

УДК 395.424

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524-2636.2020.4.2.-29-34>

*В. І. Коцюруба, д-р техн. наук, професор, заслужений винахідник України,
Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського,
С. О. Ганненко,
Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського*

ІМІТАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ АВАРІЙНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ НА ОБ'ЄКТАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

В статті розглянуто розроблену імітаційно-аналітичну модель функціонування організаційно-технічної системи підтримки аварійно-відновлювальних робіт на об'єктах критичної інфраструктури, яка представлена у вигляді напівмарківського процесу та ґрунтується на комплексному врахуванні імовірнісних показників настання подій та імовірності переходу системи зі стану до стану.

Захист критичної інфраструктури спрямований на своєчасне виявлення, запобігання і нейтралізацію загроз безпеці об'єктів критичної інфраструктури, а також мінімізацію та ліквідацію наслідків у разі їх реалізації.

Також, у статті розглянуто ряд проблемних питань з виникнення надзвичайних ситуацій воєнного характеру, які негативно впливають на об'єкти критичної інфраструктури.

***Ключові слова:** організаційно-технічна система, аварійно-відновлювальні роботи, об'єкти критичної інфраструктури, напівмарковський процес.*

Постановка проблеми. Досвід локальних війн та збройних конфліктів дає підстави вважати, що з початком збройного протистояння будуть зруйнування (як навмисні, так і супутні) промислових, енергетичних, транспортних та військових об'єктів. У кожному випадку їх масштаби будуть обумовлені геостратегічним положенням району конфлікту, оперативнотактичною доцільністю їх зруйнування.

Сучасним операціям притаманні певні риси, з яких, одними з основних є випередження противника та досягнення оперативної раптовості за рахунок початку операцій обмеженим складом сил і засобів до завершення оперативного розгортання всього угруповання та ведення бойових дій у густонаселених районах місцевості (населених пунктах).

Отже особливостями будь-яких операцій (бойових дій) є те, що під час їх ведення виникають надзвичайні ситуації воєнного характеру (НС) [1], як результат супутнього або навмисного руйнування об'єктів інфраструктури з порушенням міжнародного гуманітарного права.

Проведення аварійно-відновлювальних робіт (АВР) супроводжується певними процесами підтримки, до яких належить забезпечення режиму припинення вогню (РПВ) та гуманітарного розмінування (ГР).

Збройна агресія і порушення територіальної цілісності України, нарощування військового потенціалу Російської Федерації у безпосередній близькості до державного кордону України, а також наявність на території України потенційно-небезпечних об'єктів викликає особливе занепокоєння стосовно спланованого або супутнього їх зруйнування у ході ведення операцій військ (сил).

Під час протистояння збройній агресії і відновлення територіальної цілісності одним із завдань Збройних сил України (ЗС України) є підготовка до ведення операцій військ (сил) в умовах супутнього зруйнування важливих об'єктів критичної інфраструктури та виникнення надзвичайних ситуацій воєнного характеру (НС) [2], що в свою чергу підкреслює актуальність обраної теми дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз відкритих джерел [3-8] показав, що основна кількість праць, присвячених ліквідації наслідків НС [3, 4] окреслює загальні підходи захисту населення від них, висвітлює пріоритетні напрями державної політики у сфері цивільного захисту та механізми їх реалізації, врахування яких дозволить підвищити рівень надійності єдиної державної системи цивільного захисту у мирний час.

У свою чергу роботи військових вчених [5-8] відображають проведення комплексного дослідження можливих масштабів і наслідків надзвичайних ситуацій, їх вплив на ЗС України, відповідності військ (сил) умовам надзвичайних ситуацій, забезпечення сумісності з іншими силами центральних і місцевих органів виконавчої влади, що приймають участь у ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та розробки нових наукових підходів до організації застосування ЗС України під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій з урахуванням ризику для цивільного населення.

Таким чином у відомих, доступних публікаціях та дослідженнях задача моделювання та оцінювання ефективності функціонування організаційно-технічної системи підтримки аварійно-відновлювальних робіт (СПАВР) на об'єктах критичної інфраструктури не ставилась, а отже і не вирішувалась.

Формулювання цілей статті.

Метою статті є оприлюднення розробленої імітаційно-аналітичної моделі функціонування СПАВР, яка представлена у вигляді напівмарківського процесу.

Ефективність функціонування СПАВР пропонується оцінювати за величиною ймовірності виконання комплексу робіт, що виконується протягом заданого часу. Для оцінки впливу на значення якісних показників виконання АВР в умовах ведення бойових дій за рахунок проведення комплексу організаційно-технічних заходів використано запропонований підхід [9].

Для цього, розглянемо розроблену в роботі напівмарківську модель функціонування СПАВР [10].

