

УДК 355.32

В.Л. Козачук<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с.О.В. Поповіченко<sup>2</sup>, к.військ.н., доц.Г.П. Хаврич<sup>1</sup><sup>1</sup> Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, м. Київ, Україна<sup>2</sup> Військова академія (м. Одеса), Україна

## МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕВАКУАЦІЇ ПОРАНЕНИХ В ТАКТИЧНІЙ ЛАНЦІ ВІЙСЬК

У статті наведено один із методичних підходів до моделювання системи евакуації поранених у тактичній ланці військ Сухопутних військ, який базується на теорії масового обслуговування, зокрема на математичному апараті розімкнутих мереж масового обслуговування.

**Ключові слова:** евакуація, поранений, мережа масового обслуговування.

### Постановка проблеми в загальному вигляді

Аналіз структури санітарних втрат серед військовослужбовців під час проведення АТО свідчить, що більш ніж половина поранених потребує евакуації для надання кваліфікованої та спеціалізованої медичної допомоги (КМД та СМД відповідно). Зволікання з наданням кваліфікованої та спеціалізованої медичної допомоги призводить до збільшення раневих ускладнень і навіть до загибелі деяких поранених і хворих (рис. 1, 2).

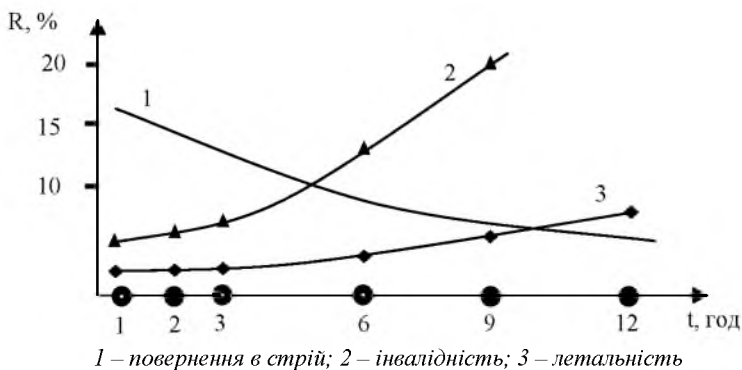


Рис. 1. Залежність результатів лікування від термінів надання кваліфікованої медичної допомоги

Як свідчить досвід АТО, часові строки доставки поранених на етапи КМД та СМД в 3–3,5 разів більше, ніж у інших збройних конфліктів останніх десятиріч, що обумовлено, насамперед, невідповідністю наявних засобів евакуації поранених наявним потребам: у початковий період АТО зовсім не було санітарних транспортерів переднього краю, значно невистачало також санітарних автомобілів.

З огляду на це, питання коректного формування вимог до раціонального

складу санітарних транспортерів та санітарних автомобілів системи евакуації поранених в тактичній ланці військ Сухопутних військ, визначення можливості її подальшого вдосконалення за рахунок методичного апарату є актуальним.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Методики розрахунку потрібної кількості санітарних транспортерів та санітарних автомобілів для евакуації поранених і хворих наведені в [1]. Так, розрахунок потрібної кількості санітарних транспортерів здійснюється за формулою:

$$Стр = \frac{\kappa \cdot СВ}{П},$$

де, Стр – кількість санітарних транспортерів, необхідних для вивезення поранених з поля бою;

СВ – санітарні втрати від звичайної зброї;

П – продуктивність одиниці транспорту за одиницю часу (за одну годину одним санітарним транспортером можна вивезти 4–10 тяжкопоранених, а за день бою – 36–48);

$\kappa$  – частка тих, хто потребує вивезення; за умов, якщо  $\kappa$  дорівнює 0,5, вивезення з поля бою потребують 50 % загального числа поранених).

