

*А.Я. Калиновський, к.т.н., доцент, нач. каф., НУЦЗУ,
Р.І. Коваленко, к.т.н., викладач, НУЦЗУ,
О.С. Шевцова, асистент, НТУ «Дніпровська політехніка»,
В.О. Метельов, ст. викладач, НТУ «ХПІ»*

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ СТАБІЛЬНОСТІ ЗАЛУЧЕННЯ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ МІСТА ХАРКОВА ДО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИКЛИКІВ (представлено д.т.н. Ларіним О.М.)

Запропоновано використовувати у якості показника для оцінки рівня стабільності залучення сил та засобів з пожежно-рятувальних підрозділів до обслуговування викликів в населеному пункті коефіцієнт варіації. Встановлена сильна від'ємна кореляційна залежність розрахованих коефіцієнтів кореляції з показниками частоти виїздів оперативних транспортних засобів з пожежно-рятувальних підрозділів на обслуговування викликів в населеному пункті. Проведено групування пожежно-рятувальних підрозділів міста Харкова за показником інтенсивності потоку викликів при використанні методів кластерного аналізу.

Ключові слова: пожежно-рятувальний підрозділ, оперативний транспортний засіб, сили та засоби, потік викликів, математична статистика.

Постановка проблеми. Кожен пожежно-рятувальний підрозділ має свою окрему характеристику інтенсивності потоку викликів, яка у деяких із них по числовим параметрам може відрізнятися в рази. Як результат, деякі підрозділи залучаються майже щодня до проведення оперативних робіт, а інші значно рідше. Відповідно, технічні засоби тих підрозділів, які частіше залучаються до процесу обслуговування викликів мають менші значення ймовірності безвідмовної роботи. Існуючі методи визначення необхідної чисельності і видів оперативних транспортних засобів при вирішенні задач технічного оснащення і переоснащення підрозділів не враховують вказаних вище особливостей, що є значною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У дослідженні [1] була встановлена відсутність науково-обґрунтованих принципів визначення потрібної кількості основних і спеціальних оперативних транспортних засобів для пожежно-рятувальних підрозділів міст, а одним із напрямків вирішення вказаної проблеми було обрано шлях створення ряду імітаційних моделей, які в результаті і були розроблені з урахуванням статистичних закономірностей якими характеризується процес функціонування аварійно-рятувальних формувань населених пунктів. На жаль, використання розроблених у проаналізованій роботі імітаційних моделей допускається тільки на етапі диспетчеризації для встановлення орієнтовної кількості основних і спеціальних оперативних транспортних засобів для подальшої відправки їх до місця виклику. Відповідно використати названі моделі для встановлення рівня пріоритетності пожежно-рятувальних підрозділів за умови їх забезпечення новими зразками оперативних транспортних засобів є не можливим.

Проаналізувавши результати досліджень [2] було встановлено, що успішне вирішення задач у напрямку забезпечення пожежно-рятувальних підрозділів відповідними засобами можливе лише за умови початкового детального опрацювання статистичних даних, які відображають процес їх функціонування. Кінцеві ж висновки формуються на основі опрацьованих даних шляхом використання методів математичної статистики і теорії ймовірностей.

Згідно [3] процес вирішення ряду задач щодо порядку реагування аварійно-рятувальних формувань на небезпечні події і їх технічного забезпечення можливо спростити виконавши побудову «дерева відмов». Цей спосіб знайшов широкого поширення в теорії прийняття рішень але його застосування потребує знову ж опрацювання значного масиву статистичних даних, що не завжди можливо зробити через обмеженість форм звітності в підрозділах ДСНС України.

Таким чином, за результатами проведеного аналізу літературних джерел було встановлено, що на сьогодні відсутні дієві способи встановлення пріоритету пожежно-рятувальних підрозділів при вирішенні задач їх технічного забезпечення новими зразками техніки.

