

О.А. Бурменко, Р.І. Шевченко

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ФОРМУВАННЯ ЕКСПЕРТНО-СТАТИСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИРОДНОГО ТА ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ У МЕЖАХ ОПЕРАТИВНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО ПІДРОЗДІЛУ

В роботі розглянута проблема формування експертно-статистичної математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру виходячи із оперативних можливостей територіального підрозділу.

Під час дослідження сформоване коло функціональних обмежень яке дозволяє чітко визначити фізичне поле існування математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій та параметризувати кількість залежних та незалежних змінних у аналітичних рівняннях зв'язку.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості розробити, на базі сформованої математичної моделі, методу розрахунку оперативного потенціалу та оперативної здатності територіального підрозділу, виходячи з наявних та прогнозних рівнів потенційної небезпеки природного, техногенного, соціального та воєнного характеру та врахувати їх взаємовплив.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, оперативний потенціал, оперативна здатність, математичне моделювання

Актуальність проблеми

Постійно зростаючий рівень небезпеки природного, техногенного, соціального та воєнного характеру вимагає проведення постійних комплексних заходів, які направлені на підвищення функціональної ефективності Державної служби України з питань надзвичайних ситуацій [1]. Ці заходи класифікуються, як за рівнем організації (об'єктові, місцеві, регіональні, державні), так і за методами їх реалізації (організаційні, оперативні, інженерні, інформаційні).

Всебічне виконання наведених заходів визнається наявним оперативним потенціалом основних підрозділів щодо реалізації функцій за призначенням, та можливостями допоміжних підрозділів забезпечити високий рівень оперативної здатності основних підрозділів. На сьогодні в ДСНС України відсутня єдина методика розрахунку потреб оперативного потенціалу та оперативної здатності основних підрозділів, яка б базувалася на сучасній уяві процесів попередження надзвичайних ситуацій та відповідному математичному апараті.

Таким чином, формування математичного апарату з визначення потреб та оперативних можливостей територіальних підрозділів з урахуванням існуючих на сьогодні прогнозних методик з оцінки динаміки зміни рівня природної, техногенної, соціальної та воєнної територіальної небезпеки є актуальною задачею дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблема дослідження та розрахунку ефективності залучення оперативного потенціалу аварійно-рятувальних підрозділів – одна з найскладніших, що вирішуються менеджерами підприємств та працівниками управління територіальними підрозділами реагування на надзвичайні ситуації [2]. Науковим підґрунтям ефективних дій з цього напрямку слід вважати низку фундаментальних робіт з моделювання операцій пожежогасіння через моделювання потоків дискретних викликів [3-5], моделювання розподілу ресурсів для проведення заходів з ліквідації пожеж різного характеру походження та протікання [6-8], моделювання процесу прийняття стратегічних з використанням еволюційних алгоритмів в задачах ліквідації пожеж [9-11]. Як бачимо оперативні завдання основних підрозділів іншого характеру розглядаються не системно та без їх взаємовпливу на рівень, як оперативного потенціалу, так і оперативної здатності. Питання прогнозування виникнення територіальних небезпек [12,13] хоч і розглянуті дослідниками у досить повній мірі, з рівнем оперативного потенціалу та оперативної здатності не пов'язувався. Такий підхід не дозволяє використовувати наявний математичний апарат та потребує досліджень з його удосконалення, апробації, визначення його достовірності та адекватності щодо вирішення наявних задач підрозділів управління.

Мета та завдання дослідження

Виходячи з наведеного, метою дослідження є формування експертно-статистичної математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру виходячи із оперативних можливостей територіального підрозділу.

Для забезпечення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Визначити основні теоретичні положення методологічного апарату та функціональні обмеження фізичного поля існування шуканої експертно-статистичної математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій зазначеного характеру.

2. На базі отриманих припущень сформувати експертно-статистичну математичну модель попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру у межах оперативних можливостей територіального підрозділу.

Виклад основного матеріалу

Формування експертно-статистичної моделі попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру в межах оперативних можливостей територіального підрозділу вимагає, насамперед, розгляду поля її фізичного існування. Останнє характеризується наявними припущеннями, які потребують чіткого визначення.

Для їх формування необхідно ввести наступні визначення:

- оперативний потенціал – узагальнена числова характеристика функціональних можливостей основних підрозділів ДСНС України у повному обсязі виконувати покладені за напрямком спеціалізації;
- оперативна здатність – узагальнена числова характеристика основних оперативних підрозділів виконувати оперативні завдання за напрямком спеціалізації;
- оперативна можливість – нормований показник розрахований як множина нормованого оперативного потенціалу та нормованої оперативної здатності основних підрозділів ДСНС України у повному обсязі виконувати покладені за напрямком спеціалізації.

