

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра інформаційних технологій

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Світлана ВАЩЕНКО

_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»,

освітньо-професійної програми «Інформаційні технології проектування»

на тему: **«Імітаційне моделювання завантаженості мобільного медичного шпиталю в умовах воєнного стану»**

Здобувача (ки) групи ІТ-01 _____ Захарової Анни Миколаївни
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Анна ЗАХАРОВА
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник _____ професор, д.т.н., професор Євгеній ЛАВРОВ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Суми – 2024

Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра інформаційних технологій
Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»
Освітньо-професійна програма «Інформаційні технології проектування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. зав. кафедри ІТ

_____ Світлана ВАЩЕНКО
«__» _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

Захаровій Анні Миколаївні

1 Тема роботи Імітаційне моделювання завантаженості мобільного медичного шпиталю в умовах воєнного стану

керівник роботи Лавров Євгеній Анатолійович, д.т.н., професор,

затверджені наказом по університету від «07» травня 2024 р. №0482-VI

2 Строк подання студентом роботи «26» травня 2024 р.

3 Вхідні дані до роботи інтенсивність надходження поранених до шпиталю, поділ потоку поранених на відсотки за важкістю поранення, поділ потоку поранених на відсотки за видом поранення, параметри часу перебування поранених у відділеннях шпиталю, правила переходу поранених між відділеннями, початкова кількість ліжкомісць та персоналу у відділеннях шпиталю

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз предметної області, розробка імітаційної моделі мобільного медичного шпиталю, програмна реалізація імітаційної моделі шпиталю

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) актуальність роботи, існуючі мобільні медичні системи, постановка задач дослідження, вибір засобів реалізації, функціональні вимоги до імітаційної моделі, контекстна діаграма визначення кількості ресурсів та її декомпозиція, контекстна діаграма проведення експериментів з моделлю та її декомпозиція, контекстна діаграма процесу пошуку оптимальних рішень та її декомпозиція, діаграма варіантів використання, схема шпиталю, модель бази даних, етапи програмної реалізації, розрахунок рекомендованої кількості ресурсів, новизна та практична значимість, апробація, впровадження, висновки

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____ 08.04.2024 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз предметної області	08.04.2024- 16.04.2024	
2.	Вибір методів та засобів реалізації імітаційної моделі мобільного медичного шпиталю	17.04.2024- 25.04.2024	
3.	Планування робіт	26.04.2024- 05.05.2024	
4.	Проектування та моделювання імітаційної моделі шпиталю	06.05.2024- 11.05.2024	
5.	Програмна реалізація імітаційної моделі шпиталю	12.05.2024- 21.05.2024	
6.	Розрахунок кількості ресурсів з використанням моделі шпиталю	21.05.2024- 26.11.2024	
7.	Оформлення пояснювальної записки	23.05.2024- 26.05.2024	
8.			
9.			
10.			
11.			
12.			
13.			

Студент

(підпис)

Анна ЗАХАРОВА

Керівник роботи

(підпис)

д.т.н., проф. Євгеній ЛАВРОВ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Імітаційне моделювання завантаженості мобільного медичного шпиталю в умовах воєнного стану».

Пояснювальна записка складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел із 97 найменувань, додатків. Загальний обсяг роботи – 134 сторінки, у тому числі 62 сторінки основного тексту, 15 сторінок списку використаних джерел, 57 сторінок додатків.

Актуальність роботи полягає в тому, що в умовах воєнного стану на території України створюються додаткові навантаження на існуючі медичні установи. Це призводить до нестачі ресурсів і зниження ефективності надання медичної допомоги населенню та воєнним. В таких умовах, існуючі медичні системи міст потребують введення допоміжних мобільних медичних точок для забезпечення вчасного надання медичної допомоги. Тому актуальною задачею є створення достовірної комп'ютерної моделі, придатної для розрахунку параметрів мобільних шпиталів. Це дозволить завчасно підготуватися до очікуваних навантажень і ефективно використовувати мобільні медичні системи за потребами.

Мета роботи: розробка імітаційної моделі, призначеної для розрахунку кількості ліжокмісць та персоналу у відділах мобільного медичного шпиталю у залежності від інтенсивності вхідного потоку поранених.

Результати роботи використовуються у навчальному процесі Сумського державного університету на кафедрі інформаційних технологій у рамках дисциплін «Моделювання систем» та «Теорія прийняття рішень».

Результати роботи були докладені на 5-ти міжнародних науково-практичних конференціях, основний зміст роботи опубліковано у 8 наукових роботах.

Ключові слова: імітаційна модель, мобільний шпиталь, оптимальне рішення, експерименти, прогін моделі, розрахунок ресурсів.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	9
1.1 Актуальність та аналіз існуючої проблеми	9
1.2 Огляд останніх досліджень і публікацій	13
1.3 Аналіз та вибір програмних засобів реалізації	15
1.4 Постановка задачі	19
2 РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ	21
2.1 Проектування структурно-логічної схеми пересувного медичного шпиталю	21
2.2 Формалізація процесів функціонування пересувного медичного шпиталю	25
2.3 Моделювання процесу використання імітаційної моделі	29
2.4 Проектування моделі бази даних	36
3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ	40
3.1 Структуризація вхідних даних	40
3.2 Програмна реалізація імітаційної моделі мобільного шпиталю	47
3.3 Розрахунок кількості ліжкомісць та персоналу у відділах шпиталю .	53
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТОК А	78
ДОДАТОК Б	86
ДОДАТОК В	97
ДОДАТОК Г	98
ДОДАТОК Д	134

ВСТУП

Актуальність теми. На територіях України, де ведуться бойові дії, створюються додаткові навантаження на існуючі медичні установи, що призводить до нестачі ресурсів і зниження ефективності надання медичної допомоги. В таких умовах, існуюча медична система потребує введення допоміжних мобільних медичних точок для забезпечення вчасного надання медичної допомоги. Тому актуальною задачею є створення достовірної комп'ютерної моделі, придатної для розрахунку параметрів мобільних шпиталів. Це дозволить завчасно підготуватися до очікуваних навантажень і ефективно використовувати мобільні медичні системи за потребами.

Імітаційна модель забезпечить можливість виведення інформації про можливе навантаження на окремі підрозділи мобільного шпиталю, дозволить швидко виконувати розрахунок потрібної кількості ліжкомісць та персоналу і, у залежності від інтенсивності надходження вхідного потоку поранених, приймати ефективні рішення у режимі реального часу.

Дані для побудови моделі були отримані у результаті аналізу довідкових матеріалів, також надавалися пропозиції від окремих медичних організацій м. Суми та бойових медиків.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою роботи є розробка імітаційної моделі, призначеної для розрахунку кількості ліжкомісць та персоналу у відділах мобільного медичного шпиталю у залежності від інтенсивності вхідного потоку поранених.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виявити існуючі проблем у медичних системах в умовах воєнного стану;
- обрати методи та засоби реалізації імітаційної моделі;
- розробити концептуальну модель мобільного медичного шпиталю;

- розробити математичну модель для розрахунку кількості ліжкомісць та персоналу у відділах шпиталю;
- розробити базу вхідних даних моделі та виконати програмну реалізацію імітаційної моделі;
- виконати розрахунок кількості ліжкомісць та персоналу при різних значеннях інтенсивності вхідного потоку поранених;
- використати модель для проведення експериментів та оптимізації за критеріями ефективності.

Об’єкт дослідження – система забезпечення медичними послугами поранених та постраждалих осіб в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуацій.

Предмет дослідження – імітаційна модель функціонування мобільного медичного шпиталю.

Методи дослідження базуються на використанні методів імітаційного та ситуативного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що на відміну від існуючих імітаційних моделей, які реалізують аналіз показників за принципом «що буде, якщо?...», запропонований метод крім розрахунків:

- автоматично перебудовує модель для розрахованої кількості ресурсів;
- вирішує задачу оптимізації.

Практичне значення отриманих результатів визначається тим, що отримано нову імітаційну модель, придатну для оперативного розрахунку потрібної кількості ліжкомісць та персоналу мобільних медичних систем у залежності від інтенсивності надходження вхідного потоку поранених.

Впровадження. Розроблена імітаційна модель використовується у навчальному процесі Сумського державного університету на кафедрі інформаційних технологій у рамках дисциплін «Моделювання систем» та «Теорія прийняття рішень». Матеріали роботи використані при підготовці методичних вказівок [1, 2]. Копія акту впровадження у навчальний процес наведена у додатку В.

Апробація результатів роботи. Результати роботи були докладені на п'яти міжнародних науково-практичних конференціях:

1. 17th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Kherson, Ukraine, September 28 – October 2, 2021.

2. Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених: Сучасні тенденції розвитку інженерії, технологій та транспорту. Хмельницький, 8-19 жовтня 2022 р.

3. Міжнародна наукова конференція молодих учених: Інформатика, математика, автоматика. Суми-Нур-Султан, 18-22 квітня 2022 р.

4. Міжнародна наукова конференція молодих учених: Інформатика, математика, автоматика. Суми-Нур-Султан, 24-28 квітня 2023 р.

5. Міжнародна наукова конференція молодих учених: Інформатика, математика, автоматика. Суми-Астана, 22-26 квітня 2024 р.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 8 наукових робіт, з них 6 тез у збірниках матеріалів конференцій [3-8], одна стаття, що цитується у Scopus [9] і одна стаття у фаховому виданні категорії Б [10]. Копії публікацій наведено в додатку Г.

Участь у Всеукраїнських конкурсах студентських наукових робіт. Матеріали роботи були представлені на 2-х Всеукраїнських конкурсах студентських наукових робіт. Копії дипломів переможця (1-ше місце та 3-тє місце) наведені у додатку Д.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Актуальність та аналіз існуючої проблеми

З моменту початку воєнних дій на території України перед медичною службою постає задача у створенні та підвищенні ефективності і якості роботи спеціалізованих мобільних медичних формувань, призначених для надання кваліфікованої медичної допомоги населенню під час масованих обстрілів, вибухів, пожеж та інших надзвичайних ситуацій, спричинених 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. У 9-му пункті чинного положення зазначено, що до медичних формувань належать [11-13]:

- мобільні загони;
- мобільні госпіталі;
- медичні бригади постійної готовності першої черги - бригади швидкої медичної допомоги;
- спеціалізовані медичні бригади постійної готовності другої черги.

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 [12].

Мобільні бригади лікарів надавали медичну допомогу у населених пунктах Київщини після деокупації Бучі, Ірпеню, Бородянки, та в інших постраждалих регіонах [14].

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 [15].

У жовтні 2023 року Україна отримала перший польовий мобільний госпіталь від німецької компанії "Rheinmetall ZMS" загальною вартістю 9 млн. євро [16]. У систему входять відділення невідкладної допомоги, операційні, інтенсивної терапії, аптеки. Присутні намети для розміщення медичного персоналу, адміністративної частини, зони очікування (рис.1).



Рисунок 1.1 – Польовий госпіталь від німецької компанії "Rheinmetall ZMS"[16]

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 [17] (рис. 1.2).

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



Рисунок 1.2 – Амбулаторія модульного типу в м. Охтирка [17]

Особливої уваги потребує ситуація, що складається на прикордонних територіях на півночі та сході нашої країни. На прикладі Сумського району виконано аналіз системи забезпечення медичними послугами потоку поранених.

Результат аналізу представлено на рис. 1.3 у вигляді узагальненої структурної схеми, що відображає організаційно-технічну систему руху потоку поранених до існуючих стаціонарних медичних установ даного регіону.

Існуюча медична система має ряд недоліків:

- незручність з точки зору логістики по причині різного розташування медичних установ на місцевості;
- створення додаткових навантажень на медичні установи і, як наслідок, нестача потрібних ресурсів.

Отже, існуюча організаційно-технічна система не забезпечує потрібні показники ефективності для своєчасного надання медичної допомоги пораненим. По цій причині медична система регіону потребує наявності нових об'єктів, які будуть представляти собою допоміжні мобільні медичні точки.

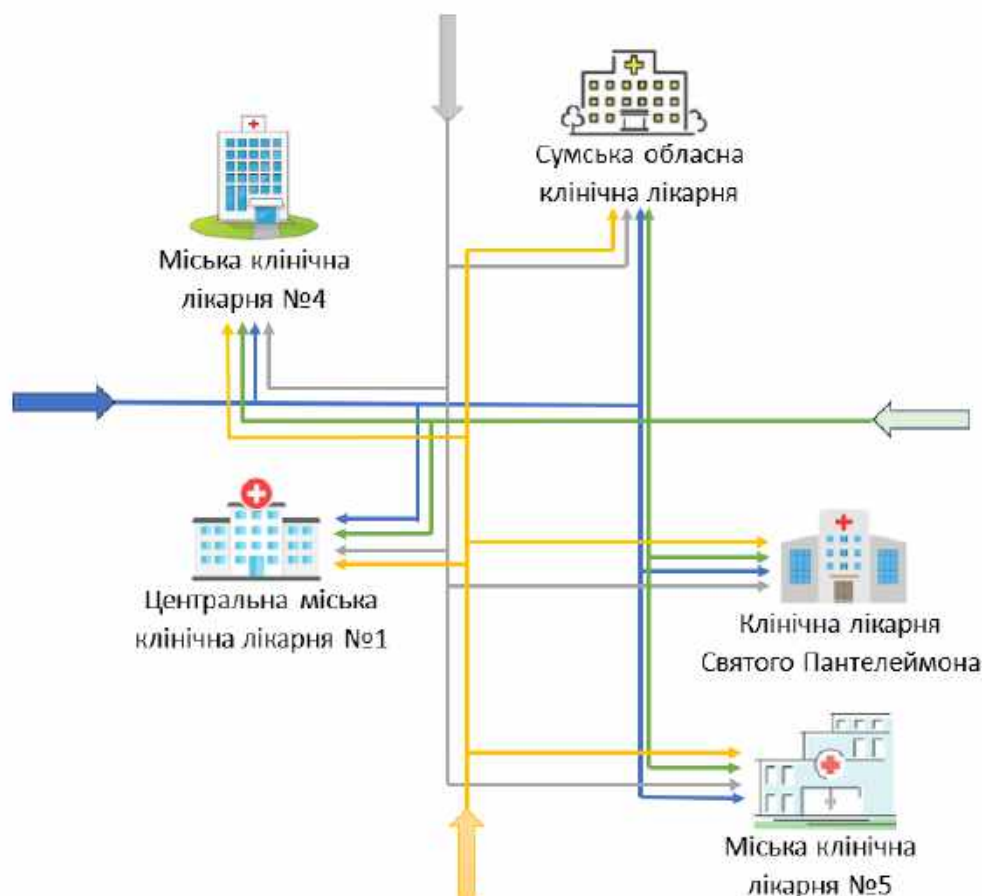


Рисунок 1.3 – Структура організаційно-технічної системи забезпечення медичними послугами поранених у Сумському регіоні

Ефективне використання мобільних медичних точок потребує швидкого виконання розрахунків параметрів та ресурсних можливостей у залежності від поточних обставин та можливого напливу поранених для забезпечення потрібної потужності та пропускної здатності комплексної системи медичної допомоги міста.

У даний час промисловість України не засвоїла випуск мобільних лікувально-діагностичних комплексів з високим рівнем технічного оснащення, ергономічністю внутрішніх приміщень та комфортними умовами роботи. Мова йде про створення спеціалізованих пересувних медичних шпиталів, призначених для надання кваліфікованої медичної допомоги:

- в умовах бойової обстановки;
- в екстремальних ситуаціях, спричинених масованими обстрілами;

- в населених пунктах після деокупації;
- у надзвичайних ситуаціях мирного часу.

Тому задача даного дослідження полягає у комп'ютерному моделюванні процесу функціонування мобільного медичного комплексу (ММК) для надання вчасної оперативної медичної допомоги пораненим.

1.2 Огляд останніх досліджень і публікацій

У дослідженнях, проведених за останні роки в Українській військовій медичній академії методами комп'ютерного моделювання, в основному, приділялася увага вирішенню наступних задач:

- оцінювання ефективності роботи медичних закладів [18];
- удосконалення структур медичних формувань [19];
- раціональний розподіл медичного персоналу [20].

Дослідження, що пов'язані зі створенням мобільних шпиталів містять теоретичні аспекти та рекомендаційний характер. Тому виникає необхідність дослідження можливості практичного застосування пересувних медичних шпиталів в теперішніх умовах.

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.

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 підходи, що застосовуються для дослідження медичних систем. Так, у [21] вирішується задача

покращення показників середньої довжини черг, часу очікування методом спеціальної організації черг у медичній системі з дефіцитом ресурсів, при цьому робочі процеси представляються Марківськими процесами, використовується чисельне моделювання за допомогою програмного забезпечення ProModel.

У статті [22] для медичних сервісних медичних систем типу M/M/1, аналітичними методами досліджувалася тривалість очікування під час надання медичних послуг пацієнтам з різною частотою їх прибуття.

У дослідженні [23] представлені аналітичні моделі та вирішується задача прискорення процесів реагування з урахуванням місцезнаходження пацієнтів і машин невідкладної медичної допомоги. Порівнюються два підходи: аналітичний і метод оптимізації з використанням генетичних алгоритмів. Доведено, що метод оптимізації може давати більш точні рішення, порівняно з аналітичними розрахунками. Також розглядаються кілька показників ефективності, для яких можна знайти оптимальні рішення тільки з використанням методу оптимізації.

В [24] розроблено імітаційну модель медичного закладу мовою програмування GPSS. 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 критерієм ефективності системи: при збереженні обсягу вхідного потоку заявок мінімізовано кількість відмов та скорочено до мінімуму довжину черг на прийом до лікаря.

Робота [25] присвячена вирішенню задачі раціонального розташування каналів обслуговування у медичній системі в умовах нестачі персоналу, медичного обладнання та інших ресурсів. Імітаційне моделювання виконано у програмному середовищі Arena. Запропоновано метод надання ефективної допомоги пацієнтам в умовах роботи медичного закладу з обмеженими ресурсами.

Таким чином, у теорії масового обслуговування використовуються два основних підходи щодо дослідження ефективності систем, у тому числі медичних:

- аналітичний (з використанням методів теорії ймовірностей та математичної статистики);
- імітаційний, що передбачає дослідження ефективності роботи систем засобами комп'ютерного моделювання.

Аналітичні дослідження систем масового обслуговування не завжди призводять до очікуваних результатів, оскільки зводяться до вивчення складних стохастичних моделей, для яких складно знайти рішення [26].

Для моделювання функціональних можливостей пересувних медичних систем аналітичні моделі не придатні, оскільки в умовах швидкої зміни ситуації, коли інтенсивність потоку поранених може швидко змінюватися потрібне швидке реагування, і швидкий розрахунок затребуваних ресурсів для забезпечення вчасного надання медичної допомоги.

На противагу аналітичному, метод імітаційного моделювання дозволяє швидко, більш точно і ефективно, з використанням можливостей комп'ютерної техніки, оцінювати значення тих характеристик системи, для яких аналітичні розрахунки не придатні [27, 28].

Тому, у даній роботі для дослідження процесів пересувного медичного шпиталю та оцінювання ефективності його роботи обрано метод імітаційного моделювання.

1.3 Аналіз та вибір програмних засобів реалізації

Програмні засоби, які використовуються для створення імітаційних моделей, можна класифікувати в такий спосіб (рис. 1.2).

Універсальні мови програмування надають досліднику гнучкість при побудові імітаційного алгоритму за рахунок значного набору програмних операторів.



Рисунок 1.2 – Класифікація засобів імітаційного моделювання

Програмні системи імітаційного моделювання поділяються на два основних види: системи, що підтримують мови імітаційного моделювання та проблемно-орієнтовані системи моделювання.

Мови моделювання припускають написання коду моделі. Здебільшого орієнтовані на моделювання конкретного виду систем (наприклад, дискретних чи неперервних).

Проблемно-орієнтовані системи є більш універсальними, призначені для вирішення задач моделювання у різних предметних сферах. Модель реалізується з використанням бібліотечних об'єктів, які мають функціонал, що налаштовується програмно. Забезпечують достатню гнучкість моделювання процесів систем.

На сьогодні налічується більше 200 різних програмних засобів, призначених для імітаційного моделювання [29]. Таке різноманіття пояснюється застосуванням імітаційного моделювання в різних предметних сферах, орієнтацією на різні типи систем (дискретні, неперервні), використанням різних методів імітації.

У [29] виконано порівняльну характеристику популярності систем імітаційного моделювання у академічному середовищі, яку можна відобразити діаграмою у вигляді відсоткових співвідношень (рис. 1.3).

Звичайно, популярність використання програмних інструментів у наукових дослідженнях та в академічній сфері не є єдиним вирішальним фактором при виборі інструменту моделювання.

Розробникам насамперед важливі такі критерії:

- функціональність ПЗ;
- гнучкість програми, а отже, і якість моделей, що будуються;
- види вбудованих математичних методів моделювання;
- точність і легкість інтерпретації результатів моделювання;
- можливість взаємообміну даними з іншими програмами та з базами даних;
- ціна ліцензії.

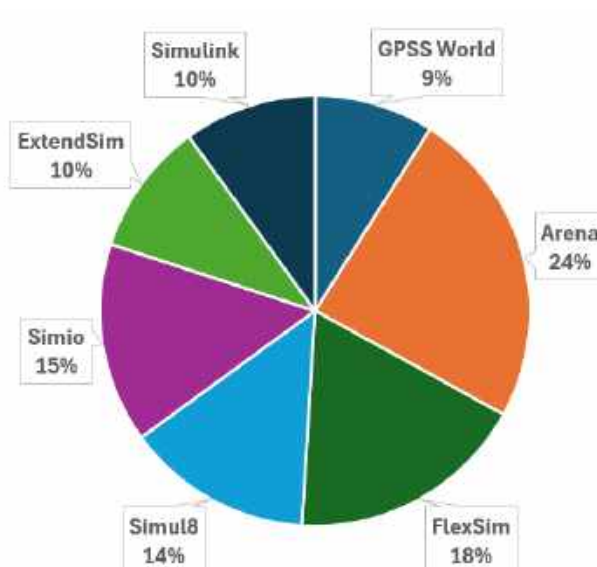


Рисунок 1.3 – Відсоткове співвідношення популярності використання інструментів імітаційного моделювання [29]

Пересувні медичні шпиталі відносяться до типу систем масового обслуговування з дискретними процесами, оскільки стан даної системи змінюється лише в окремі моменти часу. Тому при виборі програмного забезпечення віддавалася перевага програмам, які містять вбудовані математичні методи, призначені для моделювання дискретно-подійних процесів [30-44].

Серед сучасних і найбільш поширених у використанні програм (рис. 1.3), що дозволяють моделювати дискретні процеси і зокрема використовуються для моделювання медичних систем, можна назвати наступні: GPSS World, Arena, FlexSim, Simul8, Simio, ExtendSim, Simulink (пакет Matlab) [45-52].

У табл. 1.1 представлена порівняльна характеристика програмних засобів моделювання за обраними критеріями, що, з одного боку, є важливими для моделювання медичних процесів, а з іншого – корелюють з практичними навичками, отриманими при вивченні дисциплін у бакалаврському циклі.

Таблиця 1.1 – Порівняння програмних засобів моделювання

Критерії \ ПЗ	GPSS World	Arena	FlexSim	Simul8	Simio	ExtendSim	Simulink
Обмін даними з MS Excel	+	-	+	+	+	+	+
Підключення до даних через SQL	-	-	+	+	-	-	-
Вбудована мова програмування C++	-	-	+	-	-	-	-
Наявність ліцензії в університеті	-	-	+	-	-	-	-
Вбудовано дискретно-подійний метод моделювання	+	+	+	+	+	+	+
Наявність бібліотеки об'єктів для моделювання медичних процесів	-	-	+	-	-	-	+
Представлення статистики у вигляді графіків і діаграм	-	+	+	+	+	+	+
Моделювання процесів у 3D	-	-	+	+	-	-	-

За результатами проведеного порівняльного аналізу виявлено, що програмне забезпечення FlexSim задовольняє заданим критеріям, тому програму FlexSim обрано для реалізації імітаційної моделі системи пересувного медичного шпиталю.

1.4 Постановка задачі

Метою роботи є створення імітаційної моделі пересувного медичного шпиталю та дослідження ефективності його роботи при різних значеннях інтенсивності вхідного потоку.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

1. Розробити структуру медичного шпиталю та виконати опис робочих процесів системи.

При розробці структури пересувного шпиталю буде використано досвід, описаний у зарубіжній літературі, де відображено моделювання систем, призначених для надання медичної допомоги при катастрофах та інших надзвичайних ситуаціях, в тому числі, в умовах воєнного стану [16, 17-20]. Такі системи побудовані по блочно-модульному принципу, що визначає зручність їх розгортання на місцевості в умовах надзвичайних ситуацій [53-65].

2. Виконати формалізацію робочих процесів у вигляді мережі масового обслуговування.

Відображення процесів системи у вигляді схеми є необхідним етапом для підготовки моделі до програмної реалізації [66-74].

3. Визначити вхідні дані, необхідні для побудови імітаційної моделі, реалізувати вхідні дані у вигляді бази даних.

Вхідні дані важливо розмістити саме у вигляді таблиць, оскільки необхідно передбачити можливість їх зміни під час прогонів моделі. Централізований спосіб зберігання даних у вигляді таблиць забезпечує ряд переваг, насамперед, це зручність доступу і маніпулювання даними [75-81]. Вхідні дані для побудови будуть імпортовані в модель з бази даних шляхом підключення до даних через SQL.

4. Виконати програмну реалізацію імітаційної моделі.

Програмну реалізацію моделі буде виконано у програмному середовищі FlexSim з використання вбудованої бібліотеки об'єктів. Для налаштування

функціоналу об'єктів буде використано мову програмування C++, що вбудована у FlexSim.

5. За побудованою імітаційною моделлю виконати дослідження роботи шпиталю протягом робочого тижня.

У ході моделювання планується дослідити різні варіанти роботи мобільного шпиталю при різній інтенсивності надходження постраждалих. Планується дослідити «вузькі місця» та оцінити роботу медичної системи за такими 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.

На етапі дослідження планується провести експерименти та виконати оптимізацію системи шпиталю за визначеними критеріями ефективності.

2 РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

2.1 Проектування структурно-логічної схеми пересувного медичного шпиталю

Надання допомоги у пересувному медичному шпиталі є подібною до класичного варіанту організації даного виду медичної допомоги з використанням функціональних підрозділів в наметах [18-20]. Тому структурно-логічна схема пересувного медичного шпиталю побудована по блочно-модульному принципу (рис. 2.1).

Потік потерпілих потрапляє у приймальне відділення, де відбувається приймання, огляд, первинна діагностика і сортування за видом поранення і за ступенем важкості.

Поранені обслуговуються за пріоритетом:

- 1 – вкрай важкі поранення,
- 2 – важкі поранення,
- 3 – середнього ступеню важкості,
- 4 – легкі поранення

Після приймального відділення відбувається надходження поранених у відповідні відділення:

- у відділення симптоматичної терапії надходить 2% потерпілих від усього потоку вкрай важких станів, які є безнадійними і закінчуються летальним кінцем;
- у перев'язувальну для легкопоранених направляється увесь потік з легкими станами (окрім психогенно-реактивних станів та контузій);
- у госпітальне відділення терапії потрапляють постраждалі з психогенно-реактивними станами та контузіями:
- у передопераційну потрапляють: 98% усього потоку вкрай важких поранень, увесь потік важких поранень та 20% потоку поранених із середнім ступенем важкості.

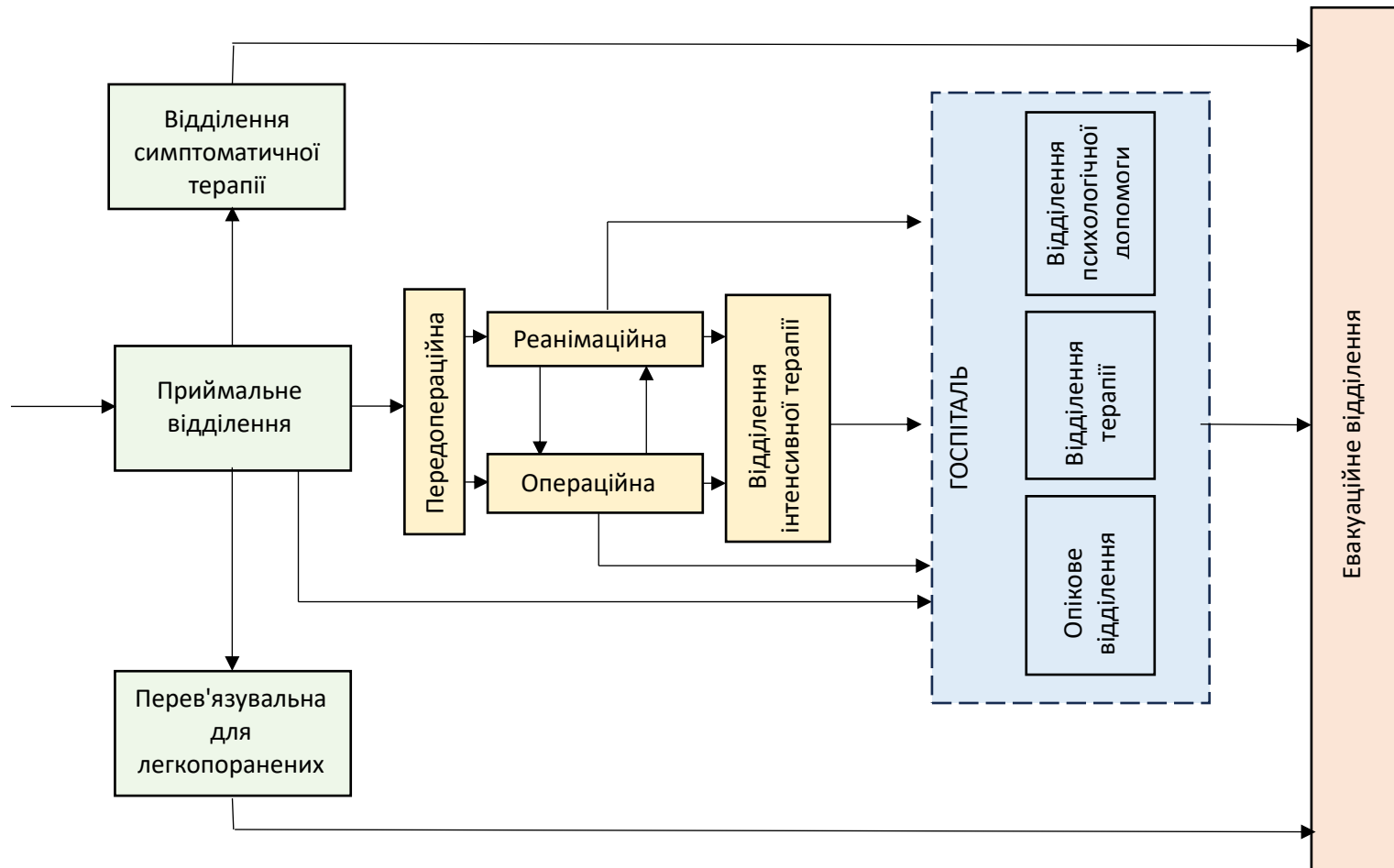


Рисунок 2.1 – Структурно-логічна схема пересувного медичного шпиталю

Інші 80% потоку поранених із середнім ступенем важкості направляються у госпіталь та розподіляються по відповідним відділенням у залежності від виду поранень:

- поранення і травми кінцівок – у терапевтичне відділення;
- поранення і травми грудної клітини – у терапевтичне відділення;
- поранення і травми голови – у терапевтичне відділення;
- поранення і травми щелепно-лицьової ділянки – у терапевтичне відділення;
- поранення і травми органів зору – у терапевтичне відділення;
- поранення і травми черевної частини – у терапевтичне відділення;
- опіки – у опікове відділення;
- поранення і травми хребта – у терапевтичне відділення.

У відділенні симптоматичної терапії поранені перебувають в середньому 2 год. і після летального кінця відправляються в евакуаційне відділення.

Після перев'язувальної для легкопоранених потерпілі відправляються в евакуаційне відділення, а далі – на вихід із системи.

У передопераційній відбувається процес підготовки до операцій (миття, бриття, премедикація та ін.), час перебування потерпілих в цьому відділенні залежить від ступеню важкості поранення.

З передопераційної в операційну надходять усі поранені із середнім ступенем важкості і 70% поранених від суми потоків важких станів і вкрай важких станів. Інші 30% від суми потоків важких станів і вкрай важких станів надходять із передопераційної у реанімаційну, а потім – в операційну.

В операційній відбувається хірургічне втручання, тривалість якого описується трикутним законом розподілу і залежить від ступеню важкості поранення та від виду поранення.

У реанімації тривалість перебування залежить від ступеню важкості і визначається трикутним законом розподілу.

Після реанімації пацієнти, які потрапили туди з передопераційної (30% важких і вкрай важких), надходять у операційну.

З операційної є три шляхи руху пацієнтів:

- у реанімацію;
- у відділення інтенсивної терапії;
- у госпіталь (у відповідне відділення).

З операційної у реанімацію надходять всі постраждалі, що мають вкрай важкий стан і 70% постраждалих, що мають важкий стан (але при умові наявності у реанімаційній вільних місць, у протилежному випадку постраждалі, яким не вистачило вільних місць надходять у відділення інтенсивної терапії), інші 30% постраждалих з важким станом одразу надходять з операційної у відділення інтенсивної терапії.

З реанімаційної у відділення інтенсивної терапії також надходять усі постраждалі, які вже 2-й раз потрапили у реанімацію.

Якщо у відділенні інтенсивної терапії при надходженні не вистачає вільних місць, постраждалі надходять у госпіталь і розподіляються по відповідним відділенням у залежності від виду поранень:

- поранення і травми кінцівок – у терапевтичне відділення;
- поранення і травми грудної клітини – у терапевтичне відділення;
- поранення і травми голови – у терапевтичне відділення;
- поранення і травми щелепно-лицьової ділянки – у терапевтичне відділення;
- поранення і травми органів зору – у терапевтичне відділення;
- поранення і травми черевної частини – у терапевтичне відділення;
- опіки – у опікове відділення;
- поранення і травми хребта – у терапевтичне відділення.

З операційної одразу у госпіталь надходять постраждалі із середнім ступенем важкості і розподіляються по відповідним відділенням у залежності від виду поранень:

- поранення і травми кінцівок – у терапевтичне відділення;
- поранення і травми грудної клітини – у терапевтичне відділення;
- поранення і травми голови – у терапевтичне відділення;

- поранення і травми щелепної-лицьової ділянки – у терапевтичне відділення;
- поранення і травми органів зору – у терапевтичне відділення;
- поранення і травми черевної частини – у терапевтичне відділення;
- опіки – у опікове відділення;
- поранення і травми хребта – у терапевтичне відділення.

Час надання медичної допомоги у відділенні інтенсивної терапії визначається трикутним законом розподілу і залежить від ступеню важкості поранення.

Госпіталь містить три відділення:

- відділення терапії;
- опікове відділення;
- відділення психологічної допомоги.

Час перебування у відділеннях госпіталю залежить від стану потерпілого і описується трикутним законом розподілу.

Після перебування у опіковому відділенні 60% потерпілих потребують психологічної допомоги і переходять з опікового відділення у відділення психологічної допомоги.

Після перебування у відділенні терапії 50% потерпілих потребують психологічної допомоги і переходять з відділення терапії у відділення психологічної допомоги.

Після перебування у госпіталі потерпілі надходять у евакуаційне відділення, звідки транспортуються на вихід із системи.

2.2 Формалізація процесів функціонування пересувного медичного шпиталю

Важливим етапом побудови імітаційної моделі є формалізація процесів функціонування системи. Формалізація дозволяє представити систему у вигляді

формального опису з використанням спеціальних знаків і правил для розуміння алгоритму її функціонування [82-93].

Формалізація систем проводиться з метою:

- підготовки до програмної реалізації моделі;
- аналітичного розрахунку показників ефективності систем.

Існують різні методи та засоби формалізації процесів систем, які можна поділити на дві групи: математичні і схематичні або мережеві. Класифікація методів формалізації систем представлена на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Методи формалізації процесів функціонування систем

Найбільш формалізованим представленням є представлення процесів системи у вигляді математичного апарату (з використанням аналітичних методів, статистичних, алгебри логіки та ін.). Менш формалізованим, але більш універсальним є спосіб представлення процесів системи у вигляді схем, що відображають склад елементів системи, структурні взаємозв'язки між ними, рух матеріальних потоків з позначеннями режиму надходження та обслуговування [94-99].

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).

Представимо процеси системи госпіталю у вигляді мережі масового обслуговування (рис. 2.3).

