

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук  
(повна назва)

Кафедра Інформаційних управляючих систем  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Дослідження моделей та методів вирішення функціональної задачі  
планування операцій у клініці  
(тема)

Виконав:  
студент 2 курсу, групи ІУСТм-20-1  
Цвіркун О.А.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційні управляючі системи та технології  
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Євланов М.В.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

Петров К.Е.  
(прізвище, ініціали)

2021 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Комп'ютерних наук \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ Інформаційних управляючих систем \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 122 Комп'ютерні науки \_\_\_\_\_  
(код і повна назва)  
Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)  
Освітня програма \_\_\_\_\_ Інформаційні управляючі системи та технології \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)  
«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові \_\_\_\_\_ Цвіркуну Олександрю Анатолійовичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_ Дослідження моделей та методів вирішення функціональної задачі планування операцій у клініці \_\_\_\_\_  
затверджена наказом університету від \_\_\_\_\_ 05 листопада 2021 р. № \_\_\_\_\_ 1645 Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 08 грудня 2021 р.
3. Вихідні дані до роботи: \_\_\_\_\_ науково-технічні публікації; джерела інтернету, науково-технічна література, що стосуються теми кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: \_\_\_\_\_ вступ, аналіз сучасного стану об'єкта дослідження; огляд існуючих варіантів задачі формування розкладу; огляд існуючих методів вирішення задач формування розкладу; огляд існуючих методів вирішення задач формування розкладу проведення хірургічних операцій; постановка задачі дослідження; опис обраної існуючої моделі задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій; модифікація обраної моделі задачі формування розкладу хірургічних операцій; опис обраного існуючого методу вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій; модифікація обраного існуючого методу вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій; опис сучасного стану автоматизації об'єкта дослідження; розробка алгоритму вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій; експериментальна перевірка розробленої технології вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій. \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №  | Назва етапів роботи  | Терміни виконання етапів | Примітка |
|----|--|--------------------------|----------|
| 1  | Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження   | 08.11.21-09.11.21        |          |
| 2  | Огляд існуючих варіантів задачі формування розкладу  | 10.11.21-12.11.21        |          |
| 3  | Огляд існуючих моделей, методів та інформаційних технологій вирішення задачі формування розкладу         | 15.11.21-17.11.21        |          |
| 4  | Опис обраної існуючої моделі задачі формування розкладу проведення хірургічних                           | 18.11.21                 |          |
| 5  | Модифікація обраної моделі та методу задачі формування розкладу хірургічних операцій                     | 19.11.21-23.11.21        |          |
| 6  | Опис сучасного стану автоматизації об'єкта дослідження   | 24.11.21                 |          |
| 7  | Розробка алгоритму вирішення задачі вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій | 25.11.21-27.11.21        |          |
| 8  | Експеримент  | 28.11.21-29.11.21        |          |
| 9  | Написання пояснювальної записки  | 30.11.21-02.12.21        |          |
| 10 | Підготовка презентації   | 03.12.21                 |          |
| 11 | Надання роботи для перевірки на плагіат  | 06.12.21                 |          |
| 12 | Надання роботи на підпис науковому керівнику   | 08.12.2021               |          |
| 13 | Попередній захист  | 08.12.2021               |          |
| 14 | Надання роботи на рецензію   | 07.12.2021               |          |
| 15 | Надання роботи на підпис завідувачу кафедри  | 08.12.2021               |          |
| 16 | Надання підписаної завідувачем кафедри роботи в ДЕК  | 08.12.2021               |          |
| 17 | Захист   | 09.12.2021               |          |

Дата видачі завдання 08 листопада 2021 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

проф. Євланов М. В.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 102 сторінки, 14 рисунків, 7 таблиць, 1 додаток, 43 формули, 36 джерела.

### ЗАДАЧА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ, МЕТОД ГЛОК ТА ГРАНИЦЬ, МЕТОД ПРІОРИТЕТІВ, РОЗКЛАД, ХІРУРГІЧНІ ОПЕРАЦІЇ

У роботі виконано аналіз сучасного стану об'єкта дослідження. Оглянуто існуючі варіанти задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій та методи їх вирішення. Запропоновано модифікацію моделі цільового програмування та методи її вирішення.

Об'єктом дослідження є процес формування розкладу хірургічних операцій Державної установи «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка».

Предметом дослідження є моделі і методи рішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій.

Метою даної роботи є дослідження моделей та методів задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій та розробка рішень для вирішення даної задачі.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні питання:

- аналіз існуючих моделей та методів задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій;
- модифікація існуючої моделі та методу формування розкладу проведення хірургічних операцій з урахуванням характерних для неї особливостей;
- практична реалізація моделі та методу вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій;
- експериментальна перевірка розробленої технології вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій.

## ABSTRACT

The explanatory note to the qualification work: 102 pages, 14 images, 7 tables, 1 attachment, 43 formulas, 36 sources.

METHOD OF BRANCHES AND BOUNDARIES, METHOD OF PRIORITIES, PROBLEM OF MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION, SCHEDULE, SURGICAL OPERATIONS

The paper analyzes the current state of the research object. The existing variants of the task of planning a schedule of surgical operations and methods of their solution, are considered. Based on them, a modification of the target programming model and methods for solving it are proposed.

