

*А.Я. Калиновський, к.т.н., доцент, нач. каф., НУЦЗУ,
Р.І. Коваленко, к.т.н., ст. викладач, НУЦЗУ*

**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ
СИСТЕМНОГО ТА ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ
ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ**

(представлено д.т.н. Куценком Л.М.)

Встановлена регресійна залежність між обраними на основі методу експертних оцінок граничними значеннями коефіцієнтів варіації, які служать критерієм оцінки рівня стабільності залучення технічних засобів з пожежно-рятувальних підрозділів до проведення оперативних робіт на території населеного пункту з показником середнього часу прямування їх до можливих місць викликів.

Ключові слова: пожежно-рятувальний підрозділ, технічний засіб, час прямування, потік викликів, коефіцієнт варіації.

Постановка проблеми. Впродовж останніх років в Україні достатньо інтенсивно почало проводитися реформування пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП), зокрема, в напрямку їх технічного перенаснащення. З метою досягнення найбільш позитивних ефектів, що пов'язані зі скороченням часу реагування ПРП на небезпечні події і надзвичайні ситуації та створення необхідного резерву технічних засобів з урахуванням економічного фактору важливим є використання дієвих способів, які дозволяють встановити рівень їх потреби у нових засобах. Крім цього, оснащення ПРП тими чи іншими зразками протипожежної техніки буде впливати на час прямування їх до місця виклику, а названий показник на сьогодні є нормованим. Більшість серед існуючих способів не дозволяють встановити рівень потреби підрозділів у технічних засобах і оцінити можливий середній час прибуття їх до місця виклику, що є проблемою, яка може бути вирішена шляхом застосування методів системного та геопросторового аналізів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] було запропоновано використовувати для визначення місць розміщення ПРП на території населених пунктів, а також чисельності сил та видів і кількості технічних засобів у оперативних підрозділах з метою їх подальшого комплектування комп'ютерну імітаційну систему «КОСМАС». Проаналізувавши специфіку та алгоритм роботи цієї системи було встановлено ряд її вагомих недоліків, серед яких: тривалий і достатньо складний процес адаптації системи до умов конкретного населеного пункту; неможливість застосування системи у випадках, коли потік небезпечних подій та надзвичайних ситуацій, що виникають на території населеного пункту

не є пуассонівським; необхідність створення достатньо деталізованої і структурованої електронної бази даних, яка вміщує інформацію про небезпечні події та надзвичайні ситуації, що виникають на території населеного пункту з метою виконання статистичної вибірки необхідних даних для роботи системи. Встановлені недоліки значно ускладнюють практичне використання названої раніше системи.

У роботі [2] описано функціональні можливості програмного продукту «ISPARK», який дозволяє на основі виконання геопросторового аналізу даних, які стосуються місць виникнення небезпечних подій та надзвичайних ситуацій, виконувати прогноз місць виникнення нових деструктивних подій. Названий прогноз може бути врахований при визначенні місць дислокації ПРП. Істотним недоліком вказаного програмного продукту є відсутність функції прогнозування часу реагування ПРП на небезпечні події та надзвичайні ситуації при різних можливих варіантах комплектування підрозділів технічними засобами, що значно обмежує його практичне використання.

В роботах [3, 4] запропоновано оцінювати рівень стабільності залучення технічних засобів з ПРП до проведення оперативних робіт на території населеного пункту на основі коефіцієнту варіації. Коефіцієнти варіації розраховуються по статистичним даним, які відображають щоденну кількість залучень окремих видів технічних засобів з різних ПРП впродовж певного календарного періоду. Після визначення коефіцієнтів варіації проводиться поділ їх на відповідні групи, які характеризують саме рівень стабільності залучення технічних засобів з ПРП – високий, середній та низький. Згідно [5] подібний метод впродовж тривалого часу використовується в складській логістиці для оцінки стабільності попиту споживачів на різні види товарів і в цій сфері підтвердив свою дієвість та ефективність. Проаналізувавши роботи [3, 5], можна прийти до висновку, що основним недоліком вказаного методу є проблема зі встановленням класифікаційних меж груп, які відображають рівень стабільності використання ресурсів.