Постановка завдання та його вирішення. Метою дослідження є обґрунтування критеріїв і способів, які дозволять оцінити рівень стабільності залучення оперативних транспортних засобів з різних пожежно-рятувальних підрозділів до обслуговування викликів у населеному пункті для вирішення практичної задачі встановлення пріоритету при визначенні черговості аварійно-рятувальних формувань у оснащенні їх новими зразками оперативних транспортних засобів. Для досягнення поставленої мети в роботі було спершу проведено дослідження статистики залучення кожного окремого пожежно-рятувального підрозділу м. Харкова на обслуговування викликів. Загалом були оброблені статистичні дані за один рік їхнього функціонування. Далі було виконано поділ потоку викликів, які надходять до підрозділів на окремі потоки в залежності від їх специфіки:

- потік викликів структуру якого становлять пожежі (виділення цього потоку в окремий пов'язано з тим, що кожного року чисельність виїздів підрозділів на пожежогасіння складає в середньому 75-80%, а на їх ліквідацію залучаються переважно пожежні автоцистерни) (1-й потік);
- потік викликів структуру якого становлять виїзди підрозділів на ліквідацію розливів та/або викидів небезпечних хімічних речовин (2-й потік);
- потік викликів на проведення різних аварійно-рятувальних робіт (при виникненні дорожньо-транспортних пригод, проведенні пошукових і рятувальних робіт в завалах, висотних робіт та ін.) і надання допомоги населенню (3-й потік).

Одержані статистичні дані були використані у якості вихідних даних для проведення кластерного аналізу пожежно-рятувальних підрозділів. Для цього на першому етапі було проведено ієрархічний кластерний аналіз. Як міру відстані для ознак кластеризації було взято евклідову метрику. При розрахунку відстаней між точками, які відображають положення об'єктів у просторі їх характеристик, змінна, яка має велике значення, буде практично повністю домінувати над змінною з малими зна-

ченнями. Таким чином, через неоднорідність одиниць вимірювання характеристик стає неможливим коректно розрахувати відстані між точками. Цю проблему було вирішено шляхом попередньої стандартизації змінних. Стандартизація, або нормування, ставить у відповідність значення всіх змінних до єдиного діапазону значень шляхом відношення цих величин до деякого параметра, який відображає певні властивості конкретної ознаки. Порядок стандартизації даних полягав у нормуванні змінних до одиничної дисперсії й нульового середнього:

$$X_{iz}^* = \frac{X_{iz} - M[X_{iz}]}{\sigma_{X_{iz}}}, \quad (1)$$

$$X_{nz}^* = \frac{X_{nz} - M[X_{nz}]}{\sigma_{X_{nz}}}, \quad (2)$$

де X_{iz}^* , X_{nz}^* – стандартизовані значення z -х змінних для iz -го та nz -го об'єктів; $M[X_{iz}]$, $M[X_{nz}]$ – математичні очікування, які характерні для змінних iz -го та nz -го об'єктів; $\sigma_{X_{iz}}$, $\sigma_{X_{nz}}$ – стандартні відхилення, характерні для змінних iz -го та nz -го об'єктів. Стандартизовані значення для проведення групування пожежно-рятувальних підрозділів за частотою викликів, які до них надходять наведені в табл. 1.

Табл. 1. Стандартизовані значення для проведення групування пожежно-рятувальних підрозділів за частотою викликів, які до них надходять

Найменування підрозділу	Частота викликів оперативних транспортних засобів із підрозділів, виклик/годину (загальний потік)	Частота викликів оперативних транспортних засобів із підрозділів, виклик/годину (1-й потік)	Частота викликів оперативних транспортних засобів із підрозділів, виклик/годину (2-й потік)	Частота викликів оперативних транспортних засобів із підрозділів, виклик/годину (3-й потік)
ДПРЧ-1	0,5147884	0,476917	-0,3781005	0,327801
ДПРЧ-2	1,037616	0,682691	0,5685518	2,08076
ДПРЧ-3	0,0859527	0,002108	0,5685518	-0,022791
ДПРЧ-4	-0,2841385	-0,01374	-0,0004378	-0,858764
ДПРЧ-5	1,066988	1,616599	-0,3781005	-0,346378
ДПРЧ-6	-0,10203	-0,1561856	-0,0004378	0,732404
ДПРЧ-7	-1,206429	-1,39083	-0,757427	-0,130575
ДПРЧ-8	0,5852819	0,3978054	2,08253	1,271795
ДПРЧ-9	1,442954	1,220832	1,32554	-0,292368
ДПРЧ-11	0,649901	0,61936	-0,94709	1,2988
ДПРЧ-17	0,091827	0,009963	0,189225	-0,58895
ДПРЧ-18	2,042149	2,05185	2,27219	1,70317
ДПРЧ-22	-0,3487576	-0,2115916	-0,567764	-0,319373
ДПРЧ-25	-0,7658444	-0,670621	-0,94709	-0,669966
ДПРЧ-26	-1,482529	-1,422461	-0,94709	-1,31714
ДПРЧ-27	-0,4779957	-0,3540345	-0,757427	-0,615955
ДПРЧ-32	-0,231268	-0,282848	0,378889	0,058224
ДПРЧ-36	-1,711633	-1,76275	-0,94709	-1,45193
ДПРЧ-41	-0,9068315	-0,8130635	-0,757427	-0,858764

