

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-55-29>

УДК 614.8:004.942:616-083

Чибіряк Яна Іванівна¹, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-0634-7609>

Захарова Анна Миколаївна¹, бакалавр,

<https://orcid.org/0000-0001-5242-4065>

Лавров Євгеній Анатолійович¹, д.т.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0001-9117-5727>

Сірик Ольга Євгенівна², к.ф.-м.н.,

<https://orcid.org/0000-0001-9360-4388>

Баранова Ірина Володимирівна¹, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-3767-8099>

Татарчук Руслан Миколайович¹, магістр

¹Сумський державний університет, м. Суми, Україна

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ МЕДИЦИНИ КАТАСТРОФ. ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ РІШЕНЬ З ОРГАНІЗАЦІЇ МОБІЛЬНИХ МЕДИЧНИХ ШПИТАЛІВ

Чибіряк Я.І., Захарова А.М., Лавров Є.А., Сірик О.Є., Баранова І.В., Татарчук Р.М. Комп'ютерне моделювання для медицини катастроф. Підхід до автоматизованого аналізу рішень з організації мобільних медичних шпиталів. Засоби імітаційного моделювання все частіше використовуються спеціалістами органів управління для оцінювання ефективності роботи медичних організацій. У роботі запропоновано структуру та розроблено імітаційну модель мобільного медичного шпиталю, яка дозволяє оцінити робоче навантаження на окремі відділення шпиталю у залежності від інтенсивності вхідного потоку поранених. Побудовано імітаційну систему аналізу та візуалізації даних, що може бути використана для прийняття рішень щодо розподілу, мобілізації сил та засобів медичних служб в умовах бойових дій. Дані для побудови моделі були отримані з довідкової медичної літератури, також надавалися пропозиції від окремих медичних організацій міста Суми та від бойових медиків з прикордоння. Імітаційне моделювання здійснюється у програмі FlexSim. Дискретно-подійна модель побудована на базі математичного апарату, який використовується для оцінювання часових показників проведення лікувальних заходів під час обстрілів, пожеж та інших надзвичайних ситуацій. До них відносяться такі параметри, як тривалість надання медичної допомоги, середній час очікування поранених в чергах та ін. параметри. Імітаційна модель надає можливість виводити інформацію про завантаженість окремих відділень, це дозволяє швидко приймати рішення про зосередження сил і засобів у потрібних підрозділах шпиталю. Впровадження імітаційної моделі медичного шпиталю в діяльність ВСУ дозволить у режимі реального часу управляти ефективністю надання медичної допомоги пораненим у зонах воєнних конфліктів.

Ключові слова: імітаційна модель, мобільний медичний шпиталь, час очікування, показники ефективності, інтенсивність надходження, довжина черги, робоча завантаженість, структура системи, пропускна здатність.

Chybiriak Ya. I., Zakharova A. M., Lavrov E. A., Siryk O. E., Baranova I. V., Tatarchuk R. M. Computer modeling for disaster medicine. An approach to automated analysis of solutions for organizing mobile medical hospitals. Experts of authority bodies increasingly use simulation tools to evaluate the effectiveness of medical units. This paper suggests a structure and develops a simulation model of a mobile medical hospital that allows one to estimate the workload of each hospital department depending on the intensity of the incoming flow of wounded. A simulation system for analyzing and visualizing data is built. It can be used to make decisions on the distribution and mobilization of forces and means of medical services in combat conditions. Data for building the model were obtained from the reference medical literature. Separate medical organizations in the city of Sumy and combat medics working at the border area also provided their suggestions. The simulation was performed in the FlexSim program. The discrete-event model is based on a mathematical apparatus used to estimate the timing of medical treatment during shelling, fires, and other emergencies. These include such parameters as the duration of medical care, the average waiting time for the wounded in queues, etc. The simulation model provides an opportunity to display information about the workload of each department, which allows one to quickly make decisions about the allocation of forces and resources in the necessary departments of the hospital. The usage of a simulation model of a medical hospital by the Armed Forces of Ukraine will make it possible to manage in real time the effectiveness of providing medical care to the wounded in war zones.

Keywords: simulation model, mobile medical hospital, waiting time, performance indicators, admission rate, queue length, workload, system structure, throughput.

Вступ. У регіонах України, де тривають бойові дії, медична служба стикається із задачею створення та підвищення ефективності і якості роботи спеціалізованих мобільних медичних підрозділів, призначених для надання своєчасної медичної допомоги населенню під час масованих обстрілів, вибухів, пожеж та інших надзвичайних ситуацій, викликаних воєнними діями.

Зокрема, до таких медичних формувань відносяться:

- медичні мобільні шпиталі;

– медичні мобільні загони.

Діяльність даних формувань регламентується "Положенням про Державну службу медицини катастроф", затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України від 11.07.2001 р. № 827 [1].

Зокрема, у сфері управління МНС України створено мобільний медичний госпіталь, який брав участь у організації ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, у забезпеченні медичних масових заходів, медичних навчань в Україні та за кордоном [2].

Мобільні бригади лікарів надавали медичну допомогу у населених пунктах Київщини після деокупації Бучі, Ірпеню, Бородянки, та в інших постраждалих регіонах [3].

У своїй більшості медики працюють на волонтерських засадах або у рамках спеціальних проєктів. Так, на Дніпропетровщині діють мобільні медичні бригади, що створені за підтримки Товариства Червоного Хреста України [4].

У жовтні 2023 року Україна отримала перший польовий мобільний госпіталь від німецької компанії "Rheinmetall ZMS" загальною вартістю 9 млн. євро [5]. У систему входять відділення невідкладної допомоги, операційні, інтенсивної терапії, аптеки. Присутні намети для розміщення медичного персоналу, адміністративної частини, зони очікування (рис.1).



