



В. В. Придатко¹, Д. О. Чалий¹, О. В. Придатко¹, В. А. Кобко²

¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

²Одеський державний університет внутрішніх справ, м. Одеса, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6964-5929> – В. В. Придатко

<https://orcid.org/0000-0002-7136-6582> – Д. О. Чалий

<https://orcid.org/0000-0002-0719-9118> – О. В. Придатко

<https://orcid.org/0000-0002-3586-8219> – В. А. Кобко



valentinpridatko1506@gmail.com

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ПАРАМЕТРІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗОН ОБСЛУГОВУВАННЯ РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ

Постановка проблеми. З огляду на аналіз предметної області щодо причинно-наслідкових зв'язків виникнення пожеж, а також на результати досліджень низки вітчизняних та закордонних наукових шкіл, можна з очевидністю стверджувати, що процес успішної ліквідації пожежі та мінімізації її наслідків залежить від багатьох факторів. Ці фактори можуть мати різну природу: людську, збіг випадкових обставин, організаційну, технічну тощо. Людським фактором є час виявлення пожежі та оперативність повідомлення про неї рятувальним підрозділам. Фактори пов'язані із часом збору особового складу, доїзду до місця події та подачі вогнегасних речовин рятувальними підрозділами мають здебільшого організаційно-технічний характер. Якщо розглядати цю складову глибше, то час слідування рятувальних підрозділів може залежати від метеорологічної ситуації, завантаженості вуличних мереж тощо, що має виключно випадковий характер. Крім того, час слідування значною мірою залежить і від місця дислокації рятувального підрозділу або стану вулично-дорожньої мережі. Очевидно, що найбільшою ваги набуває сукупність усіх факторів, проте попереднє вивчення наукової проблеми визначає найбільш значущими ті фактори, які впливають на мінімізацію наслідків пожеж шляхом скорочення часу їх вільного розвитку, а відтак мають саме організаційно-технічний характер. Враховуючи зазначене бачимо, що актуальним є розробка ефективних організаційно-технічних заходів оптимізації зон обслуговування оперативних підрозділів, щоб зменшити їх час доїзду і тим самим зменшити тривалість вільного розвитку пожежі.

Метою роботи є аналіз предметної області та наукових досліджень щодо зменшення часу вільного розвитку пожежі шляхом розробки ефективних і науково-обґрунтованих організаційно-технічних заходів, а також визначення впливу різноманітних факторів на час слідування рятувальних підрозділів до місця виклику.

Основні результати та методи досліджень. Проведено аналіз наукових результатів досліджень та публікацій присвячених зменшенню часу вільного розвитку процесів горіння (пожежі), зокрема завдяки визначенню оптимальних місць розміщення рятувальних підрозділів, а також дослідженню впливу окремих чинників на час доїзду підрозділів до місця пожежі. Проаналізовано чинні нормативно-правові акти, що визначають основні вимоги до розташування депо рятувальних підрозділів та статистичні дані стосовно їх фактичного розташування. Визначено критерій оптимізації зон розташування рятувальних депо, визначено його параметри оптимізації та окреслено цільову функцію. В роботі використано аналітичні методи дослідження.

Висновки. За результатами аналізу наукових досягнень встановлено та систематизовано основні напрями, за якими здійснювались дослідження предметної області, а також фактори, що впливають на час вільного розвитку пожежі, що підлягали детальному дослідженню. З отриманих результатів визначено основні досягнення та переваги існуючих наукових досягнень, а також невирішені частини загальної проблеми. З огляду на отримані результати, визначено актуальний напрям перспективних досліджень щодо зменшення часу вільного розвитку пожежі шляхом формулювання задачі оптимізації зон обслуговування рятувальних підрозділів.

Ключові слова: процес горіння, розвиток пожежі, рятувальний підрозділ, місце дислокації, задача оптимізації, час доїзду, зона обслуговування.

ANALYTICAL REVIEW OF THE METHODS AND PARAMETERS OF OPTIMIZING THE SERVICE ZONES OF RESCUE UNITS

Formulation of the problem. In view of the analysis of the subject area regarding the cause-and-effect relationships of the occurrence of fires, as well as the results of research of a number of domestic and foreign scientific schools, it can be clearly stated that the process of successful fire elimination and minimization of its consequences depends on many factors. The origin of these factors can be of different natures: human, coincidental, organizational, technical, etc. The human factor is the time to detect a fire and the promptness of reporting it to rescue units. Factors related to the time of personnel gathering, arrival at the scene and supply of fire extinguishing agents by rescue units are mostly of an organizational and technical nature. If we consider this component more deeply, then the time of rescue units' follow-up may depend on the meteorological situation, the traffic of street networks, etc., which is purely random in nature. In addition, the follow-up time largely depends on the location of the rescue unit or the condition of the street and road network. It is obvious that the sum of all factors is of the greatest importance, however, the preliminary study of the scientific problem determines the most significant factors that contribute to the minimization of the consequences of fires by reducing the time of their free development, and therefore contain precisely the organizational and technical nature. Taking into account the above, the task of developing effective organisational and technical measures to optimise the service areas of rescue units, which is aimed at reducing the duration of the free development of the burning process by reducing the arrival time of rescue units, is gaining relevance.

The work aims. Analysis of the subject area and scientific research on reducing the time of free development of non-regulatory burning processes due to the development of effective and scientifically based organisational and technical measures, as well as determining the influence of various factors on the time of rescue units to the place of call.

Main results and research methods. The analysis of the scientific results of research and publications devoted to reducing the time of free development of combustion processes (fires), in particular by determining the optimal locations for rescue units, as well as the study of the influence of individual factors on the time of arrival of units to the scene of the fire, was carried out. The current legal acts define the basic requirements for the location of rescue depots and statistical data regarding their actual location were analysed. The criterion for optimizing the location of rescue depots was determined, its optimization parameters were determined, and the target function was outlined. Analytical research methods are used in the work.

Conclusions. According to the results of the analysis of scientific achievements, the main directions in which previous studies of the subject area were carried out were established and systematised, as well as factors affecting the time of free development of fire, which were subject to detailed research. Based on the obtained results, the main achievements and advantages of existing scientific achievements, as well as unresolved parts of the general problems, were determined. In view of the obtained results, an actual direction of prospective research on reducing the time of free fire development by formulating the task of optimizing the service areas of rescue units has been determined.

Keywords: combustion process, fire development, rescue unit, location, optimization task, arrival time, service area.

Постановка проблеми.

Розвиток територіальних громад, окремих населених пунктів та територій, особливо у період воєнного стану, є складним процесом. Забезпечення доступу населення до актуальної та достовірної інформації, організація надання своєчасних послуг у сфері життєдіяльності, побуту і промисловості, організація процесів освіти і виховання, забезпечення купівельної спроможності населення і виробничих потужностей суб'єктів господарювання – це одні із основних завдань, які ставить влада та держава перед новоутвореними органами місцевої влади. Як ми розуміємо, розвиток суспільної діяльності тісно пов'язаний із нестандартними ситуаціями, ризиками та небезпеками, які можуть призводити до порушення нормальних умов життєдіяльності, що, своєю чергою, потребує своєчасного реагування. Основними суб'єктами місцевих та територіальних громад, що забезпечують виконання державної політики у сфері забезпечення безпеки життєдіяльності, є

рятувальні підрозділи різних форм підпорядкування. Очевидно, що забезпечення рівня безпеки визначеної громади залежить від наявності та місця розташування рятувального підрозділу, а також окремих чинників, що впливають на час доїзду, зокрема: погодні умови, період доби, обраний шлях, стан вулично-дорожньої мережі тощо. Виходячи з окресленого можна стверджувати, що мінімізацію часу доїзду рятувальних підрозділів, а відтак скорочення часу від моменту отримання повідомлення про подію до введення вогнегасних речовин (часу вільного розвитку пожежі), можна розв'язати шляхом вирішення оптимізаційної задачі.