Для побудови ієрархічної структури був використаний метод Варда, в якому оцінки відстаней між групами визначаються методом дисперсійного аналізу [4].

Процес покрокового агломеративного об'єднання змінних у клас-тери наведений на рис. 1.

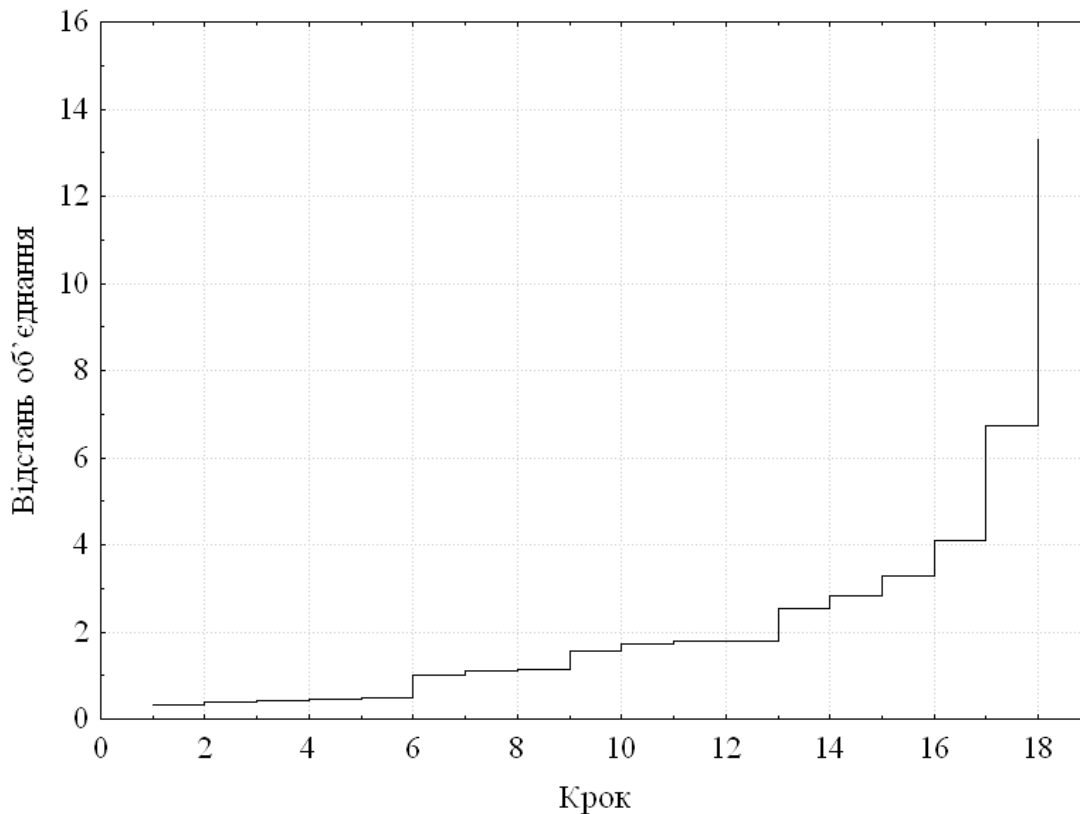


Рис. 1. Процес покрокового об'єднання змінних при проведенні ієрархічного кластерного аналізу

В результаті проведення ієрархічного кластерного аналізу було побудовано вертикальну дендрограму (рис. 2), за допомогою якої було виділено окремі групи пожежно-рятувальних підрозділів.

