
УДК 355.588:[614.8:621.869.88]

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

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ ЧАСУ РЕАГУВАННЯ ПІДРОЗДІЛІВ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ

(представлено д.т.н. Тарасенком О.А.)

Основним показником рівня готовності аварійно-рятувальних формувань до проведення оперативних дій є час реагування на який впливає достатньо багато чинників. В роботі було удосконалено математичну модель оцінки часу реагування аварійно-рятувальних формувань на надзвичайні ситуації, яка дозволяє оцінювати даний показник при різних варіантах комплектування підрозділів оперативними транспортними засобами.

Ключові слова: час реагування, аварійно-рятувальне формування, оперативний транспортний засіб, оснащення підрозділів, надзвичайна ситуація.

Постановка проблеми. Забезпечення високого рівня готовності підрозділів аварійно-рятувальних формувань (АРФ) населених пунктів до виконання дій за призначенням, є умовою успішної ліквідації надзвичайних ситуацій (НС), що дозволяє також забезпечувати мінімально можливі показники ризику загибелі та травмування населення. На готовність підрозділів до виконання дій за призначенням значно впливає рівень їх оснащення оперативними транспортними засобами (ОТЗ). Рівень технічного оснащення підрозділів АРФ України на сьогодні можна вважати не задовільним. Значна частина парку ОТЗ, якими оснащені підрозділи має вичерпані терміни експлуатації, крім цього, технічне оснащення АРФ не відповідає в повній мірі поставленим перед ними завданням. Незадовільний технічний стан парку ОТЗ негативно впливає на ймовірність його безвідмовної роботи, а невідповідність технічного оснащення підрозділів АРФ по відношенню до покладених на них завдань створює проблему, яка полягає у виникненні час від часу потреби залучення необхідних видів спеціальних автомобілів із територіально віддалених підрозділів, що спричиняє затримку прибуття сил і засобів до місця виклику. Вирішення даної проблеми потребує оновлення наявного парку ОТЗ. Для забезпечення ефективного процесу технічного переоснащення АРФ необхідно застосовувати ризик-орієнтовний підхід з оцінкою можливого часу реагування підрозділів при тому чи іншому варіанті оснащення ОТЗ. Існуючі нормативні документи і методики не дозволяють реалізувати даний підхід, а тому розробка науково-технічних основ, які дозволяють

вирішити дане завдання можна вважати актуальним напрямком досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно [1] в США рівень готовності підрозділів АРФ до виконання дій за призначенням оцінює бюро страхових послуг ISO по шкалі від 1 до 10, тобто кожному пожежному департаменту присвоюється відповідна категорія. Одним із критеріїв оцінки ефективності АРФ, який враховує бюро страхових послуг ISO, є час прибуття підрозділів до місця виклику. Показник часу прибуття підрозділів АРФ до місця виклику визначається за результатами аналізу статистичних даних, які відображають процес їх функціонування. В залежності від категорії ISO, яка була присвоєна пожежному департаменту, населення відповідної адміністративно-територіальної одиниці сплачує різні страхові премії. У зв'язку з цим, в пріоритеті кожного пожежного департаменту США є підвищення ефективності реагування на НС з метою отримання вищої категорії ISO. Згідно [2, 3] рівень забезпечення пожежних департаментів США різними видами ОТЗ залежить від фінансових можливостей відповідних адміністративно-територіальних одиниць у віданні яких перебувають підрозділи АРФ, а загальний порядок комплектування ґрунтується на ризик-орієнтовному підході, що полягає у застосуванні методу експертних оцінок. Отже, при вирішенні завдань технічного оснащення або переоснащення АРФ ОТЗ в США спеціалізовані методики, які дозволяють врахувати можливий час реагування підрозділів на НС, в залежності від обраного варіанту їх комплектування, не використовуються.

Згідно [4] в країнах Євросоюзу при оснащенні підрозділів АРФ ОТЗ використовується підхід, який є аналогічним до того, що і у США, тобто ґрунтується на методі експертних оцінок та ризик-орієнтовному підході.

В дослідженнях [5] було запропоновано підхід до визначення необхідної чисельності сил та засобів з метою подальшої відправки їх до місця виклику, який ґрунтувався на основі нейромережевого прогнозування. За результатами даних досліджень було встановлено, що даний підхід є досить багатообіцяючим, але згідно [6] метод нейромережевого прогнозування має ряд вагомих недоліків, які обумовлюють складність його використання в діяльності підрозділів АРФ. Крім цього, даний метод не дозволяє врахувати ймовірний час реагування АРФ при виборі того чи іншого варіанту комплектування їх ОТЗ.