Отже, попереднє вивчення проблеми визначає найбільш значущими ті фактори, які впливають на мінімізацію наслідків пожеж шляхом скорочення часу їх вільного розвитку, а відтак містять організаційно-технічних характер. Враховуючи зазначене, актуальності набуває завдання щодо розроблення ефективних організаційно-технічних заходів оптимізації зон

обслуговування рятувальних підрозділів, що орієнтоване на зменшення тривалості вільного розвитку процесу горіння шляхом зменшення часу доїзду рятувальних підрозділів. Тому одним із завдань дослідження є формулювання оптимізаційної задачі визначення екстремуму (мінімізації) часу вільного розвитку пожежі завдяки скорочення часу доїзду на основі аналітичного огляду існуючих наукових досягнень визначеної області.

Мета роботи. Основною метою роботи є аналіз предметної області та наукових досліджень щодо зменшення часу вільного розвитку пожежі завдяки розробленню ефективних і науково-обґрунтованих організаційно-технічних заходів, а також визначення впливу різноманітних факторів на час слідування рятувальних підрозділів до місця виклику для формулювання оптимізаційної задачі.

Огляд досліджень та публікацій за напрямом дослідження. Як зазначено в низці робіт, зокрема [1], однією із складових тривалості пожежі, є час її вільного розвитку. Зважаючи, що основною метою роботи є дослідження параметрів, які впливають на тривалість цього процесу, далі наводимо огляд літературних джерел, наукових праць та нормативних документів, що визначають означені параметри. Досліджені параметри будуть враховані в процесі формування оптимізаційної задачі, визначенні критерію оптимізації та його параметрів, а також цільової функції [2].

Враховуючи, що процес вільного розвитку пожежі залежить від низки факторів (параметрів), про що зазначено у роботі [3], детальному дослідженню підлягали, в тій чи іншій мірі, більшість складових загальноприйнятого розрахунку часу вільного розвитку пожежі. Також не стали винятком дослідження впливу місць розташування рятувальних підрозділів на скорочення часу вільного розвитку пожежі. Так над проблемами оптимального розташування депо екстрених служб займалися Aktaş E., Özaydın Ö., Bozkaya B., Ülengin F., Önsel Ş, Erden T., Coşkun M. шляхом створення модельних середовищ в програмних ресурсах геоінформаційних систем у великих населених пунктах. Низка науковців, зокрема Sakellariou S., Samara F., Tampekis S., Sfougaris A., Christopoulou O., розробляли просторові моделі стратегічного та оперативного управління підрозділами при визначенні їх зон обслуговування.

В іншій області ця проблематика досліджувалась Bolouri S., Vafaeinejad A., Alesheikh A., Aghamohammadi H., Yin P., Mu L. Church R. L. та Li W., які в процесі розкриття проблем максимального захисту регіонів вирішували модульні емні геодезичні задачі

інтегративними підходами створення растрових карт.

Кластерне вирішення із моделями перерозташування депо застосовували у своїх роботах McCarter A., Minieri J., Damaraju N., Padmanabhan S. та Horng D.

Розробка проектних рішень та моделювання управлінських процесів щодо діяльності рятувальних депо залежно від їх місць розташування, а також оптимізація системи їх комплексного застосування, вирішувалась науковцями Ратушним Р., Зачком О., Хмелем П., Zhenhua Z., Qing H., Тригубою А., Щербаченком О.

Розгляд проблеми зменшення часу вільного розвитку пожежі завдяки зменшенню часу слідування рятувальних підрозділів від місць їх дислокації до місця події розкривали у своїх роботах Гуліда Е., Паснак І., Кузик А., Musolino G., Polimeni A., Rindone C. та Vitetta A.

Аналіз шляху слідування, вплив різних чинників на час слідування підрозділів подається у роботах Ренкаса А., Macit I., Wang Z., Златанової С., Ємельяненка С., Черненко О., Халіпової Н., Кашканова А., Фірсова О.

Більш детальний аналіз означених праць із виділення основних параметрів, що впливають на тривалість вільного розвитку пожежі, буде представлено в першій частині викладу основного матеріалу.

Виклад основного матеріалу: аналіз предметної області. Проблему визначення місць розташування рятувальних підрозділів в процесі розробки містобудівної документації або експертизи проектної документації на нове будівництво, зокрема шляхом формування аналітичних карт генерального планування населених пунктів, представлено в праці [4]. Проте в роботі виділена лише загальна проблема, що стосується оптимізації зон обслуговування. В праці зазначено, що одними із найбільш ефективних та широко розповсюджених варіантів визначення зони обслуговування та вибору п'ятна забудови під розміщення депо рятувальних служб, під час розробки містобудівної документації, або розробки генерального планування окремих об'єктів в межах існуючих населених пунктів, є застосування низки програмного забезпечення на базі геопросторових та геоінформаційних систем. До речі, Державний земельний кадастр України також реалізовано на базі використання подібних систем.

Автори у роботі [5] розглянули процеси реалізації програмного вибору та розробки моделей максимально оптимізованих і стратегічно ефективних зон покриття, наближених до оптимального варіанта, де розміщено об'єкти культурної та історичної спадщини, для

розташування та будівництва рятувальних депо. Результатом моделювання імітаційних сценаріїв, в тому числі з відсотковим відхиленням від початкових даних, логістичних функцій прогнозування пожеж, аналізом інформаційної бази із надзвичайними ситуаціями та пожежами в

регіоні, за допомогою баз даних геоінформаційних систем розроблена математична модель та візуальний інтерфейс системи. Орієнтація системи спрямована на підтримку прийнятих рішень щодо моделювання і перевірки надійності прийнятих рішень із розміщення депо (рис. 1).



Рисунок 1 – Результати моделювання місць розташування рятувальних депо за допомогою геоінформаційних систем [5]

Деякі дослідження виділяють загальні критерії розвитку безпекової ситуації в межах об'єднаної територіальної громади шляхом розроблення концептуальної моделі управління проектами розвитку регіональних систем безпеки життєдіяльності [6]. Натомість у подібних наукових дослідженнях із використанням геоінформаційних та просторових систем та з використанням наперед закладених критеріїв вибору оптимального місця розташування [7] отримано можливість скоротити модельований середній час реагування на події з 7 до 5 хв. Скорочення часу реагування на події стало можливим завдяки інтеграції до геоінформаційного середовища певних критеріїв, а саме: щільності населення; віддаленості від магістральних транспортних сполучень; відстані до існуючих депо від змодельованих осередків події; відстані до об'єктів із процесами зберігання або використання небезпечних речовин; наявності забудови із горючих будівельних конструкцій та наявності сейсмоактивних районів в модельному просторі. Як результат досліджень, авторами запропоновано: класифікацію растрових даних, необхідних для моделювання, оболонку і шари критеріальної карти, модель розрахунку вибору місця розташування депо, передумови перенесення існуючих рятувальних підрозділів [8]. А в деяких працях додатково приділено увагу ще й технічній естетиці побутових умов проєктованих рятувальних підрозділів [9].

Просторове планування депо у населених пунктах є досить важливим завданням при плануванні безпекових середовищ і організації контролю. На теперішній час, за умови розбудови населених пунктів все частіше застосовуються моделі геоінформаційних систем для оцінки пожежних ризиків. У роботі [10] запропоновано методи оптимізації просторового розташування рятувальних підрозділів на основі оцінки ризиків. Організовані та проведені емпіричні дослідження при послідовному коригуванні даних для розрахунку. В роботі розроблені механізми, що забезпечують підтримку прийняття рішень, щодо планування географічних місць розташування пожежних підрозділів.

Оцінювання максимального часу доїзду підрозділів до об'єктів господарювання різних форм власності у населених пунктах з урахуванням їх стану пожежної безпеки [11], кількісного складу спеціальної техніки [12], якісного складу персоналу, що залучається до ліквідації [13, 14], як правило виконують на підставі визначення ризиків можливості виникнення модельних надзвичайних подій [15]. Визначення параметрів і кількісного складу ризиків, відмов комплексних заходів захисту як конструктивів, так і систем об'єкта, надає можливість прогнозування виникнення подій та запроваджувати адекватні заходи реагування на надзвичайні ситуації.