Рис. 1. Польовий госпіталь від німецької компанії "Rheinmetall ZMS"[[5]]

У квітні 2024 року на Сумщині у місті Охтирка відкрито модульну станцію, призначену для надання екстреної допомоги та у селі Хухра Охтирського району встановлено модульну медичну амбулаторію [6] (рис. 2).

Необхідність у розгортанні таких польових медичних шпиталів виникає ще й у зв'язку з тим, що на окремих територіях руйнуються заклади охорони здоров'я, техніка, медичні засоби.



Рис. 2. Амбулаторія модульного типу в м. Охтирка [[6]]

Особливої уваги потребує ситуація, що складається на прикордонних територіях на півночі та сході нашої країни. Існуюча організаційно-технічна система при збільшенні навантаження не здатна забезпечити своєчасне надання медичної допомоги пораненим.

Тому задача даного дослідження полягає у комп'ютерному моделюванні процесу функціонування мобільного медичного шпиталю, призначеного для вчасного надання медичної допомоги пораненим в умовах бойових дій.

Аналіз існуючих досліджень та публікацій. У дослідженнях, проведених методами комп'ютерного моделювання в Українській військовій медичній академії, приділялася увага вирішенню наступних задач:

- оцінювання ефективності роботи медичних закладів [7];
- удосконалення структур медичних формувань [8];
- раціональний розподіл медичного персоналу [9].

Для дослідження систем масового обслуговування використовуються два основних методи дослідження ефективності систем – аналітичний та імітаційний, що передбачає дослідження систем на комп'ютерних моделях.

У наукових публікаціях описано використання методів та підходів, що застосовуються для дослідження медичних систем. Так, у [10] вирішується задача скорочення середнього часу очікування методом спеціальної організації черг у медичній системі з дефіцитом ресурсів, при цьому робочі процеси представляються Марківськими процесами, використовується чисельне моделювання у середовищі програмного забезпечення ProModel.

У статті [11] для сервісних медичних систем типу М/М/1, аналітичними методами досліджується тривалість очікування пацієнтів в чергах у залежності від різної частоти прибуття.

В [12] мовою програмування GPSS розроблено імітаційну модель медичного закладу. Медична система, що відображає процес функціонування медичного центру, представлена мережею масового обслуговування відкритого типу, що складається з 5 окремих вузлів, які є системами масового обслуговування. Модель оптимізована за кількістю відмов та за довжинами черг на прийом до лікаря.

Робота [13] присвячена вирішенню задачі раціонального розташування каналів обслуговування у медичній системі з дефіцитом персоналу, медичного обладнання та інших ресурсів. Імітаційне моделювання виконано у програмному середовищі Arena.

Таким чином, у теорії масового обслуговування використовується два основних підходи по дослідженню ефективності медичних систем: аналітичний та імітаційний.

Аналітичний підхід для моделювання складних стохастичних систем є непридатним, оскільки призводить до [14], [15], [16]:

- обчислювальної складності;
- низької точності результатів;
- значних часових витрат.

На противагу аналітичним, імітаційні моделі надають можливість [17], [18], [19]:

– швидко, у режимі реального часу, проводити дослідження та на їх основі приймати ефективні рішення;

- моделювати складні стохастичні процеси;
- отримувати результати моделювання із заданою точністю.

Тому, у даній роботі для моделювання та дослідження процесів пересувного медичного шпиталю використано метод імітаційного моделювання [20]. У якості програмного середовища моделювання обрано програму FlexSim [16].

Постановка задачі дослідження. Метою роботи є створення імітаційної моделі пересувного медичного шпиталю для дослідження ефективності роботи при різних значеннях інтенсивності вхідного потоку поранених.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

– розробити структуру медичного шпиталю, виконати опис робочих процесів системи шпиталю;

- формалізувати робочі процеси шпиталю у вигляді мережі масового обслуговування;
- виконати програмну реалізацію моделі у середовищі імітаційного моделювання FlexSim;
- виконати дослідження роботи шпиталю протягом робочого тижня.

У ході моделювання планується виявити «вузькі місця» та оцінити роботу медичної системи за наступними показниками ефективності:

- середні та максимальні довжини черг;
- середній та максимальний час очікування в чергах;
- середній час перебування постраждалих у системі;
- завантаженість робочих місць та людських ресурсів;
- пропускна здатність шпиталю.

Виклад основного матеріалу та обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Структура пересувного медичного шпиталю спроектована по блочно-модульному принципу і є подібною до класичного варіанту організації медичної допомоги з використанням функціональних підрозділів в наметах. Структурно-логічна схема пересувного медичного шпиталю представлена на рис. 3.

Вхідний потік поранених надходить до системи за законом розподілу Пуассона і потрапляє до приймального відділення, де визначається ступінь важкості та вид поранення.

За ступенем важкості поранення потерпілі поділяються на чотири категорії:

- легкі поранення – 19 %;
- поранення середнього ступеню важкості – 27%;
- важкопоранені – 42%;
- дуже важкі поранення – 12%.

За видом поранення потерпілі поділяються на дев'ять груп:

- поранення і травми кінцівок – 20%;
- поранення і травми грудної клітини – 17.5%;
- поранення і травми голови – 16%;
- поранення і травми щелепно-лицьової ділянки – 9.7%;
- поранення і травми органів зору – 9%;
- поранення і травми черевної частини – 8.7%;
- опіки – 8.6%;
- поранення і травми хребта – 7.5%;
- психогенно-реактивні стани, контузії – 3%.

Після приймального відділення поранені надходять у відповідні відділення у залежності від важкості та від типу поранення.