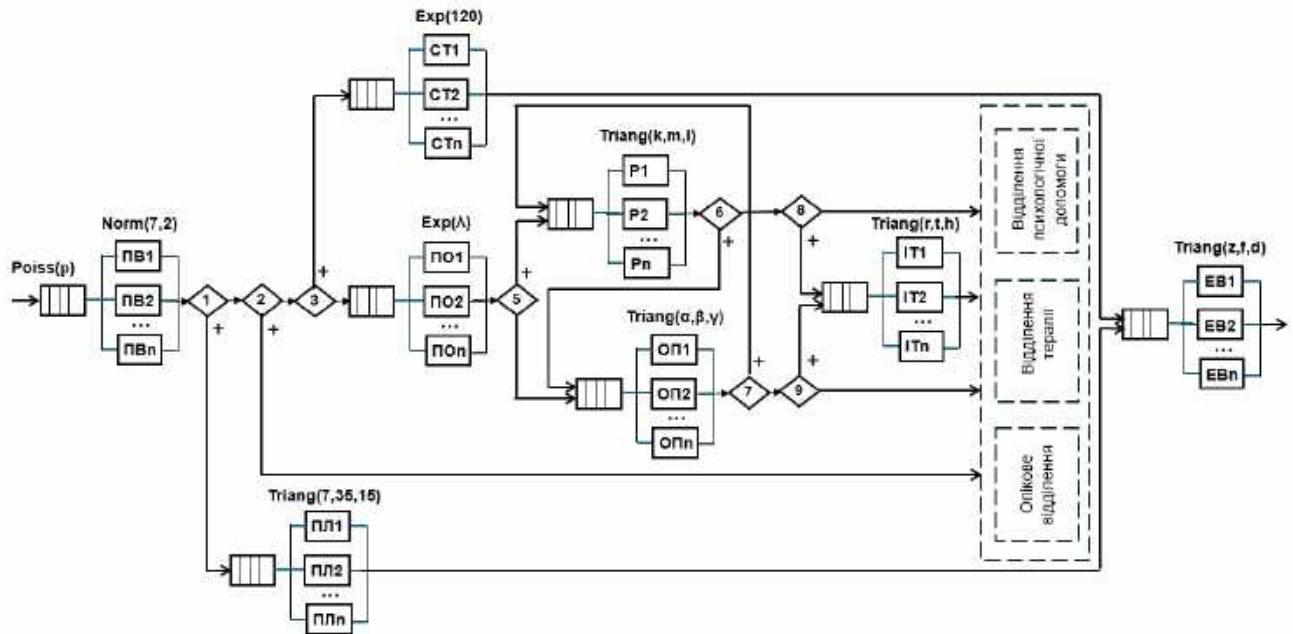


Рисунок 2.3 – Мережа масового обслуговування системи мобільного медичного шпиталю

На рисунку 2.3 використані такі умовні позначення:

- $\boxed{\text{ПВ}_i}$ – робочі місця приймального відділення ($i = \overline{1, n}$);
- $\boxed{\text{ПЛ}_i}$ – робочі місця у перев'язувальній для легкопоранених ($i = \overline{1, k}$);
- $\boxed{\text{СТ}_i}$ – робочі місця відділення симптоматичної терапії ($i = \overline{1, m}$);
- $\boxed{\text{ПО}_i}$ – робочі місця передопераційної ($i = \overline{1, s}$);
- $\boxed{\text{Р}_i}$ – робочі місця відділу реанімації ($i = \overline{1, r}$);
- $\boxed{\text{ОП}_i}$ – робочі місця операційної ($i = \overline{1, p}$);
- $\boxed{\text{ІТ}_i}$ – робочі місця відділу інтенсивної терапії ($i = \overline{1, t}$);
- $\boxed{\text{ЕВ}_i}$ – робочі місця евакуаційного відділу ($i = \overline{1, h}$);
- $\diamond i$ – умови переходу з відділу у відділ ($i = \overline{1, z}$).

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

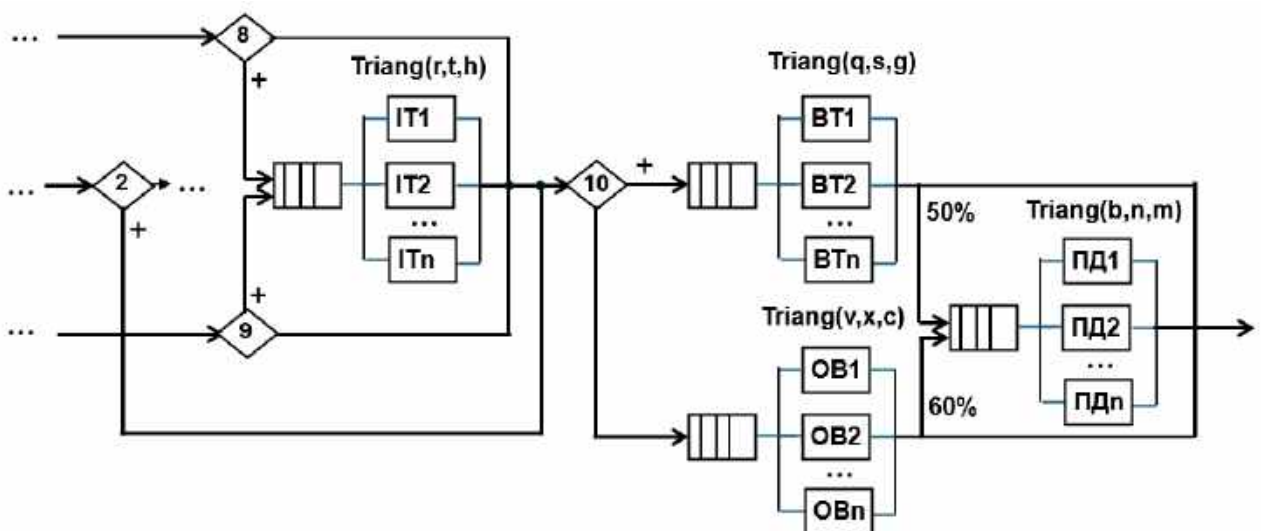


Рисунок 2.4 – Мережа масового обслуговування відділень госпіталю

На рисунку 2.4 формалізованою схемою описано матеріальні потоки у госпіталі, що є окремою частиною мобільного шпиталю (рис. 2.1) і складається з трьох відділень: терапевтичне, опікове і відділення психологічної допомоги.

На рисунку 2.4 використані такі умовні позначення:

- ВТ_i – робочі місця відділення терапії ($i = \overline{1, f}$);
- ОВ_i – робочі місця опікового відділення ($i = \overline{1, g}$);
- ПД_i – робочі місця відділення психологічної допомоги ($i = \overline{1, q}$);
- ІТ_i – робочі місця відділу інтенсивної терапії ($i = \overline{1, t}$);
- i – умови переходу з відділу у відділ ($i = \overline{1, v}$).

Тривалість надання медичної допомоги у відділеннях, що описується трикутним законом розподілу, а також умови переходу з одного відділення у інше залежать від виду і ступеню важкості поранення.

2.3 Моделювання процесу використання імітаційної моделі

Основне призначення імітаційної моделі полягатиме у розрахунку кількості ліжкомісць та персоналу у відділах мобільного шпиталю. Тому на нульовому рівні визначено контекстну діаграму (рис. 2.5), яка описує процес використання імітаційної моделі шпиталю для визначення потрібної кількості робочих ресурсів.

Декомпозиція функціональної моделі нульового рівня представлена на рис. 2.6.

На діаграмі декомпозиції нульового рівня (рис. 2.6) визначено наступні етапи використання імітаційної моделі за призначенням:

1. Введення вхідних даних до моделі: даний блок є найпершим, оскільки пов'язаний із заданням даних, від яких, згідно постановки задачі, виконується розрахунок – це інтенсивність надходження поранених і робоче навантаження на персонал, визначене згідно нормативних документів.



Рисунок 2.5 – Контекстна діаграма нульового рівня

2. Розрахунковий моделі передбачає запуск моделі, під час роботи виконуються розрахунки кількості ліжкомісць і персоналу у відділах, значення динамічно записуються до таблиці.

3. Автоматичне внесення змін до моделі, на даному етапі модель автоматично перебудовується під розраховану кількість ресурсів.

4. Запуск моделі протягом встановленого часу здійснюється для дослідження показників ефективності системи шпиталю.

5. Аналіз показників ефективності передбачає перегляд дослідником графіків і діаграм по показникам пропускної здатності системи, середнього та максимального часу очікування в чергах відділень шпиталю, тривалості перебування поранених у шпиталі та їх аналіз.

6. Надання практичних рекомендацій, даний процес виконує дослідник, який, спираючись на результати виконаного аналізу, надає рекомендації щодо внесення змін до реальної системи.

Розрахунки, виконані імітаційною моделлю, дозволяють визначити необхідну кількість ліжко-місць та персоналу у системі. Якщо модель, у якій внесено розраховані значення, на етапі аналізу її роботи дослідником, показує наявність «вузьких місць» у роботі системи, дослідник має можливість провести з моделлю експерименти типу «що буде якщо?...».

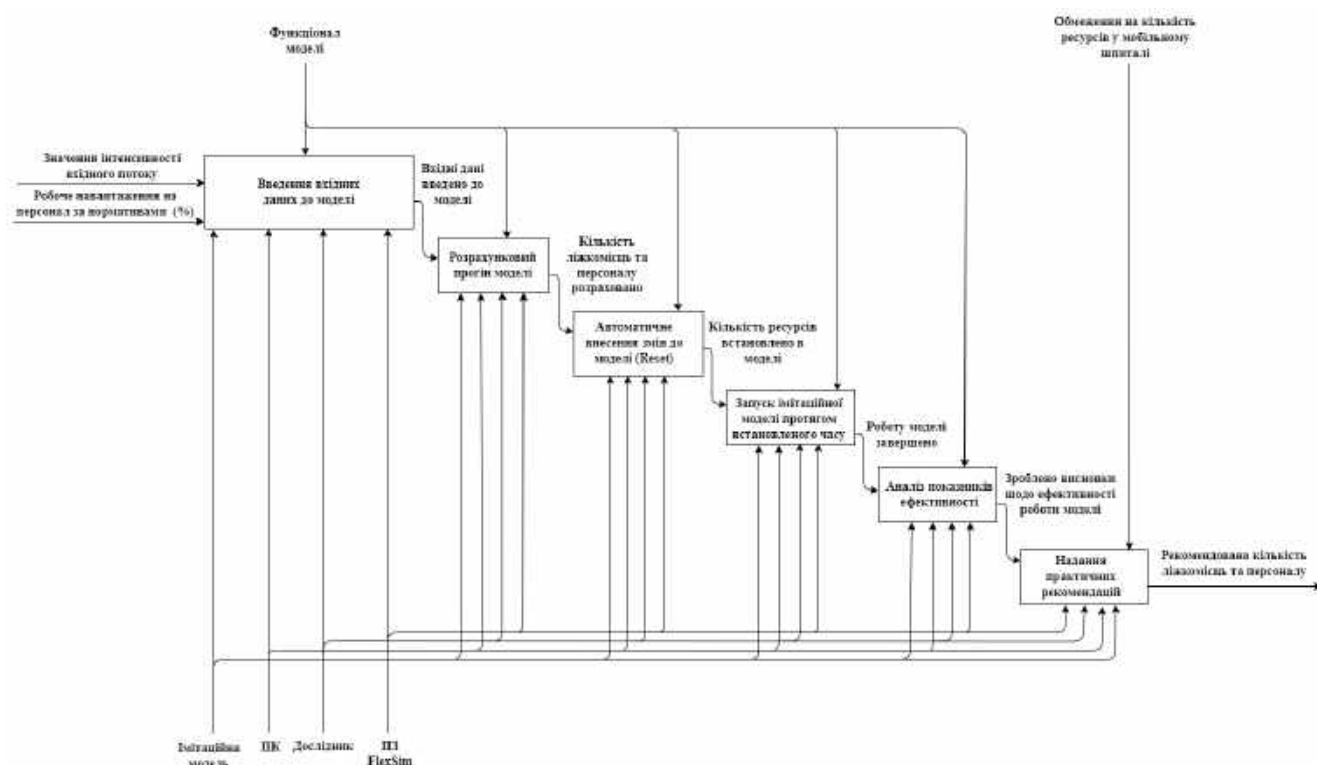


Рисунок 2.6 – Декомпозиція контекстної діаграми нульового рівня

Це дозволить виконати перевірку різних варіантів конфігурації шпиталю по кількостям ресурсів у відділах, оцінити і обрати кращий варіант.

На рис. 2.7 показано контекстна діаграма процесу проведення експериментів типу «що буде, якщо ?...».



Рисунок 2.7 – Контекстна діаграма першого рівня процесу проведення експериментів

Декомпозиція процесу проведення експериментів має вигляд діаграми, представленої на рис. 2.8.

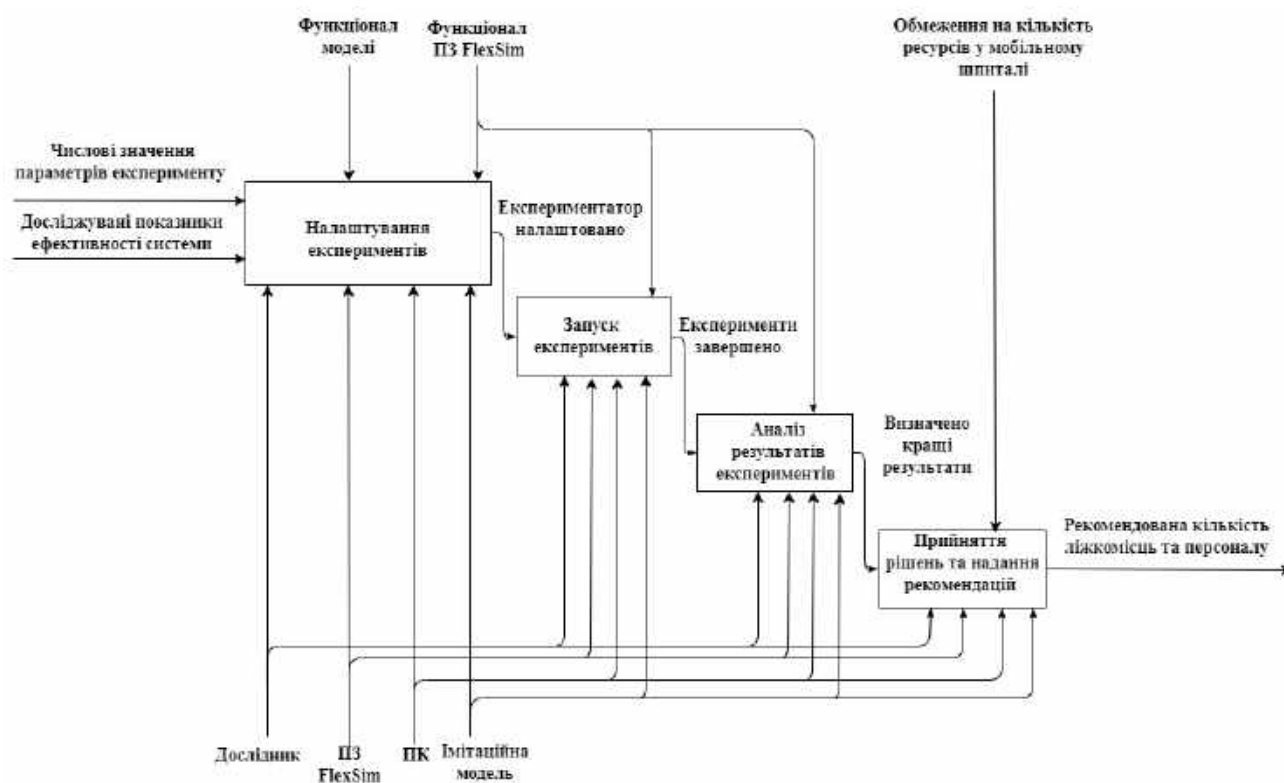


Рисунок 2.8 – Декомпозиція контекстної діаграми проведення експериментів з імітаційною моделлю

Експерименти дають можливість досліднику практично перевірити і оцінити різні варіанти прийняття рішень щодо кількості ліжкомісць та персоналу у відділах шпиталю. Наскільки ці варіанти будуть вдало визначені залежить від практичного досвіду дослідника. У результаті кращий варіант може бути не перевірений в експериментах.

Для того, щоб знайти оптимальне рішення серед множини допустимих, зручно виконати оптимізацію імітаційної моделі. Контекстна діаграма процесу пошуку оптимальних рішень показана на рис. 2.9, а її декомпозиція – на рис. 2.10.



Рисунок 2.9 – Контекстна діаграма процесу пошуку оптимальних рішень

Оптимізація надає можливість досліднику знайти такі значення параметрів системи, при яких показники ефективності системи набувають оптимальних значень. Для проведення етапу оптимізації необхідно задати змінні рішення та числовий діапазон значень, яких вони можуть набувати на практиці. Також задаються цільові функції, які потрібно мінімізувати або максимізувати. Можуть додатково накладатися обмеження на параметри, від яких залежать функції цілі.

Для нашої задачі у якості змінних рішення будуть задаватися шукані значення кількості ліжокмісць та персоналу у відділах шпиталю. Для функцій цілі будуть обрані наступні показники ефективності: довжини черг у відділах шпиталю та середній час, проведений пораненим у шпиталі, які потрібно мінімізувати, продуктивність системи, яку потрібно максимізувати.

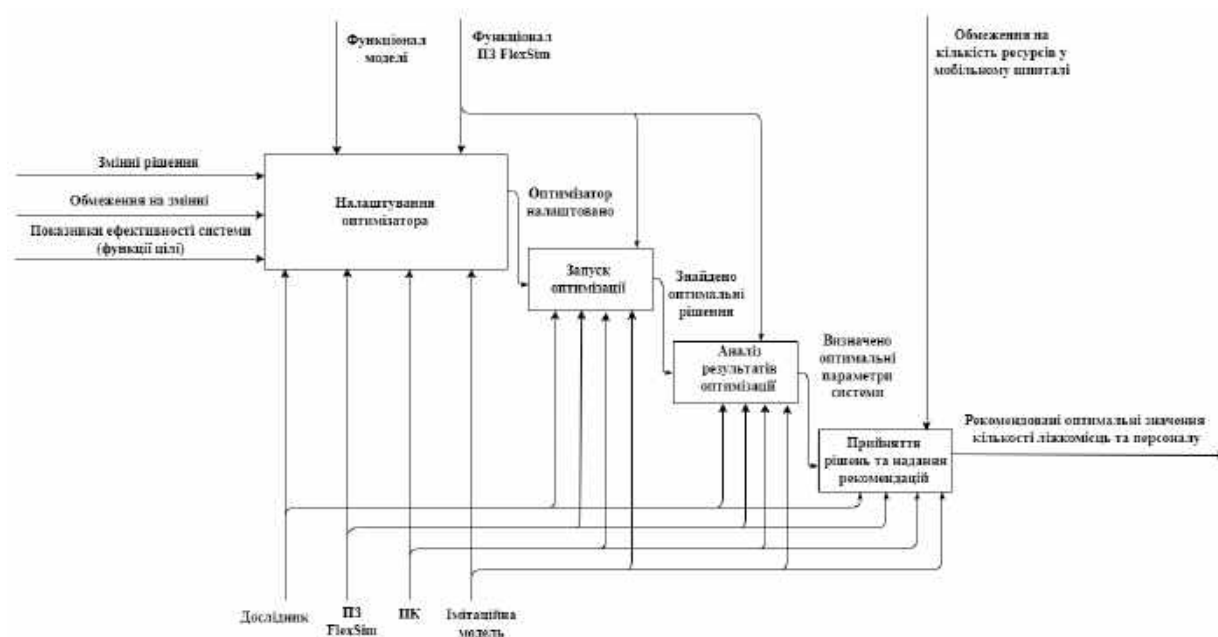


Рисунок 2.10 – Декомпозиція процесу пошуку оптимальних рішень

На рис. 2.11 та на рис. 2.12 відображено діаграми варіантів використання з точки зору дослідника та розробника моделі відповідно. Кожен з визначених акторів має свій набір функцій.

При визначенні варіантів використання моделі з боку дослідника вважалось, що дослідник не знається на правилах побудови моделей і не має навичок роботи у програмному середовищі FlexSim, він може тільки працювати з готовою моделлю і проводити дослідження. З боку розробника припускалось, що він володіє технологіями імітаційного моделювання у середовищі FlexSim і не є експертом предметної сфери, пов'язаної з медичними системами, тому не може проводити роботу, пов'язану з аналізом результатів моделювання та проведенням досліджень.

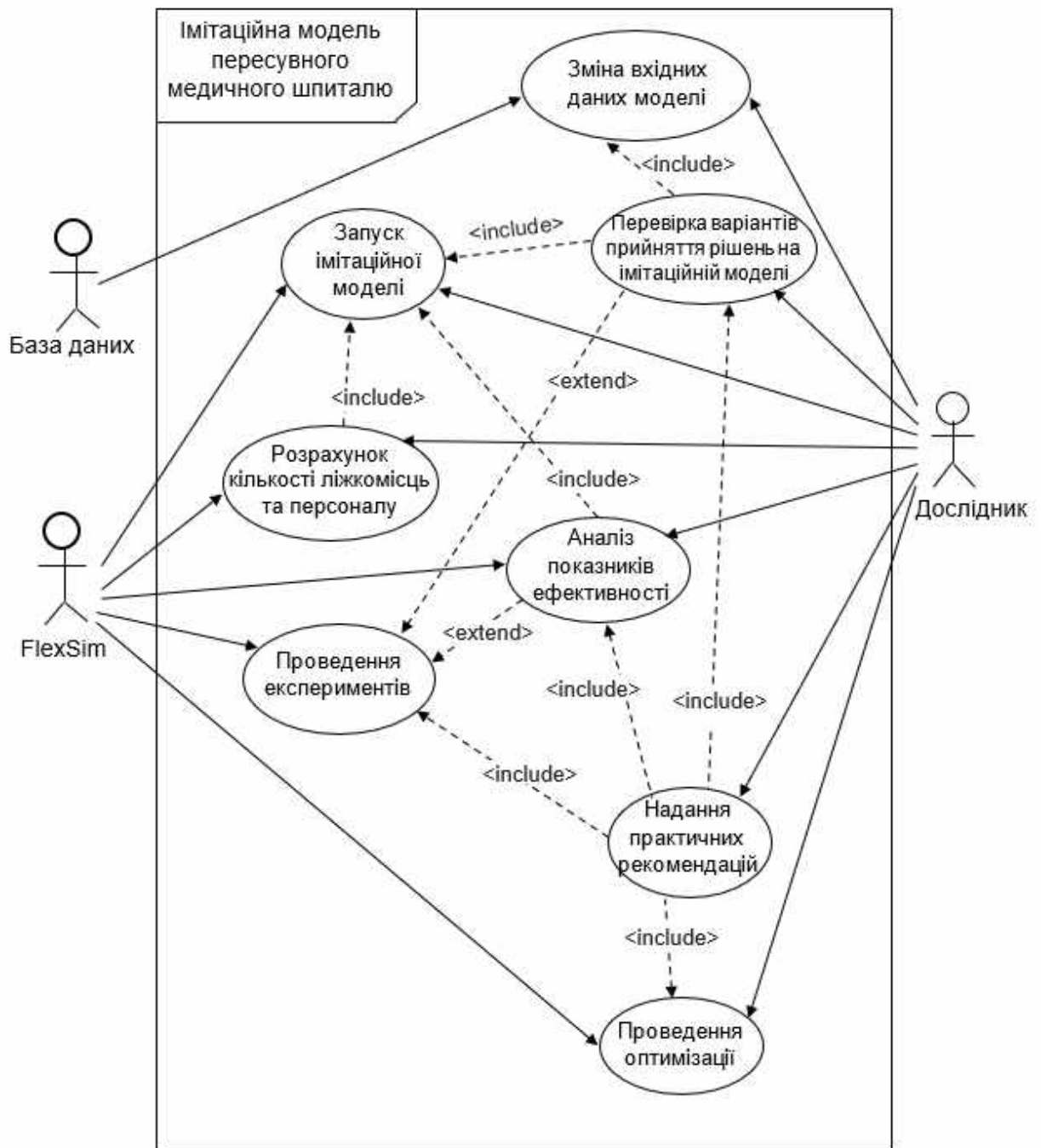


Рисунок 2.11 – Діаграма варіантів використання імітаційної моделі пересувного медичного шпиталю з боку дослідника

На схемах (рис. 2.11, рис. 2.12) зв'язок `<include>` направлений від базового варіанту використання до дочірнього і показує, які дочірні функції потрібно задіяти для виконання базового варіанту. Зв'язок `<extend>` направлений від спеціальних варіантів використання (дочірніх) до базового і вказує на можливість особливого

використання базового варіанту, тобто вказує на можливість розширення базового варіанту використання.

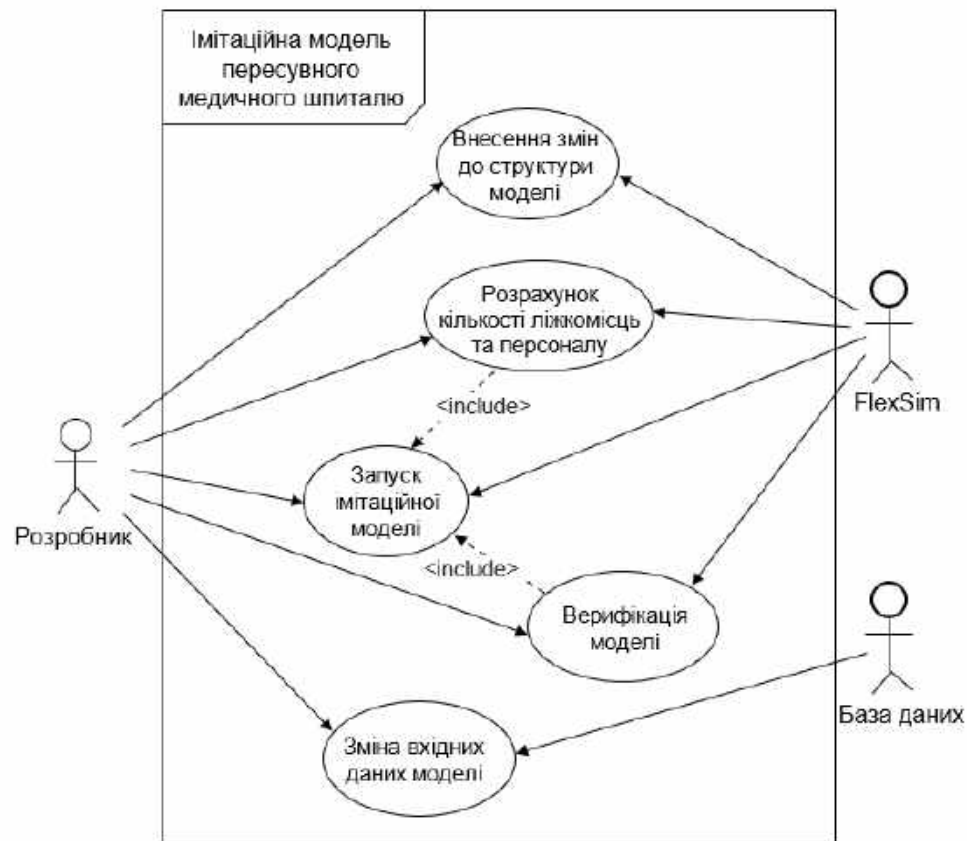


Рисунок 2.12 – Діаграма варіантів використання імітаційної моделі пересувного медичного шпиталю з боку розробника

2.4 Проектування моделі бази даних

База вхідних даних, на основі яких будується моделі, включає таблиці, які зберігають наступну інформацію:

- Severity_injury_table – розподіл постраждалих по відсоткам і по типам у залежності від важкості поранення;
- Type_injury_table – розподіл постраждалих по відсоткам і по підтипам у залежності від виду поранення;

- Data – дані, що задають інтенсивність надходження до шпиталю;
- Departments – початкова кількість ліжкомісць та персоналу у відділах шпиталю;
- Time_preoperative – середній час надання допомоги у передопераційній у залежності від важкості поранення;
- Time_operating – параметри трикутного закону розподілу, що моделює тривалість операцій у залежності від важкості і виду поранення;
- Time_resuscitation – параметри трикутного закону розподілу, що моделює час перебування у реанімації у залежності від важкості поранення;
- Hospital – кількість ліжкомісць та персоналу у відділах госпіталю;
- Time_hospital – параметри трикутного закону розподілу, що моделює час перебування у відповідних відділах госпіталю у залежності від важкості поранення;
- Time_evacuation department – параметри трикутного закону розподілу, що моделює час перебування у евакуаційному відділенні.

Важливим інструментом, що визначає логічну структуру баз даних є ER-діаграма (Entity Relationship Diagram). Вона дозволяє ідентифікувати та відобразити зв'язки між сутностями об'єкту інформатизації. Концептуальна модель, представлена на рис. 2.13 дає змогу представити дані на основі вимог до бази, також є простою і водночас ефективною візуалізацією даних моделі.

Логічна модель даних, відображена на рис. 2.14, деталізує концептуальну модель в частині визначення первинних і зовнішніх ключів для кожної сутності. Дана модель містить більшу частину інформації стосовно структури даних та взаємозв'язків між ними. Унікальність записів, що містять таблиці та зв'язки між таблицями є важливим аспектом управління даними, що забезпечуються наявністю визначених ключових полів.

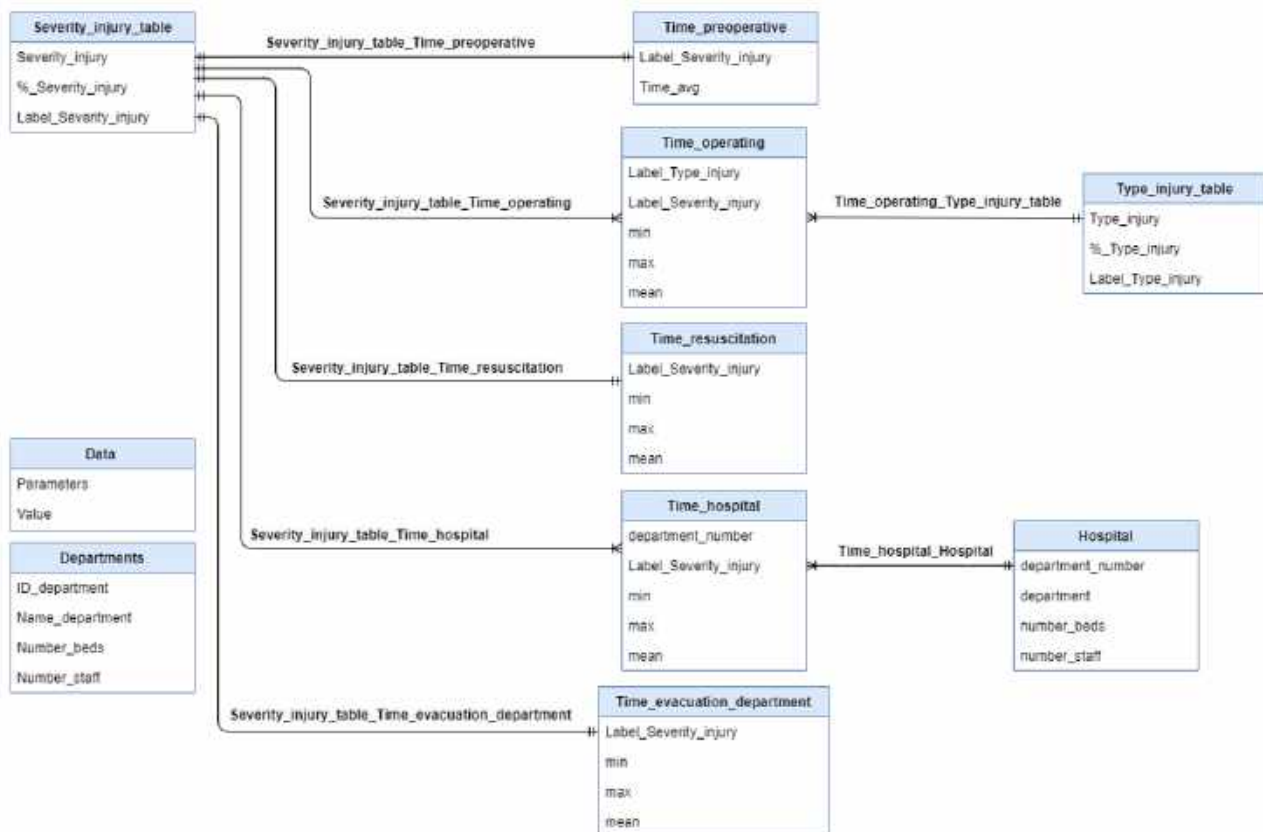


Рисунок 2.13 – Концептуальна модель бази даних

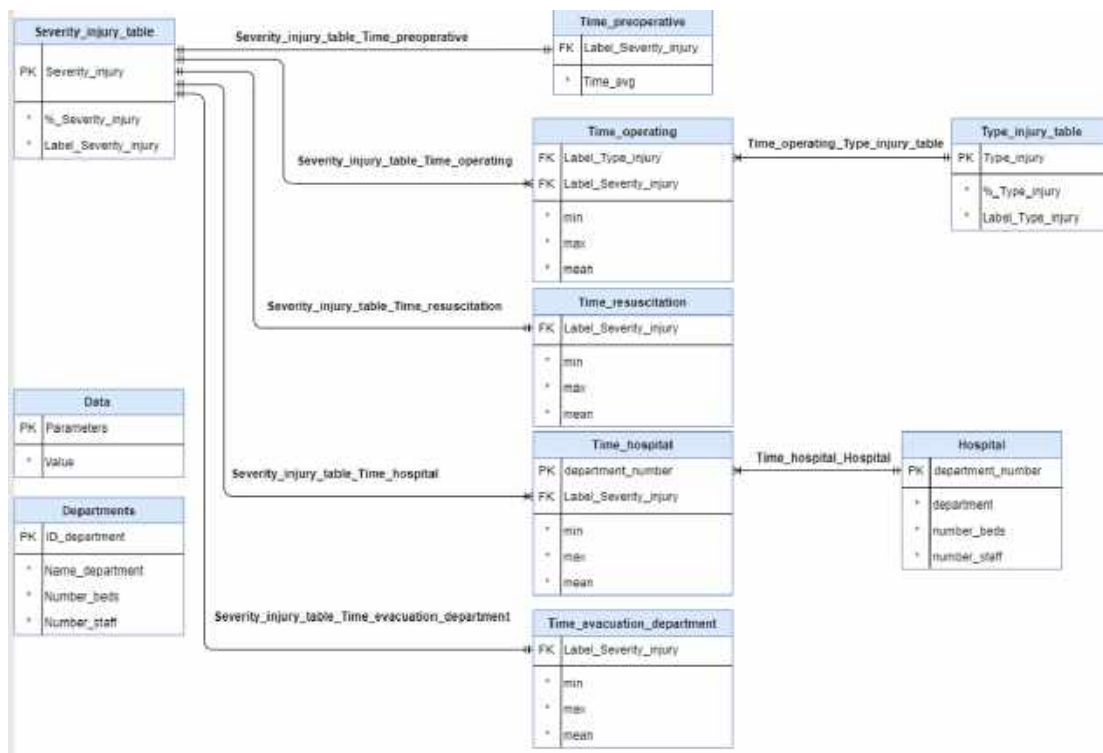


Рисунок 2.14 – Логічна модель бази даних

Побудована фізична модель даних (рис. 2.15) показує, як визначені дані зберігатимуться та взаємодіятимуть у базі даних в процесі її функціонування.

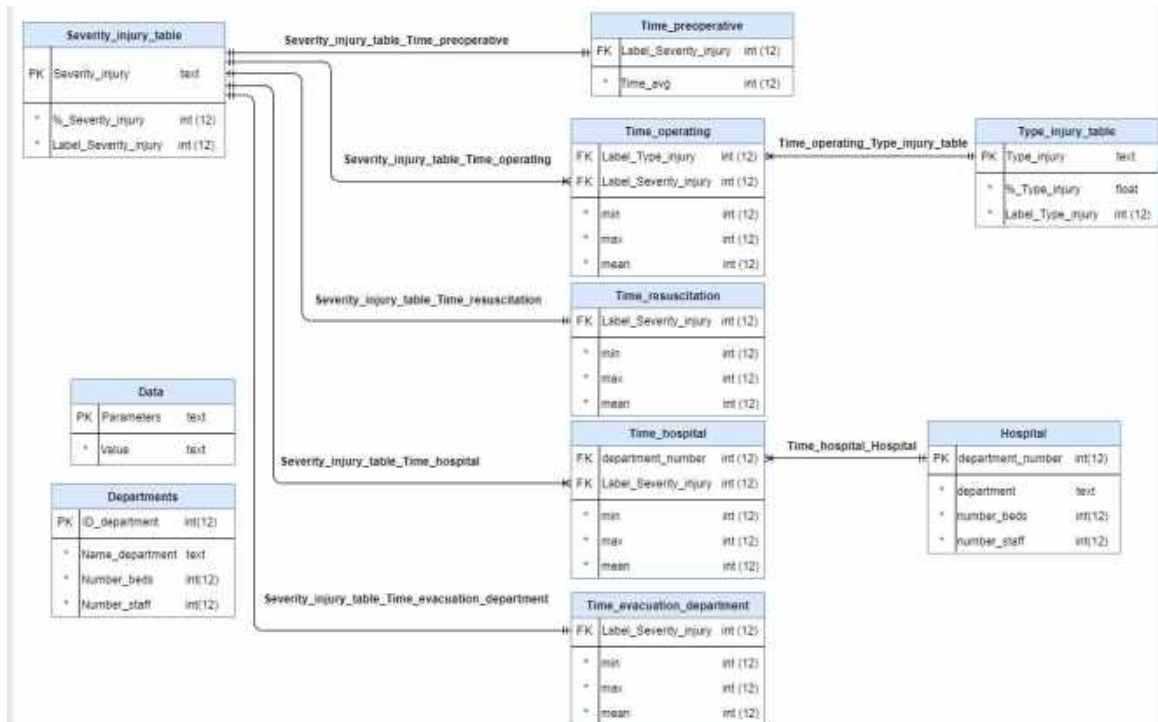


Рисунок 2.15 – Фізична модель бази даних

Таким чином, у даному розділі розроблено та побудовано моделі для інформаційної технології, яка буде закладена в основу програмної реалізації імітаційної моделі мобільного шпиталю.