Питання визначення оптимальної чисельності та стратегічної структури рятувальних підрозділів

залежно від затребуваності регіону висвітлено у роботі [16]. Подібні дослідження проводились також у роботі [17], де запропоновано вибір шаблонів для розробки систем підтримки та прийняття рішень щодо оснащення та місць розташування пожежних депо. Автори розробили чотири шаблони виміру динаміки та зосередженості транспортних засобів для створення ефективних схем розташування депо, а також розрахунок реального і критичного часу реагування на події. Змодельований операційний вимір надає можливість реалізації цілей стратегічного планування. Заключним, анонсованим у роботі, етапом розробки системи підтримки просторових рішень – є операційна модель оптимального розташування депо, влаштування ефективного інформаційного зв'язку із підрозділами з можливістю активації і ведення оперативних підрозділів до місця виклику, визначення оптимального маршруту та його зміна за необхідності.

Упорядкування ємнісних багатоцільових задач із розподілу оперативних завдань та розташування рятувальних депо на основі цільових функцій впорядкування ємних проблем виконано у роботі [18]. Фактичні показники виконання рятувальних робіт включено як елементи алгоритму визначення параметрів рятувальних підрозділів. Автори на підставі алгоритмів використання існуючих депо та моделювання подій із виконання рятувальних робіт отримали багатоцільову функцію набору альтернативних рішень, і реалізували метод

ранжування об'єктів для визначення ефективності прийняття рішень щодо необхідності влаштування на окремих територіях додаткових депо.

Задачу у вигляді змішаного цілочисельного програмування щодо моделювання станцій оперативних служб з врахуванням оперативного доїзду на пожежі розкрито у роботі [19]. У роботі розглянуто наявні моделі оптимального розташування нових депо в поєднанні з існуючими станціями, наведено принципи кодування модифікованого бінарного генетичного алгоритму. За свідченням авторів, використання модифікованого генетичного алгоритму дозволяє визначати місця дислокації рятувальних депо значно точніше за бінарні алгоритми, та надає більш об'єктивну картину місць розташування підрозділів.

Інтегративний підхід з елементами інформаційного пошуку, базами геоінформаційних систем і просторової оптимізації для оцінки ефективності рятувальних служб використано у роботі [20]. Процес інформаційного пошуку з метою визначення фактичних і можливих моделей розгортання рятувальних служб представлено на рисунку 2. Використання, у проведеній роботі, просторової оптимізації дає змогу оцінити рівень покриття зон захисту рятувальними службами. Використання процесів накладання фактичних і проєктованих зон захисту надає можливість визначити необхідну кількість депо, оптимізувати наявні депо та автоматизувати моделювання містобудівного планування в контексті розвитку рятувальних служб.

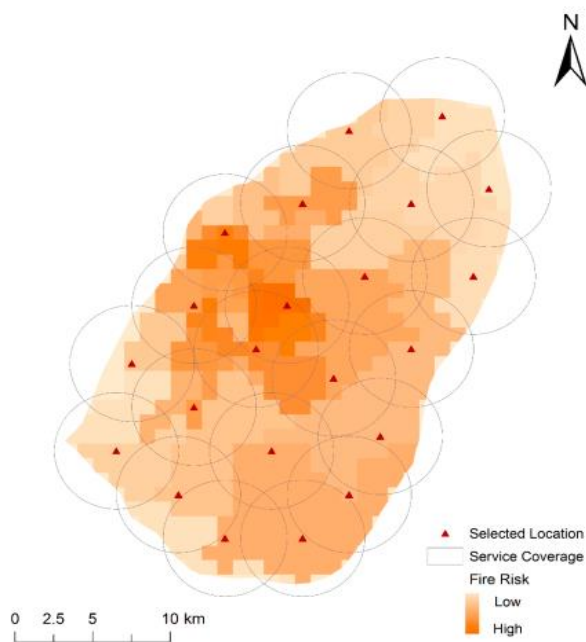


Рисунок 2 – Модель розгортання рятувальних служб шляхом просторової оптимізації [20]

У роботі [21] вирішено питання захисту територій шляхом оптимального розміщення екстрених служб. В означеній праці розподілено

вимоги (критерії), за якими із використанням геоінформаційних систем пропонується створення переліку екстрених служб, що, своєю чергою,

базується на вартісних і культурних оцінках наявних об'єктів в зоні дослідження. У проведених дослідженнях наголошується на неможливості виключення вартісного критерію із просторових моделей визначення оптимальних місць розташування. Цей критерій враховується поряд із кількісними показниками густоти заселення, розташованих об'єктів на визначеній території тощо.

Однією із важливих функцій у населених пунктах, з огляду на зростання сельбищних та промислових територій в межах міст, окреслено захист територій від пожеж та їх наслідків [22, 23]. У зазначених дослідженнях визначено цілі та завдання стратегічного планування захисту від пожеж та надзвичайних ситуацій, організації реагування на них, а також деталізовано підходи до моделювання підрозділів. Результатами досліджень визначено переоцінку існуючої системи моделювання і планування безпеки, розширення об'єму безпекових послуг, можливе зменшення техніки шляхом її локалізації на важливих ділянках.

Можливим варіантом удосконалення процесів реагування на пожежі є зменшення відстаней від пожежних депо до місць виникнення ймовірних подій [24, 25]. Здійснення прогнозування часу реагування на події запропоновано виконувати з урахуванням кластеризації територій. Щоб покращити безпеку територій запропоновано проаналізувати фактичне розташування підрозділів з інтерактивним процесом відкриття і закриття змодельованих рятувальних депо, для визначення об'єктивного часу реагування на подію. В означених працях отримано низку висновків: методологія геопросторової системи не є ідеальною і допускає помилки в моделюванні; інструментарій геоінформаційних систем працює лише із відкритими кодами; стандартний час реагування на подію не збігається із модельованим; окремі модельовані території демонструють суттєву різницю часу доїзду підрозділів до місця події.

Забезпечення безпеки громадян, територій, об'єктів у разі виникнення небезпечних чинників, шляхом організації діяльності добровільних формувань представлено у роботах [26, 27]. Дослідники розкрили низку проблем, пов'язаних із визначенням кількісного показника персоналу, обґрунтуванням критеріїв для прийняття рішень, послідовністю здійснення реагування на події та мінімізації впливу на суспільство. В наукових працях розроблено рекомендації із забезпечення набору інструментів для перспективного підходу до планування і захисту населених пунктів на базі волонтерських організацій та добровільних формувань.

Здійснюючи всебічний аналіз критеріїв безпеки

безпеки в населених пунктах, організації регіональних безпекових функцій, влаштування схем організації дорожнього руху тощо, можна зробити певні висновки про ефективність функціонування рятувальних підрозділів. Відповідно до комплексної оцінки територій та оцінки ризику настання небезпечних подій, у тому числі на транскордонних ділянках, можна виокремити ключові підходи до проектування зон організації захисту населення та територій [28, 29, 30]. Зважаючи на результати проведених робіт, автори запропонували моделі ризику пожеж з урахуванням просторово-часового розподілу пожежонебезпечних сезонів та територій. Також доволі важливим фактором впливу на час вільного розвитку пожежі, у означених працях, названо час слідування від місця постійної дислокації рятувальних підрозділів до місця події.

Шлях слідування транспортних засобів екстрених служб, при розрахунках та моделюванні задач із зменшення часу вільного розвитку пожежі, прийнято вважати як еталонний час у дорозі. Проте зважаючи на відмінність і особливості спеціалізованої техніки, особливості вулично-дорожніх мереж, зміну кількісного і якісного показника автомобілів у транспортному потоці, продуктивність вибраного маршруту, можливість здійснення екстреного випередження [31] виникає потреба у включенні до розрахунків визначення часу слідування додаткових чинників, які впливатимуть на кінцеві параметри. За допомогою алгоритмів Дейкстри, Гауса результати розрахунку контролю транспортних засобів [32] були суттєво наближені до стандартних параметрів руху.

Так, один із методів вибору оптимального маршруту слідування пожежної техніки від депо до місця виклику, що базується на графових моделях, розглядалась у роботах [33, 34, 35], що вказує на суттєве скорочення часу слідування у модельованих ситуаціях. Відповідно до результатів теоретичних досліджень та розрахунків, автори зазначили, що в середньому час вільного розвитку пожежі, з урахуванням прорахованих факторів оптимізації часу слідування підрозділів, скорочується на 7%.