The object of research is the process of planning the schedule of surgical operations of the state institution of the Institute of spine and joint pathology named after Professor M. I. Sytenko.

The subject of the research is the models and methods of solution of the problem of planning a schedule for performing surgical operations.

The purpose of this work is to study models and methods of the problem of forming a schedule for performing surgical operations and develop solutions for solving this problem.

To achieve this goal, you need to solve the following questions:

- analysis of existing models and methods of the task of planning a schedule of surgical operations;
- modification of the existing model and method of planning the schedule of surgical operations, taking into account its characteristic features;
- practical implementation of the model and method of solving the problem of planning a schedule of surgical operations;
- experimental verification of the developed technology for solving the problem of planning a schedule of surgical operations.

## ЗМІСТ

|   | С. |
|---|----|
| Скорочення та умовні позначки.....  | 8  |
| Вступ .....   | 9  |
| 1 Аналіз існуючих моделей та методів вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій та постановка задачі дослідження.....   | 11 |
| 1.1 Оцінка сучасного стану об'єкта дослідження.....   | 11 |
| 1.2 Огляд існуючих варіантів задачі формування розкладу.....  | 17 |
| 1.3 Огляд існуючих методів вирішення задач формування розкладу...   | 21 |
| 1.4 Огляд і аналіз існуючих рішень задач формування розкладу проведення хірургічних операцій.....   | 24 |
| 1.5 Огляд і аналіз існуючих інформаційних технологій вирішення задач формування розкладу проведення хірургічних операцій.....                     | 32 |
| 1.6 Постановка задачі дослідження.....  | 37 |
| 2 Модифікація існуючої моделі та методу вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій з урахуванням характерних для неї обмежень..... | 39 |
| 2.1 Опис обраної існуючої моделі задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій.....  | 39 |
| 2.2 Модифікація обраної моделі задачі формування розкладу хірургічних операцій.....   | 47 |
| 2.3 Опис обраного існуючого методу вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій.....                                      | 56 |
| 2.4 Модифікація обраного існуючого методу вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій.....                               | 58 |
| 2.5 Висновки до розділу 2.....  | 60 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 3   | Практична реалізація моделі та методу вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій .....   | 61 |
| 3.1 | Опис сучасного стану автоматизації об'єкта дослідження.....   | 61 |
| 3.2 | Розробка алгоритму вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій .....   | 67 |
| 4   | Експериментальна перевірка розробленої технології вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій.....  | 70 |
| 4.1 | Опис вхідних даних для експериментальної перевірки розробленої технології вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій та проведення експерименту ..... | 70 |
| 4.2 | Аналіз практичного використання модифікованої моделі та методу формування розкладу проведення хірургічних операцій....  | 76 |
|     | Висновки.....   | 77 |
|     | Перелік джерел посилання .....  | 79 |
|     | Додаток А. Графічний матеріал кваліфікаційної роботи на тему «Дослідження моделей та методів вирішення функціональної задачі планування операцій у клініці».....                | 83 |

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

БД – база даних;

БП – бізнес-процес;

ГІК – графічний інтерфейс користувача;

ІС – інформаційна система;

МІС – медична інформаційна система;

СУБД – система управління базами даних;

С# – мова програмування С#;

CASE – computer-aided software engineering;

CG – column generation;

CGBH – column-generation-based heuristic;

EHR – electronic health records;

HGA – hybrid genetic algorithm;

IDEF – Integrated Definition for Process Description Capture Method;

MILP – mixed integer linear programming;

MMBJS – multi-mode blocking job shop;

MSSP – Master Surgical Schedule Problem;

RCPSp – Resource-Constrained Project Scheduling Problem;

SCAP – Surgical Case Assignment Problem;

.NET – програмна платформа .NET.

## ВСТУП

Задачі часового планування сумісної роботи множини елементів складної системи зустрічаються в багатьох галузях управління транспортними потоками, при плануванні виробництва на підприємствах, при виконанні замовлень в проектно-конструкторських організаціях, при організації роботи закладів соціально-економічної сфери, в закладах освіти, медичних закладах тощо.

Актуальність цієї роботи проявляється в необхідності забезпечення медичних закладів відповідним інформаційним продуктом, який би надавав можливість пошуку і вирішення можливих проблем, пов'язаних із складанням розкладу проведення хірургічних операцій. Складання розкладу хірургічних операцій потребує автоматизації, бо це дозволить зберігати та маніпулювати інформацією більш ефективно.

Завдяки автоматизації процес складання розкладу хірургічних операцій займає менше часу, ніж редагування з використанням графічного інтерфейсу користувача, що був розроблений у бакалаврській роботі у рамках задачі «Облік проведення медичних операцій» ІС (інформаційної системи) медичного закладу.

Об'єктом дослідження є процес формування розкладу хірургічних операцій Державної установи Інституту патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження моделей та методів задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій та розробка рішень для вирішення даної задачі.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні питання:

- аналіз існуючих моделей та методів задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій;
- модифікація існуючої моделі та методу формування розкладу

проведення хірургічних операцій з урахуванням характерних для неї особливостей;

- практична реалізація моделі та методу вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій;

- експериментальна перевірка розробленої технології вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій.

Кваліфікаційна робота виконується згідно з вимогами методичних вказівок по організації та виконанню кваліфікаційної роботи [1] та національним стандартом ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення» [2].