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

3.1 Структуризація вхідних даних

Вхідні дані до імітаційної моделі зберігаються у таблицях реляційної бази даних, яку створено з використанням веб-додатку PhpMyAdmin та СУБД MySQL. На рис. 3.1-3.10 приведено таблиці, що входять до складу бази даних, призначення полів таблиці описано у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Значення полів таблиць бази даних

Назва таблиці	Назва поля таблиці	Призначення поля
Severity_injury_table	Severity_injury	Назва категорії важкості поранення
	%_Severity_injury	Відсоткове значення поранених відповідної категорії
	Label_Severity_injury	Числовий ідентифікатор важкості поранення
Type_injury_table	Type_injury	Тип поранення
	%_Type_injury	Відсоткове значення поранення
	Label_Type_injury	Числовий ідентифікатор типу поранення
Arrival_table	Value	Середнє значення часу між надходженнями поранених до системи
Time_symptomatic_treatment	Time_avg	Середній час перебування у відділенні симптоматичної терапії
Time_for lightly wounded	min	Мінімальний час перебування у перев'язувальній
	max	Максимальний час перебування у перев'язувальній
	mean	Середній час перебування у перев'язувальній

Продовження таблиці 3.1

Назва таблиці	Назва поля таблиці	Призначення поля
Time_preoperative	Label_Severity_injury	Числовий ідентифікатор важкості поранення
	Time_avg	Середній час перебування у передопераційній
Time_operating	Label_Type_injury	Числовий ідентифікатор типу поранення
	Label_Severity_injury	Числовий ідентифікатор важкості поранення
	min	Мінімальний час перебування у операційній
	max	Максимальний час перебування у операційній
	mean	Середній час перебування у операційній
Time_resuscitation	Label_Severity_injury	Числовий ідентифікатор важкості поранення
	min	Мінімальний час перебування у реанімації
	max	Максимальний час перебування у реанімації
	mean	Середній час перебування у реанімації
Hospital	Department_number	Номер відділення госпіталю
	Department	Назва відділення госпіталю
	Number_Beds	Кількість ліжкомісць у відповідному відділенні госпіталю
	Number_Staff	Кількість персоналу у відповідному відділенні госпіталю
Time_hospital	Department_Number	Номер відділення госпіталю
	Label_Severity_Injury	Числовий ідентифікатор важкості поранення
	Min	Мінімальний час надання допомоги у відповідному відділенні госпіталю

Продовження таблиці 3.1

Назва таблиці	Назва поля таблиці	Призначення поля
Time_hospital	Max	Максимальний час надання допомоги у відповідному відділенні госпіталю
	Mean	Середній час надання допомоги у відповідному відділенні госпіталю
Time_evacuation department	Label_Severity_injury	Числовий ідентифікатор важкості поранення
	min	Мінімальний час евакуації
	max	Максимальний час евакуації
	mean	Середній час евакуації
Departments	ID_department	Числовий ідентифікатор відділення
	Name_department	Назва відділення
	Number_beds	Кількість ліжокмісць
	Number_staff	Кількість персоналу

Severity_injury	Percent_Severity_injury	Label_Severity_injury
Minor injuries	19	1
Moderate injury	27	2
Seriously wounded	42	3
Very seriously injured	12	4

Рисунок 3.1 – Таблиця Severity_injury_table

Parameters	Value
Arrival_frequency	poisson(5.0)
Time_for lightly wounded	triangular(7.0, 35.0, 15.0)
Time_symptomatic_treatment	exponential(0.0, 2.0)

Рисунок 3.2 – Таблиця Data

department_number	department	number_beds	number_staff
1	Therapy	40	6
2	Burning	15	4
3	Psychological_help	20	4

Рисунок 3.3 – Таблиця Hospital

Label_Severity_injury	Time_avg
1	NULL
2	10
3	7
4	5

Рисунок 3.4 – Таблица Time_preoperative

Type_injury	Percent_Type_injury	Label_Type_injury
Wounds and injuries to the limbs	20.0	1
Chest wounds and injuries	17.5	2
Wounds and head injuries	16.0	3
Wounds and injuries of the maxillofacial region	9.7	4
Injuries and injuries to the organs of vision	9.0	5
Wounds and injuries to the abdominal cavity	8.7	6
Burns	8.6	7
Wounds and injuries of the spine	7.5	8
Psychogenic-reactive states, contusions	3.0	9

Рисунок 3.5 – Таблица Type_injury_table

ID_department	Name_department	Number_beds	Number_staff
1	Reception	4	2
2	Symptomatic therapy	1	2
3	Dressing room	2	2
4	Preoperative	5	2
5	Operating room	8	8
6	Reanimation room	10	7
7	Intensive therapy	10	5
8	Evacuation	4	2

Рисунок 3.6 – Таблица Departments

Label_Severity_injury	min	max	mean
1	NULL	NULL	NULL
2	NULL	NULL	NULL
3	120	360	240
4	240	720	480

Рисунок 3.7 – Таблица Time_resuscitation

Label_Type_injury	Label_Severity_injury	min	max	mean
1	1	NULL	NULL	NULL
1	2	30	120	60
1	3	60	240	120
1	4	120	300	240
2	1	NULL	NULL	NULL
2	2	60	180	120
2	3	120	300	180
2	4	120	300	240
3	1	NULL	NULL	NULL
3	2	60	240	120
3	3	120	360	240
3	4	180	480	360
4	1	NULL	NULL	NULL
4	2	30	120	60
4	3	60	240	120
4	4	120	300	240
5	1	NULL	NULL	NULL
5	2	60	180	120
5	3	120	300	180
5	4	120	300	240
6	1	NULL	NULL	NULL
6	2	60	180	120
6	3	120	300	180
6	4	120	300	240
7	1	NULL	NULL	NULL
7	2	60	180	120
7	3	120	300	180
7	4	120	300	240
8	1	NULL	NULL	NULL
8	2	60	180	120
8	3	120	300	180
8	4	120	300	240

Рисунок 3.8 – Таблица Time_operating

department_number	Label_Severity_injury	min	max	mean
1	1	NULL	NULL	NULL
1	2	240	480	360
1	3	240	600	480
1	4	240	1440	720
2	1	NULL	NULL	NULL
2	2	240	480	360
2	3	240	600	480
2	4	240	1440	720
3	1	NULL	NULL	NULL
3	2	120	300	720
3	3	120	300	240
3	4	240	600	360

Рисунок 3.9 – Таблица Time_hospital

Label_Severity_injury	min	max	mean
1	5	20	10
2	5	60	30
3	30	120	60
4	30	120	60

Рисунок 3.10 – Таблиця Time_evacuation_department

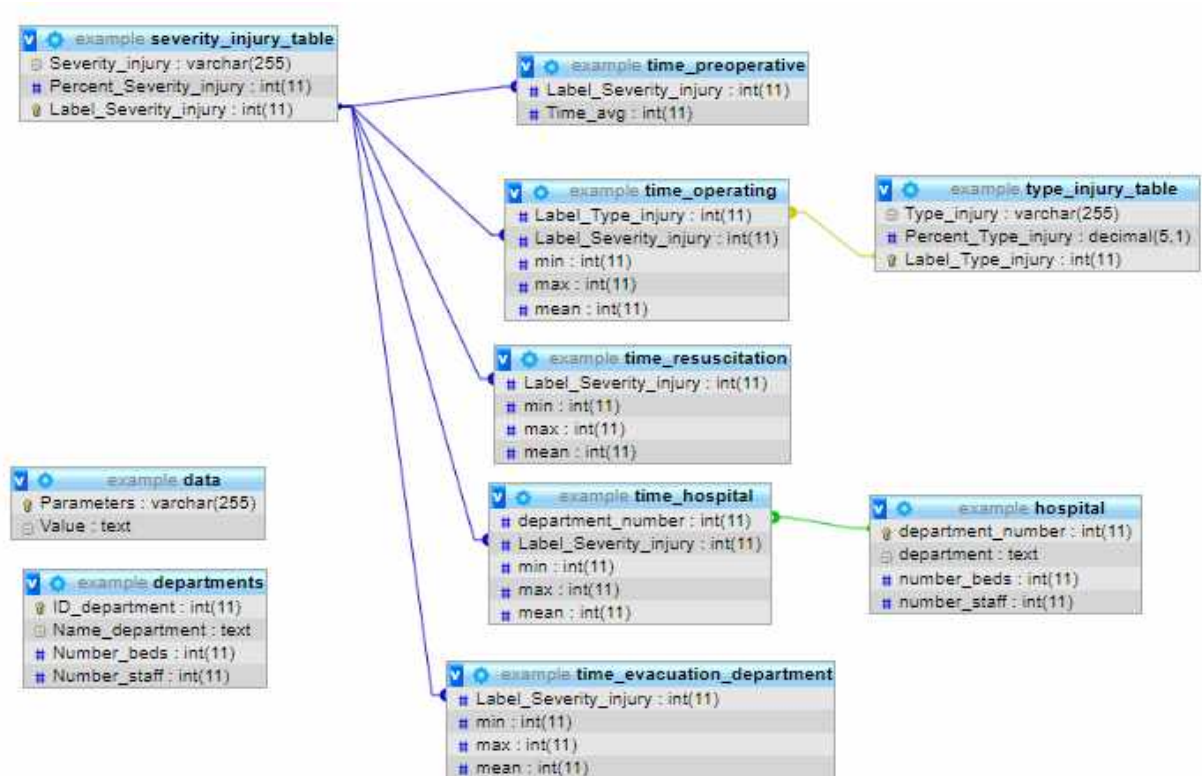


Рисунок 3.11 – Структура бази даних

Вхідні дані, збережені в таблицях бази даних, імпортуються у програмне середовище побудови моделі. За допомогою інструменту Database Connector (рис. 3.12) відбувається підключення бази даних до програмного середовища FlexSim. На рис. 3.13-3.17 показано імпорт кількох створених таблиць.

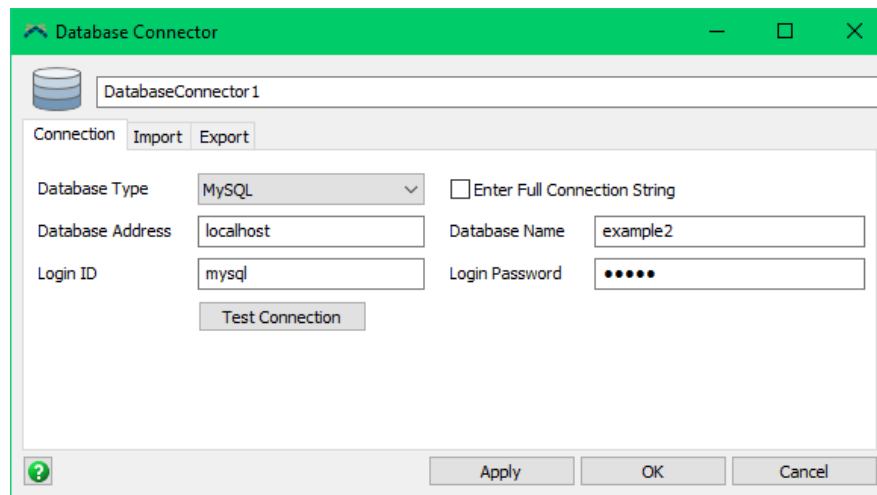


Рисунок 3.13 – Підключення до бази даних

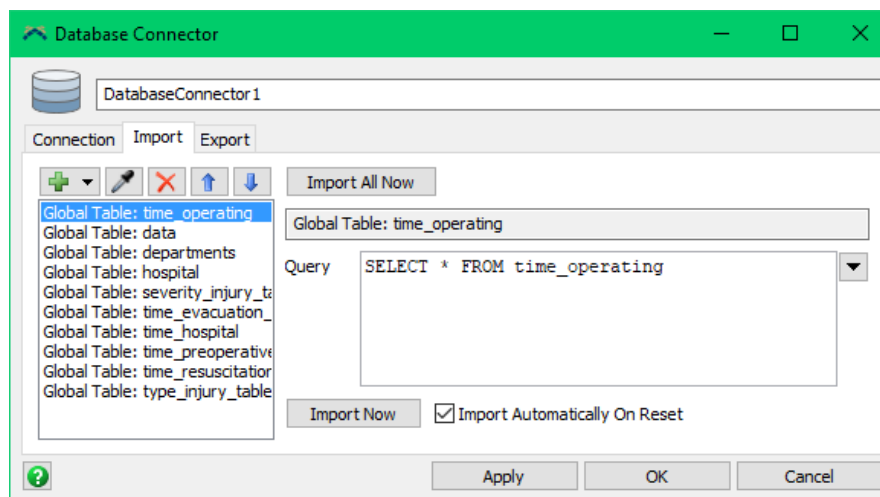


Рисунок 3.14 – Імпорт даних у таблицю Time_operating

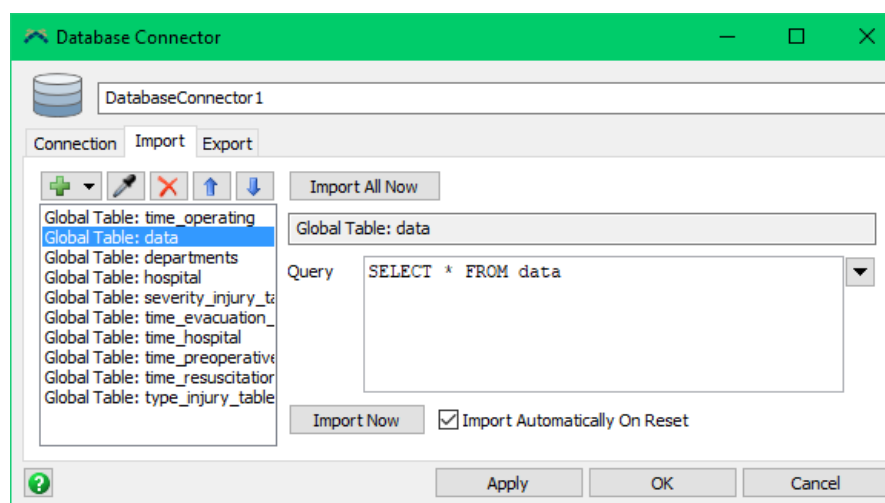


Рисунок 3.15 – Імпорт даних у таблицю Data

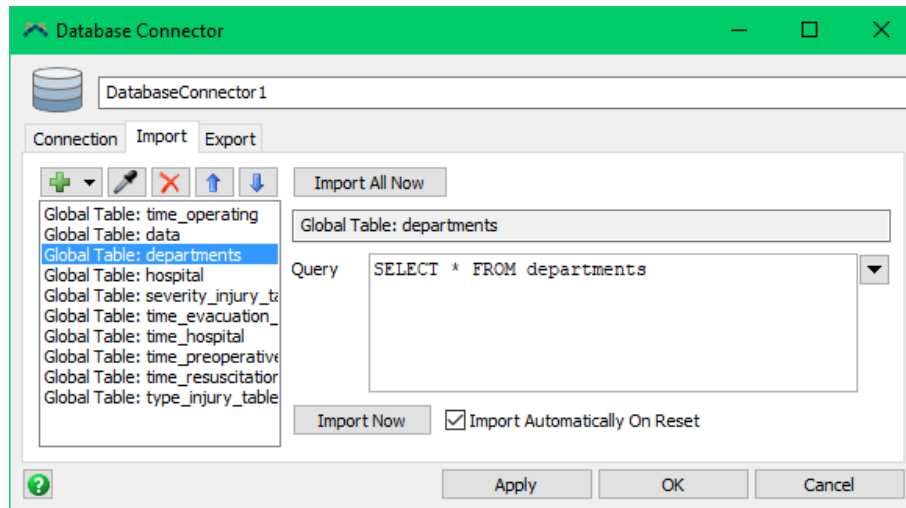


Рисунок 3.16 – Імпорт даних у таблицю Departments

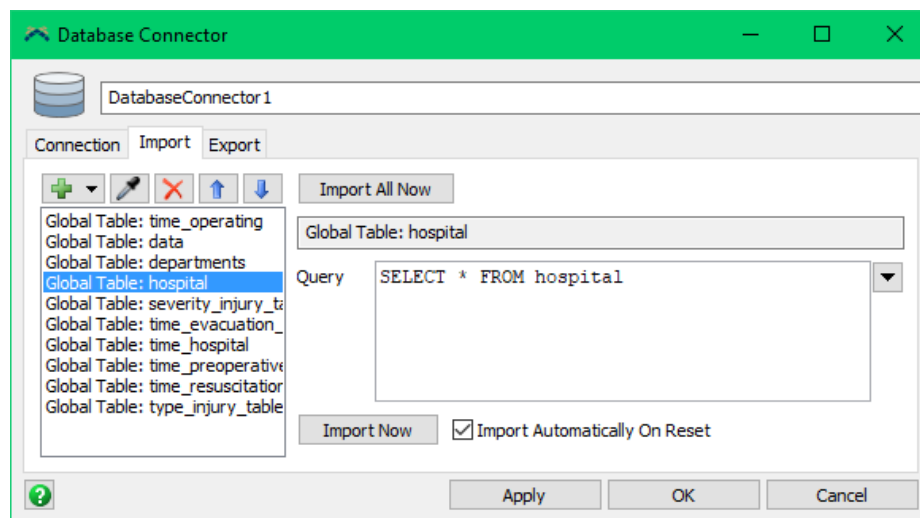


Рисунок 3.17 – Імпорт даних у таблицю Hospital

3.2 Програмна реалізація імітаційної моделі мобільного шпиталю

Програмна реалізація імітаційної моделі мобільного шпиталю відбувалася у кілька етапів:

- відтворення структури моделі;
- реалізація алгоритмів руху потоків між відділами;
- налаштування тривалості надання допомоги у відділах;

- побудова схеми ProcessFlow для керування роботою ресурсів у відділах;
- розробка та реалізація алгоритму розрахунку потрібної кількості ліжкомісць та персоналу у відділах;
- виведення показників ефективності у вигляді графіків і діаграм;
- налаштування візуалізації процесів.

Відтворення структури відбувається з використанням бібліотеки об'єктів. Об'єкти, що були обрані для побудови моделі відносяться до класу елементів потоку, фіксованих і мобільних ресурсів.

Елементи потоку – це об'єкти, які рухаються, обробляються, обслуговуються, тому елементами потоку в моделі позначали поранених, які рухаються від відділу до відділу і затримуються у відділах на відповідний час отримання лікарняної допомоги.

Ліжкомісця у відділеннях відтворювалися об'єктом Processor, який є фіксованим ресурсом. Він отримує елементи потоку на обробку до тих пір, доки не буде досягнуто його максимально допустимого вмісту. Кожен елемент потоку, що надходить у процесор, проходить час налаштування, за яким слідує час обробки. Після завершення цих двох процесів елемент потоку звільняється. Якщо максимальне значення контенту більше одиниці, елементи потоку будуть оброблятися паралельно.

Черги в моделі використовуються для очікування елементів потоку, коли наступний об'єкт в моделі не може їх прийняти на обслуговування. За замовчуванням черга працює за принципом «першим прийшов — першим обслужений». Черга є фіксованим ресурсом, що продовжує отримувати елементи потоку, доки не досягне максимального змісту.

Загальна структура моделі відображена на рис. 3.18.

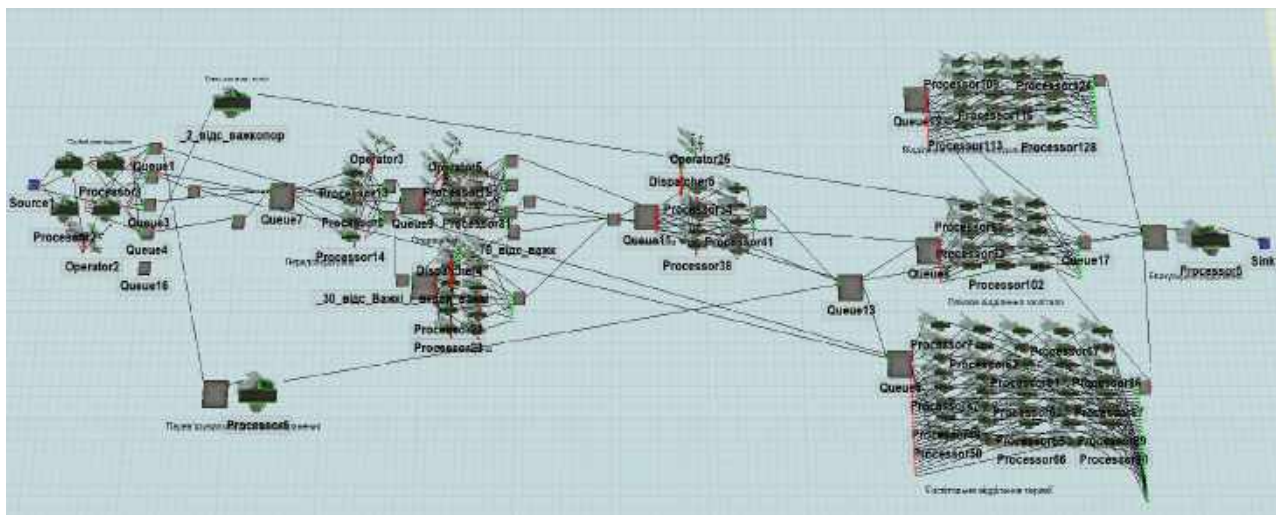


Рисунок 3.18 – Структура шпиталю, відтворена у середовищі FlexSim

На етапі відтворення структури моделі, кількість ліжкомісць та персоналу у відділах обиралася у довільній кількості. Наприклад, в реанімації було встановлено 10 ліжкомісць, в операційній – 8 (рис. 3.19).

Між об'єктами у моделі існують зв'язки. Для їх побудови використовувалися вхідні-вихідні порти. Порт - це точка на об'єкті, де елементи потоку можуть передаватися з одного об'єкта на інший. З'єднання порту – це з'єднання між портами двох різних об'єктів. Порти створюють зв'язки між об'єктами, які дозволяють їм взаємодіяти один з одним та обмінюватися елементами потоку. Зв'язки було побудовано таким чином, щоб для поранених забезпечувалися переходи і рух між відділами шпиталю.

Функції персоналу у моделі виконують оператори. Оператори можуть викликатись об'єктами, які будуть використовуватися під час надання послуг протягом встановленого часу. Вони залишаються з об'єктом, який їх викликав, доки не сплине відповідний час. Після звільнення оператори можуть працювати з іншим об'єктом. Також операторів можна використовувати для перенесення елементів потоку між об'єктами. Операторів можна підключити до мережі, якщо їм необхідно дотримуватися певних маршрутів під час руху по приміщенню шпиталю. Оператори відносяться до класу виконавців задач у моделі.

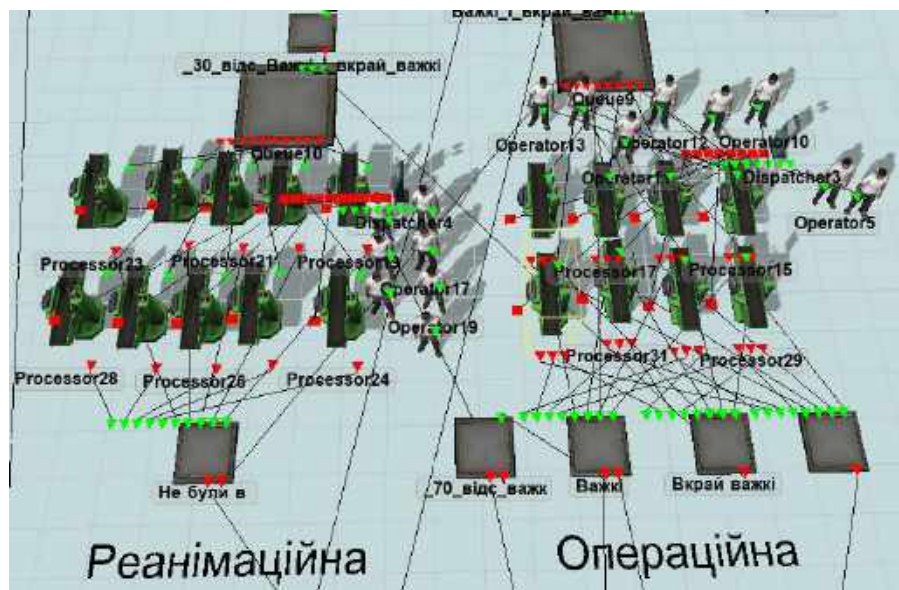


Рисунок 3.19 – Операційний та реанімаційний відділи шпиталю

Час надання допомоги у відділах шпиталю залежить від типу і виду поранення.

Тому, на початку програмної реалізації, потік поранених, що надходять до системи розподіляються на типи і підтипи у залежності від важкості і виду поранення. Цей розподіл відбувається у приймальному відділенні за відсотковими значеннями, записаними у таблицях з назвами Тяжкість поранення і Тип поранення. На рис. 3.20 представлено код, пов'язаний з розподілом поранених на типи і підтипи за важкістю і видом поранення.

Для встановлення часу перебування поранених у кожному з відділів шпиталю, на фіксованих ресурсах моделі (об'єкти типу Processor) виконується відповідний програмний код. Наприклад, на рис. 3.20 представлено програмний код, який встановлює час перебування поранених у операційному відділі, тобто задає тривалість операцій.

```

1 1 /**Custom Code*/
2 Object current = ownerObject(c);
3 Object item = param(1);
4 int rnumnumber = param(2); //row number of the schedule/sequence table
5 ( // ***** PickOption Start ***** //
6
7
8 int stream = getstream(current);
9 double randomnum = uniform(0.0, 100.0, stream);
10 string labelname = "Severity_injury";
11 Object involved = item;
12 Variant value;
13 double total = 0.0;
14 int foundmatch = 0;
15
16 total += Table("Тяжкість поранення")[1][1];
17 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
18     value = 1;
19     foundmatch = 1;
20 }
21 total += Table("Тяжкість поранення")[2][1];
22 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
23     value = 2;
24     foundmatch = 1;
25 }
26 total += Table("Тяжкість поранення")[3][1];
27 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
28     value = 3;
29     foundmatch = 1;
30 }
31 total += Table("Тяжкість поранення")[4][1];
32 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
33     value = 4;
34     foundmatch = 1;
35 }
36 involved.labels.assert(labelname).value = value;
37 // ***** PickOption End ***** //
38 ( // ***** PickOption Start ***** //
39
40
41 int stream = getstream(current);
42 double randomnum = uniform(0.0, 100.0, stream);
43 string labelname = "Type_injury";
44 Object involved = item;
45 Variant value;
46 double total = 0.0;
47 int foundmatch = 0;
48
49 total += Table("Тип поранення")[1][1];
50 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
51     value = 1;
52     foundmatch = 1;
53 }
54 total += Table("Тип поранення")[2][1];
55 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
56     value = 2;
57     foundmatch = 1;
58 }
59 total += Table("Тип поранення")[3][1];
60 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
61     value = 3;
62     foundmatch = 1;
63 }
64 total += Table("Тип поранення")[4][1];
65 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
66     value = 4;
67     foundmatch = 1;
68 }
69 total += Table("Тип поранення")[5][1];
70 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
71     value = 5;
72     foundmatch = 1;
73 }
74 total += Table("Тип поранення")[6][1];
75 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
76     value = 6;
77     foundmatch = 1;
78 }
79 total += Table("Тип поранення")[7][1];
80 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
81     value = 7;
82     foundmatch = 1;
83 }
84 total += Table("Тип поранення")[8][1];
85 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
86     value = 8;
87     foundmatch = 1;
88 }
89 total += Table("Тип поранення")[9][1];
90 if (!foundmatch && randomnum <= total) {
91     value = 9;
92     foundmatch = 1;
93 }
94 involved.labels.assert(labelname).value = value;
95 // ***** PickOption End ***** //

```

Рисунок 3.20 – Розподіл поранених на типи і підтипи за важкістю і видом поранення

Змінна у коді (рис. 3.21) з назвою `Severity_injury` зберігає значення типу від 1 до 4 у залежності від важкості поранення. Змінна з назвою `Type_injury` зберігає значення підтипу від 1 до 9 у залежності від виду поранення.

```

1 1 /**Custom Code*/
2 Object current = ownerObject(c);
3 Object item = param(1);
4 int port = param(2);
5
6 if (item.Type_injury == 1 || item.Type_injury == 4)
7 {
8     if (item.Severity_injury == 2)
9         current.ProcessTime = triangular(0.5, 2, 1)*60;
10    else
11        if (item.Severity_injury == 3)
12            current.ProcessTime = triangular(1, 4, 2)*60;
13        else
14            if (item.Severity_injury == 4)
15                current.ProcessTime = triangular(2, 5, 3)*60;
16 }
17 else
18 if (item.Type_injury == 2 || item.Type_injury == 5 ||
19 item.Type_injury == 6 || item.Type_injury == 8)
20 {
21     if (item.Severity_injury == 2)
22         current.ProcessTime = triangular(1, 3, 2)*60;
23     else
24         if (item.Severity_injury == 3)
25             current.ProcessTime = triangular(2, 5, 3)*60;
26     else
27         if (item.Severity_injury == 4)
28             current.ProcessTime = triangular(2, 5, 3)*60;
29 }
30 else
31 if (item.Type_injury == 3)
32 {
33     if (item.Severity_injury == 2)
34         current.ProcessTime = triangular(1, 4, 2)*60;
35     else
36         if (item.Severity_injury == 3)
37             current.ProcessTime = triangular(2, 6, 4)*60;
38     else
39         if (item.Severity_injury == 4)
40             current.ProcessTime = triangular(3, 5, 4)*60;
41 }
42 else
43 if (item.Type_injury == 7)
44 {
45     if (item.Severity_injury == 2)
46         current.ProcessTime = triangular(1, 3, 2)*60;
47     else
48         if (item.Severity_injury == 3)
49             current.ProcessTime = triangular(2, 4, 3)*60;
50     else
51         if (item.Severity_injury == 4)
52             current.ProcessTime = triangular(2, 6, 5)*60;
53 }

```

Рисунок 3.21 – Тривалість операцій у операційному відділенні

Важливим етапом реалізації є побудова схеми Process Flow, зображена на рис. 3.22. Process Flow – це спосіб програмування імітаційної моделі, призначений для створення власної програмної логіки для управління ресурсами. У якості ресурсів, якими ми управляємо в нашій моделі виступають кількість ліжокмісць і кількість одиниць персоналу у кожному відділі шпиталю. Дана схема керує робочими процесами у відділах.

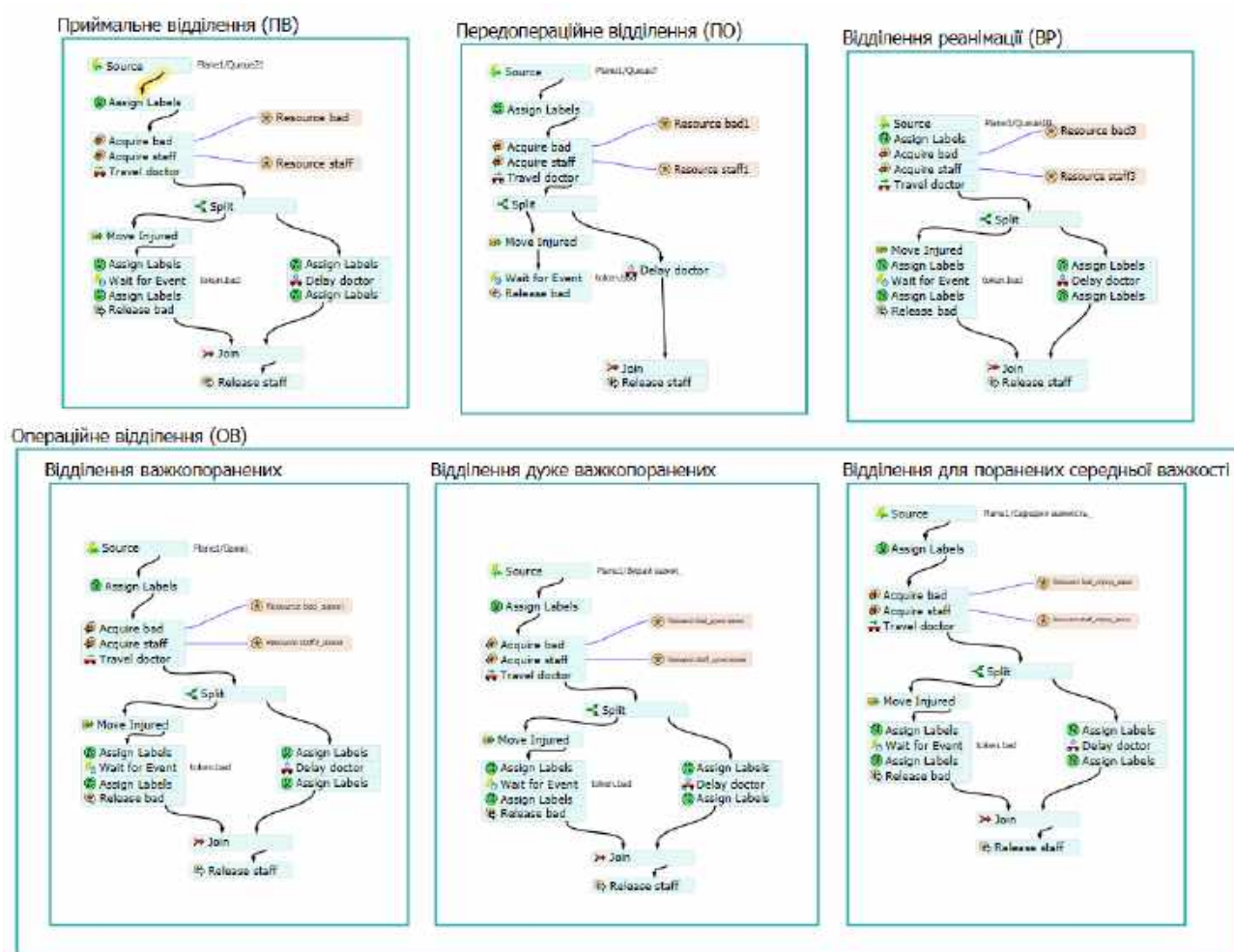


Рисунок 3.22 – Схема Process Flow

Схема на рис. 3.22 складається з блоків, кожен з яких на програмному рівні є функцією, що імітує робочий процес в моделі.

Основні блоки схеми мають таке призначення:

- source – надходження пораненого у відділ;
- acquire bad – імітує процес зайняття пораненим ліжкомісця у відділі;

- acquire staff – імітує процес зайняття одиниці медичного персоналу безпосередньо у роботу з пацієнтом;
- travel doctor – керує рухом медперсоналу по відділенню;
- wait for Event – очікування на подію завершення часу надання допомоги пораненому у відділі;
- release_bad – звільнення пацієнтом ліжкамісця у відділі.

3.3 Розрахунок кількості ліжкамісць та персоналу у відділах шпиталю

Розрахунок кількості ліжкамісць та персоналу у відділах шпиталю виконується в такій послідовності:

- обчислення середнього робочого навантаження на відділі та персонал за формулами (3.1, 3.2);
- обчислення кількості ліжкамісць та персоналу, залежно від робочого навантаження, встановленого за нормативами та стандартами за формулами (3.3, 3.4).

Середнє робоче навантаження на відділі шпиталю:

$$Z_k = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} T_{ik} \cdot 100\%}{T_{роб.k}}, \quad (3.1)$$

де k – номер відділу ($k = 1, \dots, N$),

N – кількість відділів шпиталю

n_k – кількість поранених, що надходить до k -го відділу ($i = 1, \dots, n_k$)

T_{ik} – час надання допомоги i -му пораненому у k -му відділі

$T_{роб.k}$ – час роботи k -го відділу

Середнє робоче навантаження на персонал у відділах шпиталю розраховується за наступною формулою:

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} m \cdot T_{ik}}{T_{\text{роб.к}}}, \quad (3.2)$$

де m – відсоток загального робочого часу персоналу, відведеного для роботи з пацієнтом.

Рекомендована кількість одиниць ліжкомісць:

$$KL = \frac{Z_k}{W} \quad (3.3)$$

де w – відсоток навантаження на одне ліжкомісце відділу за нормативами.

Рекомендована кількість одиниць персоналу:

$$KP = \frac{P_k}{V} \quad (3.4)$$

де v – відсоток навантаження на одного медпрацівника відділу за нормативами.

На рис. 3.23 представлено програмний код, який реалізує розроблену математичну модель розрахунку кількості ліжкомісць та персоналу в операційному відділенні. Аналогічно виконується розрахунок ресурсів в інших відділеннях шпиталю.

Розрахунок ресурсів з використанням моделі відбувається у наступній послідовності (рис. 3.24). Спочатку вводяться вхідні дані для розрахунку – це значення кількості поранених на добу, також вводяться допустимі значення навантажень на одне ліжкомісце та на одного медпрацівника для кожного відділу. Значення вводяться в таблиці Data та Робоче навантаження.

На наступному етапі виконується розрахунковий прогін моделі, у результаті якого модель розраховує значення кількості ліжкомісць та персоналу і виконує запис цих значень до таблиці з назвою Потреба в ресурсах.

```

1 // ***** TickOptim Start ***** //
2 Object current = newObjectEntity();
3 Object item = param[1];
4 int part = param[2];
5 // ***** TickOptim Start ***** //
6
7
8 Object involved = item;
9 string labelName = "ProcessTime";
10 Variant value;
11 if (item.Type_injury == 1 || item.Type_injury == 4)
12 {
13     if (item.Severity_injury == 2)
14         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[1][3];
15     else
16         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[2][3];
17     if (item.Severity_injury == 3)
18         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[3][3];
19     else
20         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[4][3];
21 }
22 else
23 if (item.Type_injury == 2 || item.Type_injury == 5 ||
24     item.Type_injury == 6 || item.Type_injury == 8)
25 {
26     if (item.Severity_injury == 2)
27         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[4][3];
28     else
29         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[5][3];
30     if (item.Severity_injury == 3)
31         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[6][3];
32     else
33         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[7][3];
34 }
35 else
36 if (item.Type_injury == 3)
37 {
38     if (item.Severity_injury == 2)
39         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[7][3];
40     else
41         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[8][3];
42     if (item.Severity_injury == 3)
43         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[9][3];
44     else
45         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[10][3];
46 }
47 else
48 if (item.Type_injury == 7)
49 {
50     if (item.Severity_injury == 2)
51         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[11][3];
52     else
53         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[12][3];
54     if (item.Severity_injury == 3)
55         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[13][3];
56     else
57         value = Table("Час надання допомоги у ОБ")[14][3];
58 }
59
60 involved.Labels.Assign(labelName).value = value;
61 // ***** TickOptim End ***** //
62 // ***** TickOptim Start ***** //
63
64
65 treeNode tNode = current.Labels["SumProcessTime"];
66 double value = item.ProcessTime;
67 inc(tNode,value);
68 // ***** TickOptim End ***** //
69 // ***** TickOptim Start ***** //
70
71
72 Object involved = item;
73 string labelName = "ProcessTime_doctor";
74 Variant value = item.ProcessTime; //!!!!
75
76 involved.Labels.Assign(labelName).value = value;
77 // ***** TickOptim End ***** //
78 // ***** TickOptim Start ***** //
79
80
81 treeNode tNode = current.Labels["SumProcessTime_doctor"];
82 double value = item.ProcessTime_doctor;
83 inc(tNode,value);
84
85 current.workload_department = current.SumProcessTime / time * 100;
86 int count_beds = Math.ceil(current.workload_department / Table("Робочі налітатикини")[2][1]);
87 Table("Потреба в реєстрації")[2][1] = count_beds;
88
89 current.workload_staff = current.SumProcessTime / time * 100;
90 int count_staff = Math.ceil(current.workload_staff / Table("Робочі налітатикини")[3][1]);
91 Table("Потреба в персоналі")[2][1] = count_staff;
92 // ***** TickOptim End ***** //

```

Рисунок 3.23 – Програмний код розрахунку кількості ліжокмісць та персоналу в операційному відділенні

Після зупинки прогону, значення, розраховані в таблиці, прочитує схема Process Flow і автоматично встановлює їх в моделі. Далі дослідник запускає модель з новими даними і може оцінювати показники ефективності. Побудовану імітаційну модель з реалізованим алгоритмом розрахунку кількості ліжокмісць і персоналу було використано для розрахунку при різній інтенсивності вхідного потоку: 80 поранених на добу, 100 і 300.