Методи, що дають змогу враховувати проблему взаємодії системи «водій – автомобіль – дорога – середовище» під час виконання досліджень тривалості слідування, представлені у роботах [36, 37]. В наукових працях також розглянуто сукупність чинників, що впливають на площу пожежі на момент прибуття рятувальних підрозділів до місця події. Авторами зазначено вплив параметрів дорожньо-вуличної мережі на швидкість руху, організацію і забезпечення безпеки учасників руху під час оперативного

переміщення техніки до місця події, вибір потенційно нескладних та безпечних маршрутів руху. Вирішення завдань моделі «водій – автомобіль – дорога – середовище» потребує суттєвого розгляду конфліктних точок транспортних та пішохідних потоків [38, 39], а також організації процесів дорожнього руху.

Вирішення конфліктних ситуацій в схемах організації дорожнього руху у [40, 41, 42], і як наслідок зменшення часу слідування до місця виклику пожежних автомобілів, полягає у ретельному аналізі інтенсивності руху транспортних потоків, параметрів організації регулювання транспортних сполучень, оперативному реагуванню на наявність корків на шляху слідування техніки, організації об'їзду черг транспорту в місцях інтенсивного пішохідного руху та паркування. Результатом розв'язків модельованих задач, оптимізації процесів організації дорожнього руху, в тому числі, і за допомогою методу Монте-Карло, розроблено ряд інформаційних програм сповіщення диспетчерів рятувальних служб про ускладнення, що надає можливість розрахувати затримку в дорозі або перепрограмувати маршрут слідування.

Факт швидкого зростання кількості транспортних засобів і, як наслідок, утворення заторів, які блокують дорожньо-вуличні транспортні мережі, потребує ретельного збору, класифікації, планування та оперативної обробки інформації про дорожній рух і, як наслідок, організації процесів адаптивного керування сигналами світлофорів на шляху слідування підрозділів екстрених служб. Схеми вузлів аналізу автомобільного трафіку потребують відповідного керування персоналом [43] і, як наслідок, оперативного втручання. Модельні задачі наявності або відсутності зв'язку у [44], обробка важливої для екстрених служб інформації, визначення пріоритету критичності [45] шляху слідування, дають можливість визначити перспективні алгоритми маршруту слідування і відповідно проходити завантажені відрізки у найкоротший час.

Одним із варіантів оптимізації управління заторами на транспортних сполученнях є використання інтелектуальних агентів моніторингу руху транспортних засобів, їх швидкості, класифікації транспортного сполучення та дослідження світлофорної сигналізації перехресть. Використання модельних агентів із розпізнаванням екстреного транспорту та надання йому переваг у русі розглянуто у [46, 47]. Обґрунтування розробки алгоритмів для керування світлофорною сигналізацією розраховано для перехресть із постійним регулюванням при максимально інтенсивних потоках транспорту.

Авторами зазначено, що при розробці алгоритмів регулювання, обов'язковим є врахування вузлів перетину різних транспортних мереж [48, 49], оскільки затримка основних або екстрених транспортних потоків, на відміну від вторинних, може стати критичною.

Упорядкування та вдосконалення процесів розвитку регіональних систем безпеки, тобто місцевої та добровільної пожежної охорони, в умовах сучасності є доволі дієвим засобом як місцевої влади, так і територіальних громад, організації безпекових середовищ [50], і, як наслідок, зменшення часу вільного розвитку пожежі.

У [51] з урахуванням імітаційних моделей функціонування систем запропоновано шляхи розвитку зазначених видів пожежної охорони, як складової розвитку різних галузей господарювання. Рішення, щодо управління та розвитку регіональних систем безпеки, пропонується моделювати з використанням ціннісних показників, стратегії розвитку територій, а також особливостей можливих небезпек.

Виклад основного матеріалу: обговорення результатів інформаційно-аналітичних досліджень. Формування оптимізаційної задачі.

Аналізом методів оптимізації зон обслуговування рятувальних підрозділів та особливостями їх застосування встановлено низку критеріїв оптимізації, які досліджувались в контексті підвищення ефективності діяльності рятувальних служб. Проте в задачі багатокритеріальної оптимізації зон обслуговування рятувальних підрозділів деякі якісні критерії доцільно перевести у кількісний показник та визначити їх як обмеження. Розглянемо детальніше. Визначення зон обслуговування рятувальних підрозділів залежить від часу слідування рятувальними підрозділами до місця ймовірної події за визначений нормативний час. Відповідно, до множини критеріїв оптимізації можна віднести: час виявлення та повідомлення про пожежу; час збору та виїзду; час слідування рятувальних підрозділів до місця виклику тощо. Узагальнивши зазначені критерії для більш повної характеристики об'єкта дослідження, задача оптимізації буде зведена до однокритеріальної (скалярної). Зведення багатокритеріальної задачі до скалярної здійснено за допомогою методу головної компоненти з метою спрощення процедури пошуку екстремуму цільової функції. В якості головного критерію (компоненти) обрано час вільного розвитку пожежі, який включає в себе усі часові періоди від повідомлення про пожежу до введення перших вогнегасних засобів. Відтак, за умови обрання головного критерію, усі решта критеріїв зводяться до обмежень (не перевищуючи нормативного часу).

В окремих працях [52] висвітлені науково-обґрунтовані підходи щодо зонування та визначення місць дислокації рятувальних підрозділів. Проте в цій та інших працях основна ідея зводиться до категорювання окремих територій за пожежонебезпекою залежно від місць розташування рятувальних підрозділів.

Повертаючись до процесів розробки містобудівної та проектної документації, зазначених у п. 15.1.3 ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій», вимог, щодо визначення радіусу району виїзду дорогами загального користування та розрахункового часу

прибуття підрозділів до місця виклику дорогами загального користування, в учасників містобудівної діяльності постає питання: яким чином необхідно виконувати проектні рішення з урахуванням розширення площ населених пунктів, зміни інфраструктури та транспортного сполучення? Існує певна сукупність параметрів (чинників) впливу на модельовані та фактичні параметри безпечних зон. За результатами аналітичного огляду наукових праць, встановлено низку таких параметрів (чинників) та їх складових, що впливають на критерій оптимізації. Її узагальнення знайшло відображення на рисунку 4.