Перелік джерел посилання оформлено згідно з національним стандартом ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» [3].

# **1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ФОРМУВАННЯ РОЗКЛАДУ ПРОВЕДЕННЯ ХІРУРГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

## **1.1 Оцінка сучасного стану об'єкта дослідження**

Як об'єкт дослідження в роботі розглядається процес формування розкладу хірургічних операцій Державної установи Інституту патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка.

Зазвичай під розкладом розуміють список запланованих робіт або дій, які необхідно виконати, із зазначенням порядку виконання, часу або дат, коли вони повинні відбутися або бути виконані. В даній роботі під розкладом проведення хірургічних операцій розуміється документ «Розклад проведення операцій», який є результатом вирішення задачі планування проведення операцій у клінічному підрозділі Державної установи Інституту патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка.

Особливість задачі формування розкладу проведення операцій полягає у тому, що розклад формується на основі поданої лікарем заявки на проведення блоку операцій.

Блок операцій – це послідовний перелік операцій, для одного пацієнта, які повинні бути виконані послідовно одна за одною та які виконуються однією операційною бригадою.

Операційна бригада – перелік медичного персоналу, що проводить операцію; складається з:

- хірурга;
- асистентів хірурга;
- анестезіолога.

У поданій лікарем заявки на проведення операції у якій вказані:

- дані про пацієнта;
- діагноз;

- відділення;
- назви операцій у блоці;
- операційний стіл;
- тур операції;
- склад операційної бригади.

У заявці вказується блок операцій, але це є нерозривна послідовність декількох операцій, що виконується однією і тією ж операційною бригадою протягом одного туру операцій, це зумовлено з особливостями задачі обліку проведення хірургічних операцій. Тому в далі в роботі розглядаємо блок операцій як одну операцію.

Заявка на проведення операції рецензується завідувачем відділення анестезіології та інтенсивної терапії. На основі рецензованих заявок, завідуючий відділенням анестезіології та інтенсивної терапії формує розклад проведення операцій, де враховує зайнятість операційного столу, членів операційної бригади та ін. Операції проводяться у робочі дні тижня, окрім понеділка. Кожне відділення подає заявки на проведення операції переважно на своєму поверсі (на своїх операційних столах). Якщо пацієнт інфікований, то операція для нього проводиться останньою на день.

Підготовка та формування розкладу проведення операцій складається з таких процесів:

- процеси, які пов'язані з прийомом пацієнта;
- процеси формування заявок на операції, якщо вони показані за медичними вимогами;
- процеси безпосереднього формування (складання) розкладу операцій;
- процеси формування протоколів операцій.

Була розроблена схема взаємозв'язку процесів формування розкладу медичних операцій з використанням методології IDEF0 (Integrated Definition for Process Description Capture Method). Вибір IDEF0-моделі процесу обумовлений, перш за все, тим, що IDEF0 є одним з найбільш поширених

стандартів формалізованого опису бізнес-процесу (БП) [4]. За допомогою простої графічної мови IDEF0 зображено схему взаємодії БП у вигляді функціональних блоків, що пов'язані між собою. Кожен функціональний блок зображується у вигляді прямокутника та представляє собою конкретний БП, при цьому кожна сторона функціонального блоку має своє певне призначення:

- верхня – управління;
- ліва – вхід;
- права – вихід;
- нижня – механізм.

Дана схема типу «AS-IS» зображує, як саме процес формування розкладу медичних операцій пов'язаний з іншими процесами у системі. Дана схема приведена на рисунку 1.1 з використанням нотації IDEF0.

Для проведення дослідження процесів, які пов'язані з підготовкою та здійсненням медичних операцій, була розроблена схема потоків робіт задачі формування розкладу хірургічних операцій з використанням методології IDEF3 [5], що описує роботи, які виконуються при вирішенні задачі формування розкладу хірургічних операцій у неавтоматизованому вигляді. Ця схема зображена на рисунку 1.2.

Аналіз цих процесів показав, що для ефективності їх виконання можна розробити і використовувати автоматизовану задачу, пов'язану з:

- формуванням і аналізом даних про пацієнтів, яким показана операція;
- створенням заявок на проведення операцій;
- рецензуванням заявок на проведення операції;
- формуванням розкладу проведення операцій;
- формуванням протоколу операції.