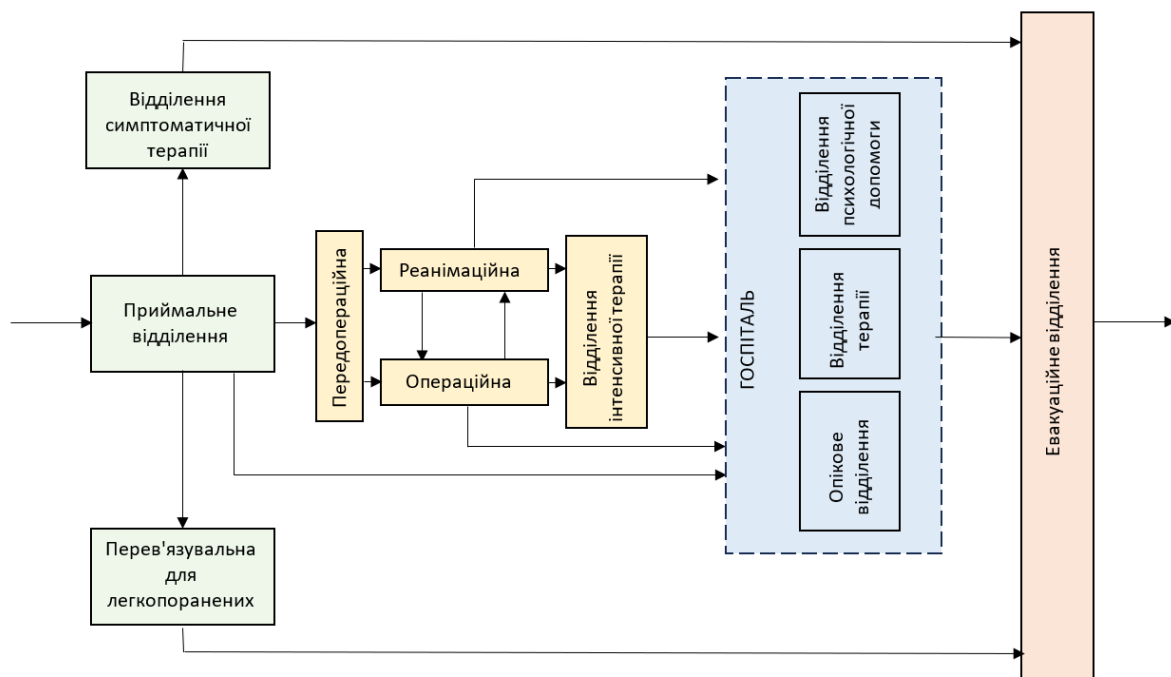


Рис 3. Структурно-логічна схема пересувного медичного шпиталю

Час надання медичної допомоги у підрозділах шпиталю визначається за трикутним законом розподілу, параметри якого залежать від ступеню важкості поранення.

Медичні системи відносяться до типу сервісних систем, їх робочі процеси можна представити мережею масового обслуговування, до складу якої входять обслуговуючі канали –

робочі ресурси (ліжкомісця, медичне обладнання, персонал та ін.) та черги, де відбувається очікування надання медичної допомоги.

У теорії черг найбільш відомими і поширеними серед спеціалістів засобом формалізації процесів функціонування дискретних систем є схеми у вигляді мереж масового обслуговування, що відображають склад, структуру системи, а також порядок надходження і правила обслуговування вимог (заявок).

Формалізація процесів системи мобільного медичного шпиталю у вигляді мережі масового обслуговування показана на рис. 4.

На рис. 4 використано умовні позначення:

- $\boxed{ПВ_i}$ – робочі місця приймального відділення ($i = \overline{1, n}$);
- $\boxed{ПЛ_i}$ – робочі місця у перев'язувальній для легкопоранених ($i = \overline{1, k}$);
- $\boxed{СТ_i}$ – робочі місця у відділенні симптоматичної терапії ($i = \overline{1, m}$);
- $\boxed{ПО_i}$ – робочі місця у передопераційній ($i = \overline{1, s}$);
- $\boxed{Р_i}$ – робочі місця у відділенні реанімації ($i = \overline{1, r}$);
- $\boxed{ОП_i}$ – робочі місця в операційній ($i = \overline{1, p}$);
- $\boxed{ІТ_i}$ – робочі місця у відділенні інтенсивної терапії ($i = \overline{1, t}$);
- $\boxed{ЕВ_i}$ – робочі місця у відділенні евакуації ($i = \overline{1, h}$);
- \diamond – умови переходу з одного відділення у інший ($i = \overline{1, z}$).