По-перше, надзвичайні ситуації природного та техногенного характеру до регіонального рівня поширення включно, це надзвичайні ситуації, які локалізуються та остаточно ліквідуються функціональними можливостями оперативного потенціалу територіального підрозділу без залучення додаткових сил та засобів.

По-друге, функціональною основою оперативного потенціалу територіального підрозділу регіонального рівня є наявний особовий склад, рівень

якого характеризується наявними професійними знаннями та навичками.

По-третє, технічне та інфраструктурне забезпечення функціональної основи оперативного потенціалу є відображенням вимог діючих норм щодо забезпечення ефективності дій особового складу оперативного потенціалу. Наявність останніх, у повній мірі, залежить лише від часу їх поетапного введення в експлуатацію.

У четвертих, оперативна здатність оперативного потенціалу територіального підрозділу регіонального рівня визначається наявним особовим складом підрозділів забезпечення, рівень якого характеризується наявними професійними знаннями та навичками.

В межах сформованих припущень фізичне поле формування шуканої математичної моделі має графічний вигляд рис.1.

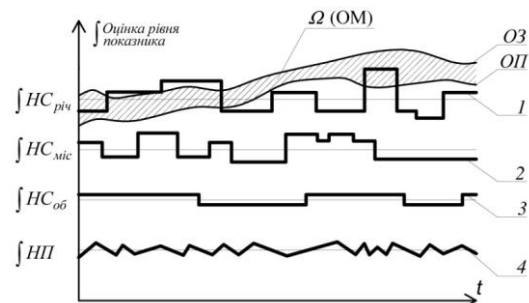


Рис. 1. Графічна уява фізичного поля формування експертно-статистичної математичної моделі попередження НС природного та техногенного характеру в межах територіальній підрозділу реагування.

На рис.1 наведені наступні визначення $\int НП, \int НС_{об}, \int НС_{міс}, \int НС_{рiч}$ - інтегральна оцінка рівня небезпеки виникнення надзвичайних подій та надзвичайних ситуацій різного рівня в межах відповідальності територіального підрозділу лінії (1,2,3,4) – фактичний рівень небезпеки виникнення НС та НП відповідного рівня поширення; ОП, ОЗ – динаміка зміни оперативного потенціалу та оперативної здатності основних підрозділів територіальної підпорядкованості до дій за призначенням Ω (ОМ) – динаміка зміни оперативних можливостей підрозділів територіальної підпорядкованості до дій за призначенням.

Тоді за існуючої системи класифікації, НС настання НС відповідного рівня обумовлено досягненням одного або кількома наслідками одночасно відповідного рівня, як-то об'єктового, місцевого, регіонального за виразом (1):

$$q_i > q_i^{[pec]} > q_i^{[mic]} > q_i^{[ob]}, \quad (1)$$

за умови $i=1 \dots 6$

де $q_i^{[pez]}$, $q_i^{[mic]}$, $q_i^{[ob]}$ - межі наслідків НС, які відповідають відповідному рівню в межах існуючої класифікації; i - номер наслідку, а саме (1 – територія поширення, 2 – кількість жертв, 3 – кількість постраждалих, 4 – кількість осіб з порушенням умов життєдіяльності, 5 – прямі збитки, 6 – затрати на ліквідацію).

З урахуванням наведених припущень вираз (1) слід доповнити наступним чином (2), що в цілому відповідає умові існування шуканій математичній моделі:

$$OM_{тер} \geq q_i > q_i^{[pez]} > q_i^{[mic]} > q_i^{[ob]}, \quad (2)$$

де $OM_{тер}$ - оперативні можливості територіального підрозділу щодо попередження НС природного та техногенного характеру без додаткового залучення сил та засобів.

У свою чергу $OM_{тер}$ - це якісна сума оперативних можливостей підрозділів місцевого рівня (OM_{mic}) підпорядкування, що визначається рівнянням (3):

$$OM_{тер} = \sum_{K=1}^{M_{тер}} (OM_{mic}), \quad (3)$$

де $M_{тер}$ - кількість оперативних підрозділів місцевого підпорядкування.