Рисунок 1.1 – Схема взаємозв'язку процесів формування розкладу медичних операцій

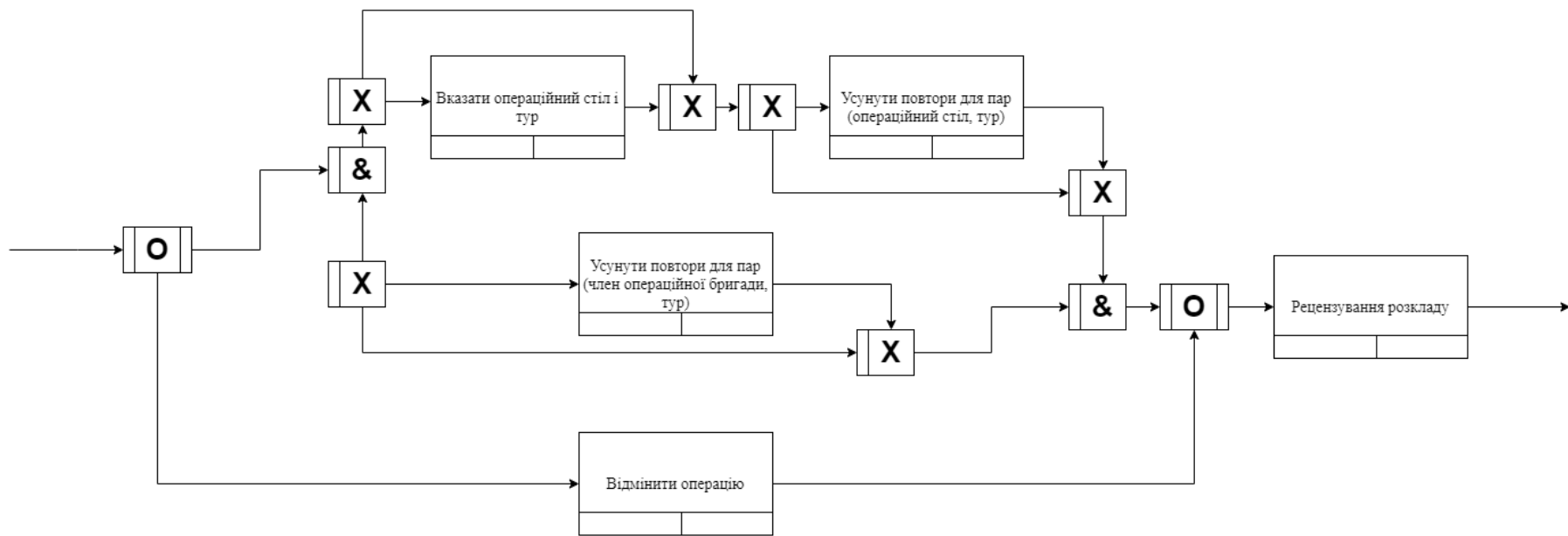


Рисунок 1.2 – Схема потоків робіт процесу формування розкладу хірургічних операцій

Користувачами такої задачі є:

- медсестра приймального відділення, що вносить дані про пацієнти при прийомі;
- лікарі, які створюють заявки на проведення медичних операцій;
- завідуючий відділенням анестезіології та інтенсивної терапії, який, на основі заявок на проведення медичних операцій, формує розклад проведення операцій та рецензує його;
- хірурги та їх асистенти, які вносять дані в протокол проведених операцій.

Аналіз бізнес-процесів, які пов'язані з плануванням, підготовкою та проведенням медичних операцій, показав, що основними функціями, які складають задачу, є:

- облік пацієнтів;
- облік госпіталізації;
- пацієнтів;
- облік заявок на проведення операції;
- формування розкладу хірургічних операцій;
- облік проведених операцій.

Облік пацієнтів передбачає ведення обліку пацієнтів, які проходять хірургічне лікування.

Облік заявок передбачає:

- ведення обліку заявок на операції, які вже були проведені;
- ведення обліку заявок на операції, які повинні бути проведені;
- ведення обліку заявок на операції, які були відмінені.

Облік проведення операцій передбачає облік протоколів операцій, які були проведені.

Задача формування розкладу хірургічних операцій відноситься до важливих задач часового планування сумісної роботи множини елементів складної системи, якою є велика за розміром і важлива за статусом клініка. Ця задача характеризується наявністю визначеної сукупності робіт, яку треба виконати за умови обмежень часових, кадрових, матеріальних ресурсів.

## 1.2 Огляд існуючих варіантів задачі формування розкладу

Задача формування розкладу є типовою задачею дисципліни теорії розкладу.

Теорія розкладу – це окремий розділ дослідження операцій, метою якого є побудова та аналіз математичних моделей планування різних цілеспрямованих операцій з урахуванням цільової функції та різних обмежень. Під плануванням розуміється розподіл робіт (операцій) між виконавцями та узгодження послідовності виконання робіт між виконавцями та розподіл ресурсів.

Існують деякі способи класифікації задач теорії розкладу:

- за типом рішення, яке потрібно відшукати;
- за типом цільової функції;
- за способом задання вхідної інформації;
- за розділом теорії розкладу.

Якщо класифікувати задачі теорії розкладу за типом рішення, яке потрібно відшукати, то виділяють такі види задач:

- задачі упорядкування;
- задачі узгодження;
- задачі розподілу.

У задачі упорядкування вже заданий розподіл робіт та визначені всі параметри робіт, такі як тривалість часу виконання та ін. Необхідно лише сформулювати порядок виконання робіт кожним виконавцем.

У задачі узгодження потрібно визначити тривалість робіт, використання ресурсів виконавцями та ін.

У задачі розподілу необхідно визначити оптимальний розподіл робіт між виконавцями.

Якщо класифікувати задачі теорії розкладу за типом цільової функції, то виділяють такі види задач:

- задачі з сумарними критеріями оптимізації;
- задачі з мінімаксними (максимінними) критеріями оптимізації;
- багатокритеріальні задачі оптимізації.

У задачі з сумарними критеріями оптимізації необхідно мінімізувати (максимізувати) сумарне значення параметрів.

У задачі з мінімаксними (максимінними) критеріями оптимізації необхідно мінімізувати (максимізувати) не суму деяких значень параметрів, а лише максимальне (мінімальне) значення.