В роботі [7] було запропоновано підхід до оснащення підрозділів АРФ, який ґрунтується на математичному моделюванні. Суть даного підходу полягає у проведенні ймовірнісної оцінки залучення певних видів та чисельності ОТЗ з АРФ до ліквідації НС в населеному пункті і на основі цього виконання оснащення підрозділів. Математичні моделі,

які запропоновані в роботі [7] не дозволяють врахувати ймовірний час реагування підрозділів АРФ при різних варіантах комплектування їх ОТЗ.

В роботі [8] були запропоновані підходи до оцінки необхідних видів і чисельності ОТЗ на етапі їх відправки з АРФ до місця ліквідації НС, які дозволяють врахувати ймовірний час реагування. На основі даного підходу в роботі також було побудовано систему для підтримки прийняття рішення керівництвом ліквідації НС. Вирішити завдання, яке полягає у визначенні видів і чисельності ОТЗ для АРФ з метою їх технічного переоснащення підходи запропоновані в роботі [8] не дозволяють.

У роботі [9] було запропоновано методика визначення видів та чисельності парку ОТЗ для вирішення завдання технічного переоснащення підрозділів АРФ. Дана методика не враховує ймовірний показник часу реагування АРФ при різних варіантах їх комплектування ОТЗ.

Таким чином, існуючі підходи до оснащення підрозділів АРФ ОТЗ не дозволяють враховувати ймовірний показник часу реагування АРФ при різних варіантах їх комплектування спеціальною технікою.

В роботі [10] було розроблено математичну модель оцінки часу реагування АРФ на НС, яка за рахунок врахування коефіцієнту логічного показника, який відображає наявність певних типів автомобілів, платформ, кузовів-контейнерів і інших технічних засобів в підрозділах дозволяє дослідити вплив рівня їх технічного оснащення на час реагування. У зв'язку з тим, що ряд залежностей, які складають запропоновану в роботі [10] математичну модель наведені у загальному вигляді значно ускладнюється процедура її практичного застосування. Існує також необхідність її доповнення рядом обмежень для отримання більш адекватних результатів.

Постановка завдання та його вирішення. Метою даного дослідження є удосконалення математичної моделі оцінки часу реагування підрозділів на НС для створення можливості її подальшого використання при визначенні необхідних видів та чисельності ОТЗ в АРФ населених пунктів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: формалізувати ряд залежностей, які складають запропоновану в роботі [10] математичну модель оцінки часу реагування АРФ на НС, а також доповнити її рядом обмежень з метою отримання адекватних результатів.

У якості методів дослідження були використані системний аналіз, формалізація та синтез.

З метою удосконалення запропонованої в роботі [10] математичної моделі необхідно спершу детально проаналізувати її складові.

Математична модель оцінки часу реагування АРФ на НС представляє собою систему із трьох залежностей. Перша є залежністю

часу реагування $\tau_{\text{реагування}}$ від дистанції L і середньої швидкості прямування $V_{\text{ср.}}$, а також вектору параметрів $\{K_{\text{мр.}}\}$, який визначає характеристики маршруту руху ОТЗ по вулично-дорожній мережі. Друга є залежністю $\tau_{\text{реагування}}$ від функціоналу $\tilde{\psi}$, який враховує особливості фізико-географічних умов регіону та час затрачений АРФ на подолання перешкод, що ними спричинені, а також від показника максимальної відстані L_{max} по вулично-дорожній мережі від місця дислокації підрозділу до кордонів відповідного адміністративно-територіального району, який є його зоною відповідальності. Третя залежність визначає час реагування як добуток логічного показника $U_{\text{а/к}}$, який відображає наявність певних типів автомобілів, платформ, кузовів-контейнерів і інших технічних засобів у АРФ на суму трьох часових інтервалів. Математична модель має одне обмеження, яке полягає у тому, що

$$\tau_{\text{реагування}} > 0. \quad (1)$$

З метою формалізації першої залежності, враховуючи загальний порядок проведення оперативних робіт підрозділами АРФ, доцільним є її представлення у наступному вигляді

$$\tau_1 = \frac{L}{V_{\text{ср.}}} \cdot K_{\text{мр.}}, \quad (2)$$

де τ_1 – це час прямування ОТЗ з підрозділу без урахування впливів фізико-географічних умов та часу на виконання інженерних заходів АРФ щодо підготовки маршрутів руху до місця ліквідації НС, хвилин; $K_{\text{мр.}}$ – коефіцієнт, який визначає рівень впливу характеристик маршруту руху по вулично-дорожній мережі (кількість регульованих і нерегульованих перехресть, кількість поворотів вправо та вліво, ширина проїжджої частини, кількість смуг руху, інтенсивність руху транспортних потоків та ін.) на час прямування підрозділів АРФ до місця виникнення НС та знаходиться в наступних межах

$$0 < K_{\text{мр.}} \leq 1. \quad (2)$$

У випадку, якщо при оцінці маршруту руху було встановлено, що $K_{\text{мр.}} = 0$, тоді необхідно виконувати пошук альтернативного маршруту, бо у будь-якому випадку коефіцієнт $K_{\text{мр.}}$ повинен становити більше 0.