Відповідно OM_{mic} - визначаються, як множина оперативного потенціалу (OP_{mic}) та оперативної здатності (OZ_{mic}) - основних підрозділів до виконання завдань за призначенням за виразом (4):

$$OM_{mic} = OP_{mic} \cdot OZ_{mic}, \quad (4)$$

Враховуючи різну фізичну сутність складників порівняння (2) на далі слід оперувати нормованими величинами, що фактично дозволяє переписати рівняння (2) до виду (5) з більш жорсткою умовою існування:

$$OM_{тер}^{np} \geq \sum_{i=1}^6 q_i^{npтер}, \quad (5)$$

де $OM_{тер}^{np}$, $q_i^{npтер}$ - нормовані величини відповідних показників рівняння.

У свою чергу $q_i^{тер}$ визначається як відображення ($f_{неб}$) низки факторів безпеки за всіма її можливими проявами на території функціонування основних оперативних підрозділів у відповідності до виразу (6):

$$q_i^{тер} = f_{неб}(\varphi_{прир}^{тер}, \varphi_{тех}^{тер}, \varphi_{соц}^{тер}, \varphi_{возн}^{тер}), \quad (6)$$

де $\varphi_{прир}^{тер}$, $\varphi_{тех}^{тер}$, $\varphi_{соц}^{тер}$, $\varphi_{возн}^{тер}$ - нормативні чинники безпеки за відповідними проявами, що мають місце на території функціонування основних оперативних підрозділів.

З іншого боку OP_{mic} та OZ_{mic} є відповідними відображеннями (f_{OP}) та (f_{OZ}) низки параметрів, що формують кількісну та якісну характеристику останніх, а саме відповідно до виразу (7) та (8):

$$OP_{mic} = f_{ПО}(\Psi_{пкос}^{mic}, \Psi_{пясос}^{mic}, \Psi_{пнтз}^{mic}, \Psi_{пінф}^{mic}), \quad (7)$$

$$OZ_{mic} = f_{OZ}(\Psi_{зкос}^{mic}, \Psi_{зясос}^{mic}, \Psi_{знтз}^{mic}, \Psi_{зінф}^{mic}), \quad (8)$$

де $\Psi_{пкос}^{mic}$ - нормований параметр щодо кількісної відповідності особового складу основних підрозділів, $\Psi_{пясос}^{mic}$ - нормований параметр щодо якісної відповідності особового складу основних підрозділів; $\Psi_{пнтз}^{mic}$ - нормований параметр щодо повноти технічного забезпечення основних підрозділів, $\Psi_{пінф}^{mic}$ - нормований параметр щодо повноти інфраструктурного забезпечення основних підрозділів; $\Psi_{зкос}^{mic}$, $\Psi_{зясос}^{mic}$, $\Psi_{знтз}^{mic}$, $\Psi_{зінф}^{mic}$ - аналогічні нормовані параметри стосовно підрозділів забезпечення, функціонування, яких визначає рівень оперативної здатності основних підрозділів.

Відповідно шукана експертно-аналітична модель попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру в межах оперативних можливостей територіального підрозділу описується системою, яка складається з рівнянь (4), (6), (7) та (8) та умовою (5).

Слід зазначити, що система рівнянь має невідповідність за кількістю параметрів та рівнянь, що передбачає у якості наступного шагу - рішення низки окремих експертно-статистичних задач, та формування системи рівнянь відповідно параметрів $\Psi_{пкос}^{mic}$ та $\Psi_{зкос}^{mic}$ в якості основних, у наступному вигляді (9):

$$\begin{cases} OM_{тер}^{np}(\Psi_{пкос}^{mic}, \Psi_{зкос}^{mic}, t_{рез}) \geq \sum_{i=1}^6 q_i^{npтер}(t) \\ q_i^{npтер}(t) = f_{неб}^{тер}(t, \Omega_{неб}^{тер}(\varphi_{прир}^{тер}, \varphi_{тех}^{тер}, \varphi_{соц}^{тер}, \varphi_{возн}^{тер})) \\ OM_{тер}^{np} = f_{\Omega}^{тер}(\Omega(\Psi_{пкос}^{mic}), \Omega(\Psi_{зкос}^{mic}), t_{рез}) \\ t_{рез} = f_{реал}^{тер}(\Psi_{пясос}^{mic}, \Psi_{пнтз}^{mic}, \Psi_{пінф}^{mic}, \Psi_{зясос}^{mic}, \Psi_{знтз}^{mic}, \Psi_{зінф}^{mic}) \end{cases} \quad (9)$$

Таким чином експертно-статична математична модель попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру в межах оперативних можливостей територіального підрозділу складається з чотирьох аналітичних залежностей.

Перша описує досягнення необхідного рівня безпеки території та населення у відповідності до існуючого співвідношення потенційної небезпеки від наслідків НС та оперативних можливостей територіального підрозділу з її протидії.