У багатокритеріальних задачах оптимізації необхідно знайти оптимальне рішення для декількох цільових функцій.

Якщо класифікувати задачі теорії розкладу за способом задання вхідних параметрів, то виділяють такі види задач:

- детерміновані;
- динамічні.

Для детермінованих задач всі вхідні параметри задачі точно відомі до початку вирішення даної задачі.

Для динамічних задач розклад формується в режимі реального часу та відомі не всі вхідні параметри даної задачі, що вирішується. Розклад формується по частинам при надходженні нових параметрів. При цьому в будь-який момент часу можна отримати результат у вигляді частково сформованого розкладу.

У теорії розкладу прийнято виділяти декілька розділів:

- формування розкладу для проекту (project scheduling);
- формування розкладу роботи приладів (machine scheduling);
- формування часових таблиць (time scheduling);
- формування розкладу руху транспорту (transport scheduling).

В розділі формування розкладу для проекту виділяють одну базову задачу побудови розкладу виконання робіт проекту з зв'язку робіт з попередніми роботами та обмежень на ресурси (Resource-Constrained Project Scheduling Problem, RCPSP) та її окремі випадки та модифікації. Під проектом

розуміється множина взаємопов'язаних операцій, що спрямовані на досягнення певної мети. Задача RCPSP є задачею, де необхідно сформувавши оптимальний розклад виконання робіт проекту з урахуванням зв'язку з роботами, що були виконані, з урахуванням необхідних та доступних ресурсів, за якого буде досягнуто оптимальне значення деякої цільової функції. Зазвичай цільовою функцією є сумарний час виконання робіт проекту.

В розділі формування розкладу роботи приладів, на відміну від задач розділу формування розкладу для проекту, де одну роботу можуть виконувати декілька виконавців, головна відмінність полягає у тому, що кожна робота виконується лише одним виконавцем у певний момент часу. Виділяють кілька видів задач розділу формування розкладу роботи приладів:

- задачі для однієї машини;
- задачі для паралельних машин;
- задачі цеха (shop scheduling).

Для задач для однієї машини характерною особливістю є те, що одночасно може виконувати одну роботу. Алгоритми вирішення задач формування розкладу роботи для однієї машини використовуються для вирішення більш складних задач, тому задачі даного розділу фундаментальними.

Для задач для паралельних машин характерною особливістю є те, що замість однієї машини доступно  $m$  машин. Кожна робота може бути виконана на будь-якій машині. Якщо машини ідентичні, то час виконання роботи не залежить від вибору машини, яка буде виконувати дану роботу. Дана задача відповідає окремому випадку задачі формування розкладу виконання проекту, де кількість ресурсів для виконання роботи є однаковою для всіх робіт. Якщо машини не ідентичні, то для кожної роботи  $j$ , яку виконує машина  $m$  може бути заданий різний час  $p_{jm}$  виконання роботи  $j$  машиною  $m$ .

Для задач цеха головною особливістю є те, що кожна робота складається із операцій, яку можуть виконувати лише певні машини. В загальній задачі цеха дано  $m$  машин  $\{M_1, M_2, \dots, M_n\}$  кожна робота  $j$  містить  $n$  операцій

$\{O_{1j}, O_{2j}, \dots, O_{nj}\}$ . Операції повинні бути виконані послідовно, одна за одною. Машини можуть виконувати одну і лише одну операцію певної роботи в певний момент часу. Кожна машина може виконувати одну і лише одну операцію однієї роботи. Час виконання операції  $O_{ij}$  рівний  $p_{ij}$ , операція може виконуватись на машині  $\mu_{ij} \in \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ . Дана задача також може бути зведена до задачі формування розкладу виконання проекту. Існують окремі випадки задачі цеха:

- job-shop;
- flow-shop;
- open-shop;
- інші задачі machine scheduling.

Для задач цеха job-shop задана чітка послідовність виконання операцій роботи, при цьому не задається послідовність виконання робіт, а кількість операцій може бути різною для різних робіт.

Для задач цеха flow-shop кожна робота складається із одних і тих же операцій та задана машина, що буде виконувати операції. При цьому розклад роботи кожної машина задається вектором, що являє собою порядок обслуговування операцій, що відносяться до різних робіт.

Для задач цеха open-shop характерною особливістю є те, що послідовність виконання операцій не є заданою – кількість операцій кожної роботи є однаковою, але порядок їх виконання може відрізнитись для різних робіт.

До інших задач цеха відносяться задачі, в яких є додаткові вимоги до машин, що виконують певні роботи. Серед таких є задача групування, де одна машина може виконувати більше однієї роботи в певний момент часу, при цьому час початку виконання всіх робіт однієї групи та час закінчення повинен бути однаковим для всіх робіт однієї групи.

В розділі формування часових таблиць розглядаються питання узгодження розкладу роботи різних машин. Задачі формування часових таблиці виникають при необхідності планування зайнятості персоналу,

ресурсів та при узгодженні часу виконання певних декількома виконавцями. Зазвичай задачі формування часових таблиць можна звести до задач формування розкладу виконання робіт проекту.

З оглянутих видів існуючих варіантів задачі формування розкладу можна зробити висновок, що задача формування розкладу проведення хірургічних операцій є задачею багатокритеріальної оптимізації розподілу та упорядкування робіт.