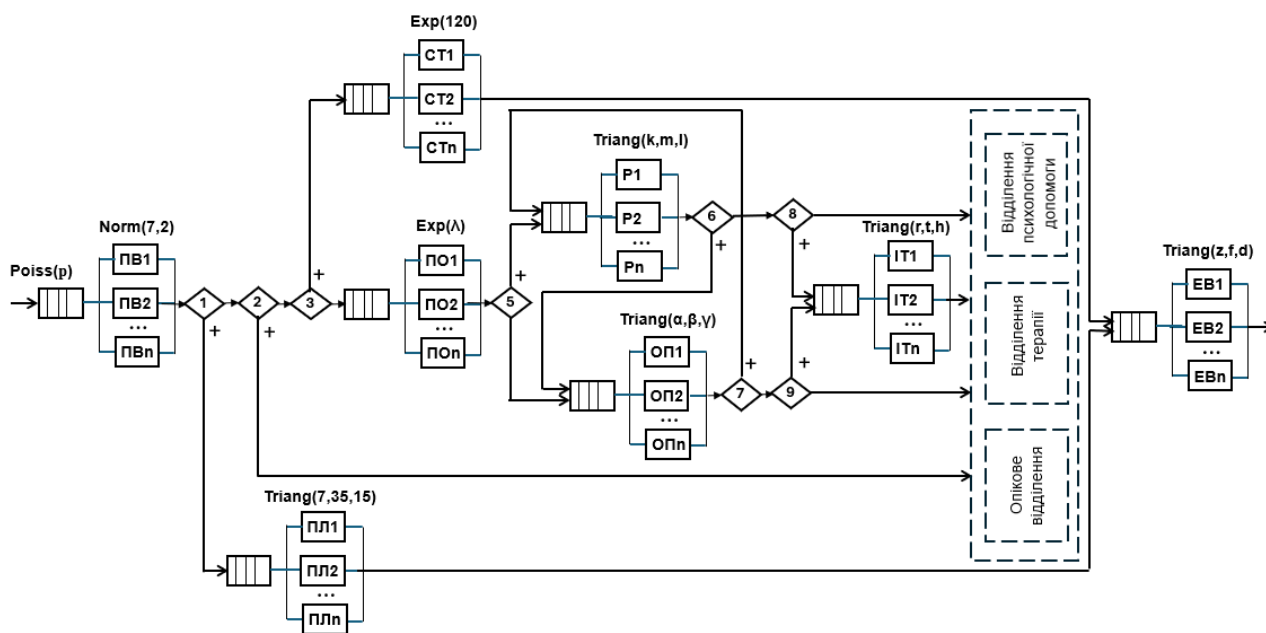


Рис 4. Мережа масового обслуговування системи мобільного медичного шпиталю

Програмна реалізація імітаційної моделі відбувається в кілька етапів:

- відтворення структури шпиталю;
- налаштування функціоналу об'єктів моделі;
- виведення показників ефективності у вигляді графіків і діаграм;
- налаштування візуалізації процесів.

Структура шпиталю, побудована з використанням бібліотеки фіксованих та мобільних об'єктів FlexSim, має вигляд, показаний на рис. 5.

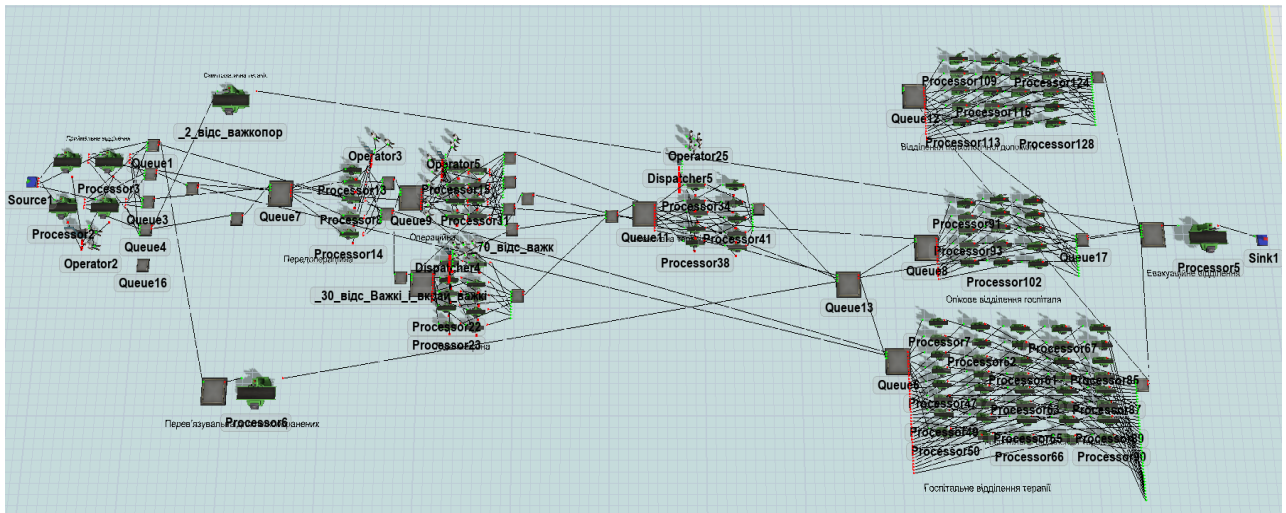


Рис. 5. Структура мобільного шпиталю у середовищі FlexSim

Ліжкомісця у відділеннях моделюються об'єктом Processor, який є фіксованим ресурсом і позначає канал обслуговування в системі шпиталю. Черги (Queues) використовуються для очікування елементів потоку, якщо ліжкомісця зайняті і відділення не можуть приймати заявки на обслуговування. Функції персоналу у моделі виконують оператори (Operators). У якості елементів потоку (заявок) виступають поранені, які надходять до відділень та затримуються на час надання медичної допомоги. За замовчуванням черги працюють за правилом «першим прийшов — першим обслужений» (FIFO). На програмному рівні було реалізовано пріоритетне обслуговування у залежності від важкості поранення.

Час надання допомоги у підрозділах шпиталю задається трикутним законом розподілу та залежить від типу і виду поранення.

У моделі автоматично розраховуються показники ефективності, які відображено у графічному вигляді на рис. 6:

- середній, мінімальний та максимальний час перебування поранених у шпиталі;
- пропускна здатність шпиталю;
- робоча завантаженість підрозділів шпиталю;
- довжини черг у відділеннях;
- час очікування поранених в чергах.