Друга встановлює залежність потенційної небезпеки наслідків НС різного характеру від часу та рішення окремої експертно-аналітичної задачі з прогнозування потенційного рівня небезпеки в межах функціонування територіального підрозділу.

Третя дозволяє визначити нормований показник оперативної можливості відповідно, до рішення окремих експертно-статичних задач з оцінки оперативного потенціалу $\Omega(\Psi_{\text{пкос}}^{\text{міс}})$ та оперативної здатності $\Omega(\Psi_{\text{зкос}}^{\text{міс}})$ та часу $t_{\text{рез}}$ на їх практичну реалізацію в умовах четвертої параметричної залежності, яка визначає час необхідний до досягнення відповідного функціонального рівня оперативних можливостей територіального підрозділу.

Висновки

В роботі вирішена актуальна задача з формування експертно-статистичної математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру виходячи із оперативних можливостей територіального підрозділу.

Сформоване коло функціональних обмежень дозволяє чітко визначити фізичне поле існування математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій та у подальшому чітко параметризувати кількість залежних та незалежних змінних у аналітичних рівняннях зв'язку.

Сформована експертно-статистична модель дозволяє у подальшому розробити методіку розрахунку оперативного потенціалу та оперативної здатності територіального підрозділу, виходячи з наявних та прогнозних рівнів потенційної небезпеки природного, техногенного, соціального та воєнного характеру та врахувати їх взаємовплив. Особливостями такого підходу є можливість у якості математичного апарату для розрахунку прогнозних показників небезпеки використовувати вже відомі та апробовані підходи, що в цілому забезпечить високий рівень достовірності кінцевих результатів застосування експертно-статистичної математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру в межах оперативних можливостей територіального підрозділу.

Література

1. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2018 рік. [Електронний ресурс] - Київ. 2019. Режим доступу: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v-Ukrayini-za-2018-rik.html>
2. Шевченко, Р. І. Визначення теоретичних основ інформаційно-комунікативного підходу до формування та аналізу систем моніторингу надзвичайних ситуацій. [Текст] / Р.І. Шевченко // Системи обробки інформації. 2016. 5 (142). С. 202–206.
3. Aleisa, Esra, and Mehmet Savsar. (2014) Modeling of Firefighting Operations through Discrete Event Simulation. *International Journal of Computer Theory and Engineering* 5.4. 678.
4. Lee, Yohan, Byungdoo Lee, and Kyung Ha Kim. (2014) Optimal spatial allocation of initial attack resources for firefighting in the republic of Korea using a scenario optimization model. *Journal of Mountain Science* 11.2, 323-335.
5. Clarke, Alastair, and John Christopher Miles. (2012) Strategic Fire and Rescue Service decision making using evolutionary algorithms. *Advances in Engineering Software* 50, 29-36.
6. Castillo, E., and Francisco Rodriguez. (2015) Determining responsetimes for the deployment of terrestrial resources for fighting forestfires: A case study: Mediterranean-Chile. *Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura* 42.1. 97-107.
7. Claridge, Ed, and Michael Spearpoint. (2013) New Zealand fire service response times to structure fires. *Procedia engineering* 62. 1063-1072.
8. Tabirca, Sabin, Laurence, T. Yang, and Tatiana Tabirca. (2015) Fire Hazard Safety Optimization. *Procedia Computer Science* 51. 2759-2763
9. Miles, JC, Sisk, G, Moore, CJ. (2001) The conceptual design of commercial buildings using a genetic algorithm. *Comput Struct.* 79 :1583–92.
10. Shaw, D, Miles, J, Gray, A. (2008) Determining the structural layout of orthogonal framed buildings. *Comput Struct.* 86:1856–64.
11. Coello Coello, C, Rivera, D, Cortes, N. (2004) Job shop selection using the clonal selection principle. In: Parmee I, editor. *ACDM VI*. 113–24.
12. Stalker, ID, Bates, RA. (2006) Informing the design of special section roll sets. In: Parmee I, editor. *ACDM VII*. 81–90.
13. Bovenkamp, E, Dijkstra, J, Bosch, J, Reiber J. (2004) Multi-agent segmentation of IVU Simages. *Pattern Recog.* 37(4):647–63.

References

1. Analitichnyi ohliad stanu tekhnogennoi ta pryrodnoi bezpeky v Ukraini za 2018 rik (2019). Kyiv. Retrieved from: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v-Ukrayini-za-2018-rik.html>
2. Shevchenko, R. I. (2016). Vyznachennia teoretychnykh osnov informatsiino-komunikatyvnoho pidkhodu do formuvannia ta analizu system monitorynhu nadzvychnykh sytuatsii. *Systemy obrobky informatsii*. 5 (142), 202–206.
3. Aleisa, Esra, and Mehmet Savsar. (2014) Modeling of Firefighting Operations through Discrete Event Simulation.