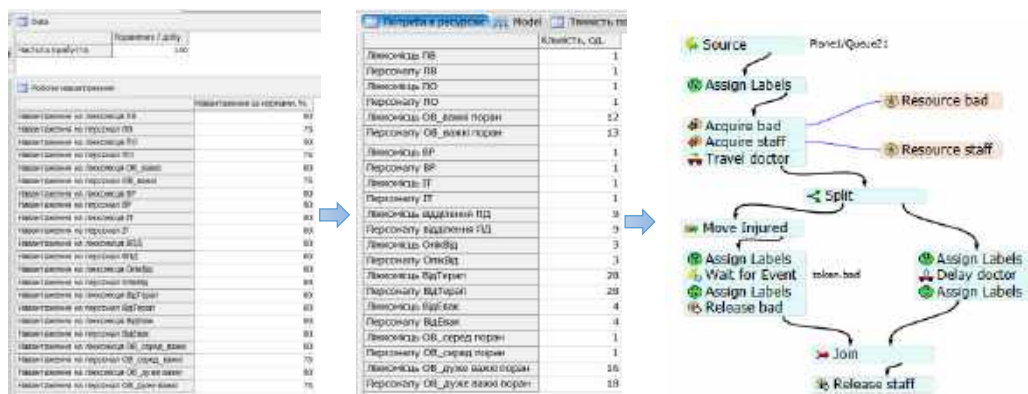


Рисунок 3.24 – Схема, що відображає етапи розрахунку ресурсів для відділень ШПИТАЛЮ

Модель досліджувалася протягом певного часу – один робочий тиждень. Результати розрахунку в процесі роботи моделі записано до таблиці Потреба в ресурсах (рис. 3.25).

Потребна в ресурсах	Кількість, од.
Ліжкоміськ ПВ	1
Персоналу ПВ	1
Ліжкоміськ ПО	1
Персоналу ПО	1
Ліжкоміськ СВ_важкі поран	9
Персоналу СВ_важкі поран	9
Ліжкоміськ ВР	1
Персоналу ВР	1
Ліжкоміськ ІТ	1
Персоналу ІТ	1
Ліжкоміськ відділення ПД	7
Персоналу відділення ПД	7
Ліжкоміськ ОпікВід	2
Персоналу ОпікВід	2
Ліжкоміськ ВідЕвак	23
Персоналу ВідЕвак	23
Ліжкоміськ СВ_серед поран	1
Персоналу СВ_серед поран	1
Ліжкоміськ СВ_дуже важкі поран	24
Персоналу СВ_дуже важкі поран	25

Потребна в ресурсах	Кількість, од.
Ліжкоміськ ПВ	1
Персоналу ПВ	1
Ліжкоміськ ПО	1
Персоналу ПО	1
Ліжкоміськ СВ_важкі поран	10
Персоналу СВ_важкі поран	11
Ліжкоміськ ВР	1
Персоналу ВР	1
Ліжкоміськ ІТ	1
Персоналу ІТ	1
Ліжкоміськ відділення ПД	9
Персоналу відділення ПД	9
Ліжкоміськ ОпікВід	3
Персоналу ОпікВід	3
Ліжкоміськ ВідТерап	28
Персоналу ВідТерап	28
Ліжкоміськ ВідЕвак	4
Персоналу ВідЕвак	4
Ліжкоміськ СВ_серед поран	1
Персоналу СВ_серед поран	1
Ліжкоміськ СВ_дуже важкі поран	32
Персоналу СВ_дуже важкі поран	34

Потребна в ресурсах	Кількість, од.
Ліжкоміськ ПВ	2
Персоналу ПВ	2
Ліжкоміськ ПО	1
Персоналу ПО	2
Ліжкоміськ СВ_важкі поран	31
Персоналу СВ_важкі поран	33
Ліжкоміськ ВР	3
Персоналу ВР	3
Ліжкоміськ ІТ	1
Персоналу ІТ	1
Ліжкоміськ відділення ПД	25
Персоналу відділення ПД	25
Ліжкоміськ ОпікВід	8
Персоналу ОпікВід	8
Ліжкоміськ ВідТерап	83
Персоналу ВідТерап	83
Ліжкоміськ ВідЕвак	11
Персоналу ВідЕвак	11
Ліжкоміськ СВ_серед поран	2
Персоналу СВ_серед поран	2
Ліжкоміськ СВ_дуже важкі поран	80
Персоналу СВ_дуже важкі поран	85

Рисунок 3.25 – Результат розрахунку кількості ліжкомісць і персоналу у відділах шпиталю (час – робочий тиждень)

У моделі автоматично розраховуються показники ефективності, які відображено на графіках і діаграмах (рис. 3.26):

- середній, мінімальний та максимальний час перебування поранених у шпиталі;
- кількість поранених, що отримали допомогу за час роботи шпиталю;
- робоча завантаженість відділів шпиталю;
- довжини черг у відділах;
- час очікування поранених в чергах.

На практиці може бути ситуація, коли керівник медичної системи має на меті перевірити, як різні варіанти встановлення певної кількості ліжкомісць у відділах та прийняття певної кількості одиниць персоналу у відділах впливає на

досліджувані показники ефективності. У такому випадку з моделлю можна проводити експерименти.

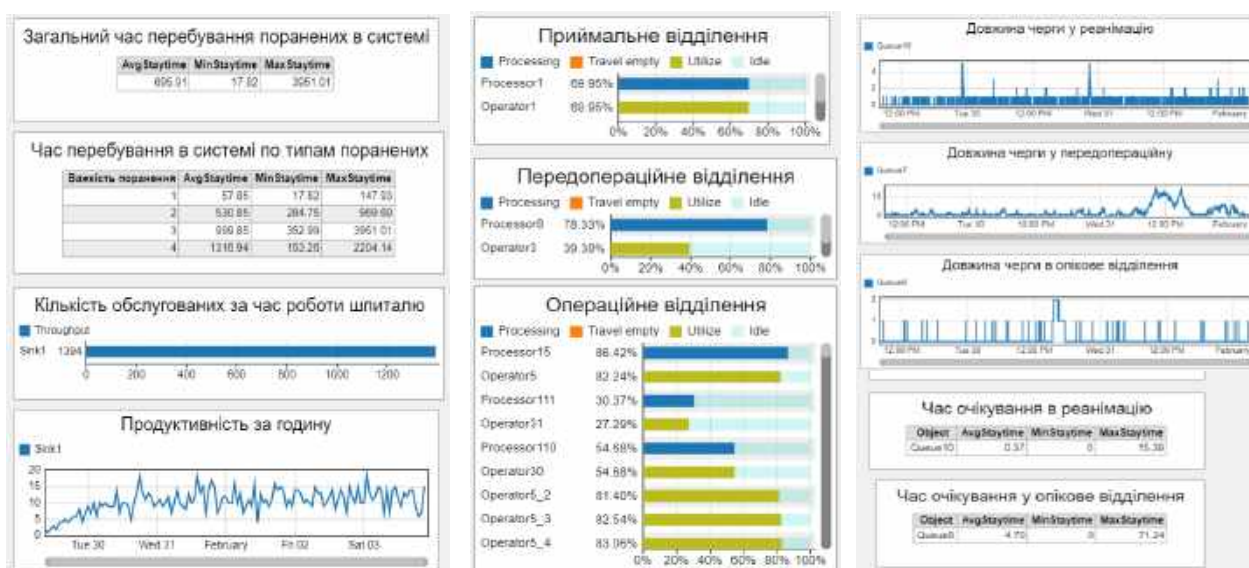


Рисунок 3.26 – Показники ефективності роботи системи шпиталю

У якості прикладу з моделлю було проведено 5 експериментів по 50 прогонів у кожному сценарії. Досліджувалися такі показники: кількість обслугованих поранених, час перебування у системі і довжина черги в операційну у залежності від кількості ліжокмісць у відділах. У сценаріях задавалася різна кількість ліжокмісць та персоналу у відділах (рис. 3.27).

	Ліжкомісць ГВ	Ліжкомісць ПО	Ліжкомісць ОВ_в	Ліжкомісць ВР	Ліжкомісць ГТ	Ліжкомісць відділ	Ліжкомісць Опік	Ліжкомісць ВідТс	Ліжкомісць ВідЕв	Ліжкомісць ОВ_с_П
Scenario 1	1	1	1	1	9	9	1	1	1	1
Scenario 2	1	1	1	1	10	11	1	1	1	1
Scenario 3	2	2	1	2	31	33	4	4	1	1
Scenario 4	2	1	3	4	22	8	5	3	4	2
Scenario 5	1	1	9	1	1	7	2	50	3	1
Ліжкомісць ОВ_д	Персоналу ГВ	Персоналу ПО	Персоналу ОВ_в	Персоналу ВР	Персоналу ГТ	Персоналу відділ	Персоналу Опік	Персоналу ВідТс	Персоналу ВідЕв	Персоналу ОВ_с_П
1	7	7	2	2	23	23	3	3	1	1
1	9	9	3	3	28	28	4	4	1	1
1	25	25	8	5	30	25	11	11	2	2
2	14	7	8	5	15	8	5	2	6	6
1	80	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рисунок 3.27 – Налаштування сценаріїв для проведення експериментів (фрагмент)

Результати проведених експериментів відображено на рис. 3.28.

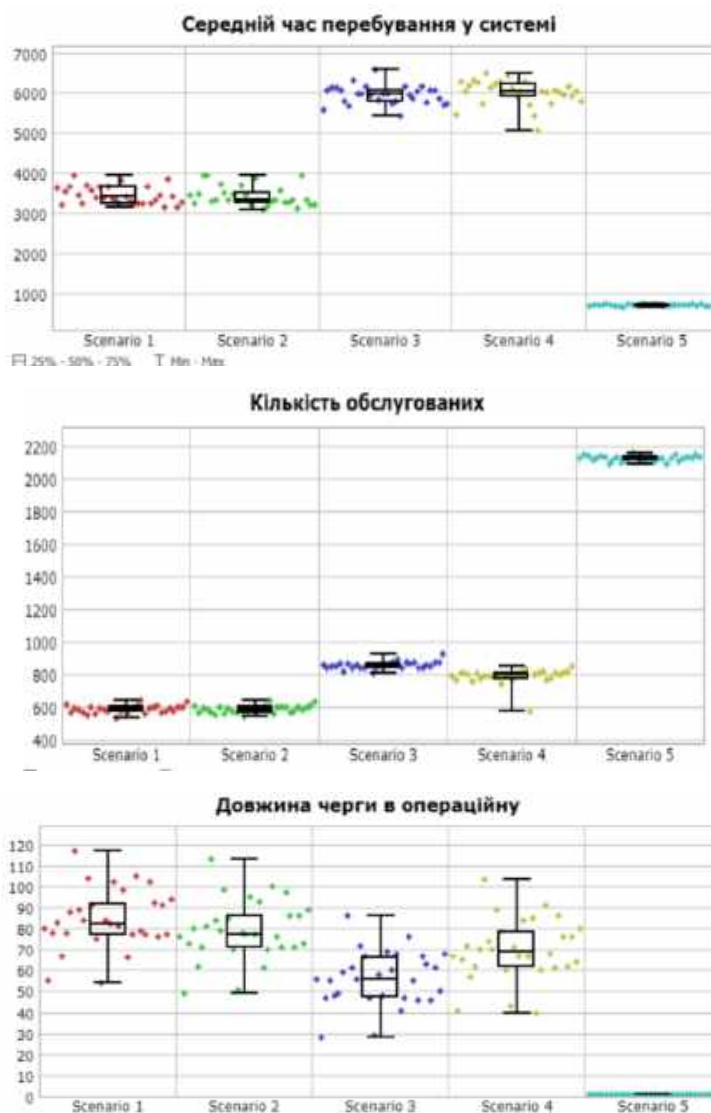


Рисунок 3.28 – Результати проведених експериментів з імітаційною моделлю

Найкращі результати показав 5-й сценарій, при якому забезпечується найменший середній час перебування поранених у системі, найбільша кількість обслужованих клієнтів та відсутність черги у операційне відділення, про що свідчать стовпчасті гістограми, представлені на рис. 3.28.

Рішення, які отримані у результаті розрахунку кількості ліжкомісць та персоналу за формулами (3.1 – 3.4) або у результаті проведення експериментів не є оптимальними. Для отримання оптимальних рішень вирішимо задачу оптимізації, що має наступну постановку.

Необхідно знайти значення кількості ліжкомісць R_i ($i=1, \dots, k$) у кожному i -му відділі шпиталю.

Критерії оптимізації:

- мінімізація середнього часу перебування поранених у системі:

$$\frac{T_{ni} - T_{vi}}{M} \rightarrow \min,$$

де T_{ni} – момент часу надходження i -го пораненого до шпиталю;

T_{vi} – момент часу виходу i -го пораненого зі шпиталю;

M – кількість поранених, що вийшли зі шпиталю за час дослідження.

- максимізація пропускної здатності системи:

$$\frac{M}{T} \rightarrow \max,$$

де T – час дослідження роботи шпиталю;

- мінімізація середньої довжини черг у відділі:

$$\frac{\sum_{i=1}^k l_i}{k} \rightarrow \min,$$

де l_i – довжина черги в i -й відділ шпиталю ($i = 1 \dots k$).

Обмеження накладаються на кількість ліжкомісць у відділеннях шпиталю:

$$I \leq KL \leq N_i,$$

де N_i – верхня межа кількості ліжкомісць у i -му відділенні шпиталю ($i = 1 \dots k$).

На рис. 3.29 показано налаштування вікна оптимізатора та результат його роботи. Оптимізатор знайшов 40 рішень, які візуально позначені на рис. 3.29 окремими точками різного кольору. Для отримання знайдених оптимізатором рішень у чисельному вигляді, їх було імпортовано у Ексель.

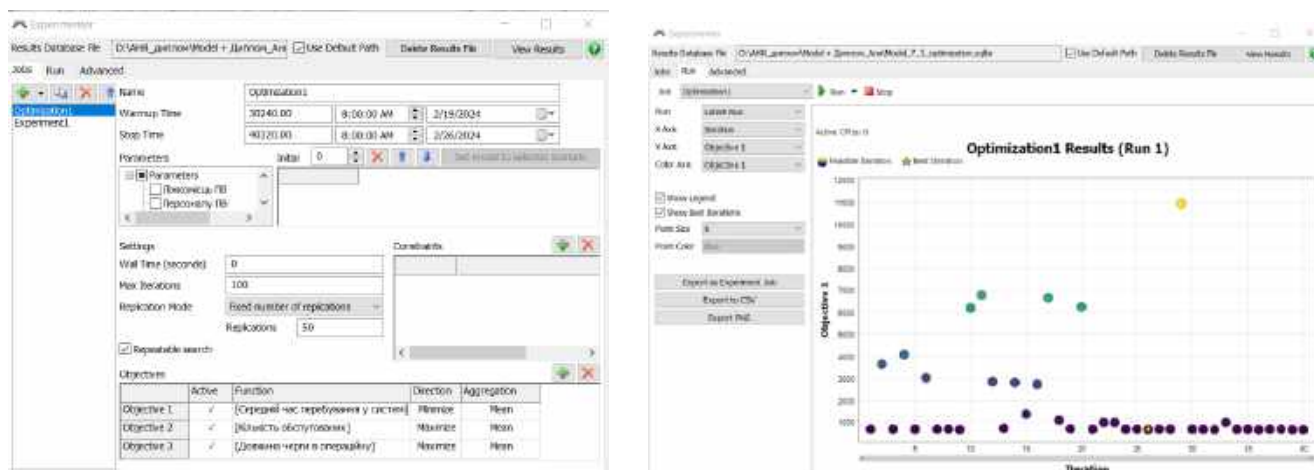


Рисунок 3.29 – Налаштування та результат роботи оптимізатора

Для виявлення кращого рішення за встановленими критеріями виконано сортування, найкращим виявилось рішення під номером 26, числові результати якого представлено рядком жовтого кольору на рис. 3.30.

У отриманому рішенні, критерії, за якими здійснювалася оптимізація мають такі позначення (рис. 3.30):

- Objective 1 – середній час перебування поранених у системі;
- Objective 2 – кількість обслужованих поранених за час, рівний часу дослідження системи;
- Objective 3 – середня довжина черги в операційне відділення.

Дослідження проводилися для одного робочого тижня. Усі часові характеристики процесів задано в одиницях модельного часу – у хвилину.

Iteration	Name	Feasible	Optimal	Objective 1	Objective 2	Objective 3	Ліквімість ПО	Ліквімість ОВ	Ліквімість ВР	Ліквімість ІТ	Ліквімість відділення ПД	Ліквімість ОліВід
26	Scenario26	1	1	661.45125	2128	1	1	10	43	26	50	16
1	Scenario1	1	0	681.95185	2126.0385	1	1	26	26	13	26	49
2	Scenario2	1	0	3633.9216	588.30769	167	1	1	1	38	1	1
3	Scenario3	1	0	681.20148	2126.1538	1	1	50	50	8	50	30
4	Scenario4	1	0	4065.2611	1718.9615	1.384615	1	13	13	8	13	2
5	Scenario5	1	0	681.20148	2126.1538	1	1	38	38	33	38	1
6	Scenario6	1	0	3022.8188	1739.3846	25.613385	1	1	24	1	16	1
7	Scenario7	1	0	682.43048	2126.1923	1	1	3	8	4	4	47
8	Scenario8	1	0	687.17305	2123.8846	46.269231	1	2	3	45	48	10
9	Scenario9	1	0	682.11217	2127.3462	1	1	10	43	40	32	1
10	Scenario10	1	0	6186.5017	1345.6538	1	1	48	50	1	5	16
11	Scenario11	1	0	6775.7558	1170.2692	127.230769	1	25	18	45	4	20
12	Scenario12	1	0	2846.7546	1679.8077	1	1	22	6	40	3	26
13	Scenario13	1	0	725.23958	2123.9615	1	1	43	47	50	45	10
14	Scenario14	1	0	2803.3801	1900.1154	1.078923	1	47	50	2	33	1
15	Scenario15	1	0	1357.2158	2048.6538	1	1	37	4	20	41	1
16	Scenario16	1	0	2716.6315	1893.6923	1	1	31	4	8	20	47

Рисунок 3.30 – Рішення, знайдені оптимізатором

Таким чином, розроблена імітаційна модель медичного мобільного шпиталю дозволяє:

- виконувати розрахунок рекомендованої кількості ліжокмісць та персоналу у відділеннях шпиталю;
- проводити експерименти і перевіряти доцільність встановлення різної кількості ресурсів (ліжокмісць і персоналу) у відділеннях шпиталю;
- виконувати оптимізацію за кількома критеріями одночасно та, у встановлених межах, знаходити оптимальні значення кількості ліжокмісць і персоналу у відділеннях.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень було виявлено, що 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.

Практичне значення отриманої імітаційної моделі підтверджується тим, що модель придатна для:

- розрахунку параметрів мобільних шпиталів, таких як кількість ліжкомісць та персоналу у залежності від інтенсивності вхідного потоку поранених;
- автоматичної перебудови моделі для розрахованої кількості ресурсів;
- проведення експериментів і перевірки доцільності встановлення різної кількості ресурсів (ліжкомісць і персоналу) у відділеннях шпиталю;
- виконання оптимізації за кількома критеріями одночасно та пошуку оптимальних значень по кількості ліжкомісць і персоналу у відділеннях, з урахуванням обмежень, встановлених дослідником;
- оцінювання показників ефективності таких, як пропускна здатність шпиталю, час очікування в чергах, довжини черг, час перебування поранених у шпиталі.

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 на відміну від існуючих імітаційних моделей, які реалізують аналіз показників за принципом «що буде, якщо?...», у роботі запропоновано метод, що передбачає:

- автоматичну перебудову моделі під розраховану кількість ресурсів;

– вирішення задачі оптимізації.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Моделювання систем» : у 2 ч. / укладачі: Я. І. Чибіряк, Є. А. Лавров, Д. В. Великодний, А. М. Захарова. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – Ч. 1. – 34 с.
2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Моделювання систем» : у 2 ч. / укладачі: Я. І. Чибіряк, Є. А. Лавров, Д. В. Великодний, А. М. Захарова. – Суми : Сумський державний університет, 2023. – Ч. 2. – 35 с.
3. Захарова А.М., Лавров Е.А., Чибіряк Я.І. Моделі для аналізу варіантів технологій складання виробів у машинобудуванні. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. – Хмельницький : ХНУ, 2022. – С. 306-310
4. Захарова А.М., Лавров Е.А., Чибіряк Я.І. Імітаційне моделювання технологічного процесу складання клапана компресорного. ІМА :: 2022. Суми : СумДУ – С. 126-127
5. Захарова А.М., Лавров Е.А., Чибіряк Я.І. Синтез раціональних варіантів складання виробів машинобудування. ІМА :: 2022. Суми : СумДУ – С. 128
6. Захарова А.М., Устименко К.О., Чибіряк Я.І. Розробка імітаційної моделі локальної обчислювальної мережі. ІМА :: 2023. Суми : СумДУ – С. 228
7. Захарова А.М., Устименко К.О., Чибіряк Я.І. Моделювання локальної комп'ютерної мережі. ІМА :: 2023. Суми : СумДУ – С. 226-227
8. Захарова А.М., Лавров Е.А., Чибіряк Я.І. Імітаційне моделювання функціонування мобільного медичного шпиталю в умовах воєнного стану. ІМА :: 2024. Суми : СумДУ – С. 124-125
9. Lavrov, E., Chybiriak, Y., Siryk, O., Logvinenko, V., Zakharova, A. Training of Specialists for Adaptive management. Techniques for Teaching Computer Analysis of

Automated Production Systems in the FlexSim Environment (2022) *CEUR Workshop Proceedings*, 3104, pp. 106-118

10. Chybiriak , Y., A. Zakharova, E. Lavrov, D. Velykodnyi, and V. Borovyk “Models for Automated Search for Rational Assembly Options for Mechanical Engineering Products”. *Computer-integrated Technologies: Education, Science, Production*, no. 52, Sept. 2023, pp. 32-42, doi: 10.36910/6775-2524-0560-2023-52-04

11. Роцін, Г. & Mazurenko, O. (2010). Мобільні медичні формування служби медицини катастроф / Український журнал екстремальної медицини імені Г. О. Можаяєва. - Том 11, №4, 2010, с. 43-48

12. П. Б. Волянський, Мобільні медичні формування як механізм медичного захисту за умов надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру / Інститут державного управління у сфері цивільного захисту Національного університету цивільного захисту / Інвестиції: практика та досвід № 18/2011, с. 104-106

13. Новіков Ф.М., Кузьмін В.Ю., Кушнір В.А. та ін. (2011). Мобільні медичні формування цивільного захисту населення України, як компонент єдиної системи екстреної медичної допомоги в особливий період (воєнний час), 14 с.

14. Деокуповані території: медичні мобільні бригади / ZN, UA – 2024 [Електронний ресурс]: <https://zn.ua/ukr/HEALTH/deokupovani-teritoriji-medichni-mobilni-brihadi.html>

15. Мобільні медичні бригади допомагають пацієнтам у найвіддаленіших куточках області / Дніпропетровська обласна державна адміністрація – 2024 [Електронний ресурс]: <https://adm.dp.gov.ua/news/za-tri-misyaci-roboti-ponad-190-viyizdiv-mobilni-medichni-brigadi-dopomagayut-paciyentam-u-najviddalenishih-kutochkah-oblasti>

16. Модульний мобільний госпіталь від Rheinmetall ZMS – 2024 [Електронний ресурс]: <https://centr.tv/11957-kompanija-rheinmetall-zms-postavit-ukrajini-modulnij-mobilnij-gospital.html>

17. Модульна станція екстреної меддопомоги на Сумщині / Суспільне Суми – 2024 [Електронний ресурс]: <https://suspilne.media/sumy/726373-v-ohirci-na-sumsini-vidkrili-modulne-ukritta-ekstrenoi-meddopomogi/>

18. Козій В. М., Кудельський І. А. Військові мобільні лабораторії для реагування на надзвичайні ситуації в сфері громадського здоров'я: стан та перспективи використання / Український журнал військової медицини: Київ, 2023 – Т. 4. – С. 18-25 [https://doi.org/10.46847/ujmm.2023.3\(4\)s](https://doi.org/10.46847/ujmm.2023.3(4)s)

19. А.В. Верба, Ю.О. Качуровський, О.В. Лозовська Аналіз діяльності військових мобільних госпіталів в системі медичного забезпечення антитерористичної операції / Проблеми військової охорони здоров'я : збірник наукових праць Української військово-медичної академії / Укр. Військ.-мед. акад. МО України; ред. В. Л. Савицький. - Київ : Укр. військ.-мед. акад., 2019 - . Вип. 52. – 2019.– С. 18-25

20. А.В. Верба, Т.М. Остащенко, І.Б. Пліс Досвід використання зведених медичних загонів у складі передової госпітальної бази в умовах збройного конфлікту високої інтенсивності / Український журнал військової медицини: Київ, 2023 – Т. 4. – С. 13-19 [https://doi.org/10.46847/ujmm.2023.1\(4\)](https://doi.org/10.46847/ujmm.2023.1(4))

21. Junxiang Li, Yiling Lu, A dynamic overflow triage model in an outpatient queuing system, *IMA Journal of Management Mathematics*, 2023, <https://doi.org/10.1093/imaman/dpad027>

22. Pushpalatha Sarla, A. M. Girija, D. Mallikarjuna Reddy, K. Ravikiran, Bonthala Prabhanjan Yadav, B. Rajitha, Ch Vinaykumar Reddy; Study on patients arrival at hospital using queuing model with self-similar characteristics. *AIP Conf. Proc.* 24 May 2022; 2418 (1): 060005. <https://doi.org/10.1063/5.0081946>

23. Ghobadi, M., Arkat, J., Farughi, H. et al. Integration of Facility Location and Hypercube Queuing Models in Emergency Medical Systems. *J. Syst. Sci. Syst. Eng.* 30, 495–516 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11518-021-5500-x>

24. Grober, T., Grober, O.V., & Savchenko, O.A. (2020). An innovative approach to the study of the model of a medical institution. *E3S Web of Conferences*.

25. Mallor, F., Azcárate, C. & Barado, J. Control problems and management policies in health systems: application to intensive care units. *Flex Serv Manuf J* 28, 62–89 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10696-014-9209-8>
26. Chybiriak, Y., Baranova I., & Nikolaenko K. (2021). A method of end-to-end training in simulation modeling using FlexSim to find reserves for improving the efficiency of automated systems, offered for IT students . *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*, (42), 119-129. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-42-17>
27. Vázquez-Serrano, J.I., Peimbert-García, R.E., & Cárdenas-Barrón, L.E. (2021). Discrete-Event Simulation Modeling in Healthcare: A Comprehensive Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18
28. Rahman, I. (2022, December). Using Discrete Event Simulation to Improve the Patient Flow of a Healthcare System. In *5th International Conference in Industrial and Mechanical Engineering and Operations Management (IMEOM)*, <https://doi.org/10.46254/BD05.20220214>.
29. Зінов 'єва, О. Г., & Гешева, Г. В. (2023). Огляд програмних засобів імітаційного модулювання. *Вісник Херсонського Національного Технічного Університету*, 3(82), 47–52. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2022.3.6>
30. E. Lavrov , O. Siryk, “Functional Networks For Ergonomics And Reliability Tasks On The 90th Anniversary Of A. Gubinsky And V. Evgrafov”, *Sigurnost* 64 (3) 245 - 257 (2022) <https://doi.org/10.31306/s.64.3.3>
31. Lavrov, E., Siryk, O., Kirichenko, I., Barchenko, N., Chybiriak, Y. The Methodology of Managed Functional Networks for Organizing Effective and Adaptive Human-Machine Dialogue in Automated Systems *CEUR Workshop Proceedings*, 2021, 3013, pp. 428–437
32. Lavrov, E., Paderno, P., Siryk, O., Kyzenko, V., Kosianchuk, S., Bondarenko, N., Burkov, E. Functional Networks for Modeling and Optimization Human-Machine Systems (2021) *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1313 AISC, pp. 189-196. <http://www.springer.com/series/11156> ISBN: 978-303066936-2 doi: 10.1007/978-3-030-66937-9_21

33. Lavrov, E., Pasko, N. Development of Models for Computer Systems of Processing Information and Control for Tasks of Ergonomic Improvements Communications in Computer and Information Science, 2018, 920, pp.98–109 DOI 10.1007/978-3-319-99972-2_8

34. Lavrov, E., Pasko, N., Krivodub, A. Automated analysis of ergonomic measures in discrete control systems (2015) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (3), pp. 16-22. doi: 10.15587/1729-4061.2015.48050

35. 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," 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2021, pp. 31-35, doi: 10.1109/AICT52120.2021.9628939

36. E. Lavrov, O. Siryk, N. Sedova, P. Paderno, E. Burkov and S. Vakal, "Modeling Errors and Failures in Automated Human-Machine Control Systems to Solve Reliability Assessment Tasks," 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 399-402, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772122.

37. E. Lavrov, "Methodology for Reliability Analysis of Human-Machine Interaction in Automated Control Systems," 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2021, pp. 293-297, doi: 10.1109/AICT52120.2021.9628925

38. E. Lavrov, O. Siryk, B. Rybalov and D. Velykodnyi, "The Method of Adaptive Control of the Process of Human-Machine Interaction to Ensure the Reliability and Efficiency of Automated Control Systems," 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 403-407, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772126.

39. E. Lavrov, "Mathematical Models of Human-Computer Interaction. Analysis of Human Operator Activity in Terms of Error Generation and Problem Elimination," 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science

and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2022, pp. 325-328, doi: 10.1109/PICST57299.2022.10238654.

40. Lavrov, E. (2023). Ergonomics in Ukraine. In: Salopek Čubrić, I., Čubrić, G., Jambrošić, K., Jurčević Lulić, T., Sumpor, D. (eds) Proceedings of the 9th International Ergonomics Conference. ERGONOMICS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 701. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-33986-8_18

41. Zolkin A.L., Lavrov E.A., Zaitseva I.N., Bityutskiy A.S., Mironchuk V.A. (2022) Design of neuro-simulation system in situational management of control and quality assessment for complex production assembly system. CEUR Workshop Proceedings, 3091 , pp. 46-52.

42. E. A. Lavrov, A. A. Volosiuk, N. B. Pasko, V. P. Gonchar and G. K. Kozhevnikov, "Computer Simulation of Discrete Human-Machine Interaction for Providing Reliability and Cybersecurity of Critical Systems," 2018 Third International Conference on Human Factors in Complex Technical Systems and Environments (ERGO)s and Environments (ERGO), St. Petersburg, Russia, 2018, pp. 67-70, doi: 10.1109/ERGO.2018.8443846.

43. E. Lavrov, N. Pasko, O. Siryk, O. Burov and M. Natalia, "Mathematical Models for Reducing Functional Networks to Ensure the Reliability and Cybersecurity of Ergatic Control Systems," 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 179-184, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235418

44. E. A. Lavrov, P. I. Paderno, E. A. Burkov, O. E. Siryk and N. B. Pasko, "Information Technology for Modeling Human-machine Control Systems and Approach to Integration of Mathematical Models for Its Improvement," 2020 XXIII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), St. Petersburg, Russia, 2020, pp. 117-120, doi: 10.1109/SCM50615.2020.9198791.

45. Lavrov, E., Pasko, N. Optimization of the Activity of Operators of Critical Systems by Methods of Regulating Operational-Tempo Tension CEUR Workshop Proceedings, 2018, 2105, pp. 227–234

46. E. Lavrov, G. Kozhevnykov, N. Pasko, V. Gonchar and V. Mukoseev, "Improvement for Ergonomic Quality of Man-Machine Interaction in Automated Systems based on the Optimization Model," 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2018, pp. 735-740, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632074.

47. E. Lavrov, O. Siryk, N. Pasko, P. Paderno and E. Burkov, "Reliability of Human-Machine Interaction in Distributed Information Environments. Models for Morphological Analysis and Optimization of Group Activities," 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 679-684, doi: 10.1109/PICST51311.2020.9468043.

48. E. Lavrov et al., "Human-centered management in polyergatic information systems. Multi-criteria distribution of functions between operators , "IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciencethis link is disabled, 2022, 1049(1), 012020

49. Lavrov, E., Pasko, N., Siryk, O., Burov, O., Osadchyi, V. Ergonomics of cyberspace. mathematical modeling to create groups of operators for error-free and timely implementation of functions in a distributed control system CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2740, pp. 380–385

50. Lavrov, E., Pasko, N., Krivodub, A., Barchenko, N., Kontsevich, V. Ergonomics of IT outsourcing. Development of a mathematical model to distribute functions among operators (2016) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (4), pp. 32-42. doi: 10.15587/1729-4061.2016.66021

51. E. A. Lavrov, N. B. Pasko and V. E. Snytyuk, "Information Technology for Distribution of Functions between Operators as a Means of Improving the Reliability of Polyergatic Systems," 2018 Third International Conference on Human Factors in Complex Technical Systems and Environments (ERGO)s and Environments (ERGO), St. Petersburg, Russia, 2018, pp. 71-76, doi: 10.1109/ERGO.2018.8443832.

52. E. Lavrov, N. Pasko and V. Borovyk, "Management for the Operators Activity in the Polyergatic System. Method of Functions Distribution on the Basis of the Reliability Model of System States," 2018 International Scientific-Practical Conference

Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632102

53. Lavrov, E.A., Zolkin, A.L., Aygumov, T.G., Chistyakov, M.S., Akhmetov, I.V. Analysis of information security issues in corporate computer networks (2021) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1047 (1), art. no. 012117. <https://iopscience.iop.org/journal/1757-899X> doi: 10.1088/1757-899X/1047/1/012117

54. Burov, O., Lytvynova, S., Lavrov, E., Shevchenko, S., Tkachenko, O.M. Cybersecurity in educational networks Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, 1131 AISC, pp. 359–364 DOI 10.1007/978-3-030-39512-4_56

55. E. Lavrov, A. Tolbatov, N. Pasko and V. Tolbatov, "Cybersecurity of distributed information systems, the minimization of damage caused by errors of operators during group activity," 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2017, pp. 83-87, doi: 10.1109/AIACT.2017.8020071.

56. E. Lavrov et al., "On the Way to Hybrid Intelligence: Influence of the Human-System Interaction Rate on the Human Cognitive Performance", Human Interaction & Emerging Technologies (IHET-AI 2023): Artificial Intelligence & Future Applications, 2023, pp.18-24 <https://doi.org> 10.54941/ahfe1002925

57. Burov, O., Lytvynova, S., Pinchuk, O., Lavrov E., Korolchuk, V., Zolkin, A. Influence of Properties of the Nervous System on Cognitive Abilities Lecture Notes in Networks and Systems, 2021, 259, pp. 114–119 DOI 10.1007/978-3-030-80285-1_14

58. Burov, O., Lavrov, E., Lytvynova, S., Siryk, O., Kyzenko, V. Cognitive Performance Degradation in High School Students as the Response to the Psychophysiological Changes Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, 1201 AISC, pp. 83–88 DOI 10.1007/978-3-030-51041-1_12

59. Burov, O., Lavrov, E., Pasko, N., Kyzenko, V., Dolgikh, Y. Self-adjusted data-driven system for prediction of human performance Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, 1131 AISC, pp. 282–287 DOI 10.1007/978-3-030-39512-4_45

60. A.Volosiuk, S.Kuznetsov, S. Podkolzina, E. Lavrov Mobile App Authentication Systems: Usability Issues for Cyrillic Alphabet Users (Pilot Study)

Advances in Intelligent Systems and Computing Tom 1313 AISC, pp. 233 – 240, 2021
8th International Ergonomics Conference, ERGONOMICS 2020 DOI 10.1007/978-3-030-66937-9_26

61. Paderno, P.I.,Burkov, E.A., Lavrov, E.A. Issues of organization of expertise and problems of expert assessments Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1703(1), 012047 DOI 10.1088/1742-6596/1703/1/012047

62. Lavrov, E., Paderno, P., Burkov, E., Volosiuk, A., Lung, V.D. Expert assessment systems to support decision-making for sustainable development of complex technological and socioeconomic facilities E3S Web of Conferences, 2020, 166, 11002 DOI 10.1051/e3sconf/202016611002

63. P. I. Paderno, E. A. Burkov, E. A. Tolkacheva, E. A. Lavrov and O. E. Siryk, "Expert Classification: Resource-Based Approach," 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), St. Petersburg, Russia, 2021, pp. 31-33, doi: 10.1109/SCM52931.2021.9507119.

64. E. A. Burkov, P. I. Paderno, O. E. Siryk, E. A. Lavrov and N. B. Pasko, "Analysis of Impact of Marginal Expert Assessments on Integrated Expert Assessment," 2020 XXIII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 2020, pp. 14-17, doi: 10.1109/SCM50615.2020.9198772.

65. P. I. Paderno, E. A. Burkov, E. A. Tolkacheva, E. A. Lavrov and O. E. Siryk, "Expert Classification: Probabilistic Estimates," 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), St. Petersburg, Russia, 2021, pp. 28-31, doi: 10.1109/SCM52931.2021.9507116.

66. Lavrov, E., Pasko, N., Siryk, O., Kisel, N., Sedova, N. The method of teaching IT students computer analysis of ergonomic reserves of the effectiveness of automated control systems (2020) E3S Web of Conferences, 166, art. no. 10017 www.e3s-conferences.org/ doi: 10.1051/e3sconf/202016610017

67. Lavrov E., Paderno P., Siryk O., Burkov E., Kosianchuk S., Bondarenko N., Kyzenko V. Analysis of Working Conditions and Modeling of Activity Algorithms for Contact-Center Operators Proceedings of the 8th International Ergonomics Conference.

March, 2021. Switzerland: Springer, 2021. Pp.121–128. DOI:10.1007/978-3-030-66937-9_14

68. Lavrov, E., Pasko, N. Automation of assessing the reliability of operator's activities in contact centers that provide access to information resources CEUR Workshop Proceedings, 2018, 2105, pp. 445–448

69. E. Lavrov, P. Paderno, O. Siryk, E. Burkov, N. Pasko and V. Nahorny, "Decision Support in Incident Management Systems. Models of Searching for Ergonomic Reserves to Increase Efficiency," 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 653-658, doi: 10.1109/PICST51311.2020.9467991

70. E. Lavrov et al., "Mathematical Models and Decision Support System for the Efficiency and Ergonomic Quality of IT Service Management Systems," 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 506-510, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772245.