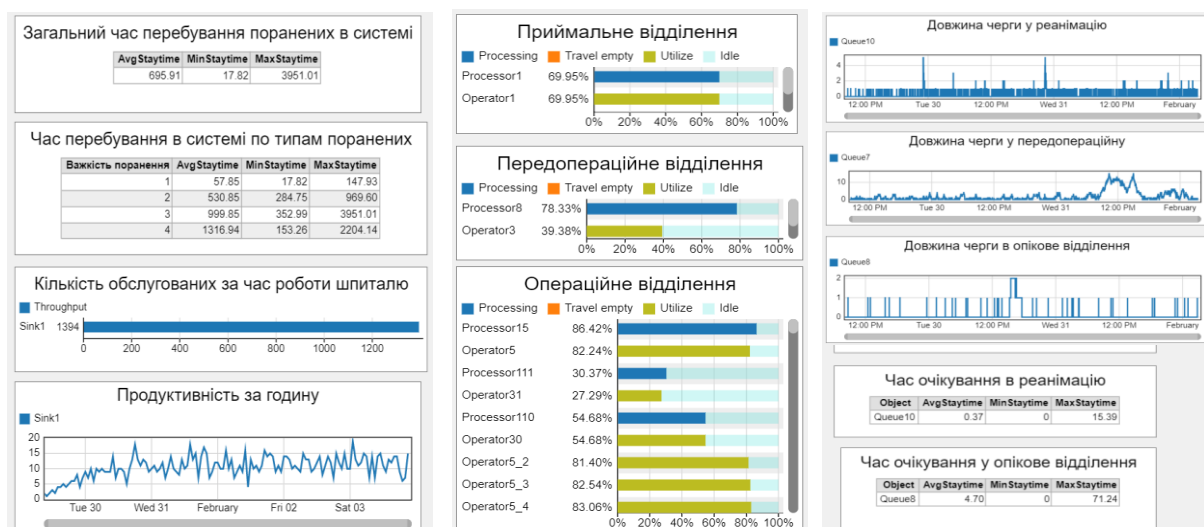


Рис. 6. Показники ефективності роботи системи шпиталю

На рис. 7 представлено фрагмент моделі мобільного медичного шпиталю, в якій налаштовано візуалізацію робочих процесів.

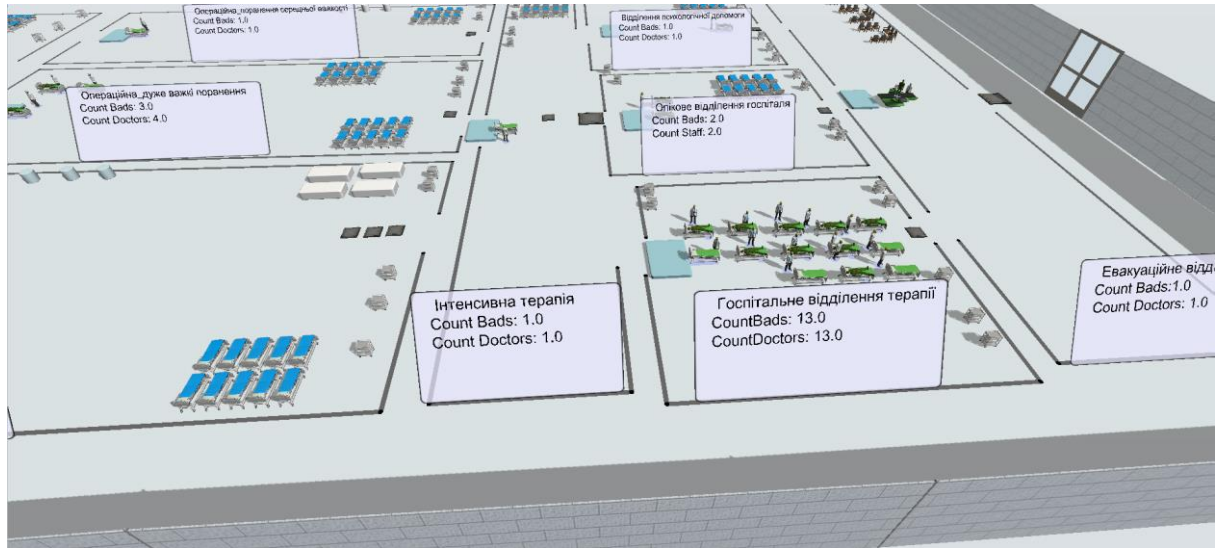


Рис. 7. Імітаційна модель мобільного медичного шпиталю (фрагмент)

На етапі дослідження проведено моделювання роботи шпиталю для базової конфігурації із заданою кількістю ліжок/місць та персоналу у відділеннях. Результати показали наявність «вузького місця» в операційній (табл. 1).

При надходженні 40 поранених/добу маємо такі показники:

- середнє значення довжин черг у відділеннях не перевищує 3-5 осіб;
- найбільша завантаженість 85% у операційному відділенні;
- найвищий середній час очікування 41 хв., також спостерігається в операційній.

Табл. 1. Результати імітаційного моделювання для базової конфігурації мобільного шпиталю

Структурний підрозділ	Кількість ліжок/місць	Кількість персоналу	Середня довжина черги, осіб	Середній час очікування, хв.	Завантаженість, %	Середній час перебування, хв.	Пропускна здатність, осіб.
Надходження 40 поранених/добу							
Приймальне відділення	1	1	0	0	22	-	-
Передопераційна	4	3	0	0	33	-	-
Реанімація	6	4	3	4	80	-	-
Операційна	12	12	5	41	85	-	-
Інтенсивна терапія	8	6	1	7	73	-	-
Психологічної допомоги	7	2	0	0	25	-	-
Опікове	2	2	2	5	80	-	-
Терапія	13	7	2	3	78	-	-
Евакуаційна	1	1	0	0	40	-	-
Увесь шпиталь	54	38	-	-	-	1300	120
Надходження 60 поранених/добу							
Приймальне відділення	1	1	0	0	33	-	-
Передопераційна	4	3	0	0	50	-	-