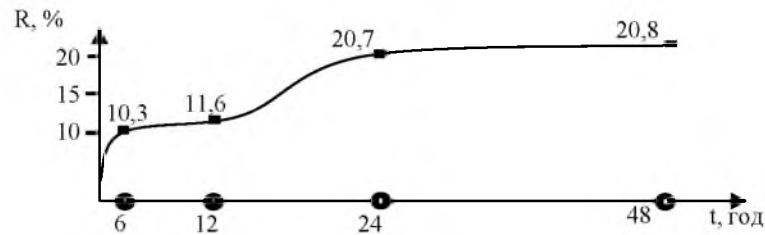


Рис. 2. Залежність летальності від термінів надання спеціалізованої медичної допомоги

Схожий вигляд має й методика розрахунку потреби кількості санітарних автомобілів:

$$Ca = \frac{\kappa \cdot CB}{Mc \cdot \frac{D}{p}},$$

де  $Ca$  – потрібна кількість одиниць автомобільного санітарного транспорту;

$\kappa$  – коефіцієнт потреби в евакуації автомобільним санітарним транспортом (зазвичай 0,5-0,6);

$CB$  – можливі санітарні втрати за день бою;

$p$  – плече евакуації (для бригади умовно беремо до 20 км);

$Mc$  – евакоємність санітарного автомобіля (для УАЗ-3962 – 5 осіб);

$D$  – середня величина добового пробігу санітарного автомобіля (для бригади умовно беремо 100–150 км).

Найбільш вагомими недоліками цих підходів є їхня детермінованість, яка не дозволяє враховувати не лише стохастичний характер процесу евакуації поранених, а й різні режими руху евакуаційних засобів під час виконання завдань, а також бойові та небойові втрати цих засобів.

Виходячи з цього, варто зазначити, що реальному процесу евакуації ОБТ (з деякими припущеннями) більше відповідають моделі, які представляють досліджувану систему як мережу масового обслуговування (ММО) [2].

### Постановка задачі та її розв'язання

Мета статті полягає у викладенні методичного підходу до формування моделі системи евакуації поранених в тактичній ланці військ Сухопутних військ як мережі масового обслуговування, що дозволить мінімізувати тривалість очікування медичної допомоги особовим складом з пораненнями, виявити раціональний склад системи евакуації поранених тактичної ланки.

### Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття

Представлення системи евакуації поранених лише як сукупності окремих систем недостатньо повно враховує особливості системи евакуації поранених та процесів, які в ній відбуваються, що може призвести до значних похибок у розрахунках. Реальний процес евакуації поранених можна відобразити моделлю, яка представляє досліджувану систему як мережу масового обслуговування.

### Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Навна система евакуації поранених в тактичній ланці Сухопутних військ становить чотирирівневу систему (рис. 3), в якій здійснюється евакуація всіх поранених з середніми та тяжкими ступенями тяжкості.

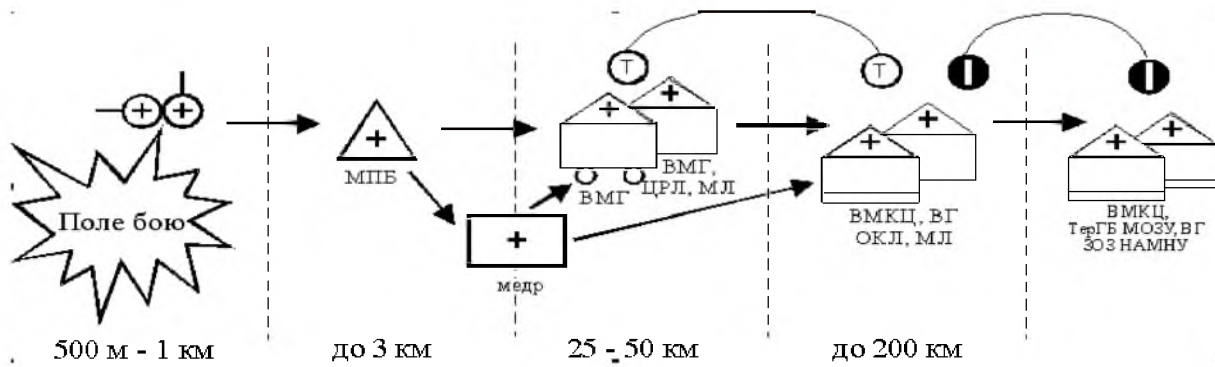


Рис. 3. Спрощена схема системи евакуації поранених

Виходячи з рис. 3, систему евакуації поранених можна уявити як мережу масового обслуговування (ММО), яка має низку особливостей і для розгляду якої зроблені деякі припущення:

- мережа масового обслуговування є розімкнутою ММО (РММО), тобто потік заявок на вхід мережі є необмеженим, однорідним і здійснюється з зовнішнього незалежного джерела;
- розімкнута ММО включає кінцеву кількість вузлів – систем масового обслуговування;
- вузли можуть бути як одноканальними СМО, так і багатоканальними;
- після завершення обслуговування в деякому вузлі передача заявки в інший вузол здійснюється миттєво;
- усі канали багатоканального вузла є ідентичними і заявку може обслуговувати будь-який канал;
- заявка, яка надійшла в багатоканальний вузол, коли всі або декілька каналів вільні, направляється у довільному порядку в один із вільних каналів;
- у кожному вузлі РММО є накопичувач заявок безмежної ємності, що означає відсутність відмов заявкам, які надходять, під час їх постановки в чергу, тобто заявка, яка надходить у вузол, завжди знайде в накопичувачі місце для очікування, незалежно від того, скільки заявок уже є в черзі;
- тривалість обслуговування заявок у всіх вузлах РММО являє собою випадкові величини;
- обслуговуючий канал вузла не простоє, якщо в його накопичувачі є хоча б одна заявка, при чому після завершення обслуговування цієї заявки миттєво з накопичувача обирається наступна заявка;
- у кожному вузлі мережі заявки з накопичувача обираються в порядку надходження за правилом «першим прийшов – першим обслуговують».

Спрощена модель системи евакуації поранених як розімкнутої мережі масового обслуговування наведена на рис. 4.

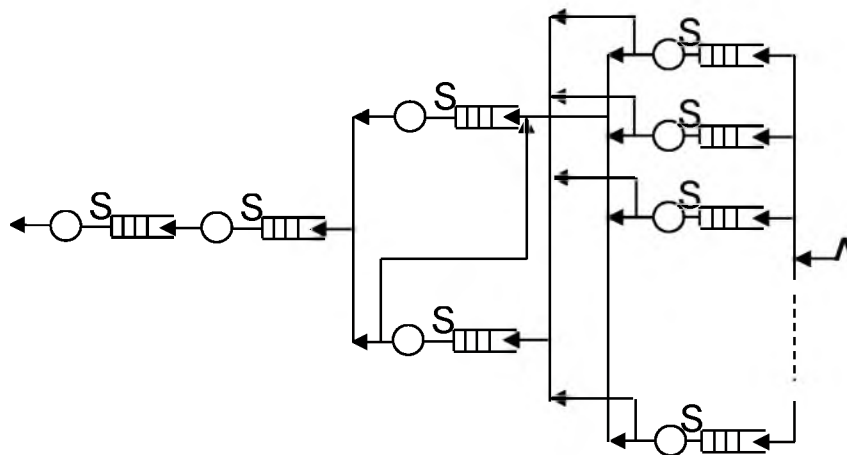


Рис. 4. Спрощена схема системи евакуації поранених у вигляді розімкнутої ММО

Функціонування РММО визначається сукупністю вузлових і мережевих характеристик. Вузлові характеристики оцінюють функціонування кожної системи масового обслуговування та містять характеристики потоку заявок, який надходить на вхід вузла, а також весь набір характеристик, притаманний системам масового обслуговування. Мережеві характеристики оцінюють функціонування мережі в цілому та включають:

- завантаженість – середню за часом кількість заявок, які обслуговує мережа, і одночасно середню кількість каналів, зайнятих обслуговуванням;
- кількість заявок, які очікують обслуговування в мережі;
- сумарний час очікування заявкою обслуговування в мережі;
- кількість заявок, які наявні в мережі (у стані очікування й обслуговування);
- сумарний час перебування заявки в мережі.

На основі перелічених параметрів може бути розраховано вузлові та мережеві характеристики, що описують ефективність функціонування, відповідно, вузлів і РММО в цілому. Розрахунок характеристик функціонування лінійних розімкнутих однорідних експонентних РММО базується на еквівалентному перетворенні мережі та проводиться в чотири етапи:

- розрахунок коефіцієнтів передач  $\alpha_j$  та інтенсивностей потоків заявок  $\lambda_j$  у вузлах  $j = 1, n$  РММО;
- перевірка умови відсутності перевантажень у РММО;
- розрахунок вузлових характеристик;
- розрахунок мережевих характеристик.