### 1.3 Огляд існуючих методів вирішення задач формування розкладу

Оскільки задача формування розкладу є вибору та розподілу деякої множини робіт  $J$  між виконавцями  $M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ , де  $m$  кількість виконавців відповідно до заданих обмежень с метою отримання оптимального значення цільової функції, то дану задачу можна розглядати як задачу комбінаторної оптимізації.

Метод вирішення задач дискретної оптимізації являє собою загальну ідею, яку можна використати для вирішення широкого класу задач.

Виділяють деякі методи вирішення задач дискретної оптимізації:

- евристичні алгоритми;
- методи динамічного програмування;
- метод гілок та границь;
- метаевристичні методи;
- графічні методи.

Евристичні алгоритми – це алгоритми, що засновані на правдоподібних, але не обґрунтованих математично припущеннях про властивості оптимальності вирішення задачі. В евристичному алгоритмі враховується одно, або декілька властивостей оптимального рішення задачі, які є основою

для виконання скорочення множини можливих рішень, які можна знайти методом перебору.

Методи динамічного програмування – методи вирішення задач дискретної оптимізації шляхом розподілу процесу на кроки, при цьому кожний крок відображає реальних процес прийняття рішення в режимі реального часу, або розподіл на кроки вводиться штучно за рахунок розподілу процесу прийняття однократного рішення на окремі кроки. Метою такого перетворення є приведення задачі високої розмірності до вирішення на кожному кроці задачі меншої розмірності.

Метод гілок та границь зазвичай використовується для знаходження оптимального вирішення задач дискретної оптимізації. Даний метод включає 3 основні елемента:

- гілкування;
- верхня границя;
- нижня границя.

Під час процесу гілкування множина  $G$  ділиться на підмножини  $G_i \subseteq G$ , що приведено у формулі 1.1.

$$U_{i=1}^r = |G, \quad (1.1)$$

де  $i$  – підмножина;

$r$  – кількість підмножин;

$G$  – множина.

Таким чином задача ділиться на підзадачі, що визначені підмножинами допустимих рішень  $G_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, r$ . Даний процес називають гілкуванням. Гілкування є рекурсивним процесом, де кожна підзадача  $G_i$  в свою чергу є базисом для іншого гілкування. В результаті даного процесу створюється дерево пошуку оптимального рішення, при цьому задача  $G$  є корнем, а підзадачі  $G_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, r$  є гілками.

Верхньою оцінкою для підзадачі  $G_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, r$  є значення приведені у формулі 1.2.

$$UB_i \geq \min_{x \in G_i} f(x), \quad (1.2)$$

де  $i$  – підмножина;

$UB_i$  – верхня оцінка;

$f(x)$  – цільова функція;

$x$  – аргумент цільової функції.

що використовується в алгоритмі для того, щоб зробити попередню оцінку перспективності підзадачі – оцінити можливість того, що підзадача містить оптимальне рішення задачі.

Нижньою оцінкою для підзадачі  $G_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, r$  є значення приведені у формулі 1.3.

$$LB_i \leq \min_{x \in G_i} f(x), \quad (1.3)$$

де  $i$  – підмножина;

$LB_i$  – нижня оцінка;

$f(x)$  – цільова функція;

$x$  – аргумент цільової функції.

В ході роботи алгоритму гілок та границь послідовно будується кілька допустимих рішень. Краще з побудованих рішень, з точки зору цільової функції, зберігається в пам'яті комп'ютера. Даному рішенню відповідає значення цільової функції, що називається рекордом. Якщо в процесі роботи алгоритму для деякої підзадачі  $G_i$  було знайдено нижню оцінку  $LB_i$ , яка більше поточного рекорду, це значить, що підмножина  $G_i$  не містить оптимального рішення задачі і не має сенсу розглядати підмножину  $G_i$  при подальшому

вирішення задачі. Таким чином гілку, яка відповідає підмножині  $G_i$  у дереві пошуку оптимального рішення можна вилучити.

Метаевристичні методи є результатом модифікації евристичних методів шляхом створення математичних моделей на основі вже відомих евристик із інших розділів науки. Найбільш відомими є Генетичний алгоритм, метод колоній мурах, метод рою та ін.

Графічний метод являє собою модифікацію методу динамічного програмування.

#### 1.4 Огляд і аналіз існуючих рішень задач формування розкладу проведення хірургічних операцій

Складання розкладів хірургічних операцій в медичних закладах, є складною задачею, тому що доводиться враховувати велику кількість особливих (специфічних) обмежень і вимог, найчастіше індивідуальних для кожної операції та, в особливості, кожного медичного закладу.

Важливість цієї задачі обумовила ряд досліджень, що були проведені у цій області [6-20]

У [6] запропонований алгоритм, який заснований на резервуванні блоків часу для призначення в них роботи лікарів. Було описано модель цільового програмування, яка може створювати розклади, що найкращим чином відповідають потребам лікарні, тобто за рахунок мінімізації часу простою і понаднормової роботи і підвищення задоволеності хірургів, пацієнтів і персоналу. Підхід передбачає сортування запитів на певний день на основі обмежень блоку, використання приміщення, переваг хірурга і можливостей інтенсивної терапії.