71. E. Lavrov, A. Tolbatov, N. Pasko and V. Tolbatov, "Ergonomie reserves for improving reliability of data processing in distributed banking systems," 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2017, pp. 79-82, doi: 10.1109/AIACT.2017.8020070

72. E. Lavrov and O. Siryk, "Ergonomic Support for the Activities of Software Testers," 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2022, pp. 335-340, doi: 10.1109/PICST57299.2022.10238605.

73. Lavrov, E., Siryk, O. (2023). Decision Support for Solving Problems of Ergonomic Provision of Contact Centers. In: Salopek Čubrić, I., Čubrić, G., Jambrošić, K., Jurčević Lulić, T., Sumpor, D. (eds) Proceedings of the 9th International Ergonomics Conference. ERGONOMICS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 701. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-33986-8_19

74. Lavrov, E., Pasko, N., Siryk, O., Mukoseev, V., Dubovyk, S. Automation of reliability assessment of functional elements of flexible automated production based on

functional network methodology CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2740, pp. 357–364

75. E. Lavrov, N. Pasko, O. Siryk, P. Paderno and E. Burkov, "Models and Information Technology for Reliable Design of the Functioning Processes of Flexible Production Systems as Complex Human-Machine Systems," 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 673-678, doi: 10.1109/PICST51311.2020.9467894.

76. E. Lavrov, N. Pasko, A. Krivodub and A. Tolbatov, "Mathematical models for the distribution of functions between the operators of the computer-integrated flexible manufacturing systems," 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv, Ukraine, 2016, pp. 72-75, doi: 10.1109/TCSET.2016.7451974

77. Lavrov, E., Siryk, O., Volosiuk, A., Zolkin, A., Sedova, N. Sustainability and reliability ensurance models for automated technological systems in chemical industry: systemic ergonomic approach (2021) E3S Web of Conferences, 280, art. no. 02005. doi: 10.1051/e3sconf/202128002005

78. Pinchuk, O., Sokolyuk, O., Burov, O., Lavrov E., Shevchenko, S., Aksakovska, V. ICT for training and evaluation of the solar impact on aviation safety CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2732, pp .786–792

79. Sedova N.A., Sedov V.A., Lavrov E.A., Bazhenov R.I., Gorbunova T.N. Assessing the degree of collision hazard for an autonomous unmanned vessel based on fuzzy logic and neural network technologies // Marine Intelligent Technologies. 2021. Vol. 3. No. 4 (54). pp. 128-134.

80. O. Siryk and E. Lavrov, "Mathematical Models for Assessing the Reliability of Processes of Automated Control of the Main Gas Pipeline, Taking into Account the "Human Factor"," 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2022, pp. 329-334, doi: 10.1109/PICST57299.2022.10238600.

81. Lavrov, E., Logvinenko, V., Siryk, O., Kyzenko, V. Method for assessing the information content of factors forming the cognitive independence of students (2021)

Journal of Physics: Conference Series, 1840 (1), art. no. 012066.
<http://iopscience.iop.org/journal/1742-6596> doi: 10.1088/1742-6596/1840/1/012066

82. Lavrov, E., Siryk, O., Chabanenko, P. A method to ensure the effectiveness and attractiveness of e-learning. Human-oriented systemic ergonomic approach CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2732, pp. 572–582

83. Lavrov, E., Lavrova, O. Intelligent adaptation method for human-machine interaction in modular E-learning systems CEUR Workshop Proceedings, 2019, 2393, pp. 1000–1010

84. Khramova, L.N., Tsakhaeva, A.A., Posokhova, A.V., Lavrov E.A., Litvishkov, V.M., Vilkova, A.V. Modern managers training in the context of competence approach Journal of Social Sciences Research, 2018, 2018 (Special Issue 5), pp. 194–199 DOI 10.32861/jssr.spi5.194.199

85. Lavrov, E., Barchenko, N., Pasko, N., Borozenec, I. Development of models for the formalized description of modular e-learning systems for the problems on providing ergonomic quality of human-computer interaction (2017) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (2-86), pp. 4-13. doi: 10.15587/1729-4061.2017.97718

86. Lavrov, E., Kuppenko, O., Lavryk, T., Barchenko, N. Organizational approach to the ergonomic examination of e-learning modules (2013) Informatics in Education, 12 (1), pp. 105-123

87. Koniukhov, S.; Krashenninik, I.; Osadcha, K.; Lavrov, E. and Kotova, O. (2022). Professional Training of Bachelors in Information Technologies based on Education for Sustainable Development Principles. In Proceedings of the 1st Symposium on Advances in Educational Technology - Volume 1: AET; ISBN 978-989-758-558-6, SciTePress, pages 354-364. DOI: 10.5220/0010924300003364

88. Varina, H.; Osadchyi, V.; Shevchenko, S.; Averina, K. and Lavrov, E. (2022). Peculiarities of using Learning Apps Service in the Process of Developing a Motivational Component of Professional Training of Future Professionals in Terms of Adaptive Learning. In Proceedings of the 1st Symposium on Advances in Educational Technology -

Volume 2: AET; ISBN 978-989-758-558-6, SciTePress, pages 416-424. DOI: 10.5220/0010932300003364

89. Lavrov, E.; Logvinenko, V.; Osadchyi, V.; Siryk, O. and Chybiriak, Y. (2022). Ensuring the Effectiveness of e-Learning based on Online Technology Analysis of Factors Influencing the Cognitive Independence of Students. In Proceedings of the 1st Symposium on Advances in Educational Technology - Volume 2: AET; ISBN 978-989-758-558-6, SciTePress, pages 569-577. DOI: 10.5220/0011009500003364

90. E. Lavrov, N. Barchenok, O. Lavrova and N. Savina, "Models of the Dialogue "Human - Computer" for Ergonomic Support of E-Learning," 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2019, pp. 187-190, doi: 10.1109/AIACT.2019.8847763.

91. E. Lavrov, N. Pasko, A. Tolbatov and N. Barchenko, "Development of adaptation technologies to man-operator in distributed E-learning systems," 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2017, pp. 88-91, doi: 10.

92. E. Lavrov, N. Pasko, O. Lavrova and N. Savina, "Models for the Description of Man-Machine Interaction for the Tasks of Computer-Aided Assessment of the Reliability of Automated Systems," 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2019, pp. 176-181, doi: 10.1109/AIACT.2019.8847767.

93. Bazhenov, R., Lavrov, E., Sedova, N., Sedov, V. (2022). Fuzzy Controller for Automatic Ventilation Control System. In: Hu, Z., Petoukhov, S., He, M. (eds) Advances in Artificial Systems for Medicine and Education V. AIMEE 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 107. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-030-92537-6_9

94. A L Zolkin, V D Munister, E A Lavrov, K G Aygumov and V Saradzheva (2021) Creation of a software and hardware product of a real-time system for collecting, accounting and managing data transmission of an intelligent transport system in context of the IoT. Journal of Physics: Conference Series, Volume 2094, DOI 10.1088/1742-6596/2094/5/052059

95. Vereschagina, E.A., Zolkin, A.L., Lavrov, E.A., Fakhertdinova, D.I., Dragulenko, V.V. Building of a digital model of aluminum electrolysis modes (2021) *Journal of Physics: Conference Series*, 1889 (2), art. no. 022001. <http://iopscience.iop.org/journal/1742-6596> doi: 10.1088/1742-6596/1889/2/022001
96. Bazhenov R., Sedova N., Sedov V., Lavrov E., Dorofeev, A. Applying machine learning methods to forecasting customer churn for a telecommunications company *CEUR Workshop Proceedings*, 2021, 2843
97. Ogurtsov, E.S., Kokoreva, V.A., Ogurtsov, S.F., Usenbay, T.A., Kunesbekov, A.S., Lavrov, E. Microcontroller navigation and motion control system of the underwater robotic complex (2016) *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11 (9), pp. 6110-6121.
98. N. A. Sedova, Z. V. Arkhipova, E. A. Lavrov, I. A. Ledovskikh and R. I. Bazhenov, "Smart System for Detecting Unauthorized Entry into a Smart Home," 2020 International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS), Yaroslavl, Russia, 2020, pp. 63-67, doi: 10.1109/ITQMIS51053.2020.9322947.
99. Burov, O., Lavrov, E., Lytvynova, S., Pinchuk, O., Horska, K., Tkachenko, O., Kovalenko, N., & Chybiriak, Y. (2023) On the way to hybrid intelligence: influence of the human-system interaction rate on the human cognitive performance , doi: 10.54941/ahfe1002925

ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на розробку комп'ютерної моделі
«Імітаційна модель функціонування мобільного медичного шпиталю в
умовах воєнного стану»

ПОГОДЖЕНО:

Доцент кафедри інформаційних технологій

_____ Антипенко В.П.

Студентка групи ІТ-01

Захарова А. М.

Суми 2024

1 Призначення й мета створення імітаційної моделі

1.1 Призначення імітаційної моделі

Імітаційна модель повинна відображати процеси проходження і затримки потоку поранених у відділеннях мобільного шпиталю під час надання медичної допомоги. Модель створена для дослідження різної інтенсивності надходжень потоку поранених і прийняття рішень по підвищенню пропускної здатності існуючої медичної системи.

1.2 Мета створення імітаційної моделі

Імітаційна модель створена для дослідження за такими 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.

2 Вимоги до імітаційної моделі

2.1 Вимоги до імітаційної моделі в цілому

2.1.1 Вимоги до структури й функціонування імітаційної моделі

Розробити імітаційну модель, яка відображає процеси руху і затримки потоку поранених у пересувному медичному шпиталі під час надання допомоги. Результати моделювання та основні показники ефективності повинні відображатися у вигляді графіків та діаграм, за якими оцінюються: середні та максимальні довжини черг; середній та максимальний час очікування у чергах; середній час перебування поранених у системі; завантаженість робочих місць та людських ресурсів; пропускна здатність та ін. показники ефективності.

Імітаційна модель повинна забезпечувати зручність введення та зміни вхідних даних.

2.1.2 Системні вимоги

Для роботи та дослідження моделі необхідно мати встановлене ПЗ FlexSim не нижче 2022 року; операційна система комп'ютера Windows 7 або вище.

2.1.3 Вимоги до збереження інформації

Дані, які управляють роботою моделі зберігаються у таблицях (реляційних базах даних), робота з якими виконується засобами СУБД MySQL.

2.2 Опис структури пересувного медичного шпиталю

2.2.1 Структура пересувного медичного шпиталю

Структура пересувного медичного шпиталю схематично представлена на рисунку А.1.

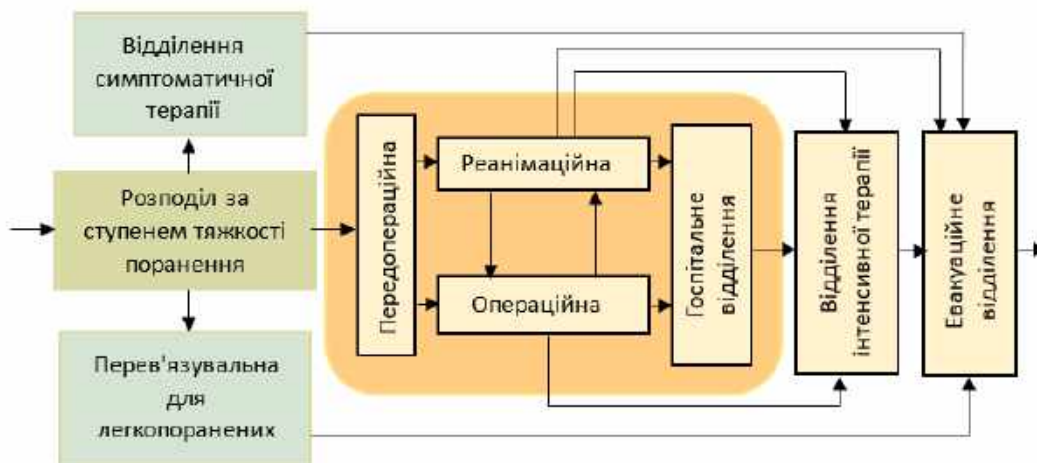


Рисунок А.1 – Структурна схема пересувного медичного шпиталю

2.2.2 Функціональний опис пересувного медичного шпиталю

За даною схемою, поранені після проведення заходів огляду і діагностики поділяються на чотири потоки:

- ті, що потребують кваліфікованої хірургічної допомоги;
- легкопоранені;
- ті, що потребують симптоматичної терапії;
- особи, які потребують надання спеціалізованої хірургічної допомоги.

Під час моделювання вхідного потоку поранених відбувається розподіл за ступенем важкості по відсотковим значенням:

- легкі поранення – k %;
- поранення середнього ступеню важкості – n %;
- важкопоранені – m %;
- дуже важкопоранені – z %.

$$k+n+m+z = 100\%.$$

Тривалість надання допомоги пораненим у відділеннях та дисципліна обслуговування в чергах залежить від важкості поранення та від типу поранення і відповідає пріоритету (менше числове значення відповідає вищому пріоритету):

- 1 – вкрай важкі поранення,
- 2 – важкі поранення,
- 3 – середнього ступеню важкості,

4 – легкі поранення

2.3 Вимоги до функціонування імітаційної моделі

2.3.1 Потреби користувача

Потреби користувача представлені у таблиці А.2.

Таблиця А.2 – Потреби користувача

ID	Потреби користувача	Джерело
UN-01	Перегляд процесу імітації	Дослідник
UN-02	Можливість зміни вхідних даних у моделі	Дослідник
UN-03	Проведення експериментів з моделлю	Дослідник
UN-04	Перегляд статистичних даних моделі	Дослідник
UN-05	Спроможність зміни структури моделі (за необхідності)	Дослідник

2.3.2 Функціональні вимоги

На основі потреб користувача були визначені такі функціональні вимоги:

- можливість зміни інтенсивності надходження поранених до системи;
- можливість зміни вхідних даних;
- проведення досліджень;
- моніторинг статистичних даних.

2.3.3 Системні вимоги

Даний розділ визначає, розподіляє та вказує на системні вимоги, визначені розробником. Їх перелік наведений в таблиці А.3.

Таблиця А.3 – Системні вимоги

ID	Системні вимоги	Пріоритет	Опис
SR-01	Наявність інтерфейсу користувача	М	Надає можливість користувачу змінювати вхідні дані моделі
SR-02	База даних із вхідними даними	М	Зберігає вхідні дані необхідні для роботи системи
SR-03	Наявність компонента збору статистики	S	Відповідає за збір та виведення статистичних даних
SR-04	Наявність компонента управління процесом імітації	М	Надає можливість запускати, зупиняти модель, масштабувати модельний час по відношенню до реального та ін.
SR-05	Візуалізація у 3D просторі	С	Надає можливість відображати модель у тривимірному вигляді як у статичному стані так і в динамічному
SR-06	Модуль аналізу даних ExpertFit	М	Надає можливість виконати ідентифікацію закону розподілу

Умовні позначення в таблиці А.3:

Must have (M) – вимоги, які повинні бути реалізовані в системі;

Should have (S) – вимоги, які мають бути виконані, але вони можуть почекати своєї черги;

Could have (C) – вимоги, які можуть бути реалізовані, але вони не є центральною ціллю проекту.

2.4 Вимоги до видів забезпечення

2.4.1 Вимоги до інформаційного забезпечення

Реалізація й дослідження імітаційної моделі відбувається з використанням:

- FlexSim 2022;
- Мова програмування C++;
- MySQL 8.0;
- ExpertFit – програма для аналізу даних.

2.4.2 Вимоги до програмного забезпечення

Реалізація імітаційної моделі відбувається з використанням:

- FlexSim 2022 або вище;
- Windows 7 або вище.

2.4.3 Вимоги до лінгвістичного забезпечення

Імітаційна модель та інтерфейс користувача мають бути виконані англійською або українською мовами.

3 Склад і зміст робіт зі створення імітаційної моделі

Докладний опис етапів роботи зі створення імітаційної моделі наведено в таблиці А.4.

Таблиця А.4 – Етапи створення імітаційної моделі

№	Склад і зміст робіт	Строк розробки (у робочих днях)
1	Ознайомлення з предметною областю	1 день
2	Побудова концептуальної моделі	2 дні
3	Побудова моделі	2 дні
4	Визначення логіки моделі	2 дні
5	Дослідження моделі	5 дні
6	Виправлення помилок	1 день
6	Додавання оптимізаційного експерименту	5 дні
7	Виконання оптимізаційної задачі	8 день
	Загальна тривалість робіт	26 днів

4 Вимоги до складу та змісту робіт із введенням імітаційної моделі в експлуатацію

Для використання імітаційної моделі користувач повинен мати на своєму комп'ютері встановлену програму FlexSim версії 2022 або вище.

ДОДАТОК Б

Планування робіт

Деталізація мети проекту методом SMART. Продуктом дипломного проекту є імітаційна модель функціонування пересувного медичного шпиталю.

Результати деталізації методом SMART розміщені у табл. Б.1.

Таблиця Б.1 – Деталізація мети проекту методом SMART

Specific (конкретна)	Створити комп'ютерну модель функціонування мобільного медичного шпиталю
Measurable (вимірювана)	Імітаційна модель, яка відтворює процеси руху та затримки потоку поранених у мобільному медичному комплексі і імітує процеси надання медичної допомоги пораненим
Achievable (досяжна, узгоджена)	Для реалізації проекту використовується середовище FlexSim, для роботами з базами даних – MySQL
Relevant (реалістична)	Розробка імітаційної моделі мобільного медичного шпиталю для прийняття ефективних рішень по вчасному наданню медичної допомоги пораненим в умовах бойових дій
Time-framed (обмежена в часі)	Термін досягнення мети проекту визначено за домовленістю між замовником та виконавцем – кінець 4 курсу (01 червня 2024 року).

Планування змісту робіт. WBS (Work Breakdown Structure – Ієрархічна структура робіт) – це графічний вигляд елементів проекту, які згруповані ієрархією

у єдине ціле з продуктом проекту. Структура декомпозиції робіт орієнтована на досконале виконання робіт по частинам і сама є ключовою частиною проекту, яка спрямована на організацію командної роботи. Елементами декомпозиції можуть бути продукти, дані та послуги. Більше того, WBS забезпечує необхідним каркасом для ретельної оцінки термінів та контролю та графіків роботи.

На найвищому (першому) рівні розміщений продукт проекту. Основні дії та заходи, що забезпечують досягнення мети проекту, зафіксовані на другому рівні декомпозиції. Декомпозиція робіт виконується до тих пір, поки вони не стануть елементарними (простими).

Елементарні роботи – це дії, які мають однозначний чіткий результат, на які призначена відповідальному одна конкретна особа, для якої можна обчислити витрати праці і тривалість виконання. На рисунку Б.2 представлено WBS з розробки імітаційної моделі функціонування ремонтного підрозділу засобів зв'язку».

Планування структури виконавців. Наступним етапом після декомпозиції процесів є розробка організаційної структури виконавців або OBS, яка визначається як графічна структура відображення учасників або відповідальних осіб, які беруть участь у реалізації проекту.

У ролі відповідальних осіб виступають співробітники, що відповідають за організацію і виконання елементарної роботи, що зазначена у WBS. Кожну елементарну роботу можна розглядати як окремий проект.

На рисунку Б.2 представлено організаційну структуру планування проекту.

Список виконавців, що функціонують в проекті описано в таблиці Б.2.

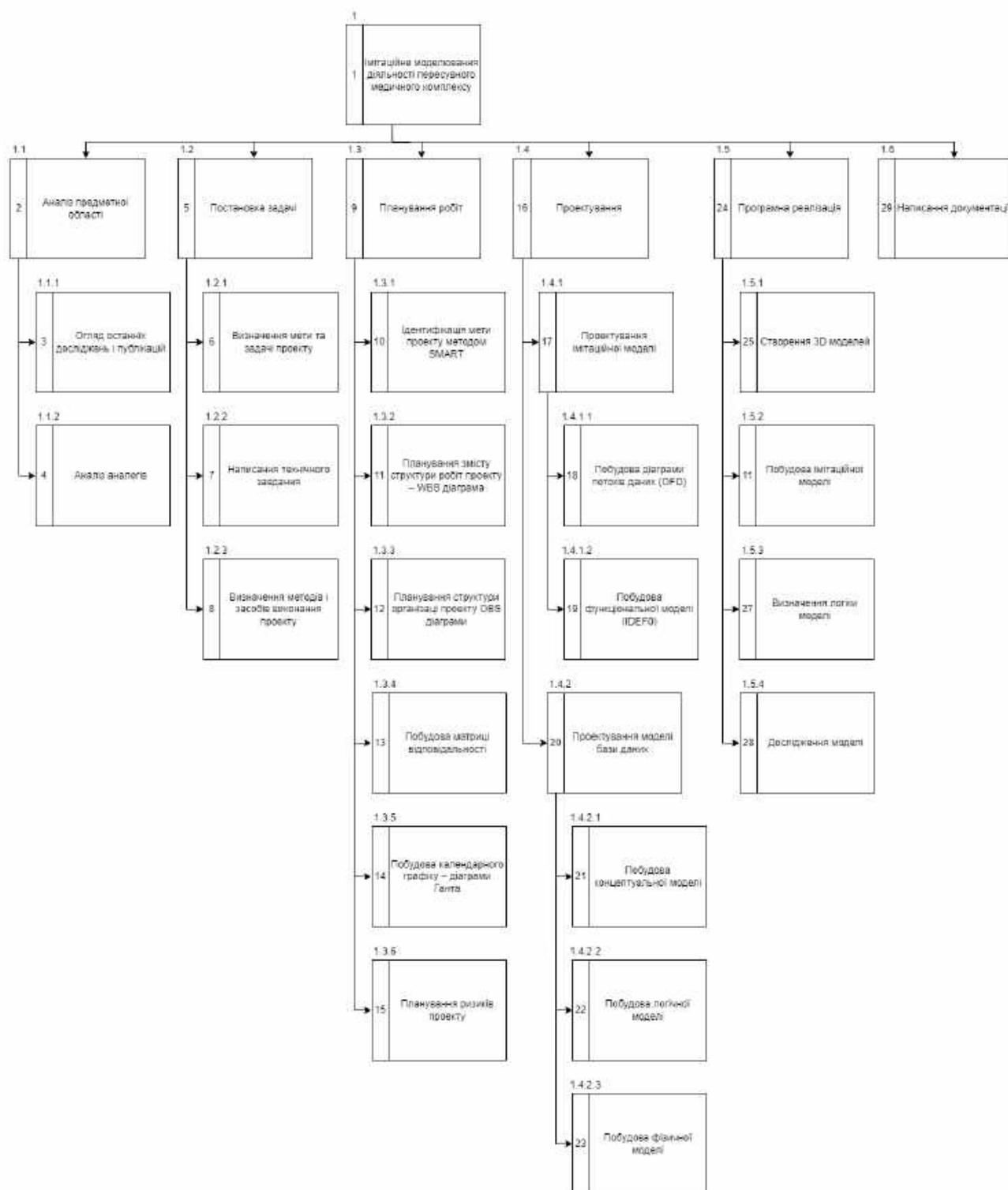


Рисунок Б.1 – WBS-структура робіт проекту

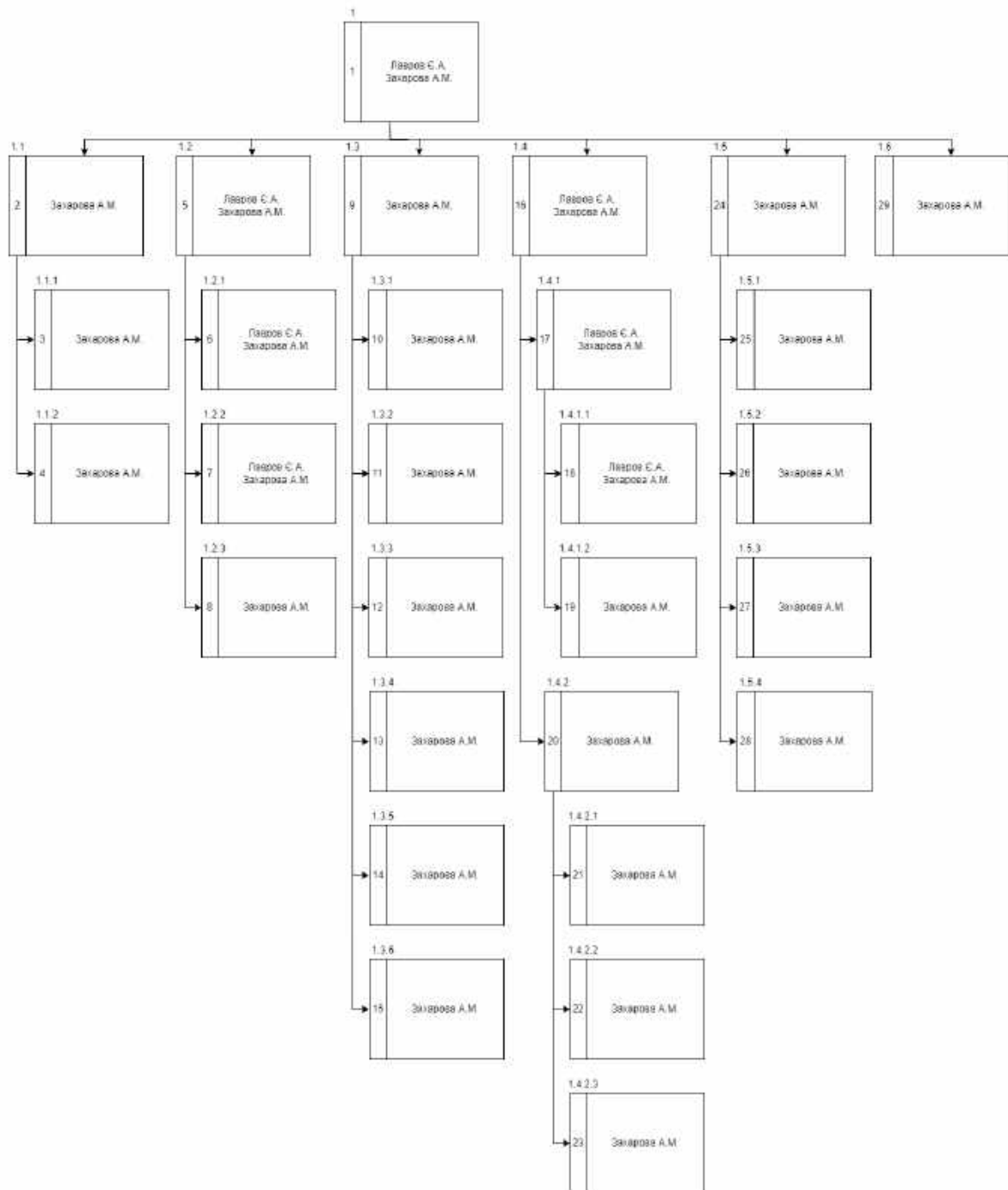


Рисунок Б.2 – OBS-структура работ проекта

Таблиця Б.2 – Виконавці проекту

Роль	Ім'я	Проектна роль
Розробник	Захарова А.М.	Розробляє імітаційну модель, досліджує роботу системи, проводить експерименти та інтерфейс користувача
Проектувальник	Захарова А.М.	Розробляє концептуальну модель системи, розробляє структуру імітаційної моделі, виконує проектування бази даних
Керівник проекту	Лавров Є.А.	Формує завдання на розробку проекту
Менеджер проекту	Захарова А.М..	Відповідає за розподіл та планування робіт, слідкує за виконанням завдань у визначені строки. Виконує збір та аналіз даних.

Діаграма Ганта. Побудова календарного графіку (діаграми Ганта) є одним з важливих етапів планування проекту, що виглядає як розклад виконання робіт з реальним розподілом дат. Завдяки йому можна отримати достовірне уявлення про тривалість процесів з обмеженнями у ресурсах, урахуванням вихідних днів та свят.

Календарний графік проекту представлено на рисунку Б.3.

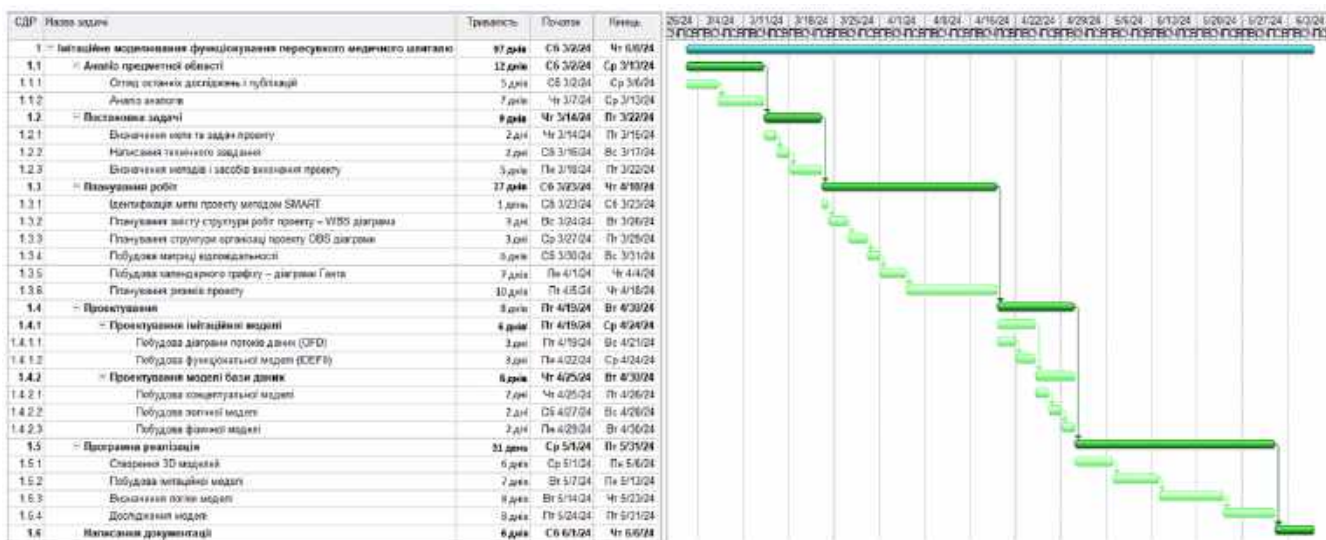


Рисунок Б.3 – Календарний графік проекту

Управління ризиками проекту. Під час виконання якісної оцінки ризиків треба визначити ризики, які мають бути усунені якнайшвидше. В залежності від ступеня важливості ризику – реагування буде відповідне. Наступним етапом є виконання кількісного оцінювання ризиків. Кількісне та якісне оцінювання можуть виконувати одночасно або окремо, що залежить від ступеня забезпечення проекту. У таблиці Б.3 надано перелік ризиків даного проекту. Результати оцінки ризиків надано у таблиці Б.4. Таблиця Б.5 представляє шкалу для класифікації ризиків за величиною впливу на проєкт та ймовірністю їх виникнення.

Таблиця Б.3 – Ризики проекту

№ ризику	Назва (опис) ризику
1	Неоптимальне використання часу
2	Відключення ліцензії FlexSim
3	Помилки проектування
4	Втрата даних через технічні неполадки
5	Відсутність резервних копій
6	Зміни в ТЗ
7	Непрацездатність розробника в зв'язку зі хворобою

Продовження таблиці Б.3

8	Нечітке завдання на розробку
9	Вимкнення світла
10	Непорозуміння між замовником та розробником

Таблиця Б.4 – Результати визначення ймовірності, впливу та рангу ризиків проекту

№ ризику	Назва (опис) ризику	Ймовірність (0,1-0,9)	Вплив (0,05-0,8)	Ранг
1	Неоптимальне використання часу	0.7	0.4	0.28
2	Відключення ліцензії FlexSim	0.5	0.2	0.1
3	Помилки проектування	0.5	0.8	0.4
4	Втрата даних через технічні неполадки	0.3	0.8	0.24
5	Відсутність резервних копій	0.3	0.4	0.12
6	Зміни в ТЗ	0.5	0.2	0.1
7	Непрацездатність розробника в зв'язку зі хворобою	0.3	0.8	0.24
8	Нечітке завдання на розробку	0.5	0.4	0.2
9	Вимкнення світла	0.3	0.4	0.12
10	Непорозуміння між замовником та розробником	0.1	0.2	0.02

Таблиця Б.5 – Шкала оцінювання ризиків за ймовірністю виникнення та величиною впливу

Оцінка	Ймовірність виникнення	Вплив ризику	Тип ризику
1	Низька	Низький	Прийнятні
2	Середня	Середній	Виправдані
3	Висока	Високий	Недопустимі

Для того, щоб знизити негативний вплив ризиків на проєкт треба виконати планування реагування на них. До нього входить оцінка наслідків впливу на проєкт і розробка відповідних заходів. Аналіз виконується за показниками, які описані в таблиці Б.4. У результаті планування заходів реагування на ризики проєкту було отримано матрицю ймовірності виникнення та впливу ризиків (рис. Б.4). Зеленим кольором на матриці позначають прийнятні ризики, жовтим – виправдані, а червоним – недопустимі.

Ймовірність виникнення	Вплив ризику				
	Дуже малий	Малий	Середній	Великий	Дуже великий
	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8
0,9	0,045	0,09	0,18	0,36	0,72
0,7	0,035	0,07	0,14 R1	0,28	0,56
0,5	0,025	0,05	0,10 R2,R3,R6,R8	0,20	0,40
0,3	0,015	0,03	0,06	0,12 R4,R5,R9,R7	0,24
0,1	0,005	0,01	0,02 R10	0,04	0,08

Рисунок Б.4. – Матриця ймовірності та впливу

Класифікація ризиків проєкту за рівнем, відповідно до отриманого значення індексу, представлена у таблиці Б.5. У таблиці Б.6 описано ризики та стратегії реагування на кожен із них.

Таблиця Б.5 – Шкала оцінювання ризику за рівнем

№	Назва	Межі	Ризики, які входять(номера)
1	Прийнятні	$0,005 \leq R \leq 0,05$	10
2	Виправдані	$0,05 \leq R \leq 0,14$	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
3	Недопустимі	$0,14 \leq R \leq 0,72$	

Таблиця Б.6 – Ризики та стратегії реагування на них

ID	Статус ризику	Опис ризику	Ймовірність виникнення	Вплив ризику	Ранг ризику	Тип стратегії реагування	План А	План Б
RS_1	Новий	Неоптимальне використання часу	Висока	Середній	0.14	Зменшення	Створити план виконання робіт та розставити пріоритети. Дотримуватися створеного плану	Змінити пріоритети робіт, оптимізувати роботу
RS_2	Новий	Відключення ліцензії FlexSim	Середня	Середній	0.1	Зменшення	Звернутися до обслуговуючих спеціалістів у серверному відділі університету	Звернутися до дистриб'юторів програмного забезпечення FlexSim
RS_3	Новий	Помилки проектування	Середня	Середній	0.1	Зменшення	<ol style="list-style-type: none"> 1. Розбивати задачі на підзадачі та погоджувати результати робіт з замовником 2. Виконувати поетапне збереження та верифікацію програмної моделі 	Для реалізації моделі використати останню збережену і верифіковану версію програмного продукту

Продовження таблиці Б.6

ID	Статус ризику	Опис ризику	Ймовірність виникнення	Вплив ризику	Ранг ризику	Тип стратегії реагування	План А	План Б
RS_4	Новий	Втрата даних через технічні неполадки	Низька	Високий	0.12	Ухилення	Зберігати резервні копії в хмарних сховищах або незалежних носіях інформації	Використати резервну копію, збережену у хмарних сховищах або на незалежних носіях інформації
RS_5	Новий	Відсутність резервних копій	Низька	Високий	0.12	Ухилення	Налаштувати автоматичне збереження резервних копій	Через певні інтервали часу вручну зберігати зміни
RS_6	Новий	Зміни ТЗ	Середня	Середній	0.1	Зменшення	Перед розробкою обговорити функціонал продукту	Приймати виключно зміни, які не впливають на основний функціонал

Продовження таблиці Б.6

ID	Статус ризику	Опис ризику	Ймовірність виникнення	Вплив ризику	Ранг ризику	Тип стратегії реагування	План А	План Б
RS_7	Новий	Непрацездатність розробника в зв'язку зі хворобою	Низька	Високий	0.12	Зменшення	Попередити виникнення хвороби	Виділення додаткового часу
RS_8	Новий	Нечітке завдання на розробку	Середня	Високий	0.1	Ухилення	Обговорити вимоги та затвердити завдання на розробку з замовником	Чітко описувати невідповідності та складати правки
RS_9	Новий	Вимкнення світла	Середня	Високий	0.12	Прийняття	Скористуватися послугами пункту незламності	Купити зарядну станцію
RS_10	Новий	Непорозуміння між замовником та розробником	Низька	Низький	0.02	Ухилення	Створити комфортні умови співпраці	Виявити та усунути причину непорозуміння

ДОДАТОК В

Копія акту впровадження

Затверджую
Перший проректор
Сумського державного університету

Інна ШКОЛЬНИК

« _____ » _____ 2024 р.

АКТ

**Впровадження у навчальний процес
результатів дипломної бакалаврської роботи**

студентки групи ПТ – 01 Захарової Анни Миколаївни
на тему: «Імітаційне моделювання завантаженості мобільного медичного шпиталю в
умовах воєнного стану»

Складений 21 травня 2024 р. комісією у складі:

Голова комісії:

Доцент кафедри інформаційних технологій, в.о. зав. кафедри інформаційних технологій, кандидат технічних наук, доцент Ващенко С.М.

Члени комісії:

1. *Професор кафедри комп'ютерних наук, доктор технічних наук, професор Лавров Є.А.*
2. *Доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Кузнцов Е.Г.*
3. *Доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент Чибіряк Я.І.*

В період з 24 квітня 2024 р. по 21 травня 2024 р. комісія провела роботу з визначення впровадження результатів дипломної роботи бакалавра Захарової А.М. у навчальний процес кафедри інформаційних технологій.

Результати роботи комісії

1. На кафедру інформаційних технологій передано імітаційну модель, призначену для розрахунку кількості ліжокмісць і персоналу, а також вирішення задачі оптимізації для мобільних медичних систем.