Реанімація	6	4	12	96	89	-	-
Операційна	12	12	21	720	92	-	-
Інтенсивна терапія	8	6	2	98	81	-	-
Психологічної допомоги	7	2	0	0	38	-	-
Опікове	2	2	9	27	92	-	-
Терапія	13	7	6	14	87	-	-
Евакуаційна	1	1	0	0	60	-	-
Увесь шпиталь	54	38	-	-	-	1950	148
Надходження 80 пораних/добу							
Приймальне відділення	1	1	0	0	44	-	-
Передопераційна	4	3	0	0	76	-	-
Реанімація	6	4	24	120	92	-	-
Операційна	12	12	40	1160	98	-	-
Інтенсивна терапія	8	6	4	140	97	-	-
Психологічної допомоги	7	2	0	0	50	-	-
Опікове	2	2	18	100	98	-	-
Терапія	13	7	12	116	90	-	-
Евакуаційна	1	1	0	0	75	-	-
Увесь шпиталь	54	38	-	-	-	2600	166

При збільшенні вхідного потоку до 60 пораних/добу:

- середня кількість осіб, що чекають в операційну зростає до 21;
- час очікування на операцію збільшується до 12 год.

Подальше збільшення інтенсивності надходження підтверджує наявність «вузького місця» в операційному відділенні. При надходженні 80 пораних/добу:

- середня довжина черга в операційну зростає до 40;
- середній час очікування досягає 48 год.
- додатково з'являються вузькі місця у відділеннях реанімації, опіковому та в інтенсивній терапії.

Для усунення «вузьких місць» рекомендовано збільшити кількість хірургічних бригад до 17, збільшити кількість ліжкомісць у реанімації до 10, у опіковому відділенні – до 12 та в інтенсивній терапії – до 16. Результати моделювання зі змінами, внесеними до базового варіанту моделі, показані в табл. 2.

Табл. 2. Результати імітаційного моделювання для базової конфігурації мобільного шпиталю зі збільшеною кількістю хірургічних бригад та ліжкомісць у відділеннях

Структурний підрозділ	Кількість ліжкомісць	Кількість персоналу	Довжина черги, осіб	Час очікування, хв.	Завантаженість, %	Час перебування, хв.	Пропускна здатність, осіб
Надходження 40 пораних/добу							
Приймальне відділення	1	1	0	0	22	-	-
Передопераційна	4	3	0	0	33	-	-
Реанімація	10	4	0	0	27	-	-
Операційна	17	12	1	2	45	-	-

Інтенсивна терапія	16	6	1	0	23	-	-
Психологічної допомоги	7	2	0	0	25	-	-
Опікове	12	2	0	0	47	-	-
Терапія	13	7	0	0	68	-	-
Евакуаційна	1	1	0	0	40	-	-
Увесь шпиталь	54	38	-	-	-	1120	146
Надходження 60 поранених/добу							
Приймальне відділення	1	1	0	0	33	-	-
Передопераційна	4	3	0	0	45	-	-
Реанімація	10	4	0	0	74	-	-
Операційна	17	12	1	2	75	-	-
Інтенсивна терапія	16	6	1	0	74	-	-
Психологічної допомоги	7	2	0	0	38	-	-
Опікове	12	2	0	0	72	-	-
Терапія	13	7	0	0	67	-	-
Евакуаційна	1	1	0	0	60	-	-
Увесь шпиталь	54	38	-	-	-	976	162
Надходження 80 поранених/добу							
Приймальне відділення	1	1	0	0	44	-	-
Передопераційна	4	3	0	0	76	-	-
Реанімація	10	4	0	0	75	-	-
Операційна	17	12	2	12	78	-	-
Інтенсивна терапія	16	6	1	0	70	-	-
Психологічної допомоги	7	2	0	0	50	-	-
Опікове	12	2	0	0	78	-	-
Терапія	13	7	0	0	72	-	-
Евакуаційна	1	1	0	0	75	-	-
Увесь шпиталь	54	38	-	-	-	828	246

Спостерігається зменшення довжини черги та часу очікування в операційному відділенні. При цьому, внаслідок ліквідації «вузьких місць» у підрозділах, збільшилась пропускна здатність шпиталю.

Таким чином, імітаційна модель мобільного медичного шпиталю дозволяє оцінити його можливості по об'єму робіт, що очікуються, визначити потреби у ресурсах і засобах та підвищити ефективність роботи під час надання медичної допомоги пораненим.

Висновки. На територіях України, де тривають бойові дії, медичні установи стикаються з додатковим навантаженням. Це призводить до нестачі ресурсів та зниження ефективності медичної допомоги. За таких умов необхідно впроваджувати допоміжні мобільні медичні точки для своєчасного надання медичної допомоги. Тому в роботі було розроблено і реалізовано комп'ютерну модель мобільного медичного шпиталю. З комп'ютерною моделлю були проведені дослідження для різної інтенсивності вхідного потоку поранених. Дослідження роботи шпиталю виконано протягом одного робочого тижня. Часові характеристики процесів задаються в одиницях модельного часу – у хвилинах.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що отримано нову імітаційну модель, придатну для оцінювання ефективності шпиталю за множиною показників: пропускна здатність, час очікування в чергах, довжини черг у відділення, час перебування поранених у шпиталі.

Використання імітаційної моделі на практиці дозволить визначати потрібну кількість ресурсів, готуватися до можливих навантажень, ефективно використовувати мобільні шпиталі за потребами та приймати обґрунтовані рішення у режимі реального часу.

Подальші дослідження системи шпиталю будуть спрямовані на:

- проведення експериментів типу «що буде, якщо?...»;
- автоматичний розрахунок рекомендованої кількості ліжокмісць та персоналу у відділеннях шпиталю;
- вирішення багатокритеріальної задачі оптимізації за показниками ефективності.