International Journal of Computer Theory and Engineering 5.4. 678.

4. Lee, Yohan, Byungdoo Lee, and Kyung Ha Kim. (2014) Optimal spatial allocation of initial attack resources for fire-fighting in the republic of Korea using a scenario optimization model. *Journal of Mountain Science* 11.2, 323-335.

5. Clarke, Alastair, and John Christopher Miles. (2012) Strategic Fire and Rescue Service decision making using evolutionary algorithms. *Advances in Engineering Software* 50, 29-36.

6. Castillo, E., and Francisco Rodriguez. (2015) Determining response times for the deployment of terrestrial resources for fighting forest fires: A case study: Mediterranean-Chile. *Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura* 42.1. 97-107.

7. Claridge, Ed, and Michael Spearpoint. (2013) New Zealand fire service response times to structure fires. *Procedia engineering* 62. 1063-1072.

8. Tabirca, Sabin, Laurence, T. Yang, and Tatiana Tabirca. (2015) Fire Hazard Safety Optimization. *Procedia Computer Science* 51. 2759-2763

9. Miles, JC, Sisk, G, Moore, CJ. (2001) The conceptual design of commercial buildings using a genetic algorithm. *Comput Struct.* 79 :1583-92.

10. Shaw, D, Miles, J, Gray, A. (2008) Determining the structural layout of orthogonal framed buildings. *Comput Struct.* 86:1856-64.

11. Coello Coello, C, Rivera, D, Cortes, N. (2004) Job shop selection using the clonal selection principle. In: Parmee I, editor. ACDM VI. 113-24.

12. Stalker, ID, Bates, RA. (2006) Informing the design of special section roll sets. In: Parmee I, editor. ACDM VII. 81-90.

13. Bovenkamp, E, Dijkstra, J, Bosch, J, Reiber J. (2004) Multi-agent segmentation of IVU Simages. *Pattern Recog.* 37(4):647-63.

Рецензент: д.т.н., професор, головний науковий співробітник наукового відділу з проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки науково-дослідного центру О.Є. Басманов, Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

Автор: БУРМЕНКО Олександр Анатолійович
ад'юнкт наукового відділу проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки
Національний університет цивільного захисту України
E mail – polik.funny@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5014-2678>

Автор: ШЕВЧЕНКО Роман Іванович
доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник наукового відділу проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки
Національний університет цивільного захисту України
E mail – shevchenko605@i.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9634-6943>

FORMATION OF EXPERT-STATISTICAL MODEL FOR THE PREVENTION OF EXTRAORDINARY SITUATIONS OF NATURAL AND TECHNOGENIC NATURE IN THE LIMITS OF OPERATING POSSIBILITIES

O. Burmenko, R. Shevchenko

National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

The problem of formation of expert-statistical mathematical model of prevention of natural and man-made emergencies based on the operational capabilities of the territorial unit is considered in the work. During the study, a set of functional constraints was formed that allows to clearly define the physical field of existence of a mathematical model of emergency prevention and to parameterize the number of dependent and independent variables in analytical communication levels.

The established expert-statistical model allows to further develop a methodology for calculating operational potential and operational capacity of a territorial unit, based on the existing and forecast levels of potential danger of natural, man-made, social and military nature and take into account their mutual influence.

Expert-static mathematical model of prevention of natural and man-made emergencies within the operational capabilities of the territorial unit consists of four analytical dependencies.

The first describes the achievement of the required level of security of the territory and the population in accordance with the existing ratio of potential danger from the consequences of the emergency and the operational capabilities of the territorial unit to counter it. The second establishes the dependence of the potential danger of the consequences of the NA of different nature on the time and the decision of a separate expert-analytical task to predict the potential level of danger within the functioning of the territorial unit. The third allows to determine the normalized index of operational capability in accordance with the decision of individual expert-static tasks on the assessment of operational potential and operational capacity and time for their practical implementation in the conditions of the fourth parametric dependence, which determines the time required to reach the appropriate functional level of operational capabilities of the territorial unit.

The peculiarities of this approach is the ability as a mathematical apparatus to calculate the predicted risk indicators to use already known and tested approaches, which in general will provide a high level of reliability of the end results of the use of expert-mathematical model of natural and man-made emergency prevention within the operational area within the operational area under operational conditions.

Keywords: emergency, operational potential, operational capacity, mathematical modeling