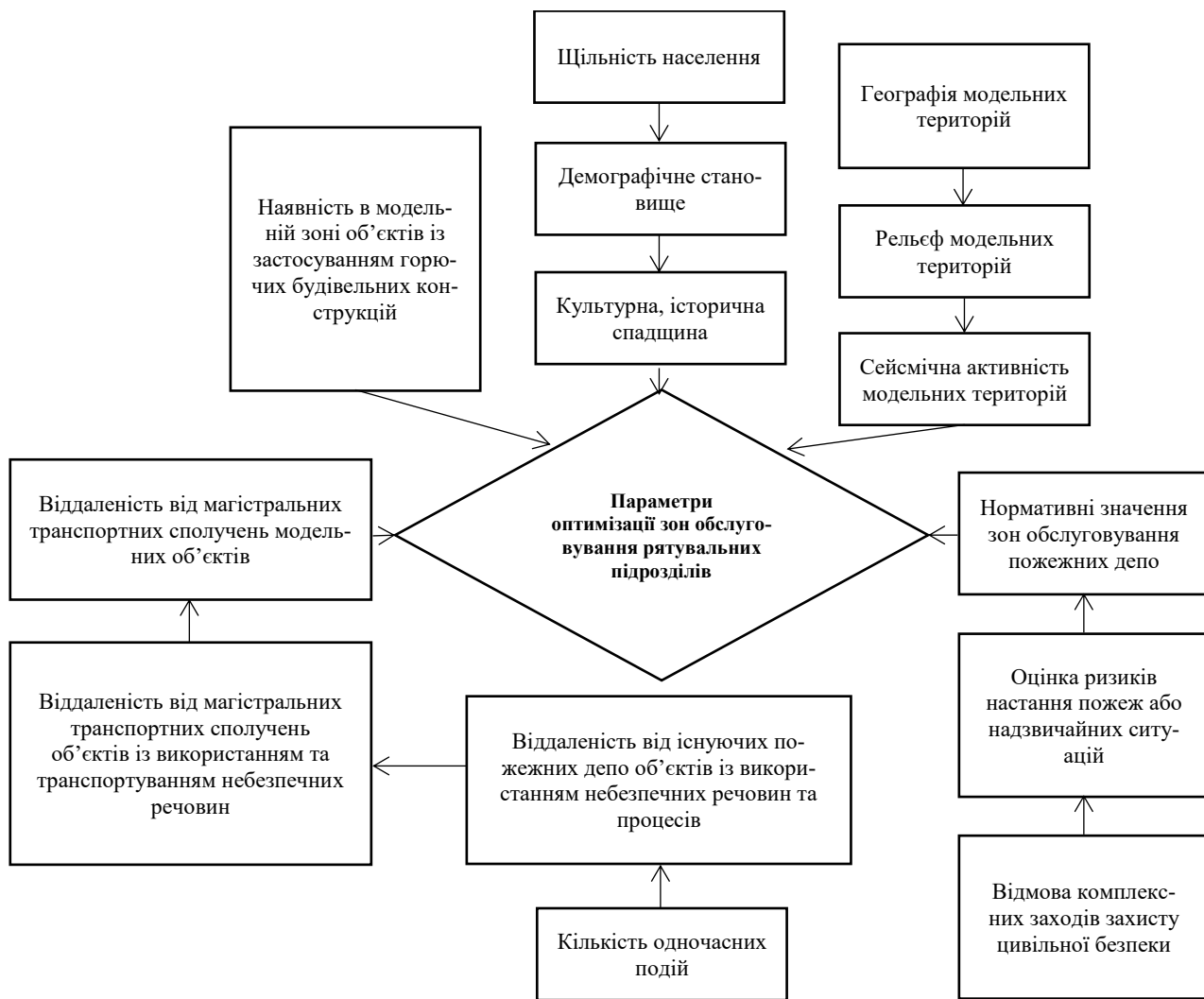


Рисунок 4 – Параметри оптимізації зон обслуговування рятувальних підрозділів

При розробці містобудівної документації і визначенні меж зон обслуговування рятувальних підрозділів також необхідно враховувати щільність і поверховість забудови, наявність природних перешкод (річки, озера, лісові масиви і насадження, ерозійні процеси земляних мас, різкі зміни рельєфних відміток тощо) і їх об'їзних шляхів, наявність і кількість об'єктів промислового комплексу, житлового та громадського фонду, а саме їх насиченість у окремих територіях. Крім того,

питання необхідної чисельності спеціальної техніки та персоналу розглядалися поверхнево та у більшості робіт не враховувались.

Низкою теоретичних та експериментальних праць, які орієнтовані на дослідження часу доїзду рятувальних підрозділів від місця дислокації до місця події, окреслено вплив сукупних факторів під час слідування. Огляд факторів (чинників) впливу на час доїзду підрозділів рятувальних служб узагальнено на рисунку 5.



Рисунок 5 – Параметри впливу на час слідування рятувальних підрозділів

Відповідно до визначених параметрів, одними із визначальних критеріїв зменшення часу вільного розвитку пожежі є час слідування рятувальної техніки до місця виклику і маршрутизація [53, 54]. Своєю чергою, на швидкість руху рятувальної техніки впливає низка організаційно-технічних заходів, які розглянемо далі.

Зважаючи на основне завдання досліджень та визначені параметри оптимізації, сформульовано скалярну оптимізаційну задачу, яка полягає у мінімізації часу вільного розвитку пожежі шляхом скорочення часу слідування рятувальних підрозділів до місця виклику. Час слідування рятувальних підрозділів до місця виклику залежить від низки параметрів, вирішальними з яких є: відстань від рятувального депо до найвіддаленішого пункту зони обслуговування; швидкість руху рятувальної техніки, яка залежить від технічних характеристик автомобілів, періоду доби, погодних умов, стану (категорійності) транспортно-дорожньої мережі. Вирішення цієї задачі загалом орієнтоване на оптимізацію зон обслуговування рятувальних підрозділів. Адже зменшення часу слідування рятувальних підрозділів безпосередньо впливатиме на районування зон відповідальності рятувальних підрозділів, шляхом визначення досяжності прибуття підрозділів до місця ймовірної пожежі у межах нормативного показника.

Із урахуванням критерію оптимізації (зменшення часу вільного розвитку пожежі) та означених параметрів оптимізації, постає питання щодо побудови цільової функції, яка представлена виразом (1):

$$T = f(p_1, p_2) \rightarrow \min \quad (1)$$

де p_1 – відстань від рятувального депо до найвіддаленішого населеного пункту зони обслуговування; p_2 – швидкість руху рятувальної техніки, яка, своєю чергою, описується функціональною залежністю обмежень (2):

$$p_2 = f(k_1, k_2, k_3, k_4), \quad (2)$$

k_1 – обмеження швидкості технічними характеристиками автомобіля; k_2 – обмеження швидкості залежно від періоду доби; k_3 – обмеження швидкості залежно від погодних умов; k_4 – обмеження швидкості умовами транспортно-дорожньої мережі.

Зважаючи на описану цільову функцію та обмеження її параметрів, необхідно побудувати математичну модель залежності критерію оптимізації від її параметрів. Формулювання та опис цієї моделі із використанням методів регресійного аналізу, а також розв'язок самої оптимізаційної задачі, є предметом подальших досліджень. Визначення обмежень параметрів

оптимізації та їх вплив на критерій потребує проведення як теоретичних так і емпіричних досліджень, що також є окремими складовими подальших досліджень.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Інформаційно-аналітичний огляд наукових досягнень галузі навів на такі висновки:

1. Шляхом аналітичного огляду наукових досліджень предметної області встановлені фундаментальні досягнення щодо застосування методів визначення зон обслуговування рятувальних підрозділів, що дозволило виділити основні критерії та параметри оптимізації часу вільного розвитку пожежі, а також сформулювати завдання подальших досліджень.

2. На основі аналітичних досліджень параметрів оптимізації часу вільного розвитку пожежі описана цільова функція та її обмеження, що лягає в основу математичної моделі визначення екстремуму критерію оптимізації.

Список літератури:

1. Паснак І. Вплив критичного часу пожежі в приміщенні промислового підприємства на технології її ліквідації. Науковий вісник НЛТУ. 2012. Вип. 22.6. С. 103-114.

2. Придатко О., Смотр О., Мартин Є., Придатко В., Солотвінський І. Оптимізація методів теорії масового обслуговування для вирішення прикладних завдань розвитку регіональних систем безпеки життєдіяльності. Системи обробки інформації. 2019. Вип. 2 (157). С. 146-152.

3. Паснак І. Розкриття особливостей впливу організаційних чинників на тривалість вільного розвитку пожежі. Науковий вісник НЛТУ. 2014. Вип. 24.3. С. 372-377.

4. Pérez J., Maldonado S., Pérez J., Marianov V. A reconfiguration of fire station and fleet locations for the Santiago Fire Department. International Journal of Production Research. 2016. Vol. 54(11). P. 3170-3186.

5. Aktaş E., Özyayın Ö., Bozkaya B., Ülengin F., Önsel Ş. Optimizing fire station locations for the Istanbul metropolitan municipality. Interfaces. 2013. Vol. 43(3). P. 240-255.

6. Придатко О., Солотвінський І., Кокотко І., Івановський М. Модель портфельного управління проектами розвитку регіональних систем безпеки життєдіяльності. Управління розвитком складних систем. зб. наук. праць Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури, гол. ред. Лізунов П. П. КНУБА. 2018. № 36. С. 42-50.

7. Erden T., Coşkun M. Multi-criteria site selection for fire services: the interaction with analytic hierarchy process and geographic information systems. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2010. Vol. 10. P. 2127–2134.

8. Tali J., Malik M., Divya S., Nusrath A., Mahalingam B. Location-Allocation model applied to

urban public services: Spatial analysis of fire stations in Mysore urban area Karnataka, India. International Journal of Advanced Research and Development. 2017. Vol. 2(5). P. 795-801.

9. Мартин Є., Небелюк В. Оптимізація побутових умов у пожежних частинах місцевої пожежної охорони об'єднаних територіальних громад. Науковий вісник ТДАТУ. 2018. Вип. 8, том 2. С. 1-8.