Список бібліографічного опису

1. Г. Г. Рошін Георгій і О. Mazurenko, «Мобільні медичні формування служби медицини катастроф», Мобільні медичні формування служби медицини катастроф, вип. 11, Чер 2010.
2. П. Б. Волянський, «Мобільні медичні формування як механізм медичного захисту за умов надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру», Інвестиції: практика та досвід, вип. 18, с. 104–106, 2011.
3. «Медична допомога після окупації - як працюють медичні мобільні бригади в Україні - ZN.ua». Дата звернення: 06, Квітень 2024. [Online]. Доступний у: <https://zn.ua/ukr/HEALTH/deokupovani-teritoriji-medichni-mobilni-brihadi.html>
4. «За три місяці роботи понад 190 виїздів: мобільні медичні бригади допомагають пацієнтам у найвіддаленіших куточках області | Дніпропетровська обласна державна адміністрація». Дата звернення: 06, Квітень 2024. [Online]. Доступний у: <https://adm.dp.gov.ua/news/za-tri-misyaci-roboti-ponad-190-viyizdiv-mobilni-medichni-brigadi-dopomagayut-paciyentam-u-najviddalenishih-kutochkah-oblasti>
5. «Мобільний госпіталь від 'Rheinmetall'. Що це таке і чому важливо. - портал новин LB.ua». Дата звернення: 06, Червень 2024. [Online]. Доступний у: https://lb.ua/society/2023/10/02/577438_mobilnyi_gospital_vid.html
6. «В Охтирці відкрили модульну екстрену меддопомогу — Суспільне Суми». Дата звернення: 06, Квітень 2024. [Online]. Доступний у: <https://suspilne.media/sumy/726373-v-ohirci-na-sumsini-vidkrili-modulne-ukritta-ekstrenoi-meddopomogi/>
7. A. V. Verba, T. M. Ostashchenko, I. B. Plis, S. S. Tuz, i I. V. Sobko, «Досвід використання зведених медичних загонів у складі передової госпітальної бази в умовах збройного конфлікту високої інтенсивності», Ukrainian Journal of Military Medicine, вип. 4, вип. 1, с. 13–20, Бер 2023, doi: 10.46847/UJMM.2023.1(4)-013.
8. O. P. Yavorovsky et al., «Система забезпечення безпеки персоналу і пацієнтів у лікарняних закладах: стратегія удосконалення», Ukrainian Journal of Military Medicine, вип. 2, вип. 2, с. 23–33, Лип 2021, doi: 10.46847/UJMM.2021.2(2)-023.
9. Y. O. Zui, «Методичний підхід до кількісного оцінювання спроможностей медичних підрозділів Збройних Сил України», Ukrainian Journal of Military Medicine, вип. 2, вип. 2, с. 14–22, Лип 2021, doi: 10.46847/UJMM.2021.2(2)-014.
10. J. Li i Y. Lu, «A dynamic overflow triage model in an outpatient queuing system», IMA Journal of Management Mathematics, вип. 35, вип. 2, с. 301–320, Квіт 2024, doi: 10.1093/imaman/dpad027.
11. P. Sarla et al., «Study on patients arrival at hospital using queuing model with self-similar characteristics», 2022, с. 060005. doi: 10.1063/5.0081946.
12. T. Grober, O. Grober, i O. Savchenko, «An innovative approach to the study of the model of a medical institution», E3S Web of Conferences, вип. 210, с. 11002, Чер 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202021011002.
13. F. Mallor, C. Azcárate, i J. Barado, «Control problems and management policies in health systems: application to intensive care units», Flex Serv Manuf J, вип. 28, вип. 1–2, с. 62–89, Чер 2016, doi: 10.1007/s10696-014-9209-8.
14. E. Lavrov, O. Siryk, I. Kirichenko, N. Barchenko, i Y. Chybiriak, «The Methodology of Managed Functional Networks for Organizing Effective and Adaptive Human-Machine Dialogue in Automated Systems», в CEUR Workshop Proceedings, 2021.
15. E. Lavrov, O. Siryk, Y. Chybiriak, L. Danilova, V. Nahomyi, i S. Vakal, «A Model for the Organization of Adaptive Dialogue Interaction 'Man-Computer' Taking into Account the Requirements of Reliability and Efficiency», в 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2021 - Proceedings, 2021. doi: 10.1109/AICT52120.2021.9628939.
16. E. Lavrov, Y. Chybiriak, O. Siryk, V. Logvinenko, i A. Zakharova, «Training of Specialists for Adaptive management. Techniques for Teaching Computer Analysis of Automated Production Systems in the FlexSim Environment», в CEUR Workshop Proceedings, 2022.
17. E. A. Lavrov, O. E. Siryk, Y. I. Chybiriak, A. L. Zolkin, i N. A. Sedova, «Human-centered management in polyergatic information systems. Multi-criteria distribution of functions between operators», в IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022. doi: 10.1088/1755-1315/1049/1/012020.
18. E. Lavrov et al., «Human Factors in Automated Systems. Methodology for the Computer System 'International Center for the Support of Ergonomic Design and Research'», в 5th IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2023 - Proceedings, 2023. doi: 10.1109/AICT61584.2023.10452692.
19. E. A. Lavrov, V. G. Logvinenko, V. V. Osadchyi, O. Ye. Siryk, i Y. I. Chybiriak, «Adaptive learning system based on cognitive independence», в CEUR Workshop Proceedings, 2023.
- Я. Чибіряк, І. Баранова, і К. Ніколаєнко, «Метод наскрізного навчання студентів ІТ-спеціальностей імітаційному моделюванню у середовищі FlexSim для пошуку резервів підвищення ефективності автоматизованих систем.», Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production, вип. 42, с. 119–129, Бер 2021, doi: 10.36910/6775-2524-0560-2021-42-17.