Для прикладу розглянемо визначення параметрів системи евакуації поранених, яка діє в Сухопутних військах ЗС України (рис. 4).

Виходячи з моделі (рис. 4), можна навести приклад розрахунку запропонованої моделі. Для цього потрібно задати параметри розімкнутої ММО:

- число СМО дорівнює  $N=8$ ;
- число каналів в усіх СМО вважають рівним 1, окрім СМО S1, S2, S3, S4, в кожній з яких число каналів  $K=3$ ;
- інтенсивність вхідного потоку заявок  $\Lambda$  – це інтенсивність появи поранених у результаті бойових дій. Для прикладу, який розглядається, значення  $\Lambda$  дорівнює 10 од./год;
- середній час обслуговування  $T_{обс1}, \dots, T_{обсN}$  заявок в СМО. Прийнято, що  $T_{обс1} = T_{обс2} = T_{обс3} = T_{обс4} = 1$  год,  $T_{обс5} = 2$  год,  $T_{обс6} = 3$  год,  $T_{обс7} = 4$  год,  $T_{обс8} = 6$  год;
- матриця перехідних імовірностей  $P = \| p_{ij} \|$ ,  $i = 1, \dots, N$ ;  $j = 0, \dots, N$ . Для моделі варіанта системи евакуації поранених, яка розглядається у наведеному прикладі (рис. 4), матриця перехідних імовірностей виглядає таким чином:

$$P \cdot \Lambda = \begin{matrix} & 0 & p_{01} & p_{02} & p_{03} & p_{04} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_{10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{15} & p_{16} & 0 & 0 \\ p_{20} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{25} & p_{26} & 0 & 0 \\ p_{30} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{35} & p_{36} & 0 & 0 \\ p_{40} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{45} & p_{46} & 0 & 0 \\ p_{50} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{57} & 0 \\ p_{60} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{65} & 0 & p_{67} & 0 \\ p_{70} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{78} \\ p_{80} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

Значення ймовірностей у наведеній матриці перехідних ймовірностей такі:

$$p_{01} = 0,25, p_{02} = 0,25, p_{03} = 0,25, p_{04} = 0,25,$$

$$\begin{aligned}
 p_{10} &= 0,5, p_{15} = 0,25, p_{16} = 0,25, \\
 p_{20} &= 0,5, p_{25} = 0,25, p_{26} = 0,25, \\
 p_{30} &= 0,5, p_{38} = 0,25, p_{39} = 0,25, \\
 p_{40} &= 0,5, p_{48} = 0,25, p_{49} = 0,25, \\
 p_{50} &= 0,5, p_{57} = 0,5, \\
 p_{60} &= 0,5, p_{65} = 0,25, p_{67} = 0,25, \\
 p_{70} &= 0,5, p_{78} = 0,5, \\
 p_{80} &= 1,0.
 \end{aligned}$$

У результаті проведення розрахунків отримані дані щодо значень мережевих параметрів (середнє число заявок у чергах, середнє число заявок у мережі, середній час очікування заявок у чергах на обслуговування, середній час перебування заявки в мережі) та параметрів кожної СМО, яка функціонує в мережі масового обслуговування, – коефіцієнт передачі, інтенсивність вхідного потоку, коефіцієнт завантаження, середнє число зайнятих каналів, середнє число заявок у СМО, середня довжина черги, середній час очікування заявки в черзі на обслуговування, середній час перебування заявки в СМО (табл. 1).

Аналізуючи розрахункові дані, які наведені в табл. 1, можна визначити, що з точки зору створення раціональної РММО система евакуації поранених досягає максимальної ефективності тоді, коли її продуктивність щодо опрацювання вхідного потоку заявок максимальна, а мінімальними є значення таких параметрів, як кількість заявок на обслуговування в черзі та кількість приборів (каналів) обслуговування, які діють у мережі.