У загальному підході постановка задачі щодо моделювання функціонування СПАВР може бути здійснена у такий спосіб. Нехай процес функціонування СПАВР описується за допомогою деякої фізичної системи S , яка може перебувати в одному із наступних станів: S_0 – система розгорнута, підготовлена до функціонування; S_1 – отримано заявку на забезпечення РПВ та ГР під час проведення АВР; S_2 – відправлення заявки на погодження протилежною стороною; S_3 – отримано погодження заявки протилежною стороною; S_4 – заявка, не погоджена протилежною стороною; S_5 – повідомлення замовника АВР про відмову або неможливості задоволення заявки; S_6 – отримання погодження органу управління силами і засобами своєї сторони; S_7 – прийняття рішення щодо забезпечення підтримки АВР на пріоритетних об'єктах критичної інфраструктури; S_8 – орган управління силами і засобами своєї сторони поставив завдання підрозділам родів військ щодо забезпечення РПВ та інженерним підрозділам щодо проведення ГР; S_9 – прийняття рішення щодо забезпечення підтримки АВР на непріоритетних ділянках; S_{10} – орган управління силами і засобами своєї сторони поставив завдання щодо забезпечення підтримки АВР на лінії розмежування сторін та передових районів нижчій військовій ланці управління; S_{11} – орган управління силами і засобами своєї сторони поставив завдання щодо забезпечення РПВ та щодо проведення ГР підрозділам ДСНС у тилкових районах; S_{12} – організовано взаємодію щодо забезпечення РПВ зі спостережними групами та представниками ОБСЄ; S_{13} – розпочато РПВ під час ГР та АВР; S_{14} – проведено ГР ділянок навколо об'єктів, на яких передбачається проведення АВР; S_{15} – безпосереднє проведення АВР; S_{16} – АВР завершено, здійснено доповідь про

результати; S_{17} – припинено РПВ під час ГР або АВР зірвано внаслідок вогневого впливу противника.

Орієнтований граф переходів системи $S = \{S_0, S_1, \dots, S_{17}\}$ з одного стану в інший під час розмінування наведено на рисунку 1.

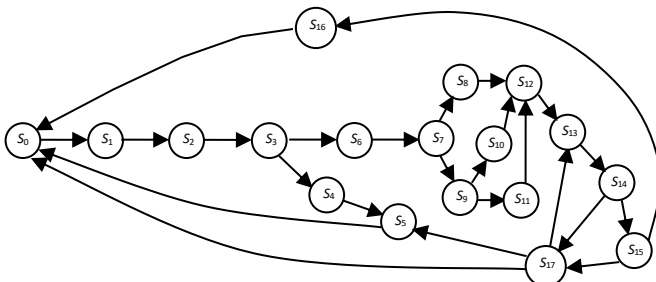


Рисунок 1 – Орієнтований граф станів СПАВР

Для визначення показників ефективності функціонування СПАВР як системи S оцінимо ймовірність його перебування у момент часу t в одному із станів S_i при умові, що у початковий момент часу комплекс перебував у стані S_j ($i, j = 0, 2, \dots, 17$).

Як відомо, ідентична задача розглядалася у роботі [9], де моделювання функціонування воєнно-інженерного комплексу засобів інженерного озброєння запропоновано проводити за допомогою марковського процесу із дискретною множиною станів та безперервним часом. На відміну від роботи [9], для СПАВР будемо вважати, що перехід системи S із одного стану в інший відбувається наступним чином:

у початковий момент часу $t = 0$ система перебуває у стані S_1 деякий випадковий час Q_1 (відлік часу починається з моменту роботи СПАВР). Тобто це час, який система S перебуває у стані S_0 до переходу у стан S_1 з довільною функцією розподілу $F_{01}(t)$;

перехід системи S зі стану S_i у стан S_j відбувається з ймовірністю $p_{ij} \geq 0$,
 $\sum_{j \in S} p_{ij} = 1$ для $j \in S$;

якщо зі стану S_i відбувся перехід у стан S_j , то в цьому стані система перебуває випадковий час Q_i із довільною функцією розподілу $F_{ij}(t)$ тощо.