References

1. G. G. Roschin Georgiy and O. Mazurenko, "Mobile medical formations of the disaster medicine service", *Mobile medical formations of the disaster medicine service*, vol. 11, June 2010.
2. P. B. Volyanskiy, "Mobile medical formations as a mechanism of medical protection under conditions of emergency situations of a natural and man-made nature", *Investments: practice and experience*, vol. 18, p. 104–106, 2011.
3. "Medical care after the occupation - how mobile medical teams work in Ukraine - ZN.ua". Access date: June 6, 2024. [Online]. Available at: <https://zn.ua/ukr/HEALTH/deokupovani-teritoriji-medichni-mobilni-brihadi.html>
4. "Over 190 visits in three months of work: mobile medical teams help patients in the most remote corners of the region | Dnipropetrovsk Regional State Administration". Access date: June 6, 2024. [Online]. Available at: <https://adm.dp.gov.ua/news/za-tri-misyaci-roboti-ponad-190-viyizdiv-mobilni-medichni-brigadi-dopomagayut-paciyentam-u-najviddalenishih-kutochkah-oblasti>
5. "Mobile hospital from 'Rheinmetall'. What is it and why is it important? - news portal LB.ua". Access date: June 6, 2024. [Online]. Available at: https://lb.ua/society/2023/10/02/577438_mobilniy_gospital_vid.html
6. "A modular emergency medical center was opened in Okhtyrka - Sumy Community". Access date: June 6, 2024. [Online]. Available at: <https://suspilne.media/sumy/726373-v-ohirci-na-sumsini-vidkrili-modulne-ukritta-ekstrenoi-meddopomogi/>
7. V. Verba, T. M. Ostashchenko, I. B. Plis, S. S. Tuz, and I. V. Sobko, "Experience of using consolidated medical units as part of a forward hospital base in the conditions of a high-intensity armed conflict", *Ukrainian Journal of Military Medicine*, vol. 4, issue 1, p. 13–20, May 2023, doi: 10.46847/UJMM.2023.1(4)-013.
8. O. P. Yavorovsky et al., "The system for ensuring the safety of personnel and patients in hospitals: a strategy for improvement", *Ukrainian Journal of Military Medicine*, vol. 2, issue 2, p. 23–33, July 2021, doi: 10.46847/UJMM.2021.2(2)-023.
9. Y. O. Zui, "Methodical approach to quantitative assessment of the capabilities of medical units of the Armed Forces of Ukraine", *Ukrainian Journal of Military Medicine*, vol. 2, issue 2, p. 14–22, July 2021, doi: 10.46847/UJMM.2021.2(2)-014.
10. J. Li and Y. Lu, "A dynamic overflow triage model in an outpatient queuing system," *IMA Journal of Management Mathematics*, vol. 35, issue 2, p. 301–320, Apr 2024, doi: 10.1093/imaman/dpad027.
11. P. Sarla et al., "Study on patients arrival at hospital using queuing model with self-similar characteristics", 2022, p. 060005. doi: 10.1063/5.0081946.
12. T. Grober, O. Grober, and O. Savchenko, "An innovative approach to the study of the model of a medical institution", *E3S Web of Conferences*, vol. 210, p. 11002, Jun 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202021011002.
13. F. Mallor, C. Azcárate, and J. Barado, "Control problems and management policies in health systems: application to intensive care units," *Flex Serv Manuf J*, vol. 28, issue 1–2, p. 62–89, Jun 2016, doi: 10.1007/s10696-014-9209-8.
14. E. Lavrov, O. Siryk, I. Kirichenko, N. Barchenko, and Y. Chybiriak, "The Methodology of Managed Functional Networks for Organizing Effective and Adaptive Human-Machine Dialogue in Automated Systems," in *CEUR Workshop Proceedings*, 2021.
15. E. Lavrov, O. Siryk, Y. Chybiriak, L. Danilova, V. Nahorny, and S. Vakal, "A Model for the Organization of Adaptive Dialogue Interaction 'Man-Computer' Taking into Account the Requirements of Reliability and Efficiency", in *2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2021 - Proceedings*, 2021. doi: 10.1109/AICT52120.2021.9628939.
16. E. Lavrov, Y. Chybiriak, O. Siryk, V. Logvinenko, and A. Zakharova, "Training of Specialists for Adaptive management. Techniques for Teaching Computer Analysis of Automated Production Systems in the FlexSim Environment", in *CEUR Workshop Proceedings*, 2022.
17. E. A. Lavrov, O. E. Siryk, Y. I. Chybiriak, A. L. Zolkin, and N. A. Sedova, "Human-centered management in polyergatic information systems. Multi-criteria distribution of functions between operators", in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022. doi: 10.1088/1755-1315/1049/1/012020.
18. E. Lavrov et al., "Human Factors in Automated Systems. Methodology for the Computer System 'International Center for the Support of Ergonomic Design and Research'", in *5th IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2023 - Proceedings*, 2023. doi: 10.1109/AICT61584.2023.10452692.
19. E. A. Lavrov, V. G. Logvinenko, V. V. Osadchyi, O. Ye. Siryk, and Y. I. Chybiriak, "Adaptive learning system based on cognitive independence," in *CEUR Workshop Proceedings*, 2023.
20. Ya. Chibyryak, I. Baranova, and K. Nikolayenko, "A method of end-to-end training of students of IT specialties in simulation modeling in the FlexSim environment for finding reserves for increasing the efficiency of automated systems.", *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*, vol. 42, p. 119–129, May 2021, doi: 10.36910/6775-2524-0560-2021-42-17.