У [7] задача формування розкладу операцій зведена до задачі призначення операцій і роботи лікарів з мінімізацією можливого ризику

відміни операції. Описано дослідження, в якому застосовується ряд алгоритмів оптимізації для побудови циклічного розкладу основної операції з вирівняною заповнюваністю ліжка. Дослідження починається з детальної інформації про всі планові хірургічні втручання протягом 1 року в бельгійській лікарні середнього розміру. Для кожної комбінації хірурга і відділення госпіталізації отримані функції багатовимірного розподілу як для кількості прооперованих пацієнтів в блоці операційної, так і для тривалості перебування кожного прооперованого пацієнта. Ці функції розподілу служать вхідними даними для алгоритмів. Вирівнювання досягається або змішаними методами цілочисельного програмування, що включають рішення задачі оптимізації  $\min\text{-max}$  і завдання квадратичної оптимізації, або евристикою імітаційного відпалу, яка мінімізує загальну ймовірність нестачі ліжка або, в якості альтернативи, загальну очікувану нестачу ліжка.

У [8] вказано, що алгоритм планування додаткових операцій, що максимізує використання операційної невідомий. Мета дослідження полягала в тому, щоб використовувати комп'ютерне моделювання для оцінки 10 алгоритмів планування, описаних в літературі з наук про управління, щоб визначити їх відносну продуктивність при плануванні якомога більшої кількості годин додаткових операцій в режимі "відкрито" або "час".

У [9] розглянуто випадок, коли у багатьох установах хірурги і пацієнти вибирають день операції, операція не відхиляється, а штатний розклад коригується таким чином, щоб максимально підвищити ефективність операційної або, якщо хірургічна служба вже використала відведений їй час та якщо у неї є додаткові ресурси для планування, то ефективність підвищується за рахунок планування нової операції на певний час з великою кількістю недовикористаного часу. Остання операція "звільняє" виділений їй час. У дослідженні було проаналізовано дані про розклад за 3 роки середнього та великого хірургічного відділення. Теоретично, час, на який запланована операція, яка повинна бути відмінена, – це час, який, як очікується, буде найбільш невикористаний або в день операції (тобто будь-які майбутні

випадки, які можуть бути заплановані на час цієї операції, також повинні бути враховані). Однак показано, що ефективність лише трохи менше, якщо операція, що була відмінена, це операція, яка має найбільш виділений, але незапланований (тобто незаповнений) час на момент планування нового звернення. Навпаки, компроміс, пов'язаний з вивільненням часу, відмінного від операцій з найбільш виділеним часом, є незапланованим часом, що помітно знижує ефективність та менеджери можуть використовувати ці результати при вивільненні виділеного часу.

У [10] розглянуто проблему серйозного операційного навантаження для операційного відділення лікарні, що стосується призначення операцій і достатнього запланованого часу в операційній. Мета полягає в тому, щоб максимально використовувати виробничі потужності і звести до мінімуму ризик понаднормової роботи і скасування прийому пацієнтів. Дослідження було проведено у співпраці з “Erasmus MC”, великою академічною лікарнею в Нідерландах, яка також надала Історичні дані для експериментів. Було запропоновано різні конструктивні евристики і методи локального пошуку, які використовують статистичну інформацію про тривалість операцій, щоб використовувати ефект портфоліо і тим самим мінімізувати необхідний провал.

У [11] було розглянуто вибіркоче планування випадків у лікарнях та хірургічних центрах, у яких хірурги та пацієнти вибирають день операції, операції не відхиляються, а персонал анестезіологів та медсестер налаштовується таким чином, щоб максимально ефективно використовувати час операційної. Досліджено планування нової операції в операційній, використовуючи два правила планування пацієнтів: найраніший час початку або найпізніший час початку. Використовуючи кілька сценаріїв, було показано, що використання найбільш раннього часу початку економічно раціонально на таких об'єктах. Зокрема, він максимізує ефективність, коли хірургічна служба майже заповнила свої регулярно заплановані години або час. Однак найпізнішим часом запуску буде краще виконувати балансування

робочого навантаження між операціями або вільним часом. Потім було використано Історичні дані про тривалість поводження з двох об'єктів в комп'ютерному моделюванні, щоб дослідити вплив помилок в прогнозуванні тривалості звернення на продуктивність цих двох евристик. Досягне поступове скорочення понаднормової роботи за рахунок отримання точної інформації про тривалість розгляду справ порівняно з використанням історичних строків розгляду випадків становило лише кілька хвилин на операцію. Різниця між найбільш раннім часом початку і найбільш пізнім часом початку також становила всього кілька хвилин на операційну. Було зроблено висновок, що для установ, в яких цілями є, в порядку важливості, безпека, доступ пацієнта і хірурга до або час, а потім ефективність, необхідно встановити кілька обмежень на планування пацієнтів для досягнення ефективного використання часу.