Для перевірки точності отриманих у результаті ієрархічного кластерного аналізу результатів було використано ітеративний метод групування k -середніх. На відміну від ієрархічних агломеративних методів, які вимагають розрахунку і зберігання матриці схожості між об'єктами розмірністю $n \times n$, ітеративні методи працюють безпосередньо з первинними даними, а тому з їх допомогою можна обробляти доволі значні обсяги даних [4]. Більше того, ітеративні методи виконують декілька переглядів даних і можуть компенсувати наслідки поганого початкового розбиття даних, тим самим усуваючи головний недолік ієрархічних агломеративних методів [4].

Мірою відстані для ознак кластеризації в ітеративному методі групування k -середніх є евклідова метрика. Число кластерів було визначене за дендрограмою (рис. 2), на якій обрано їх кількість за принципом наочності кластеризації. Результати групування підрозділів за частотою ви-кликів при проведенні кластеризації методом k -середніх наведені в табл. 2.

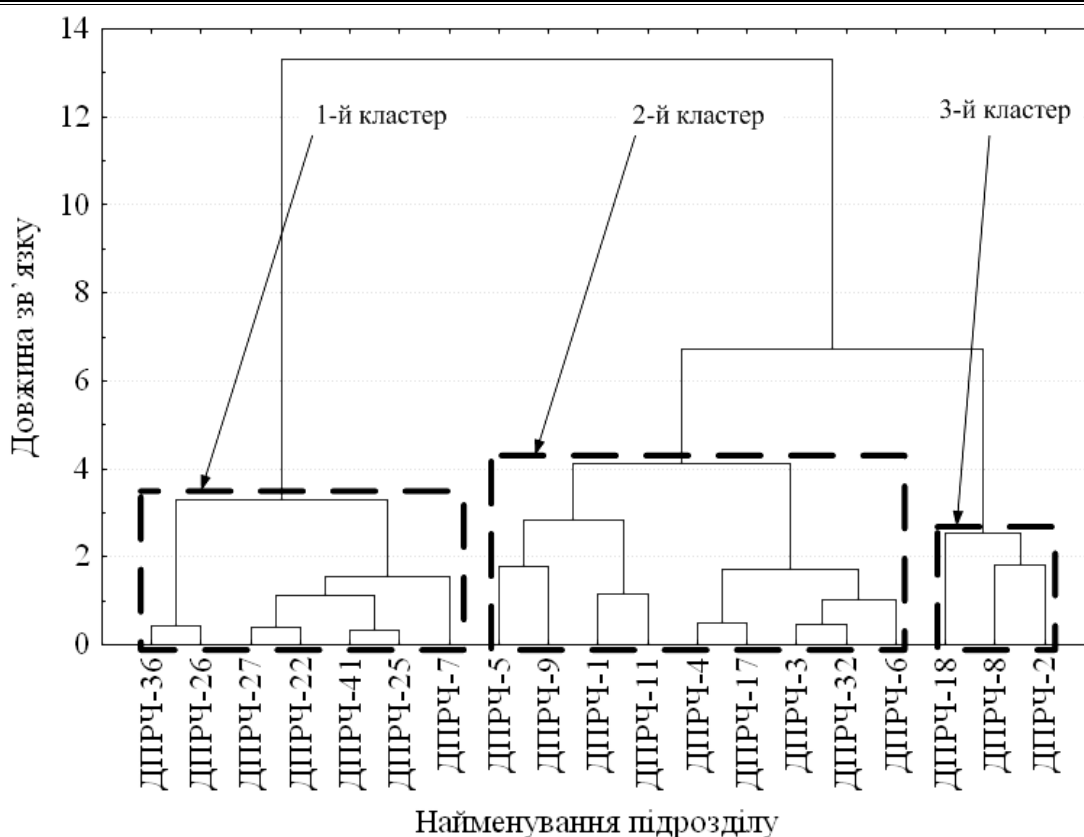


Рис. 2. Результати кластеризації (групування) АРФ за частотою викликів

Табл. 2. Результати проведення кластерного аналізу ітераційним методом k-середніх