10. Zhou J. Research on Layout Optimization Method of Urban Fire Station based on Fire Risk. Assessment In Advanced Materials Research. 2014. Vol. 838.P. 2162-2169.

11. Кузик А., Ємельяненко С. Оцінювання часу слідування пожежно-рятувальних підрозділів до місця пожежі. Пожежна безпека. 2013. Вип. 23. С. 86-92.

12. Ємельяненко С., Харчук А., Міллер О., Мартин О. Аналіз пожежних ризиків для висотних та багатоповерхових житлових будинків міста Львів. Пожежна безпека. 2015. Вип. 27. С. 57-63.

13. Бурак Н. Управління проектом підготовки рятувальників для ліквідації надзвичайних ситуацій в умовах невизначеності. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.22. Львів, ЛДУ БЖД. 2015. 24с.

14. Придатко О. Моделі та методи управління програмою освітніх проектів підготовки рятувальників. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.22. Львів, ЛДУ БЖД. 2014. 21с.

15. Гуліда Е., Мовчан І., Васильєв М. Методологія прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій в містах з урахуванням ризиків. Пожежна безпека. 2019. Вип. № 35. С. 16-22.

16. Prydatko O., Popovych V., Malets I., Prydatko V., Solotvynskyi I. Algorithm of rescue units logistic support planning in the process of regional life safety systems development. MATEC Web of Conferences. 2019. Vol. 294. P. 1-7.

17. Sakellariou S., Samara F., Tampekis S., Sfougaris A., Christopoulou O. Development of a Spatial Decision Support System (SDSS) for the active forest-urban fires management through location planning of mobile fire unit. Environmental Hazards. 2019. Vol. 19(2). P. 131-151.

18. Bolouri S., Vafaieinejad A., Alesheikh A., Aghamohammadi H. The ordered capacitated multi-objective location-allocation problem for fire stations using spatial optimization. ISPRS International Journal of Geo-Information. 2018. Vol. 7(2). [Електронний ресурс].

19. Macit I. Solving fire department station location problem using modified binary genetic algorithm: a case study of Samsun of Turkey. European Scientific Journal. 2015. Vol. 11. P. 10–25.

20. Church R., Li W. Estimating spatial efficiency using cyber search, GIS, and spatial optimization: a case study of fire service deployment in Los Angeles

County. *International Journal of Geographical Information Science*. 2016. Vol. 30(3). P. 535-553.

21. Yin P., Mu L. Modular capacitated maximal covering location problem for the optimal siting of emergency vehicles. *Applied Geography*. 2012. Vol. 34. P. 247–254.

22. Murray A. Optimising the spatial location of urban fire stations. *Fire Safety Journal*. 2013. Vol. 62. P. 64–71.

23. Renkas A., Popovych V., Dominik A. Method for determining the optimal location of firefighting equipment for localization of ground forest fires. *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. 2021. Vol. 2 (446). P. 144 – 150.

24. Das S., McCarter A., Minieri J., Damaraju N., Padmanabhan S., Horng (Polo) D. ISPAK: Interactive Visual Analytics for Fire Incidents and Station Placement. *Chau Georgia Tech*. 2016. P. 29-36.

25. Мартин Є., Малець І., Лебедев М. Геометричне моделювання областей параметрів пожежно-технічних систем. *Науковий вісник ЛНТУ Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2011. Вип. 6. С.164 – 167.

26. Degel D., Wiesche L., Rachuba S., Werners B. Reorganizing an existing volunteer fire station network in Germany. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2014. Vol. 48(2). P. 149-157.

27. Pereira P., Mierauskas P., Úbeda X., Mataix-Solera J., Cerda A. Fire in Protected Areas - the Effect of Protection and Importance of Fire Management. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2012. Vol. 1(59). P. 52-62.

28. Dong X., Li Y., Pan Y., Huang Y., Cheng X. Study on urban fire station planning based on fire risk assessment and GIS technology. *Procedia engineering*. 2018. Vol. 211. P. 124-130.

29. Хмель П., Мартин Є. Геометричні засоби багатовимірного простору в проектно-орієнтованому управлінні транскордонними оперативно-рятувальними підрозділами. *Математика. Геометрія. Інформатика*. 2014. С. 221-239.

30. Хмель П., Мартин Є. Моделювання процесів проектно-орієнтованого управління пожежно-рятувальними підрозділами транскордонних територій. *Пожежна безпека*. 2014. Вип. 9. С.123-129.

31. Jiawen W., Meiping Y., Wanjing M., Xiaoguang Y. Travel time estimation model for emergency vehicles under preemption control. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2013. Vol. 96. P. 2147-2158.

32. Zhenhua Z., Qing H., Jizhan G., Xiaoling L. Performance measure for reliable travel time of emergency vehicles. *Transportation Research Part C. Emerging Technologies*. 2016. Vol. 65. P. 97-110.

33. Гуліда Е. Зменшення тривалості вільного розвитку пожежі на основі оптимізації шляху

слідкування пожежних до місця її виникнення. *Пожежна безпека*. 2013. Вип. 23. С. 64-70

34. Hulida E., Pasnak I., Vasilyeva E. Methodology for Reducing the Duration of the Free Development of Fire. *ВіТР*. 2017. Vol. 48 (4). P. 80–87.

35. Гуліда Е., Ренкас А. Вплив пожеж на екологічну безпеку навколишнього середовища. *Науковий вісник НГУ*. 2014. Вип. 5. С. 91-100.

36. Паснак І. Розкриття особливостей впливу параметрів вулично-дорожньої мережі на тривалість слідкування та безпеку руху спеціальних транспортних засобів. *Пожежна безпека*. 2015. Вип. 12. С. 209-216.

37. Паснак І., Придатко О., Гаврилюк А., Колеснікова А., Гангур Ю. Аналіз чинників впливу на тривалість слідкування пожежного автомобіля до місця виклику. *Науковий вісник НЛТУ*. 2016. Вип. 26.1. С. 286-291.

38. Черненко А., Халіпова Н., Леснікова І. Щодо моделювання транспортних потоків для аналізу завантаженості доріг в містах. *Збірник наукових праць ДНУЗТ. Транспортні системи та технології перевезень*. 2016. Вип.12. С. 90-98.

39. Кашканов А., Пальчевський О. Проблеми функціонування транспортних систем великих міст України в сучасних умовах. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2022. Вип. 1(18). С. 87-97.

40. Pasnak I., Renkas A. Optimization of the duration of emergency vehicle movement to the place of fire. *Transport Problems*. 2020. Vol. 15 (4 Part 1). P. 117-124.

41. Musolino G., Polimeni A., Rindone C., Vitetta A. Travel time forecasting and dynamic routes design for emergency vehicles. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2013. Vol. 87. P. 193-202.

42. Хмель П., Мартин Є., Полотай О. Управління освітніми проектами створення та захисту інформації супровідної документації забезпечення діяльності транскордонних оперативно-рятувальних підрозділів. *Пожежна безпека*. 2014. Вип. 10. С.142-150.

43. Придатко О., Паснак І. Дослідження інтеграційних процесів запровадження ІТ-технологій підготовки фахівців гірничорятувальних підрозділів. *Науковий вісник НГУ*. 2017. Вип. 1. С. 108-113.

44. Wang Z., Zlatanova S., Moreno A., Oosterom P., Toro C. A data model for route planning in the case of forest fires. *Computers & Geosciences*. 2014. Vol. 68. P. 1-10.

45. Shelke M., Malhotra A., Mahalle P. Fuzzy priority based intelligent traffic congestion control and emergency vehicle management using congestion-aware routing algorithm. *Journal of Ambient Intell Human Comput*. 2019. [Електронний ресурс].

46. Karthikeyan T., Bhuvaneshwari N., Sujatha S. Traffic Handling Approach with Intelligent Speed

Control and Prioritization of Emergency Vehicles using PCM Agent. *International Journal of Computer Technology and Application (IJCTA)*. 2012. Vol. 3(4). P. 1545-1549.

47. Хмель П., Підгородецький Я., Оленюк Ю., Мартин Є. Об'єктно-орієнтоване управління проектами маршрутних перевезень засобами GPS- моніторингу. *Пожежна безпека*. 2013. Вип. 8. С.101-106.