Таким чином, з метою розробки ефективних методів визначення потреби ПРП у певних видах і кількості технічних засобів необхідним є застосування комплексного підходу. Суть цього підходу полягає у поетапному вирішенню ряду суміжних завдань різними науковими методами, що у кінці дозволить сформулювати методіку, яка дасть змогу вирішувати питання оснащення і переоснащення ПРП технічними засобами з урахуванням різних чинників.

Постановка завдання та його вирішення. Метою дослідження є встановлення залежності між обраними на основі методу експертних оцінок граничними значеннями коефіцієнтів варіації, які служать критерієм оцінки рівня стабільності залучення технічних засобів з ПРП до проведення оперативних робіт на території населеного пункту з показником середнього часу прямування підрозділів до можливих місць ви-

кликів. У якості методів дослідження в роботі було використано системний, геопросторовий та регресійний аналізи.

В роботі [3] було встановлено, що на вибір підрозділів, які необхідно озброїти певними видами технічних засобів впливають обрані граничні значення коефіцієнтів варіації. Ці значення є класифікаційними межами відповідних груп ПРП населеного пункту з різними характеристиками стабільності залучення технічних засобів з них до ліквідації небезпечних подій та надзвичайних ситуацій. Відповідно чим більша кількість ПРП на території населеного пункту буде забезпечено певним видом технічних засобів тим меншим буде середній час прямування сил та засобів з нього до місця виклику.

У якості даних для проведення дослідження були використані розраховані в роботі [4] коефіцієнти варіації, які відображають стабільність залучення технічних засобів з ПРП м. Харкова до ліквідації аварій, що пов'язані з розливами та/або викидами небезпечних хімічних речовин (потік викликів 1), а також проведенням аварійно-рятувальних робіт при дорожньо-транспортних пригодах, обвалах будівельних конструкцій і наданням допомоги населенню (потік викликів 2). Крім цього, були використані статистичні дані про потенційні місця виникнення цих деструктивних подій (місця дислокації об'єктів підвищеної небезпеки та потенційно-небезпечних об'єктів на території м. Харкова).

На першому етапі дослідження було визначено з використанням картографічного сервісу Scribble Maps дистанції прямування від ПРП до потенційних місць викликів і сформовано матрицю відстаней.

Користуючись числовими значеннями розрахованого коефіцієнта варіації в роботі [4] для потоку викликів 1, було встановлено граничні показники коефіцієнта варіації, починаючи від 500 із кроком 100 до 2000 та визначено мінімальні дистанції прямування від ПРП до потенційних місць викликів (табл. 1).

У міру зміни граничних показників коефіцієнта варіації відповідно змінюється і перелік ПРП, в яких рекомендовано розміщувати технічні засоби певного типу.

Якщо проаналізувати ступінь залежності дистанції прямування з ПРП від граничних показників коефіцієнта варіації, то можна дійти висновку, що він є сильно негативним (розрахункове значення коефіцієнта кореляції становить $-0,7131$), тобто зі зростанням граничних показників коефіцієнта варіації зменшується дистанція прямування з місць дислокації ПРП.

Подібним чином, як і для потоку викликів 1, було проведено розрахунки і для потоку викликів 2.

В табл. 2 наведено результати розрахунків з визначення середньої дистанції прямування з місць дислокації ПРП до потенційних місць викликів в м. Харкові. Граничні показники коефіцієнта варіації визначалися з урахуванням даних, які наведені в роботі [4], починаючи від 200 із кроком 50 до 700.