2. Теоретичні положення та практичні результати роботи використовуються кафедрою інформаційних технологій при проведенні лабораторних занять з таких дисциплін:

- моделювання систем (8 годин);
- теорія прийняття рішень (4 години);

Голова комісії

 Світлана ВАЩЕНКО

Члени комісії

 Євгеній ЛАВРОВ
 Едуард КУЗНЦОВ
 Яна ЧИБІРЯК

ДОДАТОК Г

Копії публікації

Training of Specialists for Adaptive management. Techniques for Teaching Computer Analysis of Automated Production Systems in the FlexSim Environment

Evgeniy Lavrov¹, Yana Chybiriak¹, Olga Siryk², Victoriya Logvinenko³ and Anna Zakharova¹

¹Sumy State University, Sumy, Ukraine

²Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

³Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Abstract

The article deals with the problem of teaching students and practitioners in methods of searching for reserves to increase the efficiency and reliability of automated control systems for various purposes. The article shows that in the conditions of the fourth industrial revolution, the requirements for the efficiency and quality of variant analysis of the "what if?" type. The necessity of using a new generation of simulation modeling environments in making management decisions has been substantiated. The analysis of the simulation modeling software used in practice and in the educational process of the universities of the world has been carried out. The advantages of the FlexSim software environment are described and the expediency of switching to the use of this environment in the practice of variant analysis of automated systems as well as in the educational process of universities and in the retraining of specialists is shown. A library of typical FlexSim models has been developed, providing training for a specialist who is able to analyze current problem situations in the design and operation of automated production and control systems. The authors have developed a methodology for the continuous use of FlexSim in the preparation of IT students. The method is designed for use in classical and technical universities, focused on training IT specialists, analysts and managers in structures for advanced training and retraining of personnel for modern automated production as well as for self-education.

Keywords

Simulation model, automated control, adaptive management, optimization, efficiency, reliability, training, professional competencies, automated system, information technology

1. Introduction

The Fourth Industrial Revolution is a modern technological strategy that improves the efficiency of production processes by achieving high flexibility and resource optimization [1]. This concept is based on the introduction of cyber-physical systems into production [2-4].

Technical objects of the production environment, which are equipped with a communication interface and integrated information processing capabilities, interacting via the Internet, optimally adapt their behavior to specific production conditions [5].

This approach is based on the technologies of data mining, the Internet of Things and augmented reality [4, 6]; it determines the emergence of production systems of a new type, which provide automatic management of production and sales processes throughout the entire life cycle of a product [7].

ICTERI-2021, Vol II: Workshops, September 28 – October 2, 2021, Kherson, Ukraine

E-MAIL: prof_lavrov@hotmail.com (E. Lavrov); chybyana1977@gmail.com (Y. Chybiriak); lavrova_olga@ukr.net (O. Siryk);

2014lyg@gmail.com (V. Logvinenko); chybyana1977@gmail.com (A. Zakharova)

ORCID: 0000-0001-9117-5727 (E. Lavrov); 0000-0002-0634-7609 (Y. Chybiriak); 0000-0001-9360-4388 (O. Siryk); 0000-0002-5439-8750 (V. Logvinenko);



© 2021 Copyright for this paper by its authors.
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).
CEUR Workshop Proceedings (CEUR-W5.org)

Often, student learning technologies do not keep pace with the modern progress of science and production [8-12]. Therefore, today more and more often they pose the problem of adaptive learning [13-16] as well as the problem of rapid variant analysis of possible ways to improve the efficiency of automated systems [1,3,17].

2. Problem Statement

The integration strategy of modern Internet technologies with physical processes in production was first initiated by German companies as the central basis of Industry 4.0 political program [4], and later was adopted by almost all industrialized countries [18]. A significant advantage of the strategy is to improve the competitiveness of enterprises in their continuous development through individual adjustment of production by increasing resource efficiency and reducing costs [19].

As part of the Industry 4.0 strategy, the simulation is one of the key technologies [1, 20-22]. For example, in [20] with the help of simulation models the influence of the properties of different architecture of decentralized production management on the duration of the production cycle is evaluated and compared. For research, a simulation model of a production system consisting of four operating complexes and a robot manipulator was built. Experiments on the model were carried out using both deterministic and stochastic input data. Based on the analysis, conclusions were made about how different architectures are suitable for Industry 4.0, and a set of actions to develop production management facilities in Industry 4.0 was obtained.

Practice has confirmed that simulation modeling is effectively used to solve such tasks [23-24]:

- production reengineering (adaptation of production processes to consumer needs, organization of production and management based on efficient computerization; uniform distribution of labor and technological resources);
- production planning (forecasting the objectives and stages of the production process in the conditions of dynamic changes, expansion of the commodity range, the introduction of new products or services, the use of new equipment; elimination of weak places in the production system);
- warehouse management (elimination of downtime in warehouse departments; identification of goods; strategy of their rational placement and grouping; efficient use of warehouse space; minimization of transportation costs);
- management of material flow and reserves (regulation, rationing, stock control and raw materials; prediction of material needs, determining the average delivery time and frequency of supplies; rational distribution of material and industrial stocks).

Currently, there is a wide selection of simulation programs: MATLAB/Simulink, Arena, Enterprise Dynamics, GPSS World, Excel/Solver, etc. [24-27] The most modern tool that is successfully used to model and analyze production processes is FlexSim software. This program supports all known modeling methods (discrete, continuous, agent, statistical), it has a three-dimensional medium of constructing models and is integrated with C⁺⁺ programming language [28].

The authors of publications [28-29] present practical examples of using simulation models developed in the FlexSim environment as a result of working with students in higher education institutions and in the field of industry. This program is used in the educational process of universities; in particular, it has been introduced into the curricula of the Polish State Eastern European University in Przemysl [30].

Also known is the practice of its introduction in industrial enterprises. A large automobile company FIAT used FlexSim to optimize the production line of EURO 5 and EURO 6 engines [31].

It should be noted that the transformation of production sets new tasks for education. It is assumed that future graduates will be traced with complex problems in the management level [31-33].

The future specialist must have new competencies in accordance with the requirements of the Fourth Industrial Revolution [34-36].

In this regard, it is important to pay attention to the emergence of new technologies associated with Industry 4.0 and take into account them when preparing students of engineering and computer specialties in order to form the necessary professional skills and competencies. In [1], it is noted that human resources play an important role for the implementation of the Industry 4.0 concept. Studies conducted in [10, 37-40] determine the group of key competencies necessary for the development of Industry 4.0. Also, the authors prove that the use of FlexSIM software in the educational process,

research projects, diploma and course works contributes to the development of professional competencies in the direction of Industry 4.0.

Thus, obvious is the following:

- one of the most modern software media simulation of complex systems is FlexSim;
- modern automated production by rapid pace introduces approaches of variant simulation using FlexSIMtechnologies;
- building a learning process to prepare IT-Direction students in the most rating universities in the world focuses on the use of FlexSIM simulation technologies, as evidenced by individual publications;
- in Ukraine there is no practical experience of using FlexSim as well as systematic research on the methodology and methods of implementing this software technology in the educational process of universities.

In this regard, the task of this work will be defined as follows - to develop a method of end-to-end teaching of students, the purpose of which is to master modern tools for analyzing the effectiveness of the functioning of complex automated systems and finding possible ways to improve it, using the FlexSim software.

To achieve the goal, you need to solve such tasks:

- investigate the relevance of reorientation of the educational process to the use of FlexSim software;
- describe typical problem situations of decision support in automated production and training-oriented techniques for using FlexSim simulation models to solve them;
- describe the experience of introducing the methodology of the end-to-end use of the FlexSim program in the educational process in the preparation of IT students and further prospects for its use.

3. Results

3.1. Analysis of the feasibility of teaching students decision-making techniques using FlexSim in problems of managing complex automatic systems

We will analyze the feasibility of teaching students decision-making techniques using FlexSim in the management of complex automated systems.

FlexSim is an integrated environment for building and examining simulation models. At the initial stages of modeling, considerable attention is paid to establishing the probability distribution laws that characterize the input data collected from the modeled system. An incorrectly defined distribution law leads to an erroneous assessment of the parameters of the system's efficiency. FlexSim contains a built-in ExpertFit tool that automatically analyzes the input data and evaluates it according to a certain distribution law. The analysis process consists of the following stages: construction of a histogram of frequencies, selection of the distribution law, and statistical refinement of the parameters of the distribution law.

In production systems, the laws of distribution reflect stochastic processes: the speed of operations (processing, packaging, and assembly), the intensity of the supply of components and raw materials to the work site, time to repair equipment, etc. Figure 1(a) shows a frequency histogram constructed by means of ExpertFit on numerical data, describing the length of stay of parts in the intermediate zone before processing. Analysis of the graphs shows that the Beta distribution law better matches the histogram pattern.

The calculation according to the criteria of the Kolmogorov-Smirnov test and the χ -square determines the correspondence of the chosen distribution function and its parameters. If the random process cannot be described by the parametric distribution law, the FlexSim program provides for the use of data in tabular format without a functional description (Fig. 1, b).

At the stage of building a simulation model, the structure of the system is reproduced. FlexSim 3D objects are designed to build models contained in a set of standard program libraries, divided into categories by functionality and determining their ease of use for the implementation of both discrete and continuous processes. When building models, the principle of visual programming is implemented, according to which the user creates a model from a set of standard blocks and performs calculations. For each object, the corresponding parameters are set to meet the requirements of the simulated system.

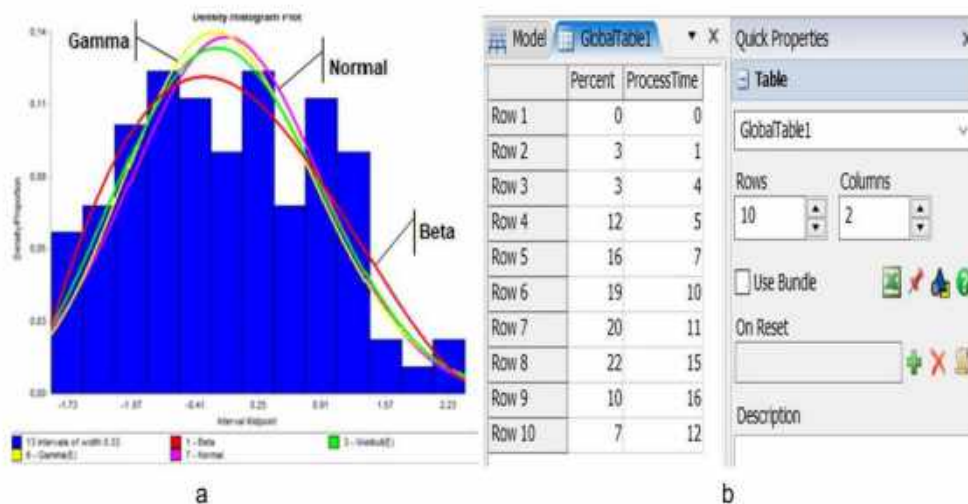


Figure 1: Identification of the law of distribution of sample data: selection of the parametric law (a); description of empirical data with a table of values (b)

Figure 2(a) shows a model consisting of a source of parts (Source); fixed resources (Processors 1 and 2 performing processing) and queues (places of waiting for the overflow of elements before performing processing operations); and a mobile resource (operator who moves parts for processing). Connections between fixed resources determine the direction of movement of material flows.

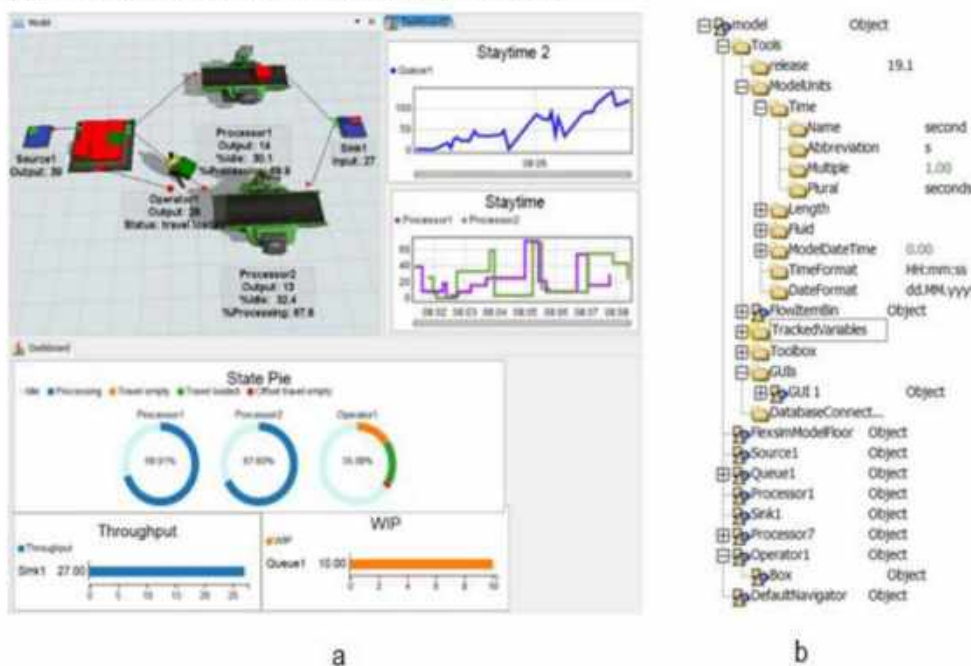


Figure 2: Example of a simulation model in the FlexSim environment: model with statistics (a), model tree (b)

Statistics for each object are displayed in text mode. More detailed statistics are shown by graphs and charts located on information panels. The types of graphs are set by the user and depend on the studied indicators of the system's efficiency.

Pie charts show resource utilization and help you identify periods with high workloads. The graphs show the average waiting time for parts in the queue (Staytime 2), processing time (Staytime), work in

progress (WIP), and system performance (Throughput). A user-friendly software interface, support for three-dimensional animation, and realistic graphics allow you to analyze production processes for risks, involve other specialists and experts in the organization to find problems, interact with project customers, take into account the proposals of experts and working groups to improve the system operation, make appropriate changes to the models, and evaluate the effectiveness of these changes.

The model is driven by data. FlexSim can import/export information from other software environments (for example, MS Excel), read from databases (MySQL, Oracle, SQLite, etc.), and create global tables with data.

It should be noted that the models of systems in the FlexSim environment are developed on the basis of object-oriented approach. So in addition to the three-dimensional view, the model can be represented as a tree structure of hierarchically subordinate objects. The tree model provides an effective tool for finding and accessing work variables used during startup, experimentation, and model optimization. Figure 2(b) shows the tree of the model shown in Fig. 2(a). The nodes of the tree model contain data and functions of objects that determine their properties and actions. The names and symbols of the nodes depend on the type of data being stored.

Support for an object-oriented approach enables the implementation of agent modeling. FlexSim does not have special library blocks that provide agent functionality. The built-in FlexScript scripting language and the C++ programming language are used to describe the rules of interaction and the state of the system agents. Software commands also set up messaging between objects, ensuring effective coordination and management of the model. Thus, there is a possibility of establishing information flows and feedback between the structural elements of complex systems.

Simulation models can be built for single use, for example, in solving the problem of optimal allocation of resources between departments, or for multiple use - in the development of parallel and alternative routes of manufacture and processing of products. Disposable models are usually handled by experienced users who are familiar with imitation. Specialists and experts in a particular subject area work with multi-purpose models. This creates the need to implement a graphical interface designed for easy data entry and results in a clear format. An example of a decision support system model based on a simulation model (Fig. 3) was developed by the Mississippi State University to evaluate the performance of the production system as part of the implementation of the concept of lean production (Leanproduction). The system was developed in the FlexSim environment using the GUI linker.

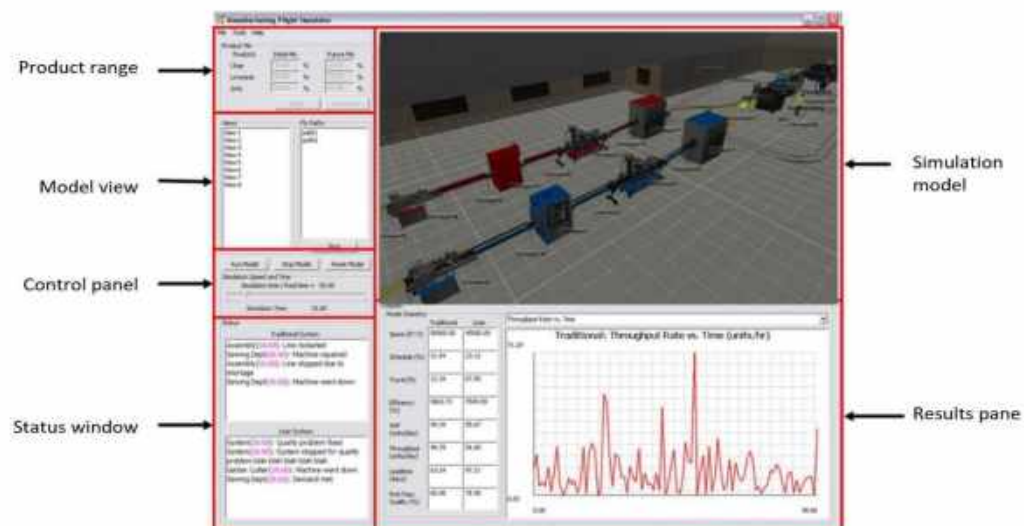


Figure 3: An example of building a DSS model in the FlexSim environment

The model is shown in the center, the input data is entered on the left side of the interface, and the lower part is intended for displaying system performance indicators in graphical and tabular formats. This model interacts with databases, analysis and optimization procedures to support the search for effective solutions.

A key aspect of the Fourth Industrial Revolution is the creation of "Digital Twin" systems that perform the function of remote monitoring and control of the production process in real time. The use

of FlexSim for the practical implementation of this approach is provided by the possibility of integrating the program with information systems of the enterprise SAP (ERP, MRP, CRM, etc.), with databases, support for standards of CALS-technologies.

The advantages of FlexSim include the availability of convenient tools for conducting experiments and calculating their results. The built-in ExpertFit module launches multiple scenarios and the model runs within each scenario in a single execution.

To conduct experiments, you need to set:

- a number of scenarios (experiments);
- a number of runs (model runs) and their duration within each scenario;
- a warm-up period of the model.

Figure 4(a) shows an example of conducting experiments with a model when investigating the effect of the number of workpiece assortment on the performance of the system. Three experiments with 20 runs were performed with the model. The warm-up period lasted 80 hours; the duration of the runs was 160 hours. The results of the experiment made it possible to establish that the highest productivity will be provided with the percentage ratios of the product range of 33% -33% -34% of the 1st, 2nd and 3rd types of parts, respectively. Thus, according to the results of the experiments carried out, the best parameters of the system are selected by analyzing possible alternatives. For organizations, this "what if ..." approach provides significant time and cost savings in decision making. If necessary, the results obtained can be exported from HTML format as CSV files to create and print reports and for their further analysis.

The FlexSim experimenter, during operation, automatically distributes program threads between the available computer processor cores, as a result of which the model runs in parallel. Therefore, the implementation of experiments for complex systems with a large amount of input data requires minimal time. Experiments designed to evaluate individual model scenarios are constructed by analysts for specified input data values. Therefore, experimental results depend on the practical experience of experts.

The OptQuest optimization tool built into FlexSim uses evolutionary algorithms to find optimal solutions based on specific criteria. Fig. 4(b) demonstrates the result of the optimizer's work

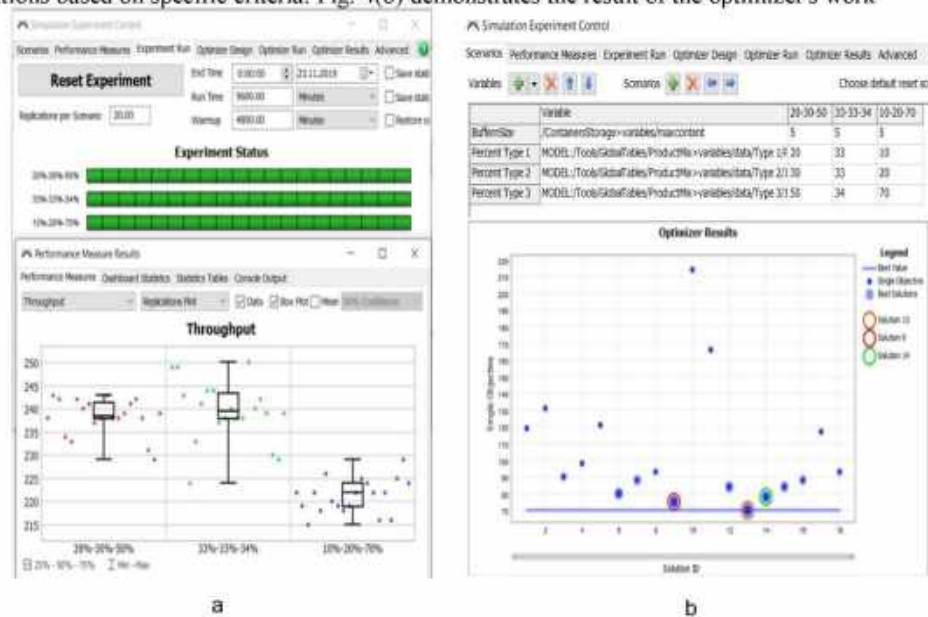


Figure 4: An example of model research: experimental results (a), optimization results (b)

The duration of the production cycle was chosen as the objective function, and the parameters of the system being investigated were the size of the buffer zone and the discipline of service in the queue. The program found 18 solutions. The graph shows the order in which they were received. The optimal solution is 13, at which the duration of the production cycle acquires a minimum value of 71 minutes.

The optimizer continues to run until one of the conditions is met :

- all possible values of the decision variables are considered;

- the time interval allotted for the search for solutions has ended;
 - a given number of solutions has been received.
- The analysis shows that FlexSim is a leading software tool for modeling and research of systems. Significant functionality of FlexSim software includes:
- modeling of complex production situations;
 - analysis of workload;
 - support for CALS-technology standards;
 - integration of models with enterprise information systems and databases;
 - optimal distribution of resources between departments;
 - multi-agent modeling;
 - realistic 3D-animation and visualization of processes;
 - availability of convenient tools for analysis, experiments, and optimization of systems.

3.2. Model of end-to-end training of students in the specialty "Computer Science" using FlexSim software

Given the need of organizations for qualified specialists capable of using modern information technology to solve production problems, Sumy State University has for the first time introduced a comprehensive curriculum that provides end-to-end training, using FlexSim software.

The Department of Computer Science has established a Training and Research Center for Simulation Modeling and Systems Analysis (TRC SMSA) whose activity is to improve the educational process of student training.

The creation of the training center became possible thanks to the grant activities of the Polish foundation InterMarium, whose representatives organized and conducted training for higher educational institutions of Ukraine and provided licensed FlexSim software for implementation in the educational process. The comprehensive program has been tested in the preparation of bachelor's and master's degree students in the specialty of computer science. The main goal is to train an IT specialist with practically oriented competencies necessary for solving problems that are relevant in production conditions.

Table 1 lists the disciplines and topics required to provide a comprehensive training program.

Table 1

Disciplines included in the program of end-to-end training by means of simulation modeling (fragment)

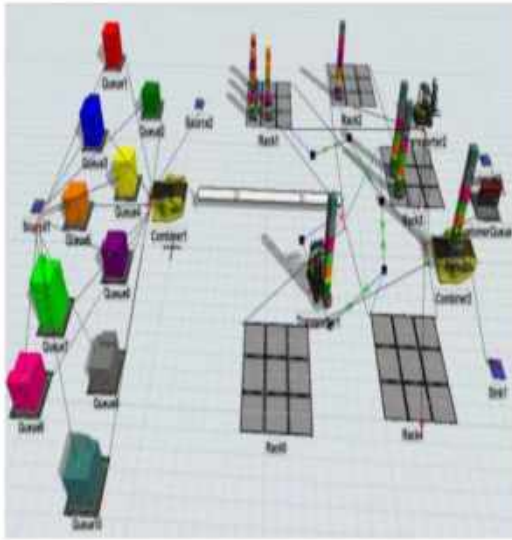
Disciplines	Teaching course	Topics
Organization and processing of electronic information	1	<ul style="list-style-type: none"> • Analysis of simulation software • Integrated environment of FlexSim simulation modeling software • The use of simulation for solving practical problems
Fundamentals of object-oriented programming	2	<ul style="list-style-type: none"> • Hierarchical architecture of FlexSim software • Basics of the FlexScript programming language • Object-oriented programming in the C++ language • Programming objects and agents in the FlexSim environment
Computer graphics	2	<ul style="list-style-type: none"> • Development of 3D objects of simulation models and their import into the FlexSim environment
Corporate information systems	3	<ul style="list-style-type: none"> • Methods and tools for integrating simulation models into corporate systems SAP (ERP, MRP, CRM)
Systems modeling	3	<ul style="list-style-type: none"> • Modeling and analysis of queuing systems • Simulation of random events • Discrete-event modeling in FlexSim environment

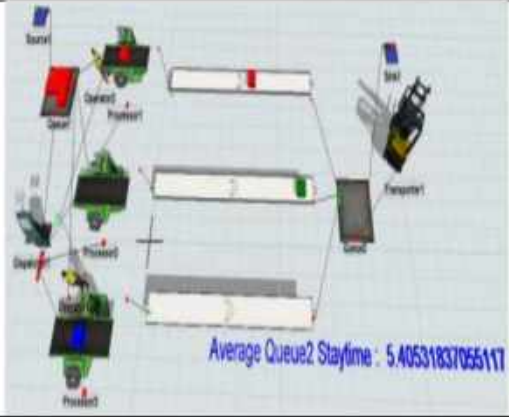
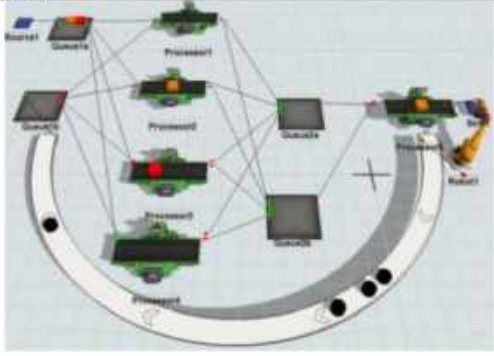
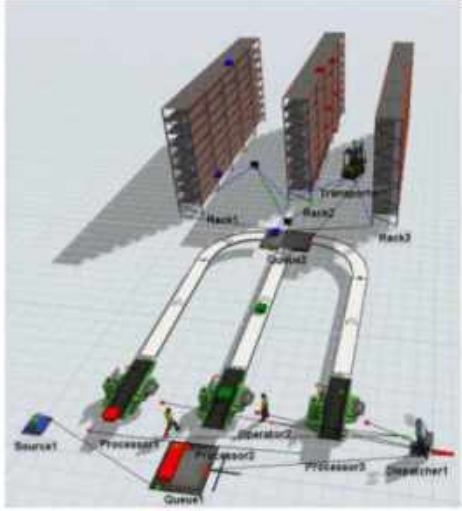
		<ul style="list-style-type: none"> • Modeling of continuous processes by means of FlexSim • Construction of model logic by means of ProcessFlow • Multi-scenario experiments and model optimization
Organization of databases and bases of knowledge	3	<ul style="list-style-type: none"> • Ways to organize the input data of the simulation model • Integration of FlexSim software environment with databases
IT project management	4	<ul style="list-style-type: none"> • Life cycle of simulation modeling and analysis (IMA) • Distribution of roles and responsibilities in the IMA project • Modeling project management
Decision theory	5	<ul style="list-style-type: none"> • Decision support systems based on simulation models

The end-to-end training model combines the key disciplines of the professional and practical direction from the 1st to the 6th year inclusive and is implemented by the following activities: complex theoretical training; comprehensive practical training; course design; diploma design; research projects.

The end-to-end training program places great emphasis on the practical component. To ensure the educational process in the FlexSim environment, a set of 25 basic simulation models of production and service systems has been developed. Fragments of the models and their brief descriptions are given in Table. 2.

Table 2
Library of FlexSim simulation models for the learning process (fragment)

Model 1	
	<p>Scope of application: Service.</p> <p>Description: The model reflects the complete set of products for customers, each of which has its own order profile. The supply of certain types of products and the receipts of customers are stochastic values.</p> <p>Results: The mode of operation of the service resources of the system has been determined, in which the time for forming an order is minimized</p>
Model 2	

	<p>Scope of application: Production.</p> <p>Description: Three types of products enter the system, enter the queue zone 1, are processed by operators on the machines, through the conveyor belt they are delivered to the queue zone 2, and are removed by the conveyor from the system.</p> <p>Results: The influence of different methods of ordering products in the queue (LIFO, FIFO) on the system performance was investigated</p>
<p>Model 3</p> 	<p>Scope of application: Production.</p> <p>Description: Four types of parts enter the system, depending on the type of parts processed on one of the 4 machines. The robotic arm performs quality control of the parts. Defective parts are returned to the repetition of technological operations and are processed out of turn.</p> <p>Results: Identification of bottlenecks in the system operation: equipment downtime, places of accumulation of work in progress</p>
<p>Model 4</p> 	<p>Scope of application: Production.</p> <p>Description: Operators process 3 types of parts, which are transported by a conveyor belt to the queue zone, from where they are moved by a forklift to the racks of the warehouse and, depending on the type of parts, are located on the corresponding shelves. Operators and equipment are easy to operate.</p> <p>Results: It was determined how many work resources (operators and forklifts) are needed to ensure the required system performance; it is investigated how the replacement of manual labor with an automated one affects the throughput of the system</p>

The theoretical and practical parts of the program, in addition to studying development methods, building simulation models, researching and optimizing them, are also aimed at developing skills to work with customers, prepare technical and user documentation, validate, verify, and provide technical support for simulation models.

In order to ensure interdisciplinary links, work was carried out to coordinate the working programs of training courses and developed methods of organizing the educational process. This takes into account the recommendations of the Council of Employers which includes specialists from leading companies in the Sumy region. Within the framework of diploma and research works, special attention is paid to projects, the topics of which are relevant, and the results can be implemented in the practice of enterprises and organizations.

Graduates who have mastered a comprehensive training program can work as business analysts of production systems. Such a specialist is able to develop and implement a simulation model within the chosen methodology, check it for correctness and use it for analysis and optimization of production processes. Successful work in the field of business process modeling is provided by the formed practical skills. Implementation and research of simulation models related to production and service processes develop students' practical competencies related to these areas and allow them to gain the necessary skills to work with software.

In the course of the educational process, it is recommended to provide students with the opportunity to experiment with models, implement their proposals and ideas to improve the operation of systems, which may consist in changing the mutual arrangement of equipment, reducing or increasing their number, changing statistical distributions and system parameters. The high flexibility and convenience of the software environment allows them to quickly evaluate the results of the changes made and arouses interest in the learning process.

Modeling is an important tool for supporting decision-making processes in solving problems related to improving systems. Construction and research of the developed typical models in the FlexSim environment (Table 2) contributes to the development of professional competencies of students.

4. Conclusion

Due to the increasing power of computer systems, it is possible to move from complex, imperfect and little-understood analytical methods to simulation models. There are many information environments for building models. The most widespread programs among them are MATLAB/Simulink, Arena, and AnyLogic.

One of the newest and most promising tools for simulation is the FlexSim system.

Studies have shown:

- the use of FlexSim software in the educational process contributes to the formation of graduates' key competencies in the field of Industry 4.0;
- in Ukraine, there is no practical experience in implementing the FlexSim program in higher education institutions.

In this regard, there is a need for effective teaching of students of different courses in basic concepts and possibilities of simulation.

At the Department of Computer Science of Sumy State University, a comprehensive program of end-to-end training in simulation tools was developed using the latest FlexSim software.

The main contribution of this work is to provide practical experience and educational information on the use of modern computer simulation technologies.

The experience gained allows us to state the following:

1. The use of FlexSim is possible for end-to-end training of students of computer specialties from 1 to 5 years inclusive.
2. When preparing bachelors, it is recommended to direct the educational process to:
 - methods of collecting and analyzing information about the system;
 - establishing laws for the distribution of input data;
 - construction of a conceptual model of the system;
 - determining ways to store input data;
 - development and implementation of simulation models of the system;
 - development of user interfaces;

- collection of statistics and analysis of modeling results.
- 3. In the master's cycle it is recommended to pay more attention to:
 - validation and verification of simulation models;
 - planning and conducting experiments with models;
 - single- and multi-criteria optimization of systems;
 - interpretation of modeling results;
 - development of recommendations for improving the efficiency of systems.
- 4. The most promising and suitable for gaining practical experience with the FlexSim program are models that reflect the production and maintenance processes.

The use of the developed basic simulation models, as an element of professional training, makes it possible to systematize knowledge, taking into account their role and place in solving applied problems of a particular industry.

There is an opportunity to build a practice-oriented training of specialists aimed at analysis and research, provides the development of analytical thinking, the formation of skills in applying the acquired skills in new conditions of activity associated with the introduction of the concepts of Industry 4.0.

The developed typical simulation models in the FlexSim environment and methods for their study can be recommended for mass distribution and implementation in the educational process of higher education institutions that train specialists for the IT sphere. Man-machine interaction in discrete automated systems can be well described using models, based on functional networks. Adaptive changes in man-machine interaction can be reduced to the problem of step-by-step choosing the optimal fragment of the functional network.

The method adapts the system to the peculiarities of the human-operator and environmental parameters. The combined model, which consists of a neural network for forming initial data, a functional network for modeling a dialogue and a neural network for managing the dialogue process provides a higher level of adaptation to a human operator than the known models built on the basis of unmanaged functional networks.

The computer program was used in the design process for systems of various purposes and its effectiveness was shown. Experimental studies have shown the constructiveness of the developed method.

Models will be useful for automated control in industry, agriculture and e-learning

5. References

- [1] R. Y. Zhong, et al. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, **3**(5), 616–630, (2017).
- [2] E.S. Ogurtsov et al. Microcontroller navigation and motion control system of the underwater robotic complex. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, **11**(9), 3110-3121, (2016).
- [3] V. A. Sedov et al. The fuzzy model of ships collision risk rating in a heavy traffic zone. *Vibroengineering PROCEDIA*, **8**, 453–458, (2016).
- [4] T. Pfeiffer et al. Empowering User Interfaces for Industrie 4.0 . In *Proc. IEEE. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, 2016. **104**(5), 986–996, (2016) doi: 10.1109/JPROC.2015.2508640.
- [5] A. Radziwon et al. The smart factory: exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. *Procedia Engineering*, **69**, 1184–1190, (2014).
- [6] W. Sawangsri et al. Novel Approach of an Intelligent and Flexible Manufacturing System: A Contribution to the Concept and Development of Smart Factory. In *2018 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*, New Taipei, pp. 1–4, (2018). DOI: 10.1109/ICSSE.2018.8520029
- [7] S. Wang et al. Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, **101**, 158–168, (2016).
- [8] E.E. Kotova and I. A. Pisarev. "Researching Cognitive Tasks Solving Taking into Account Visual Uncertainty". *2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*, pp. 127-130 (2021) doi: 10.1109/SCM52931.2021.9507145.

- [9] K.Atto and E.E. Kotova . "Communicative Strategies Simulation in Intelligent Learning Environment". 2020 IEEE Communication Strategies in Digital Society Seminar (ComSDS), pp. 37-39 (2020) doi: 10.1109/ComSDS49898.2020.9101338.
- [10] L.N. Khranova et al. Modern managers training in the context of competence approach. The Journal of Social Sciences Research, **S5**, 194-199 (2018) doi.10.32861/jssr.spi5.194.199
- [11] O.Pinchuk at al .Learning as a Systemic Activity. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 963, 335-342,(2019) doi.org/10.1007/978-3-030-20135- 7_33. URL: link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-20135-7_33.pdf. (2019)
- [12] E. E. Kotova "Training Specialists in the ICT Industry Based on a Client-Oriented Approach" . 2018 XVII Russian Scientific and Practical Conference on Planning and Teaching Engineering Staff for the Industrial and Economic Complex of the Region (PTES), pp. 110-113 (2018)doi: 10.1109/PTES.2018.8604204.
- [13] V. Osadchyi at al. Personalized and Adaptive ICT-Enhanced Learning: A Brief Review of Research from 2010 to 2019. In ICTERI Workshops 2020: Computer Science. (2020). URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2732/20200559.pdf>
- [14] O. Burov et al. "Cybersecurity in educational networks". Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer, **1131** AISC, 359-364(2020). doi.org/10.1007/978-3-030-39512-4_56
- [15] E. Lavrov at al. Development of models for the formalized description of modular e-learning systems for the problems on providing ergonomic quality of human-computer interaction. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Ser. "Information technology", **2/2(86)**, 4–13 (2017) doi: 10.15587/1729-4061.2017.97718
- [16] E. Lavrov et al.: A method to ensure the effectiveness and attractiveness of e-learning. Human-oriented systemic ergonomic approach. CEUR Workshop Proceedings, 2732, 572-582, (2020)
- [17] E. Lavrov at al. " Computer Simulation of Discrete Human-Machine Interaction for Providing Reliability and Cyber-security of Critical Systems". Proceedings of the Third International Conference Ergo-2018: Human Factors in Complex Technical Systems and Environments (Ergo-2018) July 4 – 7, 2018, St. Petersburg Russia, pp.67–70 (2018) doi:10.1109/ERGO.2018.8443846
- [18] G. Luhn G. et al. "Real-Time Information Base as key enabler for Manufacturing Intelligence and Industrie 4.0". 2015 26th Annual SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, ASMC 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 216–222, (2015)
- [19] S. Abersfelder at al. "Optimization of a servo motor manufacturing value stream by use of Industrie 4.0". 2015 5th International Conference on Electric Drives Production, EDPC 2015 - Proceedings. IEEE Inc., 1–5(2015)
- [20] H. Meissner at al. "Analysis of Control Architectures in the Context of Industry 4.0". Procedia CIRP, **62**, 165–169) , (2017) doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.113
- [21] A. L. Zolkin at al. "Application of Computer-Aided Technologies for Analysis if Statistical Data of Collectors Wearing Measurements and for Diagnosis of Traction Motors". 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), pp. 1-6, (2020) doi: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271079.
- [22] B. Basuki at al. "Management Model of Manufacturing Workshop/Laboratory of Vocational Education in the Industry 4.0" . 2020 4th International Conference on Vocational Education and Training (ICOVET), (2020), pp. 127-130, doi: 10.1109/ICOVET50258.2020.9230188.
- [23] A. Tryhuba et al." Conceptual Model of Management of Technologically Integrated Industry Development Projects". 2020 IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 155-158, (2020), doi: 10.1109/CSIT49958.2020.9321903.
- [24] G. V.Verkhova, S. V Akimov. " Electronic educational complex for training specialists in the field of technical systems management". Proceedings of IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS), pp. 26–29 (2017).
- [25] E. E. Kotova." Applying Educational Data Mining Tools to Learning Management Problems". 2019 III International Conference on Control in Technical Systems (CTS), 180-183, (2019), doi: 10.1109/CTS48763.2019.8973291.
- [26] C.S. Bustillo et al." Modeling and Simulation of Composite Load Using MATLAB / SIMULINK" In2019 IEEE 39th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIX), 1-6, (2019) doi: 10.1109/CONCAPANXXXIX47272.2019.8977055

- [27] R. Paredis et al. "Translating Process Interaction World View Models to DEVS: GPSS to (Python(P))DEVS". 12020 Winter Simulation Conference (WSC), 2221-2232, (2020) doi: 10.1109/WSC48552.2020.9383952
- [28] S. Ljaskovska et al. "Optimization of Parameters of Technological Processes Means of the FlexSim Simulation Program". 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), 391-39 (2020) doi: 10.1109/DSMP47368.2020.9204029.
- [29] N.Fahim et al. "Microfactory strategic decision making using simulation". 2020 2nd Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES), 236-241, (2020) doi: 10.1109/NILES50944.2020.9257938.
- [30] I.Kaczmar. Komputerowe modelowanie i symulacje procesów logistycznych w środowisku Flexsim. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2019, 266 p.
- [31] P. Eichinger et al. Education 4.0 for mechatronics-Agile and smart . In Proceedings - 2017 International Conference on Research and Education in Mechatronics, REM 2017, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 1-7 (2017).
- [32] S. Loufrani-Fedida., S.Missonier. "The project manager cannot be a hero anymore! Understanding critical competencies in project-based organizations from a multilevel approach . Int. J. Proj. Manag. Elsevier Ltd, **33(6)** , 1220-1235, (2015)
- [33] P. Korytkowski et al . Competences-based performance model of multi-skilled workers with learning and forgetting . In Expert Syst. Appl. Elsevier Ltd, **77**, 226-235, (2017)
- [34] R. Palšaitis et al. Improvement of Warehouse Operations Management by Considering Competencies of Human Resources. In Procedia Engineering. Elsevier Ltd, **187**, 604-613, (2017)
- [35] K.Werner-Lewandowska et al. FlexSim Use in Didactics, Thesis, and Research in the Context of Competences for the Industry 4.0. 2019, In FlexSim in Academe: Teaching and Research, Springer, 3-16. (2019)
- [36] G. Wu et al. "Simulation and optimization of production line based on FlexSim". 2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC), 3358-3363, (2018) doi: 10.1109/CCDC.2018.8407704.
- [37] I. K. Zubov et al. "The Introduction of E-Learning Technologies Using Agile Software Development Methodology. 2019 International Science and Technology Conference "EastConf", Vladivostok, Russia, 1-4, (2019) doi: 10.1109/EastConf.2019.8725421
- [38] E.A. Lavrov et al. "Automation of Functional Reliability Evaluation for Critical Human-Machine Control Systems". 2019 III International Conference on Control in Technical Systems (CTS), St. Petersburg, Russia, 2019, pp. 144-147(2019) doi: 10.1109/CTS48763.2019.8973294.
- [39] E.A. Lavrov et al. "Management for the operators activity in the polyergatic system. Method of functions distribution on the basis of the reliability model of system states". Proceedings of International Scientific and Practical Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology (PICS&T-2018)", pp. 423-429, (2018) doi:10.1109/infocommst.2018.8632102
- [40] E. Lavrov et al. "Mathematical Models for Reducing Functional Networks to Ensure the Reliability and Cybersecurity of Ergatic Control Systems". 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 179-184, (2020) doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235418.