48. Pasnak I., Renkas A. Justification of traffic signaling modes at intersections considering the priority of public transport. *Transport technologies*. 2021. P. 13-24.

49. Григорук С., Лісцина М. Оптимізаційна модель розподілу транспортних потоків та підвищення їх пропускної здатності на регульованому перехресті. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2019. Вип. 4. С. 196-201.

50. Ковальчук О., Зачко О. Моделі життєвого циклу розвитку проектних команд в системі цивільного захисту. *Вісник ЛДУБЖ*. 2022. Вип. 25. С. 71-78.

51. Щербаченко О. Обґрунтування сценаріїв розвитку систем пожежогасіння об'єднаних територіальних громад. *Вісник ЛДУБЖД*. 2018. Вип. 17. С. 14-22.

52. Ратушний Р. Системний підхід до структурування портфелів проектів розвитку територіальних пожежно-рятувальних формувань. *Вісник ЛДУБЖД*. 2019. Вип.19. С. 44-50.

53. Гащук Л., Гащук П., Домінік А., Сичевський М. Енергоощадні аспекти застосування cruise-керування автомобільною аварійно-рятувальною технікою. *Пожежна безпека*. 2022. Вип. 40. С. 40-54.

54. Гащук Л., Гащук П. Принципи маршрутизації дрібногуртових автомобільних перевезень. *Вісник ЛДУБЖД*. 2023. Вип. 27. С. 150-157.

References:

1. Pasnak I. (2012). Vplyv krytychnoho chasu pozhezhi v prymishchenni promyslovoho pidpryyemstva na tekhnolohiyi yiyi likvidatsiyi. *Naukovyy visnyk NLTU*. Vyp. 22.6. pp. 103-114.

2. Prydatko O., Smotr O., Martyn YE., Prydatko V., Solotvins'kyu I. (2019). Optymizatsiya metodiv teoriiy masovoho obsluhovuvannya dlya vyrishennya prykladnykh zavdan' rozvytku rehional'nykh system bezpeky zhyttyediyal'nosti. *Systemy obrobky informatsiyi*. Vyp. 2 (157). pp. 146-152.

3. Pasnak I. (2014). Rozkryttya osoblyvostey vplyvu orhanizatsiynykh chynnykiv na tryvalist' vil'noho rozvytku pozhezhi. *Naukovyy visnyk NLTU*. Vyp. 24.3. pp. 372-377.

4. Pérez J., Maldonado S., Marianov V. (2016). A reconfiguration of fire station and fleet locations for the Santiago Fire Department. *International*

Journal of Production Research. Vol. 54 (11). pp. 3170-3186.

5. Aktaş E., Özaydın Ö., Bozkaya B., Ülengin F., Önsel Ş. (2013). Optimizing fire station locations for the Istanbul metropolitan municipality. *Interfaces*. 2013. Vol. 43(3). pp. 240-255.

6. Prydatko O., Solotvins'kyu I., Kokotko I., Ivanovs'kyu M. (2018). Model' portfel'noho upravlinnya proektamy rozvytku rehional'nykh system bezpeky zhyttyediyal'nosti. *Upravlinnya rozvytkom skladnykh system*. *Zb. nauk. prats' Kyiv. nats. un-t bud-va i arkhitektury*; hol. red. Lizunov P. P. Kyiv. KNUBA, 2018. № 36. pp. 42-50.

7. Erden T., Coşkun M. (2010). Multi-criteria site selection for fire services: the interaction with analytic hierarchy process and geographic information systems. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. Vol. 10. pp. 2127–2134.

8. Tali J., Malik M., Divya S., Nusrath A., Mahalingam B. (2017). Location-Allocation model applied to urban public services: Spatial analysis of fire stations in Mysore urban area Karnataka, India. *International Journal of Advanced Research and Development*. Vol. 2(5). pp. 795-801.

9. Martyn YE., Nebelyuk V. (2018). Optymizatsiya pobutovykh umov u pozhezhnykh chastynakh mistsevoyi pozhezhnoyi okhorony ob'yednanykh terytorial'nykh hromad. *Naukovyy visnyk TDATU*. Vyp. 8, tom 2. pp. 1-8.

10. Zhou J. (2014). Research on Layout Optimization Method of Urban Fire Station based on Fire Risk. *Assessment In Advanced Materials Research*. Vol. 838. pp. 2162-2169.

11. Kuzyk A., Yemel'yanenko S. (2013). Otsynuyannya chasu sliduvannya pozhezhno-ryatival'nykh pidrozdiliv do mistysya pozhezhi. *Zbirnyk naukovykh prats' LDUBZHD*. *Pozhezha bezpeka*. Vyp. 23. pp. 86-92.

12. Yemel'yanenko S., Kharchuk A., Miller O., Martyn O. (2015). Analiz pozhezhnykh ryzykiv dlya vysotnykh ta bahatopoverkhovykh zhytlovykh budynkiv mista L'viv. *Zbirnyk naukovykh prats' LDUBZHD*. *Pozhezha bezpeka*. Vyp. 27. pp. 57-63.

13. Burak N. (2015). Upravlinnya proektom pidhotovky ryatival'nykiv dlya likvidatsiyi nadzvychaynykh sytuatsiy v umovakh nevyznachenosti. *Avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: 05.13.22 upravlinnya proektamy ta prohramamy*. L'viv, LDUBZHD. 24 p.

14. Prydatko O. (2014). Modeli ta metody upravlinnya prohramoyu osvitynykh proektiv pidhotovky ryatival'nykiv. *Avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: 05.13.22 upravlinnya proektamy ta prohramamy*. L'viv, LDU BZHD. 21 p.

15. Hulida E., Movchan I., Vasyly'ev M. (2019). Metodolohiya prohnozuvannya vynyknennya nadzvychaynykh sytuatsiy v mistakh z urakhuvanniam ryzykiv. *Zbirnyk naukovykh prats'*

LDUBZHD. Pozhezhna bezpeka. Vyp. № 35. pp. 16-22.

16. Prydatko. O., Popovych V., Malets I., Prydatko V., Solotvynskiy I. (2019). Algorithm of rescue units logistic support planning in the process of regional life safety systems development. MATEC Web of Conferences. Vol. 294. pp. 1-7.

17. Sakellariou S., Samara F., Tampekis S., Sfougaris A., Christopoulou O. (2019). Development of a Spatial Decision Support System (SDSS) for the active forest-urban fires management through location planning of mobile fire unit. Environmental Hazards. Vol. 19(2). pp. 131-151.

18. Bolouri S., Vafaeinejad A., Alesheikh A., Aghamohammadi H. (2018). The ordered capacitated multi-objective location-allocation problem for fire stations using spatial optimization. ISPRS International Journal of Geo-Information. Vol. 7(2). [Электронний ресурс].

19. Macit I. (2015). Solving fire department station location problem using modified binary genetic algorithm: a case study of Samsun of Turkey. European Scientific Journal. Vol. 11. P. 10–25.

20. Church R., Li W. (2016). Estimating spatial efficiency using cyber search, GIS, and spatial optimization: a case study of fire service deployment in Los Angeles County. International Journal of Geographical Information Science. Vol. 30(3). pp. 535-553.

21. Yin P., Mu L. (2012). Modular capacitated maximal covering location problem for the optimal siting of emergency vehicles. Applied Geography. Vol. 34. pp. 247–254.

22. Murray A. (2013). Optimising the spatial location of urban fire stations. Fire Safety Journal. Vol. 62. pp. 64–71.

23. Renkas A., Popovych V., Dominik A. (2021). Method for determining the optimal location of firefighting equipment for localization of ground forest fires. News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. Vol. 2 (446). pp. 144–150.

24. Das S., McCarter A., Minieri J., Damaraju N., Padmanabhan S., Horng (Polo) D. (2016). ISPART: Interactive Visual Analytics for Fire Incidents and Station Placement. Chau Georgia Tech. pp. 29-36.

25. Martyn YE., Malets' I., Lebedyev M. (2011). Heometrychne modelyuvannya oblastey parametriv pozhezhno- tekhnichnykh system. Naukovyy visnyk LNTU Komp'yuterno-intehrovani tekhnolohiyi: osvita, nauka, vyrobnytstvo. Vyp. 6. pp.164-167.