Тоді згідно [10], математичною моделлю, яка описує процес функціонування СПАВР, є напівмарковський процес $\{v(t), t \geq 0\}$. Виходячи із [10], цей процес задамо конструктивно за допомогою початкового розподілу

$$p = \{p_i, i \in S\} (i = 1, 2, \dots, 10), \quad (1)$$

та напівмарковської матриці

$$Q_{ij}(t) = p_{ij} F_{ij}(t) = P_i \{v(t) = S_j, Q_{ij} \leq t\} \quad (2)$$

Тоді розв'язання задачі зводиться до визначення ймовірностей:

$$P_{ij}(t) = P_i \{v(t) = S_j / v(0) = S_i\} (i, j = 0, 2, \dots, 17), \quad (3)$$

які згідно із [10] відповідають наступній системі лінійних інтегральних рівнянь:

$$P_{ij}(t) = \delta_{ij} [1 - F_i(t)] + \sum_{k \in S_0} \int_0^t Q_{ik}(du) P_{kj}(t-u), \quad (4)$$

$$F_i(t) = \sum_j Q_{ij}(t) = \sum_j p_{ij} F_{ij}(t) = P_i(\theta_i < t),$$

де $\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j, \\ 0, & i \neq j. \end{cases}$; θ_i – час перебування

системи S у стані S_i незалежно від переходу в наступний стан.

Приймаючи до уваги орієнтований граф переходів системи S (рисунок 1), виникає можливість із використанням (4) визначити шукані ймовірності того, що напівмарковський процес $v(t)$ перебуває у стані S_j за умови, що час перебування менший ніж t .

Слід також відмітити, що у відповідності до умов задачі стан S_{17} інтерпретується як зрив ГР або АВР внаслідок припинення РПВ через вогневий

вплив противника, тобто потрапляння системи S до визначеного стану на відповідних етапах функціонування призводить до невиконання АВР на об'єкті критичної інфраструктури.

Позначимо момент першого потрапляння системи S до стану S_{17} через η , тоді

$$P_{i17}(\eta < 17) = P_{i17}(t), (i = 14, 15), - \quad (5)$$

це ймовірність зриву процесів ГР або АВР внаслідок припинення РПВ через вогневий вплив противника, де η – час, потрібний для приведення системи у даний стан (наприклад: час, який потрібен противнику для виявлення та нанесення вогневого ураження по району проведення АВР).

Висновки.

Таким чином, співвідношення (4), (5) та напівмарковська матриця (2) дозволяють дати відповіді на цілу низку питань відносно функціонування СПАВР, зокрема щодо часу її перебування у відповідній множині станів, часу функціонування до моменту зриву виконання АВР тощо. Відмітимо також, якщо час перебування системи у кожному стані буде розподілено за показовим законом, тоді із розглянутих у статті співвідношень витікають формули для розрахунку ймовірностей, які одержані в роботі [9].

Перспективи подальших досліджень. В подальшому перспективними напрямками є удосконалення методики оцінювання ефективності функціонування системи підтримки аварійно-відновлювальних робіт, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями воєнного характеру.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кулешов М. М. Сучасні виклики для державної політики у сфері цивільного захисту в Україні. Вісник Національного університету цивільного захисту України. Державне управління. Харків, 2012. № 2. С. 167–175.

URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNUCZUDU_2014_2_22.

2. Гуляк О. В. Оцінювання ефективності організації управління силами й засобами Збройних Сил України під час ліквідації надзвичайних ситуацій. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія : Юриспруденція. Київ, 2012. № 10–2(1). С. 104–108.

URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvmgu_jur_2014_10-2\(1\)_31](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvmgu_jur_2014_10-2(1)_31).

3. Гузенко В. А., Неклонський І. М. Математична модель формування системи взаємодії підрозділів різного підпорядкування при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Збірник наукових праць Національного університету цивільного захисту України. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків, 2012. № 19. С. 49–53. URL: http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/1234_56789/3179.

4. Неклонський І. М., Самарін В. О.

Модельовання процесу залучення ресурсів при перегрупуванні сил і засобів під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Збірник наукових праць Національного університету цивільного захисту України. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків, 2016. № 23. С. 109–112. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pns_2016_23_19.

5. Хомік М. М. Оцінка та управління ризиками застосування Збройних Сил України під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Системи управління, навігації та зв'язку: Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій. Полтава, 2016. № 4 (40). С. 133–137. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2016_4_33.

6. Блекот О. М., Романюк В. П., Нікітін А. А., Коцюрuba В. І. Методика оцінювання обстановки у надзвичайних ситуаціях техногенного та природного характеру : навч.-метод. посіб. Київ : НУОУ, 2018. 124 с.

7. Гаврилко Є. В., Неділько О. М. Система ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру Збройних Сил України. Концептуальні підходи щодо її створення та

структури. Труды університету. Військові та технічні науки. Київ : НУОУ, 2008. № 2 (82). С. 160–165.

8. Бочаров О. А. Алгоритмизация процессов в деятельности по разминированию как основа создания эффективных стандартных процедур действий // Науковий вісник УкрНДІПБ. –

2007. – № 2 (16). – С. 202–205.

9. Юрков Б. Н. Исследование операций / Юрков Б. Н. – М.: ВИА, 1990. 528 с.

10. Королюк В. С. Полумарковские процессы и их приложения / В. С. Королюк, А. Ф. Турбин. – К.: Наук. думка, 1976. 182 с.