Табл. 1. Залежність середньої дистанції прямування з ПРП до потенційних місць викликів (потік викликів 1) від граничних показників коефіцієнта варіації

Варіант класифікаційної межі (можливий варіант комплектування)	Граничний показник коефіцієнта варіації	Перелік підрозділів ДПРЧ, в яких пропонується розмістити технічні засоби для реагування на потік викликів 1	Середня дистанція прямування з ПРП, км
1	≤ 500	18; 8	7,89
2	≤ 600	18; 8; 9	5,62
3	≤ 700	18; 8; 9; 2; 3	4,65
4	≤ 800	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17	3,8
5	≤ 900	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4	3,73
6	≤ 1000	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4	3,73
7	≤ 1100	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5	3,65
8	≤ 1200	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1	3,42
9	≤ 1300	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1	3,42
10	≤ 1400	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1; 22	3,42
11	≤ 1500	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1; 22	3,42
12	≤ 1600	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1; 22	3,42
13	≤ 1700	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1; 22	3,42
14	≤ 1800	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1; 22	3,42
15	≤ 1900	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1; 22	3,42
16	≤ 2000	18; 8; 9; 2; 3; 32; 17; 4; 6;5; 1; 22; 7; 27; 41	2,95

Якщо проаналізувати ступінь залежності дистанції прямування з місць дислокації ПРП від граничних показників коефіцієнта варіації (табл. 2), то можна дійти висновку, що він є сильним негативним (розрахункове значення коефіцієнта кореляції становить $-0,7091$), тобто зі зростанням граничних показників коефіцієнта варіації зменшується дистанція прямування з ПРП.

З метою проведення оцінки середнього часу прямування ПРП до місця виклику при тому чи іншому варіанті технічного забезпечення необхідно визначити середню швидкість прямування протипожежної техніки по вулично-дорожній мережі м. Харкова.

Для цього були проведені вибіркові дослідження масиву статистичних даних (5262 виклики (протягом 2016 року)). Для отримання адекватних результатів досліджень визначено обсяг вибірки із генеральної сукупності даних. При обранні помилки репрезентативності на рівні 0,05 та об'ємі генеральної сукупності 5262 отримано обсяг вибірки у кількості 372.

Табл. 2. Залежність середньої дистанції прямування з ПРП до потенційних місць викликів (потік викликів 2) від граничних показників коефіцієнта варіації

Варіант класифікаційної межі (можливий варіант комплектування)	Граничний показник коефіцієнта варіації	Перелік підрозділів ДПРЧ, в яких пропонується розмістити технічні засоби для реагування на потік викликів 2	Середня дистанція прямування з ПРП, км
1	≤ 200	2; 11; 18	7,36
2	≤ 250	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32	3,91
3	≤ 300	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22	3,49
4	≤ 350	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4	3,02
5	≤ 400	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4; 41	2,9
6	≤ 450	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4; 41; 27; 5	2,68
7	≤ 500	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4; 41; 27; 5	2,68
8	≤ 550	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4; 41; 27; 5; 26	2,67
9	≤ 600	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4; 41; 27; 5; 26	2,67
10	≤ 650	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4; 41; 27; 5; 26	2,67
11	≤ 700	2; 11; 18; 3; 1; 8; 32; 9; 6; 17; 22; 25; 7; 4; 41; 27; 5; 26; 36	2,39

З метою здійснення випадкової вибірки 372 значень з 5262 було використано функцію «Вибірка» табличного редактора, що дозволило виконати повторну випадкову вибірку. Для визначення дистанції між ПРП та місцями потенційних викликів було використано картографічний сервіс Scribble Maps.

Після нанесення місць дислокації ПРП на карту м. Харкова, по черзі відбувалося нанесення місць виникнення викликів, відповідно до вибраних даних із генеральної сукупності, та розраховувалися відповідні відстані. Після цього було розраховано для кожного виклику швидкість прямування та загалом за отриманими показниками – середній показник швидкості прямування, який для м. Харкова у 2016 році склав 18,9 км/год.

Після отримання показника середньої швидкості прямування підрозділів у м. Харкові та маючи значення середніх мінімальних дистанцій прямування від ПРП при різних варіантах комплектування їх спеціалізованими технічними засобами, залежно від показника коефіцієнта варіації, було отримано наступні залежності:

- залежність часу прямування технічних засобів з ПРП при відповідному їх варіанті комплектування до потенційних місць викликів (потік викликів 1);

- залежність часу прямування технічних засобів з ПРП при відповідному їх варіанті комплектування до потенційних місць викликів (потік викликів 2).