Для проведення розрахунків було використано аналітичну платформу «AnyLogic», версія 5.4.1.

### Висновки

1. Запропонований методичний підхід побудований на використанні методів теорії масового обслуговування, зокрема методів дослідження розімкнутих мереж масового обслуговування. Такий підхід, на відміну від наявних, дозволяє сформувавши раціональну структуру системи, яка досліджується, як цілому (як мережі масового обслуговування), так і кожного її елемента окремо (як системи масового обслуговування), виявити значення мережевих характеристик та її елементів.

2. Наведений у статті приклад свідчить про можливість практичного використання запропонованого методичного підходу.

Таблиця 1

### Результати розрахунків показників системи евакуації поранених у вигляді розімкнутої ММО

Параметр	Номер СМО							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Час обслуговування заявки, год	1	1	1	1	2	3	4	6
Кількість каналів, од.	3	3	3	3	7	8	9	7
Коефіцієнт передачі	0,25	0,25	0,25	0,25	0,31	0,25	0,22	0,11
Інтенсивність вхідного потоку, заявок/год	2,5	2,5	2,5	2,5	3,1	2,5	2,2	1,1
Коефіцієнт завантаження	0,83	0,83	0,83	0,83	0,89	0,94	0,97	0,94
Середня кількість зайнятих каналів, од.	2,5	2,5	2,5	2,5	6,25	7,5	8,75	6,56
Середня кількість заявок в СМО, заявок/год	6,01	6,01	6,01	6,01	12,1	19,6	83,9	18,86
Середня довжина черги в СМО, заявок	3,51	3,51	3,51	3,51	5,85	12,1	75,2	12,3
Середній час очікування в черзі, год	1,4	1,4	1,4	1,4	1,87	4,84	34,37	11,24
Середній час перебування в СМО	2,4	2,4	2,4	2,4	3,87	7,84	38,37	17,24
Мережа масового обслуговування								
Інтенсивність вхідного потоку, заявок/год	10,0							
Середня кількість заявок у чергах, заявок/год	119,47							
Середня кількість заявок у мережі, заявок/год	158,53							
Середній час очікування в чергах, год	11,95							
Середній час перебування заявки в мережі, год	15,85							

### Перспективи подальших досліджень

Перспективами подальших досліджень є визначення можливості використання РММО у випадках, коли тривалість обслуговування заявок в усіх вузлах являє собою випадкові величини, які розподілені не за експоненціальним законом, а за іншими законами. Крім того, в подальшому дослідженні запропонований підхід може бути використаний у разі, коли обслуговування здійснюється не за безпріоритетною дисципліною обслуговування («першим прийшов – першим обслуговують»), що є досить простим випадком, а для вирішення більш складних завдань, наприклад, у разі пріоритетної дисципліни обслуговування.

### Список використаних джерел

1. Тимчасова настанова з медичної евакуації поранених і хворих у Збройних Силах України / К. – 2017 – 57 с.
2. Жожикашвили В.А. Сети массового обслуживания / В.А. Жожикашвили, В.М. Вишневський. – М. : Радио и связь, 1988. – 190 с.

**Рецензент:** М.В.Тверезовський, к.мед.н., Військова академія (м. Одеса)

### МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ ЭВАКУАЦИИ РАНЕНЫХ В ТАКТИЧЕСКОМ ЗВЕНЕ ВОЙСК

В.Л. Козачук, А.В. Поповиченко, Г.П. Хаврич

*Приведен один из методических подходов к моделированию системы эвакуации раненых в тактическом звене Сухопутных войск. Методический подход основывается на теории массового обслуживания, в частности на математическом аппарате разомкнутой сети массового обслуживания.*

**Ключевые слова:** эвакуация, раненые, сеть массового обслуживания.

### METHODOICAL APPROACH TO MODELING THE EVACUATION SYSTEM OF THE WOUNDED IN THE TACTICAL LINK

V. Kozachuk, A. Popovichenko, G. Khavrych

*One of the methodological approaches to modeling the evacuation system of the wounded in the tactical link is given. The methodological approach is based on the theory of mass service, in particular on the mathematical apparatus of an open queuing network.*

**Keywords:** evacuation, the wounded, a network of queuing