Міністерство освіти і науки України,
Хмельницький національний університет (Україна)
Люблінська Політехніка (Польща)
Університет Вітовта Великого (м. Каунас, Литва)

*Присвячується 60-річчю
Хмельницького національного університету*



СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ІНЖЕНЕРІЇ, ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТРАНСПОРТУ

**Збірник тез доповідей
Міжнародної науково-практичної конференції
здобувачів вищої освіти і молодих учених**

**18-19 жовтня 2022 року
м. Хмельницький**

УДК 621.757

Захарова А.М., Чибіряк Я.І., Лавров Е.А.

Сумський державний університет

**МОДЕЛІ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВАРІАНТІВ ТЕХНОЛОГІЙ
СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ У МАШИНОБУДУВАННІ**

Створено сумісні математичні моделі, що відображають конструкторсько-технологічні властивості виробу та технологічні особливості складального процесу. Розроблено метод, спрямований на побудову раціональних технологічних процесів складання. Запропоноване програмне забезпечення у автоматизованому режимі забезпечує синтез можливих варіантів послідовності складання виробу. Використано сучасні технології імітаційного моделювання для порівняльного аналізу отриманих варіантів складання та доведення ефективності розробленого методу.

**MODELS FOR ANALYSIS OF PRODUCT ASSEMBLY
TECHNOLOGY OPTIONS IN MECHANICAL ENGINEERING**

Compatible mathematical models that reflect the product's design and technological properties and the assembly process's technological features have been created. A method aimed at creating rational technological processes of assembly has been developed. The offered software in the automated mode provides a synthesis of possible variants of a sequence of product assembly. Modern simulation modeling technologies are used to analyze comparatively the obtained assembly options and prove the effectiveness of the developed method.

Перехід до сучасних форм організації виробництва потребує пошуку та впровадження нових технологій. Особливо це стосується складального процесу, як завершального етапу виготовлення продукції. Підвищення ефективності технологічного процесу складання досягається шляхом реалізації раціональної послідовності. Як правило, для одного і того ж виробу існує кілька варіантів складання, від вибору якого залежать важливі показники виробничого процесу, такі як тривалість виготовлення, продуктивність, собівартість продукції. Тому важливою задачею є побудова раціонального варіанту складання [1, 2].

В даний час велика увага приділяється вдосконаленню методів фізичного і математичного моделювання складальних процесів.

В роботі [3] за допомогою імітаційного моделювання досліджена продуктивність гнучких автоматизованих складальних ліній з різною структурою. Результати показали, що продуктивність може бути збільшена на 40%. Для знаходження оптимального варіанту прийняття рішення застосовуються методи лінійного, нелінійного, динамічного програмування [4].

Іноді, на практиці побудову математичної моделі виконати неможливо по причині значної складності структури виробу. У такому випадку використовують методи експериментальної оптимізації: найшвидшого спуску, випадкового пошуку, багатофакторного аналізу. Розробка технологічних процесів складання пов'язана з наявністю великого числа логічних зв'язків, які не завжди піддаються математичному опису у вигляді аналітичних відношень. Тому закономірності, що враховують такі зв'язки, формалізують за допомогою методів дискретної математики: теорії алгоритмів, множин, графів, математичної логіки, лінгвістики, з використанням методів штучного інтелекту та ін. [3, 4].

Великого значення для подальшого розвитку теорії і методів проектування набуває розробка математичних моделей, що базуються на системному підході до проектування об'єктів виробництва та технологічних процесів.

Існуючі методи і підходи до побудови послідовності складання не враховують комплекс факторів, необхідних для автоматизованого вирішення даної задачі. Тому метою даної роботи є розробка математичних моделей та методу моделювання варіантів послідовності складання виробу з урахуванням конструкторсько-технологічних характеристик деталей та технологічних особливостей складального процесу.

Структуру виробу доцільно представити матрицею:

$$M_{\text{впр}} = [n \times n],$$

де n – кількість деталей, що підлягають складанню.

$$M_{\text{впр}} [i, j] = \begin{cases} 1 - \text{виконання } i\text{-го з'єднання передуює } j\text{-му} \\ 2 - \text{можливе одночасне виконання } i\text{-го і } j\text{-го з'єднання} \\ 3 - \text{інші випадки} \end{cases}$$

Матриця $M_{\text{в.с}} = [m \times m]$ описує структуру виробничої системи (m – кількість операційних комплексів):

$$M_{\text{ок}}[i, j] = \begin{cases} 0 - \text{відсутність зв'язку між ОК} \\ 1 - \text{послідовне використання ОК} \\ 2 - \text{одночасне використання ОК} \\ 3 - \text{будь яка послідовність використання ОК} \end{cases}$$

Матриця $M_{\text{ок}} = [m \times z]$ (z – кількість складальних операцій (CO) у виробі) поєднує код складальної операції та його характеристики з кодом операційного комплексу та його технологічними можливостями.

$$M_{\text{ок}}[i, j] = \begin{cases} 1 - \text{якщо } i\text{-та складальна операція виконується} \\ \text{на } j\text{-му ОК-сі} \\ 0 - \text{у протилежному випадку} \end{cases}$$

Такі характеристики деталей як маса, габаритні розміри, точність виготовлення впливають на послідовність складання. Для забезпечення високої якості виробу в першу чергу збираються ті деталі, які мають більші маси, габаритні розміри та точність виготовлення. Для врахування даних характеристик використовується матриця конструкторсько-технологічних ознак деталей $M_{\text{кт}}$, елементи якої:

$$M_{\text{кт}}_{i,j}(i=\overline{1..n}, j=1) = m,$$

$$M_{\text{кт}}_{i,j}(i=\overline{1..n}, j=2) = g,$$

$$M_{\text{кт}}_{i,j}(i=\overline{1..n}, j=3) = k,$$

де m – числове значення маси деталі;

g – числове значення габаритного розміру деталі;

k – квалітет точності виготовлення деталі.

Матричний опис конструкторсько-технологічних ознак виробу є основою для проектування технології складання. Такий опис характеризує програмну структуру розв'язання поставленої задачі.

Побудова варіантів складання здійснюється з використанням розроблених математичних моделей.

На 1-му етапі відбувається декомпозиція виробу на складальні одиниці.

На 2-му етапі визначаються графи, що містять спільні вершини. Такі графи поєднуються у групи залежних графів. В кожній залежній групі проводиться ранжування графів з присвоєнням їм математичного рангу, який визначає порядок входження складальних одиниць до виробу. Ранжування проводиться у 5 кроків, в його основу покладено

технологічні правила зборки. У результаті проведеного ранжування встановлюється порядок входження складальних одиниць до виробу. Складальні одиниці з однаковим значенням рангу можуть входити до виробу у довільній послідовності. На практиці завжди розглядається можливість їх паралельної реалізації, що забезпечує скорочення тривалості складання.

На 3-му етапі визначається послідовність збирання компонентів, що входять до окремої складальної одиниці. Деталі розташовуються на відповідних рівнях відносно базової, поєднуються у групи вершин по вертикалі і по горизонталі. Групи вершин піддаються ранжуванню, фізичний зміст якого полягає у визначенні порядку входження деталей до складальної одиниці. У результаті проведених етапів ранжування, кожній групі деталей присвоюється числове значення. Послідовність зборки здійснюється у порядку зростання ранга.

Розроблений метод застосовано для побудови послідовності складання клапана II ступеню для компресорів II каскаду. У конструкції виробу згідно методу виділено 3 базових деталі та побудовано 3 можливих варіанти складання клапана. Серед отриманих варіантів визначено варіант, який містить мінімальну кількість складальних рівнів.

Для порівняння базового (існуючого) та проектного складання використано технологію імітаційного моделювання.

Імітаційна модель відтворює роботу системи за одну зміну (8 годин роботи). Протягом встановленого часу виконано розрахунок таких показників: середньої тривалості технологічного процесу, завантаженості складального обладнання, кількості виготовлених виробів, загальної та середньої собівартості складальних операцій, прогнозованого прибутку та продуктивності виробничого процесу за годину.

Результати порівняння показників ефективності для базового (існуючого) варіанту складання (варіант I) та для варіанту складання, спроектованого за розробленим методом (варіант II) показали (рис. 1):

- збільшення пропускну здатності та прогнозованого прибутку у 1.5 рази;
- підвищення продуктивності у 1.6 рази,
- скорочення середньої тривалості технологічного процесу у 4.25 рази;
- зменшення завантаженості операційних комплексів на 7%.

Отже, запропонований метод моделювання послідовності складання забезпечує побудову раціонального варіанту складання виробу.




Рис. 1 – Порівняння показників ефективності

Подальші дослідження спрямовані на інтеграцію розробленого програмного забезпечення з програмними комплексами з метою автоматизації процесу збирання та введення вхідних даних щодо конструкції виробу та структури виробничої системи.

Література

1. Чибіряк Я.І. Технологічні закономірності і математичні моделі синтезу раціональної послідовності складання виробів / Чибіряк Я.І., Коноплянченко Є.В., Марченко А.В. // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – 2020. – № 39. – С. 110–116.
2. Чибіряк Я.І. Моделювання складальних процесів з використанням програмного забезпечення FlexSim / Чибіряк Я.І., Овчаренко К.В. // Інформатика, математика, механіка матеріали та програма Міжвузівської науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів. – 2020. – Р. 181.
3. Y. Chybiriak A method of end-to-end training in simulation modeling using FlexSim to find reserves for improving the efficiency of automated systems, offered for IT students / Chybiriak Y., Baranova I., and Nikolaenko K. – 2021. – № 42. – pp. 119-129.
4. Revina I. V. Simulation modeling of the assembly process / Revina I. V., Trifonova E.N. // J. Phys. Conf. Ser. – 2020. – Vol. 1441. – P. 012110.



**COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES:
EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION**

[About the Journal](#) - [Editorial Board](#) - [For authors](#) - [Archives](#) - [Contacts](#)

[Home](#) / [Archives](#) / [No 52 \(2023\): COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION](#) / [Automation and Control](#)

Models for automated search for rational assembly options for mechanical engineering products

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

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

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

D. Velykodnyi
<https://orcid.org/0000-0003-0044-5619>

V. Borovyk
<https://orcid.org/0000-0002-3668-6302>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-52-04>

Keywords: assembly sequence, product, base matrix, access matrix, environmental constraint matrix, dimensional relationship matrix, product structure

Abstract

[pdf \(Українська\)](#)

Abstract views: 0
PDF Downloads: 0

Published
2023-09-24

How to Cite
Chybiriak, Y., Zakharova, A., Lavrov, E., Velykodnyi, D., & Borovyk, V. (2023). Models for automated search for rational assembly options for mechanical engineering products. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*, (52), 32-42. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-52-04>

More Citation Formats

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-52-04>

УДК 62-503.56:621.717

Чибіряк Яна Іванівна, к.т.н., доцент,

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

Захарова Анна Миколаївна, студентка,

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

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

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

Великодний Дмитро Володимирович, к.ф.-м.н.,

<https://orcid.org/0000-0003-0044-5619>

Боровик Валентина Олександрівна, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-3668-6302>

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

МОДЕЛІ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПОШУКУ РАЦІОНАЛЬНИХ ВАРІАНТІВ КОМПОНУВАННЯ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

Чибіряк Я. І., Захарова А. М., Лавров Є. А., Великодний Д. В., Боровик В. О. Моделі для автоматизованого пошуку раціональних варіантів компоювання виробів машинобудування. У даній роботі вирішено задачу моделювання раціональних варіантів компоювання виробів машинобудування. Запропоновані математичні моделі дозволяють формалізувати поставлену задачу, враховують структуру і технологічні закономірності виробів, що впливають на послідовність складання. Завдяки математичним моделям, побудованим на основі ситуативного моделювання, теорії матриць, графів забезпечується можливість компактного зберігання і зручного оперування вхідними даними у послідванні з математичною сумісністю поставленої задачі синтезу варіантів складання. В основу методу, представлено в роботі, покладено правила ранжування, що враховують конструкторські та технологічні особливості складального процесу. Перевага методу полягає в тому, що здійснюється пошук варіантів складання, раціональних по часовій тривалості. Це досягається завдяки оптимальному поділу структури виробу на незалежні складальні одиниці, що можуть збиратися одночасно, мінімізації кількості складальних позицій та паралельній реалізації складальних операцій. На основі методу розроблено алгоритм, спрямований на комп'ютерну реалізацію автоматизованого пошуку раціональних варіантів компоювання виробів машинобудування.

Ключові слова: послідовність складання, виріб, матриця базування, матриця доступу, матриця екологічних обмежень, матриця розмірних зв'язків, структура виробу.

Chybiriak Y. I., Zakharova A. M., Lavrov E. A., Velykodnyi D. V., Borovyk V. O. Models for automated search for rational assembly options for mechanical engineering products. This paper solves the problem of modeling rational assembly options for mechanical engineering products. The proposed mathematical models allow us to formalize the task at hand, taking into account the structure and technological patterns of products that affect the assembly sequence. Thanks to mathematical models built based on situational modeling, matrix theory, and graphs, the possibility of compact storage and convenient operation of input data is provided, combined with the mathematical compatibility of synthesizing assembly options. The method presented in this paper is based on ranking rules that consider the design and technological features of the assembly process. The advantage of this method is that it searches for assembly options that are rational in terms of time duration. This is achieved by optimally dividing the product structure into independent assembly units that can be assembled simultaneously, minimizing the number of assembly positions, and implementing assembly operations in parallel. Based on this method, an algorithm is developed aimed at computer implementation of automated search for rational assembly options for mechanical engineering products.

Keywords: assembly sequence, product, base matrix, access matrix, environmental constraint matrix, dimensional relationship matrix, product structure.

Вступ. В умовах 4-ї промислової революції суттєво підвищуються вимоги до якості автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва [1-3]. Останні роки пов'язані з бумом досліджень, присвячених моделюванню процесів виробництва і впровадженню інтелектуальних технологій [4, 5] та систем гібридного інтелекту [6]. Не дивлячись на велику кількість досліджень, задача вибору оптимальної структури та організації роботи технологічних систем вирішена не до кінця. Особливо гостро постає проблема вирішення задачі оптимізації процесів складання. Раціональний синтез послідовності складання виробів з урахуванням нових викликів промислової революції, в тому числі екологічних і безпекових, є однією з найбільш актуальних задач для автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва.

Визначення послідовності зборки відноситься до багатоваріантної задачі. Від обраного варіанту залежать такі показники як якість, собівартість, продуктивність виготовлення, тривалість технологічного процесу. Дана задача є слабо структурованою та відноситься до класу задач, що важко піддаються формалізації. Відомо, що автоматизація технологічних процесів лежить в основі підвищення якості продукції, тому важливо проєктувати таку послідовність складання, яка в процесі реалізації передбачає можливість використання засобів автоматизації.

© Чибіряк Я.І., Захарова А.М., Лавров Є.А., Великодний Д.В., Боровик В.О.

Моделювання є ефективним інструментом пошуку раціональних і найменш витратних способів вирішення складних багатоваріантних задач [7, 8]. У результаті моделювання процесів у автоматизованих людино-машинних системах ми отримуємо інформацію, потрібну для прийняття рішень в умовах невизначеності [9, 10]. Для автоматизованої системи технологічної підготовки виробництва необхідні нові математичні моделі структури виробу, технологічного процесу та впливу виробництва на навколишнє середовище, що визначають умови вирішення задачі раціонального складання.

Аналіз існуючих досліджень та публікацій. Складання є заключним етапом виготовлення, тому від даного етапу залежить якість готової продукції. Обсяг складальних робіт у машинобудуванні становить 20-40% від загальної трудомісткості виготовлення, у приладобудуванні цей показник є вищим – до 40-70%. Така ситуація пояснюється відсутністю впровадження новітніх розробок та інформаційних технологій, відсутністю програмного забезпечення високої надійності, несумісністю засобів обчислювальної техніки [11, 12]. Тому саме у складальному виробництві спостерігається низький рівень механізації та автоматизації.

Виробнича практика підтверджує, що скорочення технологічного процесу складання по тривалості впливає на зниження трудомісткості та собівартості виробів. Щоб цього досягти необхідно врахувати цілий комплекс факторів технологічного процесу [15, 16]. Порівняно з механообробним виробництвом, у машинобудуванні складальні процеси почали удосконалювати значно пізніше. Це було зумовлено такими факторами: можливістю вручну зібрати виріб та складністю автоматизації складальних операцій. Складальні автоматизовані комплекси є недешевими у використанні та потребують багато часу на виробництво. Водночас для виробів, що випускаються, спостерігається скорочення життєвого циклу. В таких умовах складальне обладнання зазнає більш швидкого морального старіння у порівнянні з їх фізичним зношенням [17, 18]. Тому виникає потреба створювати гнучкі складальні системи, що здатні переналагоджуватися в міру зміни виробів, що випускаються. Такі складальні системи є дорогими у придбанні і використанні, також технічні засоби для їх реалізації у промисловості поки що відсутні. Тому переважає ручне виконання більшості складальних операцій із залученням спеціалістів, робота яких відрізняється монотонністю, одноманітністю та низькою ефективністю. Як наслідок, готові вироби мають низьку якість виготовлення [19].

Час і якість проектування технологічних процесів складання багато в чому пов'язані з використанням обчислювальної техніки, що потребує формалізованого опису технологічного процесу. Необхідно виявити основні закономірності протікання технологічного процесу складання та виконати їх математичний опис [17, 18, 20-23].

Забруднення навколишнього середовища є сучасною проблемою, яка постає перед машинобудівною галуззю. Мінімізація шкідливого впливу на середовище та стан людей, задіяних у виробництві, є актуальною задачею, яка повинна вирішуватися за рахунок розробки і впровадження нових методів та технологій [10, 15-18]. Для складального виробництва до екологічно небезпечних відносять операції, які супроводжуються шумом, вібраціями, підвищеними температурами, радіацією, використанням токсичних матеріалів (клеїв, фарб). Це операції з'єднання з натягом, склеювання, спаювання, зварювання та інші. Врахування впливу на екологію та безпеку робочого процесу є важливим фактором підвищення техніко-економічних показників складального виробництва. На жаль, під час розробки технологічних процесів складання питання екології майже не розглядаються.

В даний час існує два основних підходи проектування технологічних процесів: алгоритмічний та евристичний. Алгоритмічний метод заснований на використанні системного підходу і математичного моделювання. Проектування технології складання полягає в обробці вхідної інформації, побудові на її основі математичної моделі виробу, розробці множини оптимальних послідовностей складання у відповідності до закладеного алгоритмічного та програмного забезпечення [20, 22, 24]. Якщо виріб не складний і містить невелику кількість елементів, множину оптимальних варіантів компоновки виробу можна отримати шляхом простого перебору. Для складних багатоселементних виробів зростає кількість можливих перестановок, тому навіть з використанням програмних засобів такий перебір практично неможливо реалізувати. У цьому випадку, щоб охопити усю множину варіантів складання та досягти оптимального рішення необхідно побудувати модель складального процесу, яка забезпечить цілеспрямований пошук раціонального варіанту [20-22].

На практиці для вирішення задачі побудови раціонального варіанту складання застосовують різні методи. Серед методів відомі теорія підтримки прийняття рішень, наприклад, у роботах [21, 24]. Методи машинного навчання, теорія множин, матриць, графів знайшли практичне використання в роботах [14, 19], пов'язаних з проектуванням технологічних процесів складання. Стандартні алгоритми рішення транспортної задачі використовуються при визначенні оптимальних варіантів послідовності складання у випадку багатокomпонентного виробу. Дана задача зводиться до пошуку найкоротшого шляху між вершинами графа з використанням методів лінійного та динамічного програмування [18, 21]. При цьому, вершини графа сітьової моделі відповідають деталям виробу, а ребрам графа присвоюються вагові коефіцієнти, що характеризують критерій ефективності, наприклад, тривалість складання, собівартість та ін. При автоматизованому проектуванні складальних процесів також застосовують математичні методи теорії оптимізації, ймовірності, методи обчислювальної та дискретної математики [16-20]. Ефективність використання методів оптимізації при проектуванні раціональних технологічних процесів залежить від правильного вибору критерію та цільової функції [22-24].

Таблиця 1 містить результати аналізу методів, які використовують для моделювання послідовності складання. Аналіз показав, що існує практичний досвід та виявлено закономірності процесу синтезу раціональних варіантів компоновання виробів. Недолік полягає в тому, що враховано неповний комплекс факторів, необхідних для автоматизованого вирішення даної задачі.

Табл. 1. Найбільш застосовні методи для побудови варіантів складання виробів

Метод	Динамічне програмування	Машинне навчання	Лінійне програмування	Ситуативне моделювання
Враховані критерії				
Квалітети точності деталей	+	+	+	-
Техніка безпеки, екологія	-	-	-	-
Ієрархічна структура виробу	+	+	+	-
Розмірні зв'язки у виробі	-	+	-	+
Габаритні розміри та маса деталей	-	+	+	-
Зв'язки базування	+	+	+	+
Зв'язки передування	+	+	+	+

Постановка задачі .

Метою даної роботи є розробка математичних моделей та методу моделювання варіантів послідовності складання виробу з урахуванням конструкторсько-технологічних характеристик деталей та технологічних особливостей складального процесу.

Для досягнення поставленої мети у роботі визначено наступні задачі:

- виконати формалізацію складального процесу з використанням методів теорії графів, матриць;
- з використанням побудованих математичних моделей розробити метод, що дозволяє отримати множину варіантів компоновання виробу;
- розробити алгоритмічне забезпечення рішення поставленої задачі.

Виклад основного матеріалу та обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Комплексна автоматизація виробництва належить до актуальних і складних наукових задач. Для автоматизації проектування складальних процесів необхідно подати математичну постановку, що забезпечить її вирішення комп'ютерними засобами.

Для визначення відповідності структури виробу виробничій системі, доцільно представити їх у вигляді математичних моделей. Структуру виробу можна представити графом G_r (рис.1), у якому вершини відповідають деталям або складальним одиницям, а ребра – зв'язкам між ними.

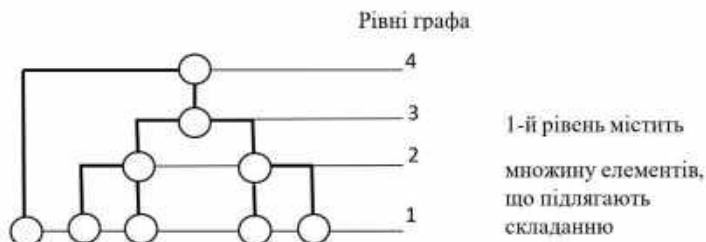


Рисунок 1 – Приклад графу $G_{\text{в}}$ структури виробу з п'яти деталей

Структура виробничої системи представляється графом $G_{\text{в.с.}}$ (рис. 2), у якому вершинам відповідають операційні комплекси (ОК), а ребрам – транспортні маршрути між ними.

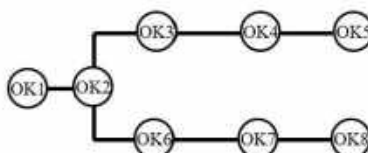


Рисунок 2 – Приклад графу $G_{\text{в.с.}}$ структури виробничої системи з восьми операційних комплексів

Графи $G_{\text{в}}$ та $G_{\text{в.с.}}$, що описують структуру виробу та виробничої системи, доцільно представити у матричному вигляді.

Матриця структури виробу:

$$M_{\text{в}} = [k \times k],$$

де k – кількість деталей у структурі виробу.

Елементи матриці $M_{\text{в}}$:

$$M_{\text{в}} [i][j] = \begin{cases} 1, & \text{якщо з'єднання } i \text{ виконується перед з'єднанням } j \\ 2, & \text{якщо з'єднання } i \text{ та } j \text{ можуть бути реалізовані одночасно} \\ 3 - & \text{у інших випадках } (i, j - \text{ порядкові номери з'єднань у виробі}) \end{cases}$$

Матриця структури виробничої системи:

$$M_{\text{в.с.}} = [n \times n],$$

де n – кількість операційних комплексів (ОК) у автоматизованій виробничій системі.

Елементи матриці $M_{\text{в.с.}}$:

$$M_{\text{в.с.}} [i, j] = \begin{cases} 0 - & \text{між } i\text{-м та } j\text{-м ОК-ми відсутній зв'язок} \\ 1 - & i\text{-й може бути використаний після } j\text{-го} \\ 2 - & i\text{-й та } j\text{-й ОК-си можуть застосовуватись одночасно} \\ 3 - & i\text{-й та } j\text{-й ОК-си можуть застосовуватись у довільній послідовності} \\ & (i, j - \text{ порядкові номери операційних комплексів}) \end{cases}$$

Для встановлення взаємозв'язку між матрицями $M_{\text{в}}$ і $M_{\text{в.с.}}$ доцільно використовувати масив операційних комплексів $M_{\text{ок}}$, що пов'язує складальні операції з технологічними можливостями ОК-сів.

$$M_{\text{ок}} = [n \times s],$$

де s – кількість складальних операцій (СО) у виробі.

Номер СО \ Номер ОК	1	2	...	n
1	1	0	...	1
2	1	1	...	0
...
s	0	0	...	1

$$M_{тж} [i][j] = \begin{cases} 1 - \text{на } j\text{-му ОК-сі може бути реалізована } i\text{-та складальна операція} \\ 0 - \text{у протилежному випадку} \end{cases}$$

Матриця з'єднань $M_t, [k \times k]$ пов'язує номер складального елемента у виробі з кодом складального з'єднання і його характеристиками:

$$M_s [i][j] = \begin{cases} s - \text{якщо } i\text{-та і } j\text{-та деталі утворюють складальне з'єднання} \\ \quad (s - \text{код складальної операції}) \\ 0 - \text{відсутнє складальне з'єднання між } i\text{-ю і } j\text{-ю деталями} \end{cases}$$

Взаємозв'язок між складовими елементами у виробі визначається наявністю між їх поверхнями зв'язків спряження і положення. Дві деталі спрягаються по спільному контуру, якщо між ними існує зв'язок базування. Зв'язки базування поділяються на основні і допоміжні. Основний зв'язок базування має місце, якщо між деталями існує певний вид складального з'єднання. Математична модель, що відображає зв'язки базування у виробі позначимо матрицею $M_b [k \times k]$:

$$M_b [i][j] = \begin{cases} 1 - \text{якщо між } i\text{-ю і } j\text{-ю деталями існує основний зв'язок базування} \\ 0 - \text{відсутній зв'язок базування між } i\text{-ю і } j\text{-ю деталями} \end{cases}$$

Орієнтація одних деталей відносно інших визначається не лише наявністю контактів між поверхнями, а й розмірними зв'язками – діаметральними, радіальними, кутовими, лінійними. Розміри складального розмірного ланцюга, реалізуються у послідовності, що визначається порядком входження деталей у виріб, які утворюють цей ланцюг.

Наявність розмірних зв'язків у виробі представимо матрицею $M_{r_m} [k \times k]$, елементи якої:

$$M_{r_m} [i][j] = \begin{cases} 1 - \text{якщо поверхні } i\text{-ї і } j\text{-ї деталей утворюють складову ланку розмірного ланцюга} \\ r - \text{якщо поверхні } i\text{-ї і } j\text{-ї деталей утворюють замикаючу ланку розмірного ланцюга} \end{cases}$$

Змінна r – ціле число, що набуває різних значень залежно від способу досягнення точності компенсуючої ланки складального розмірного ланцюга.

На послідовність компонування виробу впливають зв'язки передування між деталями, які визначають взаємне обмеження доступу під час складання, зумовлене конструкцією виробу та обладнанням, що застосовується. Такі обмеження можна описати матрицею доступу.

Елементи матриці доступу $M_d [s \times s]$ задають порядок виконання складальних операцій:

$$M_d [i][j] = \begin{cases} 1 - \text{якщо } i\text{-та складальна операція виконується перед } j\text{-ю} \\ 0 - i\text{-та і } j\text{-та складальні операції не мають строгої послідовності виконання} \end{cases}$$

Якщо у виробі присутні екологічно небезпечні операції, виконання яких супроводжуються вібрацією, шумом, підвищенням температури (зварювання, склеювання, спаювання) їх необхідно проводити на окремих робочих дільницях з дотриманням санітарних норм та вимог техніки безпеки. Для врахування даного фактору під час реалізації складання виробу, екологічно несприятливі операції слід відокремлювати у окремі складальні одиниці.

Екологічні фактори складального процесу доцільно представити матрицею екологічних обмежень $M_{e_c} [s \times s]$:

$$M_{e_c} [i][j] = \begin{cases} 1 - i\text{-та складальна операція є екологічно несприятливою} \\ 0 - \text{у протилежному випадку} \end{cases}$$

Опис структури виробу та його конструкторсько-технологічних ознак у матричній формі надають можливість у математичному вигляді формалізувати задачу визначення послідовності складання, також матриці є зручними для зберігання інформації в оперативній пам'яті комп'ютера. Дану формалізацію покладено в основу розробки методу побудови раціональної послідовності складання та його програмної реалізації.

Побудова варіантів складання здійснюється з використанням розроблених математичних моделей.

На 1-му етапі відбувається поділ виробу на окремі складальні одиниці. За матрицею доступу $Md [s \times s]$ визначаються номери деталей, які можуть виступати як базові в конструкції виробу. За схемою базування $Mb [k \times k]$ до кожної базової деталі добирається множина базованих елементів. У результаті маємо набір графів $Gb_i (i=1 \div m)$, що визначають максимальний поділ виробу на окремі складальні вузли (m – кількість складальних вузлів, на яку поділено виріб) (рис. 3).

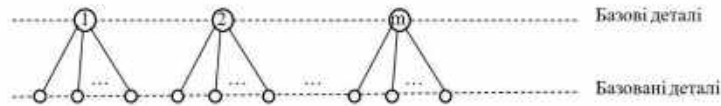


Рисунок 3 – Поділ виробу на m складальних вузлів

На 2-му етапі серед множини графів $Gb_i (i=1 \div m)$ визначаються графи зі спільними вершинами. Такі графи групуються у залежні графи. В кожній залежній групі проводиться ранжування графів з присвоєнням їм математичного рангу, який визначає порядок входження складальних одиниць до виробу. Ранжування проводиться у 5 кроків, в його основу покладено технологічні правила зборки.

1-й крок ранжування полягає у розрахунку ступеню зв'язності графів за співвідношенням:

$$C_{зв,i} = \sum_{j=1}^{n_i} (k_j - 1),$$

де n_i – кількість вершин i -го графу;

k_j – кількість графів, що містять j -ту вершину.

Якщо після 1-го кроку отримано графи однакових рангів проводиться 2-й крок ранжування – за складністю будови. Граф, що містить більшу кількість елементів отримує менший ранг.

3-й крок ранжування: граф, що містить більшу кількість розмірних ланок отримує менший ранг (визначається за матрицею розмірних зв'язків $Mg_{zn} [k \times k]$).

4-й крок ранжування: за масою базових деталей. Граф з більшою масою кореневої вершини має менший ранг.

5-й крок ранжування: за габаритними розмірами базових деталей. Граф, що містить кореневу вершину з більшим габаритним розміром має менший ранг.

У кожній групі залежних графів останній ранг присвоюється складальній одиниці, яка містить замикаючу розмірну ланку (визначається за матрицею розмірних зв'язків $Mg_{zn} [k \times k]$). На практиці це забезпечує реалізацію замикаючої ланки в останню чергу для забезпечення потрібної точності розмірного ланцюга.

На наступному етапі визначається послідовність складання деталей в кожній складальній одиниці. За матрицею доступу з'єднань $Md [s \times s]$ складальні елементи розташовуються відносно базової вершини на відповідних рівнях ієрархії з утворенням груп вершин по горизонталі і по вертикалі (рис. 4).

Групи деталей по вертикалі можуть бути зібрані з однієї складальної позиції. Оскільки групи не містять спільних деталей, тобто незалежні між собою, послідовність їх реалізації визначається ранжуванням.

Покрокове ранжування має наступне математичне формулювання. 1-й крок ранжування проводиться з використанням матриці розмірних зв'язків $Mg_{zn} [k \times k]$.

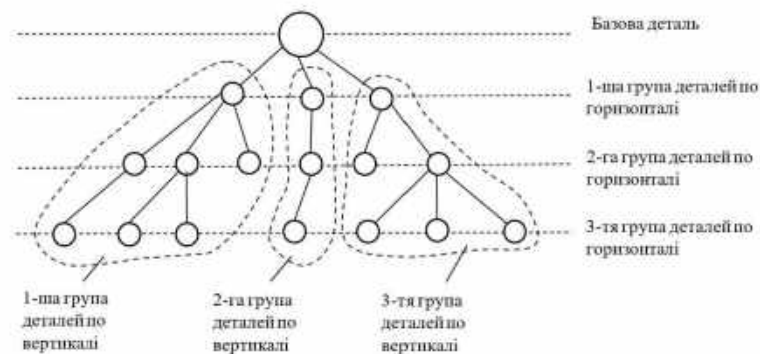


Рисунок 4 – Формування груп деталей по горизонталі та по вертикалі

Визначається кількість розмірних зв'язків, що входять до складу кожної групи по вертикалі. Група, що містить більшу кількість розмірних ланок має менший ранг.

2-й крок ранжування – за кількістю деталей, що мають вищі квалітети точності. Групі, що містить більшу кількість точних деталей присвоюється менший ранг.

На 3-му кроці ранжування за матрицею екологічних обмежень $M_t, [s \times s]$ у групах по вертикалі виявляються екологічно несприятливі операції. Таким групам присвоюється останній ранг, незалежно від попередніх результатів ранжування. Це дозволяє відокремити небезпечні операції від інших і в подальшому виконувати їх на окремо обладнаних ділянках у кінці технологічного процесу.

Фізичний зміст ранжування полягає у мінімізації складальних позицій та у визначенні позиції, з якої слід почати процес складання. У результаті проведеного ранжування, групам по вертикалі присвоюється порядковий номер, що визначає послідовність їх реалізації. Групи деталей, що отримали однаковий ранг можуть бути зібрані у довільній послідовності. Якщо дозволяє структура виробничої системи, з метою скорочення тривалості технологічного процесу, завжди розглядається можливість їх паралельної реалізації.

Наступний етап полягає у отриманні множини варіантів складання. Нехай після декомпозиції структури виробу та після проведених етапів ранжування отримано k груп залежних графів з кількістю рангів у кожній групі, рівній r_i ($i = 1, \dots, k$). Кожен граф позначає окрему складальну одиницю. Для формування 1-го варіанту складання виробу у кожній i -й групі у якості ведучих обираються графи 1-го рангу, з яких починається процес збирання.

Для формування 2-го варіанту складання у 1-й залежній групі у якості ведучої обирається складальна одиниця, якій присвоєно 2-й ранг. При цьому у 2, 3, ..., k -й групах ведучими залишаються графи 1-го рангу.

Після перебору усіх рангів у 1-й групі графів, виконується перебір ведучих графів 2-ї групи і так до останньої k -ї групи включно.

Таким чином, загальну кількість варіантів складання виробу можна записати через добуток:

$$K = \prod_{i=1}^k r_i,$$

де k – кількість груп залежних між собою складальних одиниць виробу,

r_i – кількість рангів, визначених для i -ї залежної групи.

Фізично зміна рангу у залежних групах складальних одиниць відповідає вибору нової базової деталі під час збирання виробу. Вибір тієї чи іншої базової деталі впливає на вибір технологічних баз, використання конкретного виду обладнання, точність з'єднань, кількість установок і позицій, тривалість робіт. Таким чином, зміна базової деталі з одного боку призводить до утворення нового варіанту складання, а з іншого – до зміни важливих показників технологічного процесу.