Функціонал $\tilde{\psi}$, у другій залежності можна представити у вигляді часу τ_A , який є сумою трьох часових періодів: часу подолання підйомів та спусків ОТЗ в процесі прямування до місця ліквідації НС – τ_{A1} ; часу

подолання водних перешкод ОТЗ – τ_{A2} ; часу проведення інженерних робіт підрозділами АРФ з метою підготовки шляхів руху – τ_{A3} .

Показник максимальної відстані L_{\max} по вулично-дорожній мережі від місця дислокації підрозділу до кордонів відповідного адміністративно-територіального району у другій залежності, доцільно представити у вигляді показника τ_B , який чисельно дорівнює середньому часу подолання відстані L_{\max} ОТЗ АРФ.

Отже друга залежність буде мати наступний вигляд

$$\tau_2 = \tau_A + \tau_B. \quad (3)$$

В математичну модель необхідно додати ще третю залежність, яка повинна у явному вигляді визначати час приведення в оперативну готовність підрозділу АРФ. Дана залежність має наступний вигляд

$$\tau_3 = \tau_{\text{дисп.}} + \tau_{\text{зб.в.}} + \tau_{\text{o/p}}, \quad (4)$$

де $\tau_{\text{дисп.}}$ – час диспетчеризації, хвилин; $\tau_{\text{зб.в.}}$ – час збору та виїзду особового складу, хвилин; $\tau_{\text{o/p}}$ – час виконання оперативного розгортання АРФ на місці ліквідації НС, хвилин.

З метою забезпечення адекватності математичної моделі її необхідно доповнити наступними обмеженнями

$$N_{\text{АРФ.i}}^{\text{a-н}} \geq 1, \quad (5)$$

$$N_{\text{АРФ.i}}^{\text{кк.п}} \geq 1, \quad (6)$$

де $N_{\text{АРФ.i}}^{\text{a-н}}$ – чисельність автомобілів-носіїв у і-му підрозділі АРФ; $N_{\text{АРФ.i}}^{\text{кк.п}}$ – чисельність кузовів-контейнерів з цільовим призначенням пожежогасіння у і-му підрозділі АРФ.

Введення обмежень (5) і (6) у математичну модель дозволяє її використовувати з метою оцінки часу реагування підрозділів АРФ при різних варіантах їх комплектування багатофункціональними мобільними аварійно-рятувальними комплексами зі знімними кузовами-контейнерами, а також іншими видами ОТЗ (у випадку підстановки у модель замість $N_{\text{АРФ.i}}^{\text{a-н}}$ показника, який відображає чисельність ОТЗ та вилучення обмеження (6)).

Оптимізація роботи АРФ може здійснюватися шляхом пошуку мінімального значення часу реагування.

Шляхом синтезу відповідних залежностей та врахування прийнятих обмежень удосконалена математична модель оцінки часу

реагування на НС АРФ, при використанні ними різних ОТЗ матиме наступний вигляд

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{\text{реагування}} = (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) \cdot U_{a/k}, \\ \tau_1 = \frac{L}{V_{\text{ср}}} \cdot K_{\text{мр}}, \\ \tau_2 = \tau_A + \tau_B, \\ \tau_3 = \tau_{\text{дисп.}} + \tau_{\text{зб.в.}} + \tau_{o/p}, \\ N_{\text{АРФ.і}}^{a-n} \geq 1, \\ N_{\text{АРФ.і}}^{\text{кк.п}} \geq 1, \\ \tau_{\text{реагування}} > 0, \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\Downarrow \Downarrow \Downarrow$$