26. Degel D., Wiesche L., Rachuba S., Werners B. (2014). Reorganizing an existing volunteer fire station network in Germany. Socio-Economic Planning Sciences. Vol. 48(2). pp. 149-157.

27. Pereira P., Mierasuskas P., Úbeda X., Mataix-Solera J., A. (2012). Cerda Fire in Protected Areas - the

Effect of Protection and Importance of Fire Management. Environmental Research, Engineering and Management. Vol. 1(59). pp. 52-62.

28. Dong X., Li Y., Pan Y., Huang Y. (2018). Cheng Study on urban fire station planning based on fire risk assessment and GIS technology. Procedia engineering. Vol. 211. pp. 124-130.

29. Khmel' P., Martyn YE. (2014). Heometrychni zasoby bahatovymirnogo prostoru v proektno-oriyentovanomu upravlinni transkordonnomy operatyvno-ryatuval'nymy pidrozdilamy. Matematyka. Heometriya. Informatyka. pp. 221-239.

30. Khmel' P., Martyn YE. (2014). Modelyuvannya protsesiv proektno-oriyentovanoho upravlinnya pozhezhno-ryatuval'nymy pidrozdilamy transkordonnnykh terytoriy. Zbirnyk naukovykh prats' LDUBZHD. Pozhezhna bezpeka. Vyp. 9. pp.123-129.

31. Jiawen W., Meiping Y., Wanjing M., Xiaoguang Y. (2013). Travel time estimation model for emergency vehicles under preemption control. Procedia – Social and Behavioral Sciences. Vol. 96. pp. 2147-2158.

32. Zhenhua Z., Qing H., Jizhan G., Xiaoling L. (2016). Performance measure for reliable travel time of emergency vehicles. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Vol. 65. pp. 97-110.

33. Hulida E. (2013). Zmshennya tryvalosti vil'noho rozvytku pozhezhi na osnovi optyimizatsiyi shlyakhu sliduvannya pozheznykh do mistysya yiyi vynyknennya. Zbirnyk naukovykh prats' LDUBZHD. Pozhezhna bezpeka. Vyp. 23. pp. 64-70.

34. Hulida E., Parnak I., Vasilyeva E. (2017). Methodology for Reducing the Duration of the Free Development of Fire. BiTP. Vol. 48 (4). pp. 80–87.

35. Hulida E., Renkas A. (2014). Vplyv pozhezh na ekolohichnu bezpeku navkolyshn'oho seredovyscha. Naukovyy visnyk NHU. Vyp. 5. pp. 91-100.

36. Parnak I. (2015). Rozkryttya osoblyvostey vplyvu parametriv vulychno-dorozhn'oyi merezhi na tryvalist' sliduvannya ta bezpeku rukhu spetsial'nykh transportnykh zasobiv. Naukovyy visnyk LDUBZHD. Pozhezhna bezpeka. Vyp. 12. pp. 209-216.

37. Parnak I., Prydatko O., Havrylyuk A., Kolesnikova A., Hanhur YU. (2016). Analiz chynnykiv vplyvu na tryvalist' sliduvannya pozhezhnogo avtomobilya do mistysya vyklyku. Naukovyy visnyk NLTU. Vyp. 26.1. pp. 286-291.

38. Chernenko A., Khalipova N., Lesnikova I. (2016). Shchodo modelyuvannya transportnykh potokiv dlya analizu zavantazhenosti dorihv mistakh. Zbirnyk naukovykh prats' DNUZT. Transportni systemy ta tekhnolohiyi perevezen'. Vyp.12. pp. 90-98.

39. Kashkanov A., Pal'chevs'kyy O. (2022). Problemy funktsionuvannya transportnykh system velykykh mist Ukrayiny v suchasnykh umovakh. Suchasni tekhnolohiyi v mashynobuduvanni ta transporti. Vyp. 1(18). pp. 87-97.

40. Pasmak I., Renkas A. (2020). Optimization of the duration of emergency vehicle movement to the place of fire. *Transport Problems*. Vol. 15 (4 Part 1). pp. 117-124.
41. Musolino G., Polimeni A., Rindone C., Vitetta A. (2013). Travel time forecasting and dynamic routes design for emergency vehicles. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. Vol. 87. pp. 193-202.
42. Khmel' P., Martyn YE., Polotay O. (2014). Upravlinnya osvithimiy proektamy stvorenniya ta zakhystu informatsiyi suprovodnoyi dokumentatsiyi zabezpechennya diyal'nosti transkordonnykh operatyvno – ryatuval'nykh pidrozdiliv. *Naukovyy visnyk LDUBZHD. Pozhezhna bezpeka*. Vyp. 10. pp.142-150.
43. Prydatko O., Pasmak I. (2017). Doslidzhennya intehratsiynykh protsesiv zaprovadzhennya IT-tekhnologiy pidhotovky fakhivtsiv hirnychoryatuval'nykh pidrozdiliv. *Naukovyy visnyk NHU*. Vyp. 1. pp. 108-113.
44. Wang Z., Zlatanova S., Moreno A., Oosterom P., Toro C. (2014). A data model for route planning in the case of forest fires. *Computers & Geosciences*. Vol. 68. pp. 1-10.
45. Shelke M., Malhotra A., Mahalle P. (2019). Fuzzy priority based intelligent traffic congestion control and emergency vehicle management using congestion-aware routing algorithm. *Journal of Ambient Intell Human Comput.* [Електронний ресурс].
46. Karthikeyan T., Bhuvanewari N., Sujatha S. (2012). Traffic Handling Approach with Intelligent Speed Control and Prioritization of Emergency Vehicles using PCM Agent. *International Journal of Computer Technology and Application (IJCTA)*. Vol. 3(4). pp. 1545-1549.
47. Khmel' P., Pidhorodets'kyi YA., Olenyuk YU., Martyn YE. (2013). Ob'yektno–oriyentovane upravlinnya proektamy marshrutnykh perevezen' zasobamy GPS-monitorynhu. *Naukovyy visnyk LDUBZHD. Pozhezhna bezpeka*. Vyp. 8. pp.101-106.
48. Pasmak I., Renkas A. (2021). Justification of traffic signaling modes at intersections considering the priority of public transport. *Transport technologies*. pp. 13-24.
49. Hryhoruk S., Lisitsyna M. (2019). Optymizatsiyna model' rozpodilu transportnykh potokiv ta pidvyshchennya yikh propusknoyi zdatnosti na rehul'ovanomu perekhresti. *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu*. Vyp. 4. pp. 196-201.
50. Koval'chuk O., Zachko O. (2022). Modeli zhyttyevoho tsykladu rozvytku proyektnykh komand v systemi tsyvil'noho zakhystu. *Visnyk LDUBZH*. Vyp. 25. pp. 71-78.
51. Shcherbachenko O. (2018). Obruntovannya stsenariyv rozvytku system pozhezhasinnya ob'yednanykh terytorial'nykh hromad. *Visnyk LDUBZHD*. Vyp. 17. pp. 14-22.
52. Ratushnyy R. (2019). Systemnyy pidkhid do strukturuvannya portfeliv proektiv rozvytku terytorial'nykh pozhezho-ryatuval'nykh formuvan'. *Visnyk LDUBZHD*. Vyp.19. pp. 44-50.
53. Hashchuk L., Hashchuk P., Dominik A., Sychevs'kyi M. (2022). Enerhooshchadni aspekty zastosuvannya cruise-keruvannya avtomobil'noyu avariyno-ryatuval'noyu tekhnikoyu. *Naukovyy visnyk LDUBZHD. Pozhezhna bezpeka*. Vyp. 40. pp. 40-54.
54. Hashchuk L., Hashchuk P. Pryntsypy marshrutyzatsiyi dribnohurtovykh avtomobil'nykh perevezen'. *Visnyk LDUBZHD*. Vyp. 27. pp. 150-157.

© В. В. Придатко, Д. О. Чалий,
О. В. Придатко, В. А. Кобко, 2023.

Оглядова стаття.

Надійшла до редакції 27.11.2023.

Прийнято до публікації 06.12.2023.