На рис. 5 представлено загальну схему алгоритму синтезу множини варіантів складання, який побудовано на основі розробленого методу.

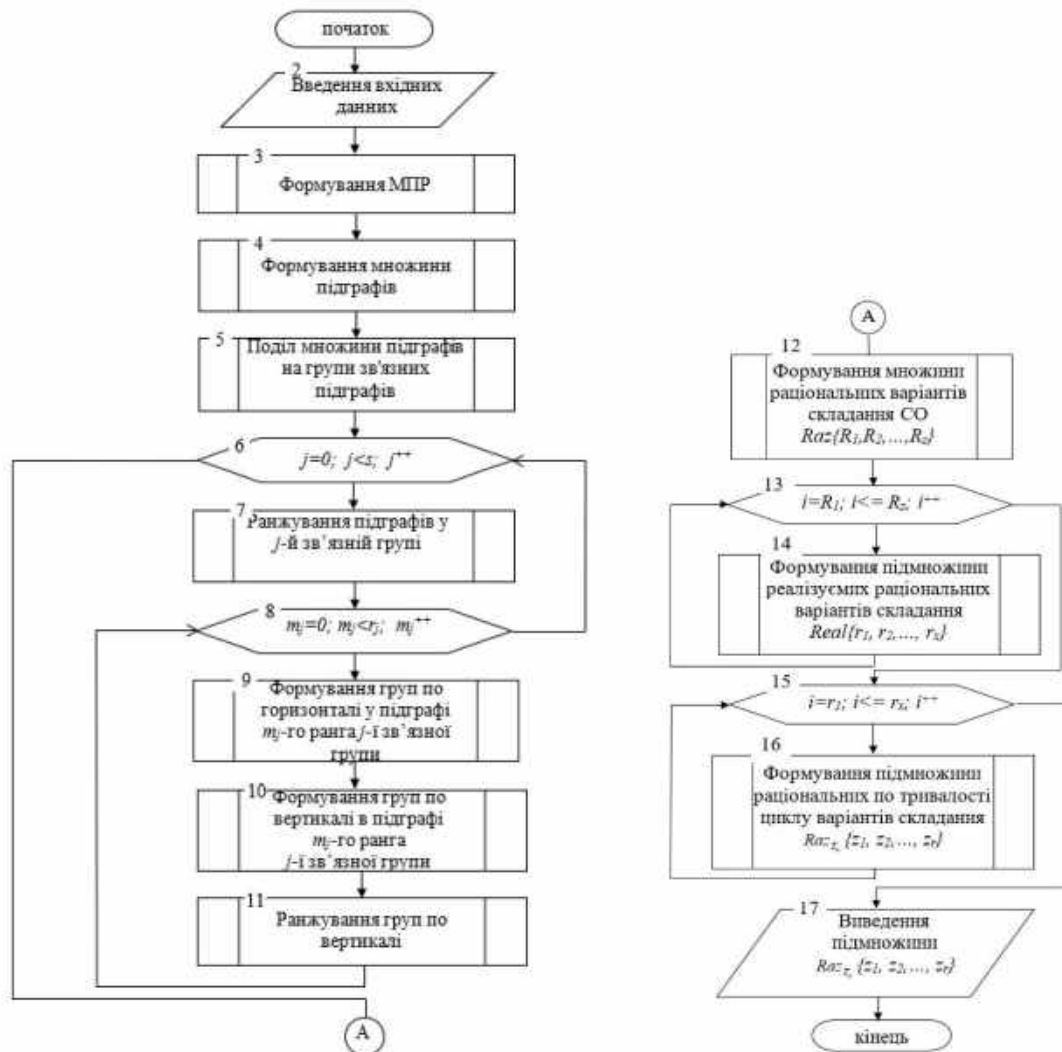


Рисунок 5 – Схема алгоритму синтезу варіантів складання виробу

Рациональними вважаються такі варіанти складання за яких показники технологічного процесу набувають оптимальних значень (блок 12, рис. 5). На практиці серед множини раціональних варіантів обираються ті, що можуть бути реалізовані у заданій виробничій системі за допомогою наявного обладнання (блок 14, рис. 5).

Висновки. В даній роботі розроблено метод, який дозволяє моделювати варіанти складання виробу послідовно з урахуванням розмірних ланцюгів, базування, доступу складальних елементів, екологічних обмежень та ін. технологічних факторів.

У процесі вирішення використовуються математичні моделі, що враховують особливості технологічного процесу та обмежують область пошуку можливих рішень.

Розроблений метод дозволяє отримати множину варіантів складання виробу у відповідності до його конструкторсько-технологічних ознак та технологічних можливостей засобів технологічного оснащення.

Практичне значення результатів роботи полягає в тому, що за розробленим методом реалізовано алгоритм, призначений для програмної реалізації автоматизованого пошуку раціональних варіантів складання.

Розроблений метод враховує особливості структури виробу, подальші дослідження будуть спрямовані на врахування конкретних виробничих умов та на пошук раціональних варіантів складання виробів, виходячи із внутрішніх резервів виробничої системи.

Присвячення і подяка.

Світлій пам'яті доктора технічних наук, професора Захарова Миколи Володимировича [25], який вперше обґрунтував методологічні засади вирішення задачі, що розглядається, автори присвячують цю статтю.



Захаров Микола Володимирович
(1958 - 2006)

Список бібліографічного опису

1. Belov, V., Abramov, D., & Ahmed, R. (2018). Technological Prerequisites for Designing Automated Control System for Technological Process of Production of High-Strength Fine-Grained Concrete on Local Fibrous Basalt Wool Wastes. 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 1–6. <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501767>
2. Trofimova, M. S., Panov, A. Y., & Kuznetsov, S. V. (2018). Automated System of Analysis of Reasons and Consequences of Defects of Mechanical Engineering Products. 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 1–5. <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501703>
3. Shnayder, D. A., & Kalinina, E. A. (2020). Automated System-Adviser Based on a Model for Control of the Technological Process of Concentrate Production. 2020 Global Smart Industry Conference (GloSIC), 335–341. <https://doi.org/10.1109/GloSIC50886.2020.9267859>
4. Salah, Y. Ben, Weiguo, L., Sellami, L., Hamida, A. Ben, & Ailing, T. (2022). New and optimal set up for 3D-based stereovision system for manufacturing inspection in 4.0 industry. 2022 6th International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ATSIP55956.2022.9805872>
5. Smityuh, Y., Kyshenko, V., Romashchuk, O., & Gorpichenko, A. (2022). Intelligent synergistic control of the technological complex for the sugar factory. 2022 IEEE 11th International Conference on Intelligent Systems (IS), 1–5. <https://doi.org/10.1109/IS57118.2022.10019728>
6. Burov, O., Lavrov, E., Lytvynova, S., Pinchuk, O., Horska, K., Tkachenko, O., Kovalenko, N., & Chybyriak, Y. (2023). On the way to hybrid intelligence: influence of the human-system interaction rate on the human cognitive performance. <https://doi.org/10.54941/ahfe1002925>
7. Lavrov, E., Siryk, O., Chybyriak, Y., Danilova, L., Nahomyi, V., & Vakal, S. (2021). A Model for the Organization of Adaptive Dialogue Interaction "Man-Computer" Taking into Account the Requirements of Reliability and Efficiency. 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), 31–35. <https://doi.org/10.1109/AICT52120.2021.9628939>
8. Lavrov, E. A., Siryk, O. E., Chybyriak, Y. I., Zolkin, A. L., & Sedova, N. A. (2022). Human-centered management in polyergatic information systems. Multi-criteria distribution of functions between operators. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1049(1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012020>
9. E. Lavrov, O. Siryk, I. Kirichenko, N. Barchenko, Y. C. (2021). The Methodology of Managed Functional Networks for Organizing Effective and Adaptive Human-Machine Dialogue in Automated Systems. 428–437.
10. E. Lavrov, Y. Chybyriak, O. Siryk, V. Logvinenko, A. Z. (2022). Training of Specialists for Adaptive management. Techniques for Teaching Computer Analysis of Automated Production Systems in the FlexSim Environment. 106–118.
11. Meyer, F., Hinrichsen, S., & Niggemann, O. (2023). *How to Generate Assembly Instructions with Robotic Process Automation*. <https://doi.org/10.54941/ahfe1004070>
12. Shi, D., Rahimpour, A., Ghafourian, A., Naddaf Shargh, M. M., Upadhyay, D., Lasky, T. A., & Soltani, I. (2023). Deep Bayesian-Assisted Keypoint Detection for Pose Estimation in Assembly Automation. *Sensors*, 23(13), 6107. <https://doi.org/10.3390/s23136107>
13. Sathiyaraj, S., Selvababu, B., Richard E., A., Varghese, A. C., & Vijay P., A. (2023). *Design and fabrication of fixture for automation in cover plate assembly process*. 020111. <https://doi.org/10.1063/5.0111083>
14. Lelyukhin, V., & Kolesnikova, O. (2017). Approach to Determining Order of Production of Parts and Assembly Units

- of Engineering Products in Production Process Planning. *Procedia Engineering*, 206, 1515–1521. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.671>
15. Zeng, W., Jin, Z., Cao, Y., Yi, G., & Li, C. (2023). *Unitized Modelling and Reuse Method of Assembly Process Oriented to Product Family* (pp. 1687–1696). https://doi.org/10.1007/978-981-19-9398-5_102
16. Vaghela, D., Vasudevan, H., & Khavekar, R. (2023). *Improvement in Productivity of Assembly Line by Cycle Time Reduction: A Case Study* (pp. 35–43). https://doi.org/10.1007/978-981-19-7971-2_4
17. Zhang, C., Sun, Q., Sun, W., Shi, Z., & Mu, X. (2023). Performance-oriented digital twin assembly of high-end equipment: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 126(11–12), 4723–4748. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11457-3>
18. Shabanov, A., Averchenkova, E., & Averchenkov, V. (2022). MODEL AND ALGORITHM FOR CONTROLLING THE ASSEMBLY EQUIPMENT OF MECHANICAL ASSEMBLY SUPPLY SYSTEM. *Automation and Modeling in Design and Management*, 1, 43–55. <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2022-1-43-55>
19. Fang, W., Fu, M., & Zheng, L. (2022). Continuous ergonomic risk perception for manual assembly operations using wearable multi-sensor posture estimation. *Assembly Automation*, 42(2), 209–217. <https://doi.org/10.1108/AA-03-2021-0027>
20. Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2023). An Automatic Assembly SMT Production Line Operation Technological Process Simulation Model Development. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 2(2), 1–9. <https://doi.org/10.46299/j-isjea.20230202.01>
21. Rane, A. B., & Sumapwar, V. K. (2017). Assembly line performance and modeling. *Journal of Industrial Engineering International*, 13(3), 347–355. <https://doi.org/10.1007/s40092-017-0189-7>
22. Xu, Z.-J., Wang, P., Wang, Q.-H., & Li, J.-R. (2019). Integrating part modeling and assembly modeling from the perspective of process. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(2), 855–878. <https://doi.org/10.1007/s10845-016-1288-9>
23. Rodriguez, I., Nottensteiner, K., Leidner, D., Durner, M., Stulp, F., & Albu-Schaffer, A. (2020). Pattern Recognition for Knowledge Transfer in Robotic Assembly Sequence Planning. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(2), 3666–3673. <https://doi.org/10.1109/LRA.2020.2979622>
24. Ma, L., Gong, J., Xu, H., Chen, H., Zhao, H., Huang, W., & Zhou, G. (2023). Planning Assembly Sequence with Graph Transformer. *2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 12395–12401. <https://doi.org/10.1109/ICRA48891.2023.10160424>
25. О. В. Радчук. (2010). Захаров Микола Володимирович. У І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк ... та Я. С. Яцків (Ред.), *Енциклопедія Сучасної України*. Інститут енциклопедичних досліджень НАН України. <https://esu.com.ua/article-15802>

References

- Belov, V., Abramov, D., & Ahmed, R. (2018). Technological Prerequisites for Designing Automated Control System for Technological Process of Production of High-Strength Fine-Grained Concrete on Local Fibrous Basalt Wool Wastes. 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 1–6. <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501767>
- Trofimova, M. S., Panov, A. Y., & Kuznetsov, S. V. (2018). Automated System of Analysis of Reasons and Consequences of Defects of Mechanical Engineering Products. 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 1–5. <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501703>
- Shnayder, D. A., & Kalinina, E. A. (2020). Automated System-Adviser Based on a Model for Control of the Technological Process of Concentrate Production. 2020 Global Smart Industry Conference (GloSIC), 335–341. <https://doi.org/10.1109/GloSIC50886.2020.9267859>
- Salah, Y. Ben, Weiguo, L., Sellami, L., Hamida, A. Ben, & Ailing, T. (2022). New and optimal set up for 3D-based stereovision system for manufacturing inspection in 4.0 industry. 2022 6th International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ATSIP55956.2022.9805872>
- Smityuh, Y., Kyshenko, V., Romashchuk, O., & Gorpichenko, A. (2022). Intelligent synergistic control of the technological complex for the sugar factory. 2022 IEEE 11th International Conference on Intelligent Systems (IS), 1–5. <https://doi.org/10.1109/IS57118.2022.10019728>
- Burov, O., Lavrov, E., Lytvynova, S., Pinchuk, O., Horska, K., Tkachenko, O., Kovalenko, N., & Chybiriak, Y. (2023). On the way to hybrid intelligence: influence of the human-system interaction rate on the human cognitive performance. <https://doi.org/10.54941/ahfe1002925>
- Lavrov, E., Siryk, O., Chybiriak, Y., Danilova, L., Nahomyi, V., & Vakal, S. (2021). A Model for the Organization of Adaptive Dialogue Interaction "Man-Computer" Taking into Account the Requirements of Reliability and Efficiency. 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), 31–35. <https://doi.org/10.1109/AICT52120.2021.9628939>
- Lavrov, E. A., Siryk, O. E., Chybiriak, Y. I., Zolkin, A. L., & Sedova, N. A. (2022). Human-centered management in polyergatic information systems. Multi-criteria distribution of functions between operators. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1049(1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012020>
- Lavrov, O., Siryk, I., Kirichenko, N., Barchenko, Y. C. (2021). The Methodology of Managed Functional Networks for Organizing Effective and Adaptive Human-Machine Dialogue in Automated Systems. 428–437.
- Lavrov, Y., Chybiriak, O., Siryk, V., Logvinenko, A. Z. (2022). Training of Specialists for Adaptive management. Techniques for Teaching Computer Analysis of Automated Production Systems in the FlexSim Environment. 106–118.
- Meyer, F., Hinrichsen, S., & Niggemann, O. (2023). *How to Generate Assembly Instructions with Robotic Process Automation*. <https://doi.org/10.54941/ahfe1004070>
- Shi, D., Rahimpour, A., Ghafourian, A., Naddaf Shargh, M. M., Upadhyay, D., Lasky, T. A., & Soltani, I. (2023). Deep Bayesian-Assisted Keypoint Detection for Pose Estimation in Assembly Automation. *Sensors*, 23(13), 6107. <https://doi.org/10.3390/s23136107>
- Sathiyaraj, S., Selvababu, B., Richard E., A., Varghese, A. C., & Vijay P., A. (2023). *Design and fabrication of fixture*

- for automation in cover plate assembly process. 020111. <https://doi.org/10.1063/5.0111083>
14. Lelyukhin, V., & Kolesnikova, O. (2017). Approach to Determining Order of Production of Parts and Assembly Units of Engineering Products in Production Process Planning. *Procedia Engineering*, 206, 1515–1521. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.671>
15. Zeng, W., Jin, Z., Cao, Y., Yi, G., & Li, C. (2023). *Unitized Modelling and Reuse Method of Assembly Process Oriented to Product Family* (pp. 1687–1696). https://doi.org/10.1007/978-981-19-9398-5_102
16. Vaghela, D., Vasudevan, H., & Khavkar, R. (2023). *Improvement in Productivity of Assembly Line by Cycle Time Reduction: A Case Study* (pp. 35–43). https://doi.org/10.1007/978-981-19-7971-2_4
17. Zhang, C., Sun, Q., Sun, W., Shi, Z., & Mu, X. (2023). Performance-oriented digital twin assembly of high-end equipment: a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 126(11–12), 4723–4748. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11457-3>
18. Shabanov, A., Averchenkova, E., & Averchenkov, V. (2022). MODEL AND ALGORITHM FOR CONTROLLING THE ASSEMBLY EQUIPMENT OF MECHANICAL ASSEMBLY SUPPLY SYSTEM. *Automation and Modeling in Design and Management*, 1, 43–55. <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2022-1-43-55>
19. Fang, W., Fu, M., & Zheng, L. (2022). Continuous ergonomic risk perception for manual assembly operations using wearable multi-sensor posture estimation. *Assembly Automation*, 42(2), 209–217. <https://doi.org/10.1108/AA-03-2021-0027>
20. Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Starodubcev, N. (2023). An Automatic Assembly SMT Production Line Operation Technological Process Simulation Model Development. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 2(2), 1–9. <https://doi.org/10.46299/ijisjea.20230202.01>
21. Rane, A. B., & Sunnapwar, V. K. (2017). Assembly line performance and modeling. *Journal of Industrial Engineering International*, 13(3), 347–355. <https://doi.org/10.1007/s40092-017-0189-7>
22. Xu, Z.-J., Wang, P., Wang, Q.-H., & Li, J.-R. (2019). Integrating part modeling and assembly modeling from the perspective of process. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30(2), 855–878. <https://doi.org/10.1007/s10845-016-1288-9>
23. Rodriguez, I., Nottensteiner, K., Leidner, D., Durner, M., Stulp, F., & Albu-Schaffer, A. (2020). Pattern Recognition for Knowledge Transfer in Robotic Assembly Sequence Planning. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(2), 3666–3673. <https://doi.org/10.1109/LRA.2020.2979622>
24. Ma, L., Gong, J., Xu, H., Chen, H., Zhao, H., Huang, W., & Zhou, G. (2023). Planning Assembly Sequence with Graph Transformer. *2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 12395–12401. <https://doi.org/10.1109/ICRA48891.2023.10160424>
25. O. V. Radchuk. (2010). Mykola Volodymyrovych Zakharov. In I. M. Dzyuba, A. I. Zhukovsky, M. G. Zheleznyak ... and I. S. Yatskiv (Eds.), *Encyclopedia of Modern Ukraine*. Institute of Encyclopedic Research of the National Academy of Sciences of Ukraine. <https://esu.com.ua/article-15802>



ІМА - 2022

СЕРІЯ 2: Інформаційні технології проектування

Імітаційне моделювання технологічного процесу складання клапана компресорного

Захарова А.М., студентка гр.ІТ-01, Чибряк Я.І., *к.т.н., доцент*,
Лавров С.А., *д.т.н., професор*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Вступ. Моделювання технологічного процесу дозволяє встановити закономірності функціонування системи в певних умовах і виявити проблеми, які можуть виникнути в реальних виробничих умовах. Технологічний процес складального виробництва є складною системою, що залежить від ряду виробничих факторів, таких як параметри та режими роботи обладнання, рівень кваліфікації робітників, тип виробництва та ін. Актуальність такого дослідження полягає у визначенні вузких місць в організації виробничого процесу, у можливості спрогнозувати робочі ситуації, відповідаючи на питання «Що, буде якщо?» при розгляді різних варіантів технологій складального процесу.

Постановка задачі. Мета роботи полягає у побудові імітаційної моделі для відтворення технологічного процесу складання з метою порівняння виробничих показників для двох (базового, заводського) і проектного варіантів складання виробу, технологічні схеми яких графічно зображені на рис. 1. Об'єктом дослідження обрано технологічний процес складання клапана компресорного, до конструкції якого входить 16 деталей.

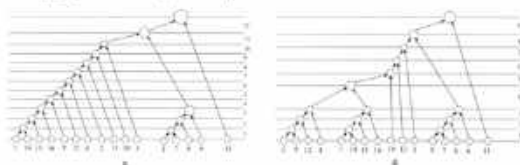


Рисунок 1 – Граф послідовності складання клапана: базовий варіант (а), проективний варіант (б)

ІМА - 2022

СЕРІЯ 2: Інформаційні технології проектування

Крім послідовності складання, у якості вхідних даних маємо структуру виробничої ділянки, норми штучного часу на виконання складальних операцій та зв'язок номеру ОК-су з номером складальної операції (СО).

Результати. Побудовані імітаційні моделі для базового та проектного варіанта складання клапана дозволили перевірити можливість відтворення технологічного процесу складання у заданих виробничих умовах та розрахувати основні виробничі показники: завантаженість обладнання, середню тривалість технологічного процесу, кількість виготовлених виробів, прогнозований прибуток та продуктивність виробничого процесу за годину, загальну та середню собівартість виконання складальних операцій (рис. 2).

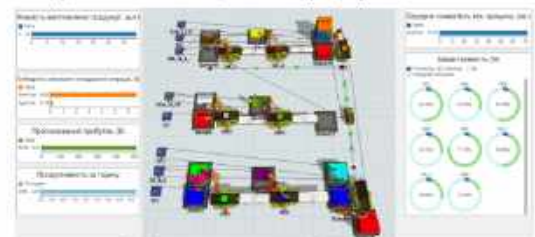
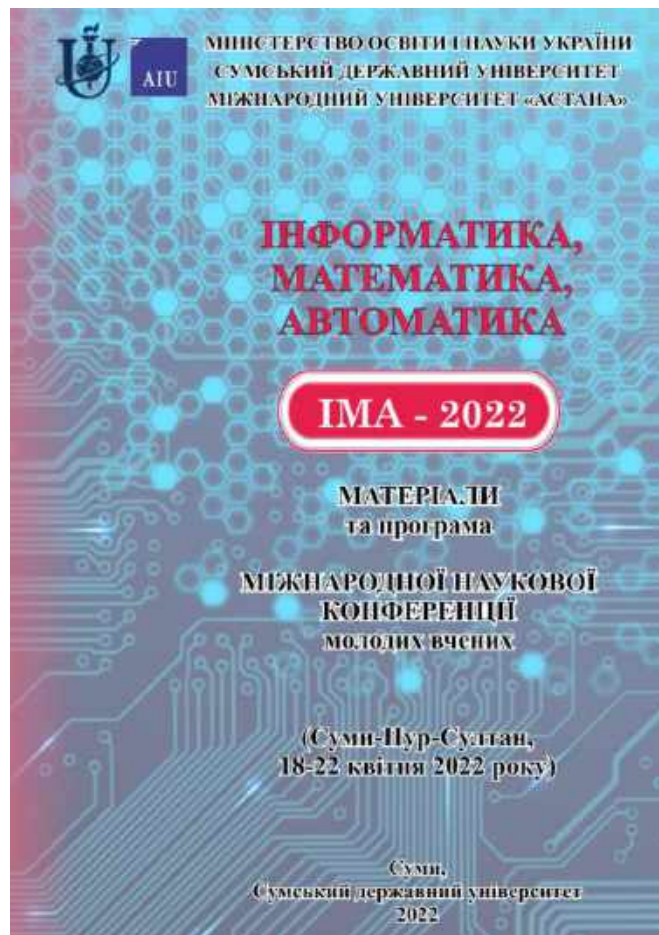


Рисунок 2 – Імітаційна модель технологічного процесу складання для проектного варіанту

Розрахунок даних показників показав, що для проектного варіанта складання у порівнянні з базовим: продуктивність виробничої системи збільшилася у 1,6 рази; пропускна здатність та прогнозований прибуток зросли у 1,5 рази; завантаженість операційних комплексів знизилася на 7%; середня тривалість технологічного процесу зменшилася у 4,25 рази.

Висновки. Імітаційне моделювання є ефективним інструментом у дослідженні та плануванні виробництва, що дозволяє обрати оптимальне рішення у залежності від виробничих факторів та оцінити різні варіанти технологічного процесу за показниками ефективності.



ІМА – 2022

СЕКЦІЯ 2. Інформаційні технології проектування

Імітаційна модель функціонування ремонтного підрозділу засобів зв'язку

Нестеренко М. В., студентка гр.ІТ-81; Захарова А. М., студентка гр.ІТ-01 Чибіряк Я.І., к.т.н., доцент

Сумський Державний університет, м. Суми, Україна

Вступ. Бізнес-процеси у роботі будь якої організації відіграють ключову роль, а у сфері обслуговування реалізують стратегію надання послуг кінцевим споживачам. Для оптимізації бізнес-процесів проводять їх моделювання, яке полягає в імітації діяльності реально існуючого об'єкта. Імітаційна модель реалізується з використанням інструментарію математичних методів, спеціального програмного забезпечення та засобів програмування. Отримана таким чином модель є самостійним програмно-обчислювальним комплексом, який дозволяє оцінити ефективність наявних бізнес-процесів і проаналізувати можливості їх оптимізації, пов'язані з усуненням проблемних місць чи з імплементуванням нових процесів.

Постановка задачі. Мета роботи полягає у розробці імітаційної моделі бізнес-процесу надання послуг із ремонту засобів зв'язку. Система зв'язку є багатофазною багатоканальною системою масового обслуговування замкнутого типу.

Модель системи ремонтного підрозділу засобів зв'язку повинна складатися з таких сегментів (рис. 1):

- імітація постановки засобів зв'язку в роботу;
- імітація процесу роботи та виходу з ладу засобів зв'язку;
- імітація функціонування ремонтного підрозділу;
- виведення результатів моделювання.

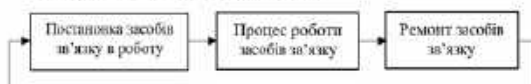


Рисунок 1 – Концептуальна схема моделі системи зв'язку

ІМА – 2022

СЕКЦІЯ 2. Інформаційні технології проектування

Результати. Імітаційна модель функціонування ремонтного підрозділу побудована у інтегрованому програмному середовищі FlexSim, представлена на рис. 2.

До ремонтного підрозділу надходять несправні засоби одного з чотирьох можливих типів з заданою частотою, яка визначається експоненціальним законом розподілу.

Оператори виконують розподіл заявок між групами майстрів відповідно до їх спеціалізації. Час, витрачений диспетчером на одну заявку визначається нормальним законом розподілу. Кожен майстер виконує заявки відповідного типу, час ремонту визначається випадково на основі виду поломки.

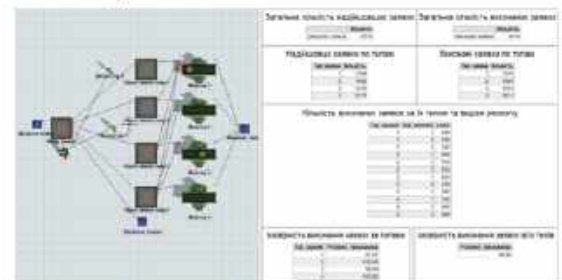


Рисунок 2 – Імітаційна модель функціонування ремонтного підрозділу

Імітаційна модель розраховує наступні показники: кількість поломок та виконаних ремонтів, загальну кількість надходжень заявок, кількість заявок виконаних окремо для кожного типу замовлення та виду ремонту.

Висновки. Досліджено функціонування організації надання ремонтних послуг засобів зв'язку протягом 25 робочих днів. Визначено, як впливає на очікуваний прибуток різна кількість резервних засобів зв'язку та робочих майстрів.

Визначено абсолютні величини та відносні коефіцієнти очікуваного прибутку. Зроблено висновки про необхідні заходи щодо адаптації роботи ремонтного підрозділу.



ІМА - 2023

СЕКЦІЯ 2: Інформаційні технології проектування

Розробка імітаційної моделі локальної обчислювальної мережі

Устименко К.О., студентка гр. ІТ-91, Захарова А.М., студентка гр. ІТ-01, Чибіряк Я.І., доцент, к.т.н.

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

В даний час актуальності набуває задача дослідження ефективності локальних обчислювальних мереж різного призначення. Існуючі методи дослідження мереж мають недоліки:

- витрати часу на оцінювання показників, аналіз результатів;
- потреба в залученні досвідчених фахівців для отримання експертних оцінок;
- неможливість проведення експериментів без втручання в роботу мережі

Одним із найбільш ефективних методів дослідження, є імітаційне моделювання, сутність якого полягає в імітації процесів функціонування мережі. Мета проекту полягає у створенні імітаційної моделі локальної обчислювальної мережі засобами програмного середовища FlexSim. До локальної мережі надходять виробничі завдання, які розподіляються по автоматизованим робочим місцям (АРМ). Із заданою імовірністю завдання успішно вирішуються на АРМ, у протилежному випадку від АРМ надсилається запит до сервера, де у базі даних виявляється потрібна інформація, яка надходить до відповідної АРМ для завершення виконання завдання. Сервер обробляє запити за правилом, запит, надісланий від меншого за номером робочого місця має вищий пріоритет. Буферна зона сервера може містити обмежену кількість запитів, при переповненні виникає відмова, повідомлення втрачається. Для побудови моделі було використано наступні вхідні дані: частота надходження виробничих завдань, ймовірність вирішення задач на робочому місці; складність виробничого завдання, продуктивність операторів на АРМ; максимальна ємність буферної зони сервера; середній час передачі запитів по лінії зв'язку; середній час обробки запитів на сервері.

Розроблена імітаційна модель комп'ютерної мережі реалізує алгоритм розподіленої обробки даних. Проведено імітаційні експерименти з оцінювання продуктивності виконання виробничих завдань, запропоновано ефективні рішення.

ІМА - 2023

СЕКЦІЯ 2: Інформаційні технології проектування

Моделювання локальної комп'ютерної мережі

Чибіряк Я.І., доцент, к.т.н., Захарова А.М., студентка гр. ІТ-01; Устименко К.О., студентка гр. ІТ-91

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Вступ. Локальні комп'ютерні мережі є визначальним компонентом в інформаційній стратегії більшості компаній. Тому особлива увага приділяється оцінюванню їх продуктивності, організації обчислювального процесу, виявленню причин можливих збоїв та втраг інформації. Для оцінювання якості функціонування мереж застосовують аналітичні, імітаційні методи та моделі експериментального дослідження.

Аналітичні моделі мають ряд недоліків:

- під час розрахунку вводяться значні спрощення;
- зростає громіздкість обчислень для складних моделей;
- виявляється значна похибка результатів аналітичного розрахунку.

Імітаційна модель, на відміну від аналітичної, відтворює послідовність протікання процесів в часі, надає можливість врахувати вплив випадкових факторів, а також є основою для проведення експериментів.

Постановка задачі. Метою роботи є побудова імітаційної моделі локальної обчислювальної мережі, що складається з 15 автоматизованих робочих місць (АРМ) та сервера, які з'єднані каналами передачі даних (рис. 1).

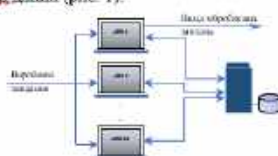


Рисунок 1 – Схема локальної мережі

На АРМ надходять запити у вигляді виробничих завдань. У мережі організована розподілена обробка даних. Завдання першочергово

ІМА - 2023

СЕКЦІЯ 2: Інформаційні технології проектування

обробляються на АРМ, у випадку, коли не знайдено потрібної інформації, обробка запиту переривається і відбувається надсилання запиту на сервер. Сервер обробляє запити за пріоритетом – менший номер АРМ має вищий пріоритет. Після відправки запиту на сервер, звільнена АРМ обробляє наступні виробничі завдання. При передачі оброблених даних із сервера до АРМ поверненому запиту присвоюється вищий пріоритет. Запити, що надходять від АРМ можуть втрачатися при переповненні буферної зони сервера.

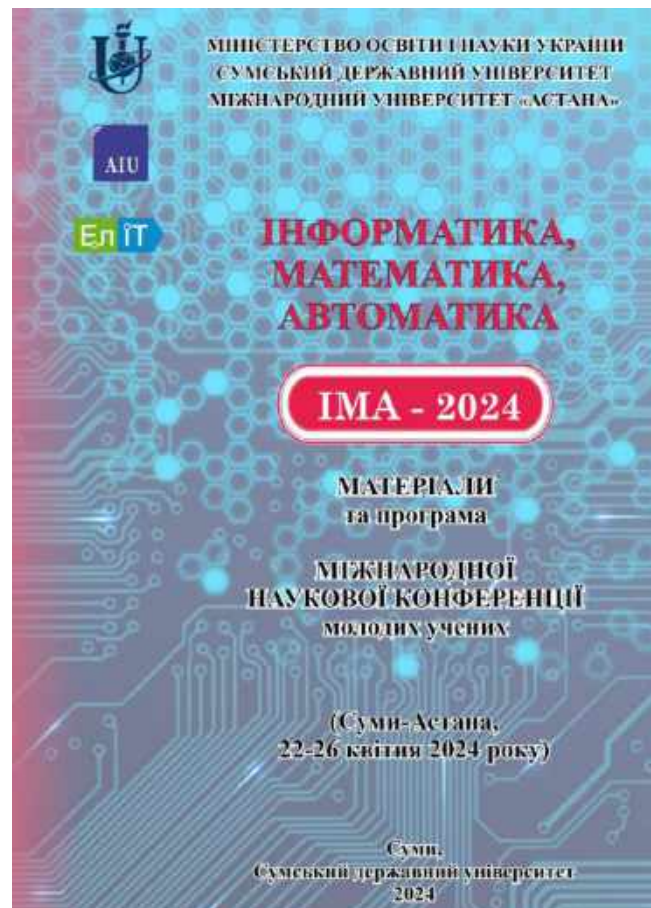
Результати. В роботі розроблено імітаційну модель, яка відтворює роботу локальної мережі (рис. 2). Розробка моделі виконана у програмному середовищі FlexSim.



Рисунок 2 – Імітаційна модель локальної мережі

В імітаційній моделі операції обробки та передачі даних залежать від складності виробничих завдань, яка вимірюється у кількостях операцій. Проведені дослідження показали високу завантаженість операторів і сервера (до 95-96%), в системі виникає 102 відмови, пропускна здатність складає 1052 оброблених завдань. З огляду на це запропоновано змінити пріоритет обробки завдань та збільшити ємність буферної зони сервера. У результаті проведених експериментів завантаженість сервера зменшилася до 72-73%, зникли відмови, пропускна здатність системи підвищилася на 30%.

Висновки. Побудована імітаційна модель дозволила дослідити мережу, виявити недоліки в роботі, апробувати веранти прийняття рішень. В моделі передбачено зміну вхідних даних, що дає можливість досліджувати відтук моделі при доволень значеннях вхідних факторів.



Імітаційне моделювання функціонування мобільного медичного шпиталю в умовах воєнного стану

Захарова А.М.¹, ІТ-01, студентка, професор;
 Чибіряк Я.П.²

¹Сумський державний університет, Суми, Україна

Вступ. У зв'язку з воєнними діями, що відбуваються на території України, одна з основних задач державної медичної служби полягає в організації ефективної роботи спеціалізованих мобільних медичних груп, призначених для екстреного надання кваліфікованої медичної допомоги населенню під час масових обстрілів, вибухів, пожеж та інших надзвичайних ситуацій, викликаних воєнними діями. Серед таких медичних груп варто виділити медичні мобільні шпиталі, регламентування діяльності яких здійснюється відповідно до "Положення про Державну службу медицини катастроф", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України. В даний час промисловість України не розгорнула виробництва власних спеціалізованих, технічно обладнаних медичних комплексів, тому комп'ютерне моделювання діяльності мобільного шпиталю є актуальною задачею.

Постановка задачі. Задача полягає у побудові імітаційної моделі пересувного медичного шпиталю та у дослідженні завантаженості шпиталю при різних частоті надходження поранених. Структура госпіталю побудована по блочно-модульному принципу. Вхідний потік поранених розподіляється на категорії за різним ступенем важкості та на групи за різним типом поранення. Тривалість надання допомоги у відділеннях описується трикутним законом розподілу, параметри якого залежать від категорії та від типу поранення.

Результати. Імітаційна модель шпиталю побудована у середовищі програмної системи FlexSim [1] і представлена на рис. 1.

У ході моделювання було досліджено різні варіанти роботи мобільного шпиталю при надходженні 80, 100, 200, 300 постраждалих за добу. Було виявлено наявність «вузьких місць» та описано роботу системи за такими показниками ефективності:

- середні та максимальні довжини черг;
- середній та максимальний час очікування в чергах;

- середній час перебування постраждалих у системі;
- завантаженість робочих ресурсів;
- пропускну здатність шпиталю.

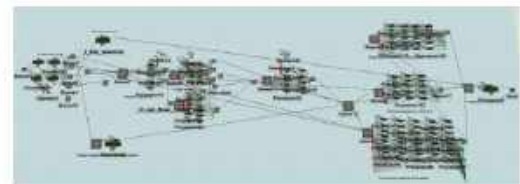


Рисунок 1 – Імітаційна модель пересувного мобільного шпиталю

На першому етапі було проведено моделювання роботи шпиталю у базовій конфігурації і надходженні 80 люд./добу. Результати показали, що «вузьким місцем» є операційна. Подальші дослідження це підтвердили. При збільшенні вхідного потоку до 100 люд./добу середня кількість поранених у черзі в операційну зростає до 50, із середнім часом очікування 1,5 доби. Ситуація ще більше ускладнюється при збільшенні інтенсивності надходжень. Найбільш простим рішенням є збільшення кількості хірургічних бригад, що дозволило підвищити пропускну здатність операційного відділення.

Висновки. Імітаційне моделювання є ефективним інструментом у питанні дослідження та удосконалення медичних систем і дозволяє отримати структурно-функціональну модель, що відповідає практично існуючій структурній системі медичного призначення. Розроблена модель дозволяє проаналізувати навантаження на функціональні підрозділи шпиталю при різних величинах вхідного потоку поранених у результаті надзвичайних ситуацій, спричинених воєнними діями.

1. E. Lavrov, Y.Chybyriak, O.Sivik, V. Logvinenko and A. Zaharova, Training of Specialists for Adaptive management Techniques for Teaching Computer Analysis of Automated Production Systems in the FlexSim Environment, CEUR Workshop Proceedings 2022, 3104, pp. 106–118.



Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

5228 Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
із дисципліни «**Моделювання систем**»
для студентів спеціальності *122 «Комп'ютерні науки»*
денної форми навчання

У двох частинах

Частина 1



Суми
Сумський державний університет
2022



Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

5443 Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
із дисципліни «**Моделювання систем**»
для студентів спеціальності
122 «Комп'ютерні науки» денної форми навчання

У двох частинах

Частина 2

Суми
Сумський державний університет
2023

ДОДАТОК Д

Копії дипломів

