потоків та безпеки дорожнього руху.

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. Гашук П.М., Дубно М.В., Нефьодов О.Ф. Ідентифікація й нормування потенціалу автомобіля: Монографія. – Львів: Тріада ПЛЮС, 2007. – 240 с.
8. Організація дорожнього руху / Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля та ін. – 452 с. Бібліогр.: с. 447-448.
9. Лобашов О. О. Практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху»: навч. посіб. / О. О. Лобашов, О. В. Прасоленко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 221 с.
10. 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.
11. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.: ил.
12. Терещенко В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. – М.: Пожкнига, 2004 г. – 256 с.