Отримані залежності були апроксимовані шляхом побудови рівнянь лінійної регресії.

В табл. 3 наведено результати розрахунків коефіцієнтів рівняння регресії. В якості змінної x у регресійній моделі виступає граничне значення показника варіації.

Значущість коефіцієнтів регресії перевірялася за допомогою t -критерію Стюдента. Розрахункові значення t -критерію Стюдента (табл. 3) були порівняні з критичними значеннями вказаного критерію, які визначалися за допомогою таблиці Стюдента [6].

Для цього спершу було визначено число ступенів свободи варіації за наступною формулою:

$$v = \omega - 2, \quad (1)$$

де ω – обсяг вибірки.

Далі, за допомогою таблиці Стюдента, при обраному рівні значущості 0,05 було визначено критичне значення t -критерію, яке для даного обсягу вибірки ($\omega = 16$) становило 2,145. Оскільки розраховане значення t -критерію Стюдента за модулем більше критичного значення, то у такому випадку можна дійти висновку, що визначені коефіцієнти рівняння регресії є статистично значущими.

Табл. 3. Розрахункові значення коефіцієнтів рівняння регресії

Коефіцієнти рівняння регресії	Числові значення коефіцієнтів рівняння регресії	Розрахункове значення t -критерію Стюдента	Довірчий інтервал при ймовірності 95 %	
			нижня межа інтервалу	верхня межа інтервалу
x_0	20,02	10,053	15,75	24,29
x_1	-0,00587	-3,9251	-0,0091	-0,0027

Адекватність побудованої регресійної моделі було перевірено шляхом розрахунку F -критерію Фішера [6]. В табл. 4 наведено критерії значущості й адекватності регресійної моделі.

Критичне значення F -критерію Фішера для рівня значущості 0,05 та за заданих ступенів свободи ($v_1 = 1, v_2 = 14$), згідно [6] становить 4,6. Оскільки розрахункове значення F -критерію Фішера більше його табличного критичного значення, то можна дійти висновку, що регресійна модель у цілому є статистично значущою та може бути представлена

$$y_1 = -0,00587 \cdot x_1 + 20,02, \quad (2)$$

де y_1 – прогнозоване значення часу прямування, хв; x_1 – змінна (граничне значення показника коефіцієнта варіації).

Табл. 4. Критерії значущості й адекватності регресійної моделі

Критерій	Значення критерію
Коефіцієнт кореляції (R)	0,724
F -критерій Фішера	15,406

В табл. 5 наведено результати розрахунків коефіцієнтів рівняння регресії, яке відображає зміну часу прямування ПРП залежно від обраного граничного показника коефіцієнта варіації для відповідного типу технічних засобів (потік викликів 2). В якості змінної x у регресійній моделі виступає граничне значення коефіцієнта варіації.

Табл. 5. Розрахункові значення коефіцієнтів рівняння регресії

Коефіцієнти рівняння регресії	Числові значення коефіцієнтів рівняння регресії	Розрахункове значення t-критерію Стьюдента	Довірчий інтервал при ймовірності 95 %	
			нижня межа інтервалу	верхня межа інтервалу
x_0	18,964	6,51	12,371	25,56
x_1	-0,019	-3,095	-0,0327	-0,0051

Значущість коефіцієнтів регресії перевірялася за допомогою t -критерію Стьюдента. Розрахункові значення t -критерію Стьюдента наведені в табл. 5. Критичне значення критерію Стьюдента, згідно довідкових даних, наведених у [6], (за заданого рівня значущості 0,05 та числа ступенів свободи 9) становить 2,262, а отже, порівнявши їх із розрахунковими значеннями цього критерію за модулем, можна дійти висновку, що визначені коефіцієнти рівняння регресії є статистично значущими.

Адекватність побудованої регресійної моделі можна перевірити шляхом розрахунку F -критерію Фішера [6]. В табл. 6 наведено критерії значущості й адекватності регресійної моделі.