REFERENCES

1. 1. Kulêshov M. M. Suchasní vikliki dlya derzhavnoy polítiki u sfer tsivil'nogo zakhistu v Ukraine. Vísnik Natsional'nogo uníversitetu tsivil'nogo zakhistu Ukraїni. Derzhavne upravlinnya. Kharkív, 2012. № 2. S. 167–175. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNUCZUDU_2014_2_22.

2. Gulyak O. V. Otsenka effektivnosti organayzera upravleniya silami zasobami Zbroynykh Sil Ukraїni za chas líkvídatstí nadzvichaynikh situatsiy. Naukoviy vísnik Mezhdunarodnogo gumanitarnogo uníversitetu. Seriya: Yurisprudentsiya. Kiїв, 2012. № 10–2 (1). S. 104–108.

URL:[http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvmgu_jur_2014_10-2\(1\)_31](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvmgu_jur_2014_10-2(1)_31).

3. 3. Guzenko V. A., Neklons'kiy Í. M. Matematichna model' formuvannya sistem vzamodíí pídrozdíliv ríznogo pídporyadkuvannya pri líkvídatstí naslídkív nadzvichaynikh situatsiy. Zbírnik naukovikh prats' Natsional'nogo uníversitetu tsivil'nogo zakhistu Ukraїni. Problemi nadzvichaynikh situatsiy. Kharkív, 2012. № 19. S. 49–53. URL: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3179>.

4. 4. Neklons'kiy Í. M., Samarín V. O. Modelyuvannya protsesu zalucheniya resursov pri peregreve sil i zaslonok v chas líkvídatstí naslídkív nadzvichaynikh situatsiy. Zbírnik naukovikh prats' Natsional'nogo uníversitetu tsivil'nogo zakhistu Ukraїni. Problemi nadzvichaynikh situatsiy. Kharkív, 2016. № 23. S. 109–112. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pns_2016_23_19.

5. Khomík M. M. Konsul'tatsii i upravleniye rizikami ustanovki Svodnykh

sistem Ukrainy v periody lektсионnykh nasadok nadzvichaynikh situatsiy. Sistemnoye upravleniye, navigatsii i zvnychk: Zaprosy i líkvídatiya nadzvichaynikh situatsiy. Poltava, 2016. № 4 (40). S. 133–137. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2016_4_33.

6. Blekot O. M., Romanyuk V. P., Níkítín A. A., Kotsyuruba V. Í. Metodika otsínuyvannya obstanovki v nadzvichaynikh situatsiyakh tekhnogennogo ta prirodnogo kharaktera: navch.-metod. posíb. Kiїв: NUOU, 2018. 124 s..

7. Gavrilko Ê .V., Nedíl'ko O. M. Sistema líkvídatstí naslídkív nadzvichaynikh situatsiy tekhnogennogo i prirodnogo kharaktera Zbroynykh Sil Ukraїni. Kontseptual'nyye plany razvitiya stvorenniya i strukturi. Trudi uníversitetu. Víys'koví ta tekhníchní nauki. Kiїв: NUOU, 2008. № 2 (82). S. 160–165.

8. Bocharov O.A. Algoritmizatsiya protsessov v deyatelnosti po razminirovaniyu kak osnova sozdaniya effektivnykh standartnykh protsedur deystviy // Naukoviy vísnik UkrNDÍPB. - 2007. - № 2 (16). - S. 202–205.

9. Yurkov B. N. Issledovaniye operatsiy / Yurkov B. N. - M.: VIA, 1990. 528 s.

10. Korolyuk V.S. Polumarkovskiye protsessy i ikh prilozheniya / V.S. Korolyuk, A.F. Turbin. - K.: Nauk. dumka, 1976. 182 s.

V. Kotsyuruba,

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of Ukraine,
The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi
S. Hannenko,*

The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi

**ANALYTICAL SIMULATION MODEL OF FUNCTIONING OF ORGANIZATIONAL
AND TECHNICAL SYSTEMS FOR SUPPORT OF EMERGENCY RESTORATION
WORKS AT CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES**

The article considers the developed simulation-analytical model of functioning of organizational-technical system of support of emergency-recovery works on objects of critical infrastructure, which is presented in the form of semi-Markov process and is based on complex consideration of probabilistic indicators of occurrence of events and probability of system transition.

Critical infrastructure protection is aimed at timely detection, prevention and neutralization of security threats to critical

infrastructure, as well as minimization and elimination of consequences in the event of their implementation.

Also, the article considers a number of problematic issues related to the occurrence of military emergencies that negatively affect critical infrastructure.

Keywords: *organizational and technical system, emergency recovery works, critical infrastructure facilities, half-Markov process.*