$$\tau_{\text{реагування}} \rightarrow \min, \quad (8)$$

Висновки. Таким чином, удосконалена математична модель оцінки часу реагування АРФ на НС представляє собою систему із чотирьох залежностей та має три обмеження. Перша залежність визначає час реагування як добуток коефіцієнту логічного показника на суму трьох часових інтервалів. Друга залежність визначає перший часовий інтервал як залежність часу реагування від дистанції і середньої швидкості прямування, а також коефіцієнту, який визначає рівень впливу характеристик маршруту руху по вулично-дорожній мережі на час прямування підрозділів АРФ до місця виникнення НС. Третя залежність визначає другий часовий інтервал, який є залежністю часу реагування від показників, які характеризують собою час затрачений підрозділами АРФ на подолання перешкод, що спричинені фізико-географічними умовами, а також часу прямування сил та засобів з підрозділу АРФ по вулично-дорожній мережі населеного пункту до найбільш територіально віддаленої точки, яка знаходиться на кордоні відповідного адміністративно-територіального району і відноситься до району обслуговування даного підрозділу. Четверта залежність визначає час приведення в оперативну готовність підрозділу АРФ як суму часу диспетчеризації, часу збору і виїзду та часу оперативного розгортання. Оптимізація роботи АРФ може здійснюватися шляхом пошуку мінімального значення часу реагування. У подальшому планується провести обґрунтування можливості доставки спеціалізованих знімних кузовів-контейнерів з місць їх постійної дислокації різними видами транспорту до місця ліквідації НС за умов мінімальних фінансових затрат та мінімального часу реагування, що буде потребувати також подальшого удосконалення розробленої математичної моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fire Suppression Rating Schedule (FSRS) Overview [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.isomitigation.com/fsrs/fire-suppression-rating-schedule-fsrs-overview.html> (Last accessed: 05.01.2018). – Title from the screen.
2. Demountable Container Systems for Emergency Services [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.fireapparatusmagazine.com/articles/print/volume-20/issue-4/features/demountable-container-systems-for-emergency-services.html> (Last accessed: 05.01.2018). – Title from the screen.
3. Pod System for technical rescue trucks [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.fireengineering.com/articles/print/volume-156/issue-12/departments/technology-today/pod-system-for-technical-rescue-trucks.html> (Last accessed: 05.01.2018). – Title from the screen.
4. Les services d'incendie et de secours [Ressource électronique]. – Mode d'accès: https://www.senat.fr/lc/lc85/lc85_mono.html (date du traitement: 05.01.2018). – Titre de l'écran.
5. Ali S-N. Modeling number of firefighters responding to an incident using artificial neural networks [Electronic resource] / S-N. Ali, A. Asgary // International Journal of Emergency Services. – 2013. – Vol. 2, Issue 2. – P. 104-118. – Access mode: <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/IJES-03-2012-0001> (Last accessed: 05.01.2018). – Title from the screen.
6. Бренич Я.В. Нейромережеві методи розв'язання задач класифікації / Я.В. Бренич, П.В. Тимошук // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.13. – С. 343–349.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Калиновський А.Я. Розробка математичної моделі визначення часу реагування аварійно-рятувальних формувань на локальні надзвичайні ситуації / А.Я. Калиновський, Р.І. Коваленко // Зб. наук. праць «Пожежна безпека». – Львів: ЛДУ БЖД, 2017. – №31. – С. 43–48.

А.Я. Калиновский, Р.И. Коваленко

Совершенствование математической модели оценки времени реагирования подразделений на чрезвычайные ситуации

Основным показателем уровня готовности аварийно-спасательных формирований к проведению оперативных действий является время реагирования на которое влияет достаточно много факторов. В работе была усовершенствована математическая модель оценки времени реагирования аварийно-спасательных формирований на чрезвычайные ситуации, которая позволяет оценивать данный показатель при различных вариантах комплектования подразделений оперативными транспортными средствами.

Ключевые слова: время реагирования, аварийно-спасательное формирование, оперативное транспортное средство, оснащение подразделений, чрезвычайная ситуация.

A.Ya. Kalinovsky, R.I. Kovalenko

Improvement of mathematical model of estimation of reaction time of units for emergency situations

The mathematical model of the estimation of the reaction time of rescue units in emergency situations was improved in the work, which allows us to evaluate this indicator for various variants of their equipment by vehicles. As a research method, system analysis, formalization and synthesis were used. An improved mathematical model for assessing the response time of rescue units in emergencies is a system of four dependencies and has three limitations. The first dependence defines the response time as the product of the logic coefficient for the sum of three time intervals. The second dependence defines the first time interval as the dependence of the response time on the distance and the average speed, as well as the coefficient, which determines the level of influence of the characteristics of the traffic route on the road network for the time of movement of the rescue units to the place of emergency. The third dependence defines a second time interval, which is the dependence of the response time on the values that characterize the time spent by the rescue units on overcoming the obstacles caused by the physical and geographical conditions, as well as the time of movement of forces and means from the unit to the most territorially remote point, which is at the border of the relevant settlement and belongs to the area of responsibility of this unit. The fourth dependence determines the timing of bringing the rescue unit into operational readiness as a sum of scheduling time, time of collection and departure and time of deployment. Optimization of the operation of the rescue unit can be achieved by finding the minimum response time.

Keywords: reaction time, emergency rescue formation, operational vehicle, unit equipment, emergency situation.