Табл. 6. Критерії значущості й адекватності регресійної моделі

Критерій	Значення критерію
Коефіцієнт кореляції (R)	0,718
F -критерій Фішера	9,577

Критичне значення F -критерію Фішера для рівня значущості 0,05 за заданих ступенів свободи ($\nu_1 = 1, \nu_2 = 9$), згідно [6], становить 5,12. Оскільки розрахункове значення F -критерію Фішера більше його табличного критичного значення, то можна дійти висновку, що регресійна модель у цілому є статистично значущою та може бути представлена у наступному вигляді:

$$y_2 = -0,019 \cdot x_2 + 18,964, \quad (3)$$

де y_2 – прогнозоване значення часу прямування, хв; x_2 – змінна (граничне значення коефіцієнта варіації).

Висновки. Таким чином, за результатами проведених досліджень було отримано регресійні залежності граничних значень коефіцієнтів варіації, які служать критерієм оцінки рівня стабільності залучення технічних засобів з ПРП до проведення оперативних робіт на території населеного пункту з показником середнього часу прямування підрозділів до можливих місць викликів. Провівши оснащення ПРП за одним із розглянутих в цій роботі варіантів, наприклад №3 можна досягти скорочення часу прямування до місць ліквідації небезпечних подій та надзвичайних ситуа-

цій, які були віднесені до 1-го потоку викликів, майже на 22,6 хвилини, а до 2-го потоку викликів – на 2,35 хвилини. В перспективі подальших досліджень планується розробка методу визначення необхідної чисельності протипожежної техніки з метою подальшого озброєння нею ПРП.

ЛІТЕРАТУРА

1. Белов В. А. Проектирование гарнизонов пожарной охраны на основе технологий имитационного моделирования: дис. на соискания уч. степени канд. тех. наук: 05.13.10 / Белов Виктор Александрович – М., 2010. – 149 с.
2. ISPARK: Interactive Visual Analytics for Fire Incidents and Station Placement [Electronic resource]. – Access mode: <http://poloclub.gatech.edu/idea2015/papers/p29-das.pdf>
3. Ларін О. М. Розробка методики визначення чисельності парку автомобілів в пожежно-рятувальних підрозділах / Ларін О. М., Калиновський А. Я., Коваленко Р. І. // Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: технічні науки та архітектура. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2016. – №130. – С. 92–100.
4. Калиновський А. Я. Дослідження рівня стабільності залучення пожежно-рятувальних підрозділів міста Харкова до обслуговування викликів / Калиновський А. Я., Коваленко Р. І., Шевцова О. С., Метельов В. О. // Зб. наук. праць «Проблеми пожежної безпеки». – Харків : НУЦЗУ, 2018. – Вип. 44. – С. 36–43.
5. Стерлигова А. Н. Управление запасами в цепях поставок / Стерлигова А.Н. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 430 с.
6. Кремлев А. Г. Математика. Раздел «Статистика»: учеб. пособ. / Кремлев А. Г. – Екатеринбург: УрГЮА, 2001. – 140 с.

Отримано редколегією 13.03.2019

А.Я. Калиновский, Р.И. Коваленко

Использование методов системного и геопро пространственного анализа для решения задач технического обеспечения пожарно-спасательных подразделений

Установлена регрессионная зависимость между выбранными на основе метода экспертных оценок предельными значениями коэффициентов вариации, которые служат критерием оценки уровня стабильности привлечения технических средств с пожарно-спасательных подразделений к проведению оперативных работ на территории населенного пункта с показателем среднего времени следования их к возможным местам вызовов.

Ключевые слова: пожарно-спасательное подразделение, техническое средство, время следования, поток вызовов, коэффициент вариации.

A. Kalinovskiy, R. Kovalenko

Use of methods of system and geospatial analysis for solving the problems of technical maintenance of fire and rescue units

Regression dependence between selected on the basis of the expert estimation method is determined by the limit values of the coefficients of variation, which serve as a criterion for assessing the level of stability of the attraction of technical means from fire and rescue units to conducting operational operations in the territory of the settlement with an average of the time of their route to possible places of calls.

Keywords: fire and rescue unit, technical means, time to follow, call flow, coefficient of variation.