Номер кластеру	Найменування підрозділу	Загальна кількість викликів, яка надходила до підрозділів	Відстань до центру кластера
1	ДФРЧ-6	325	0,42563
	ДФРЧ-32	303	0,409603
	ДФРЧ-22	283	0,439098
	ДФРЧ-17	358	0,366306
	ДФРЧ-4	294	0,515838
	ДФРЧ-11	453	0,817433
	ДФРЧ-1	430	0,290925
	ДФРЧ-5	524	0,859301
2	ДФРЧ-27	261	0,486693
	ДФРЧ-25	212	0,275283
	ДФРЧ-41	188	0,165109
2	ДФРЧ-7	137	0,39687
	ДФРЧ-26	90	0,358308
	ДФРЧ-36	51	0,558572
3	ДФРЧ-8	442	0,5551
	ДФРЧ-2	519	0,707306
	ДФРЧ-9	588	0,758455
	ДФРЧ-18	690	0,755059

Проаналізувавши дані, які наведені в табл. 2 можна прийти до висновку, що до 3-го кластеру ввійшли пожежно-рятувальні підрозділи із

найвищою інтенсивністю потоку викликів за рік. Відповідно до 1-го кластеру ввійшли підрозділи з відносно середньою у порівнянні з іншими підрозділами інтенсивністю потоку викликів, а до 2-го кластеру з найменшою інтенсивністю потоку викликів.

Важливо також при встановленні пріоритетності по підрозділам визначитись із певним показником стабільності залучення оперативних транспортних засобів із них до обслуговування викликів у населеному пункті. У якості такого показника було обрано коефіцієнт варіації. Шляхом проведення вибірки ряду статистичних даних, які відображають щоденну кількість залучень оперативних транспортних засобів на обслуговування різних груп потоків викликів із кожного окремого пожежно-рятувального підрозділу за рік функціонування та розрахунку по ним коефіцієнтів варіації було отримано відповідну характеристику (табл. 3).

Табл. 3. Розраховані коефіцієнти варіації, які відображають стабільність залучень оперативних транспортних засобів у райони обслуговування пожежно-рятувальних підрозділів

Підрозділ	Характерний потік		
	1-й потік, %	2-й потік, %	3-й потік, %
1	2	3	4
ДПРЧ-1	113,1	1101,5	249,7
ДПРЧ-2	112,3	669	168,7
ДПРЧ-3	122,7	669	248,6
ДПРЧ-4	122,9	849,7	346,6
ДПРЧ-5	105,8	1100	432
ДПРЧ-6	135,7	1007,4	281,4
ДПРЧ-7	244,9	1910,5	345,8
ДПРЧ-8	124,3	469	207,8
ДПРЧ-9	96,6	588,1	280,4
ДПРЧ-11	120,5	0	186,7
ДПРЧ-17	117,6	774,6	293,4
ДПРЧ-18	91,1	453,1	174,7
ДПРЧ-22	124,8	1349,1	299,3
ДПРЧ-25	156,8	0	340,5
ДПРЧ-26	234,5	0	521,8
ДПРЧ-27	137,5	1910,5	430
ДПРЧ-32	136,3	716,1	236,9
ДПРЧ-36	414,1	0	669,9
ДПРЧ-41	167,7	1910,5	380,2

Проаналізувавши розраховані коефіцієнти варіації (табл. 3), можна стверджувати, що найбільші його показники спостерігаються у пожежно-рятувальних підрозділах, які мають невисоку, порівняно з іншими, частоту виїздів. Підтвердженням цього є проведений кореляційний аналіз, за результатами якого було перевірено залежність між частотою виїздів пожежно-рятувальних підрозділів на виклики окремо за трьома групами потоків з розрахованими коефіцієнтами варіації (табл. 3), і, як результат, було отримано наступні величини коефіцієнтів кореляції – (-0,77), (-0,83) та (-0,82).

Отримані значення коефіцієнта кореляції свідчать про те, що кореляційна залежність є сильною від'ємною (висновки про силу кореляційного зв'язку робилися з використанням класичної шкали Чеддока [5]), тобто при збільшенні частоти виїздів підрозділів пропорційно зменшується коефіцієнт варіації. На кожен окремий потік викликів найчастіше виїздить той чи інший вид оперативних транспортних засобів. Наприклад, на 1-й потік викликів – пожежні автоцистерни, на 2-й потік викликів – спеціальні машини радіаційного і хімічного захисту, а на 3-й потік – аварійно-рятувальні автомобілі. За умови розміщення пожежно-рятувальних підрозділів у таблиці 4 по порядку від менших значень коефіцієнту варіації до більших по окремим потоком викликів можна побудувати відповідний рейтинг за яким оцінювати рівень стабільності залучення тих чи інших видів оперативних транспортних засобів до обслуговування викликів.

Висновки. За результатами проведеного дослідження було встановлено, що у якості показника для оцінки рівня стабільності залучення сил та засобів з пожежно-рятувальних підрозділів до обслуговування викликів в населеному пункті можна використовувати коефіцієнт варіації, який запропоновано оцінювати по статистичним даним, які відображають щоденну чисельність виїздів оперативних транспортних засобів з того чи іншого підрозділу. Встановлена сильна від'ємна кореляційна залежність розрахованих коефіцієнтів кореляції з показниками частоти виїздів оперативних транспортних засобів з пожежно-рятувальних підрозділів на обслуговування викликів в населеному пункті. Важливе значення в процесі встановлення пріоритету серед пожежно-рятувальних підрозділів має також показник інтенсивності потоку викликів з використанням якого можна виконати їх групування на відповідні групи використовуючи при цьому методи кластерного аналізу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Войтович Д. П. Підвищення ефективності функціонування пожежно-рятувальних підрозділів в процесі ліквідації пожеж у містах : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 21.06.02 «Пожежна безпека» / Войтович Дмитро Петрович. – Львів, 2011. – 284 с.
2. 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.
3. Liu Y. A FTA-based method for risk decision-making in emergency response [Електронний ресурс] / Liu Y., Fan Z-P., Yuan Y., Li H. // Magazine «Computers & Operations Research». – 2014. – Vol. 42. – P. 49-57. – Режим доступу : <https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.08.015>
4. Мандель И. Д. Кластерный анализ: учеб. пособие / Мандель И. Д. – Москва: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.

5. Кремлев А. Г. Матиматика. Раздел «Статистика» : учеб. пособ. / Кремлев А. Г. – Екатеринбург : УрГЮА, 2001. – 140 с.

Отримано редколегією 26.09.2018

А.Я. Калиновский, Р.И. Коваленко, О.С. Шевцова

Исследование уровня стабильности привлечения пожарно-спасательных подразделений города Харькова к обслуживанию вызовов

Предложено использовать в качестве показателя для оценки уровня стабильности привлечения сил и средств с пожарно-спасательных подразделений к обслуживанию вызовов в населенном пункте коэффициент вариации. Установлена сильная отрицательная корреляционная зависимость рассчитанных коэффициентов корреляции с показателями частоты выездов оперативных транспортных средств с пожарно-спасательных подразделений на обслуживание вызовов в населенном пункте. Проведена группировка пожарно-спасательных подразделений города Харькова по показателю интенсивности потока вызовов при использовании методов кластерного анализа.

Ключевые слова: пожарно-спасательное подразделение, оперативное транспортное средство, силы и средства, поток вызовов, математическая статистика.

A. Kalinovskiy, R. Kovalenko, O. Shevtsova

Investigation of the level of stability of attracting fire and rescue units of the city of Kharkov to service calls

It is proposed to use the coefficient of variation as an indicator for assessing the level of stability of attracting forces and assets from fire and rescue units to serving calls in a locality. A strong negative correlation has been established between the calculated correlation coefficients and the indices of the frequency of trips of operational vehicles from the fire and rescue units to service calls in the locality. A grouping of the fire and rescue units of the city of Kharkov was carried out according to the intensity of the call flow using cluster analysis methods.

Keywords: fire and rescue unit, operational vehicle, forces and means, call flow, mathematical statistics.