У [12] розглянуто випадок, коли  $N$  пацієнтів необхідно планувати в операційній на середньостроковий період (один або два тижні). Цей операційний зал складається з декількох операційних і однієї післяопераційної палати, в якій є кілька ліжок. Кожному пацієнту необхідна певна хірургічна процедура, яка визначає людські (хірург) і матеріальні (обладнання) ресурси для використання і тривалість втручання. Необхідно враховувати додаткові характеристики: дату госпіталізації, крайній термін втручання і т.д. Потрібне задоволення потреб пацієнтів і ефективність використання ресурсів. Ці два критерії, відповідно, моделюються витратами на госпіталізацію, тобто тривалістю перебування пацієнта, і витратами на понаднормову роботу, тобто перевантаженнями ресурсів. запропоновано вирішити цю проблему в два етапи. По-перше, визначається планування операційної. Він полягає в розподілі пацієнтів по операційних залах за горизонтом. По-друге, кожна завантажена операційна запланована індивідуально, щоб синхронізувати різні використовувані людські та матеріальні ресурси. У статті основна увага приділяється першому кроку, тобто планування операційної, яке визначає загальну проблему призначення, тобто складну проблему NP. Для

евристичного вирішення цієї проблеми пропонується модель призначення з ресурсними можливостями і адитивними обмеженнями тимчасового вікна. Інтегруючи більшість обмежень у цільову функцію витрат, було розроблено розширення угорського методу для розрахунку планування операційної. Ця первинно-подвійна евристика була успішно випробувана на широкому спектрі проблемних тестових даних.

У [13] представлений двоетапний підхід до планування операційних приміщень. Перший крок полягає в призначенні хірургічних операцій в операційних. Другий етап полягає в упорядкуванні призначених операцій з метою поліпшення використання операційних приміщень з урахуванням різних обмежень, пов'язаних з ресурсами, і специфікацій операційних процесів. Представлено дві стратегії послідовності операцій:

- призначення операцій операційним залам, отримане на першому етапі, не переглядається;
- призначення операцій операційним залам перевизначається, щоб бути менш обмеженим.

Для порівняння двох стратегій використовуються обчислювальні експерименти, виконані над набором випадково згенерованих завдань.

У [14] розглянуто випадок, коли планування хірургічних операцій розподіляє ресурси лікарні за окремими хірургічними операціями і визначає час проведення операцій. Це завдання відіграє вирішальну роль в ефективному використанні ресурсів лікарні при забезпеченні якості медичної допомоги пацієнтам. У статті пропонується новий підхід до планування хірургічних випадків, в якому використовується нове розширення завдання планування робочих місць, зване багаторежимним блокуючим робочим місцем (multi-mode blocking job shop, MMBJS). Він формулює MMBJS як завдання змішаного цілочисельного лінійного програмування (mixed integer linear programming, MILP) і обговорює використання моделі MMBJS для планування додаткових операцій.

У роботі [15] розглянуто випадок, коли обмежений персонал та обладнання в хірургічних службах вимагають ефективного використання цих ресурсів кількома групами хірургів. У дослідженні розроблено набір ієрархічних моделей математичного програмування з декількома критеріями для створення щотижневих розкладів операційних. Цілями, що розглядаються в цих моделях, є максимальне використання місткості операційної, збалансований розподіл операцій між групами хірургів з точки зору операційних днів, тривалості операцій і мінімізації часу очікування пацієнтів. Через обчислювальну складність цього завдання планування загальна проблема розбита на керовані ієрархічні етапи:

- відбір пацієнтів;
- розподіл операцій по групах хірургів;
- визначення дат операцій;
- визначення операційних.

Розроблені моделі протестовані на даних, зібраних в дослідницькій лікарні медичного коледжу Університету Чукурова, а також на змодельованих наборах даних з використанням пакету оптимізації MPL.

У [16] оцінено вплив моделі лінійного програмування 0-1 на соціальне забезпечення для вирішення проблеми планування операційної з урахуванням точки зору пацієнта. Зокрема, враховуючи відділення загальної хірургії, що складається з різних хірургічних підгалузей, що поділяють певну кількість блоків часу, модель визначає, протягом певного періоду планування, розподіл цих блоків за хірургічним підгалузями, тобто так звану проблему основного хірургічного розкладу (Master Surgical Schedule Problem, MSSP), разом з підмножинами виборних пацієнтів, які оперовані в кожному блоці часу, тобто так звана проблема призначення хірургічної операції (Surgical Case Assignment Problem, SCAP). Інновація моделі полягає в двох аспектах. По-перше, розподіл є "оптимальним", якщо доступні блоки заплановані одночасно для відповідної спеціалізації, в потрібний час для відповідного пацієнта. По-друге, необхідно визначити, що означає "правильний", і включити це в цільову функцію. У

підході важлива не кількість пацієнтів, яких можна вилікувати за певний період, а те, наскільки можна запобігти втраті добробуту через клінічне погіршення або інших негативних наслідків, пов'язаних з надмірним очікуванням. Модель може використовуватися як для розробки щотижневого плану або планування з урахуванням наявних ресурсів (оперативне рішення), так і для виконання аналізу сценаріїв "що, якщо" щодо того, як збільшити обсяг або час, доступний для всього відділу (тактичне рішення).

У [17] досліджено упорядкування хірургічних операцій у лікарні. Було визначено багатокритеріальну цільову функцію, в якій мінімізовано пікове використання ліжок для відновлення, виникнення понаднормових відновлювальних робіт і порушення різних переваг пацієнтів і хірургів. Враховується обмежена доступність ресурсів і необхідність прийняття медичних запобіжних заходів, таких як додаткове прибирання операційної після операції інфікованого пацієнта. Застосовано генерацію стовпців для вирішення завдання комбінаторної оптимізації та запропоновано алгоритм динамічного програмування для вирішення проблеми ціноутворення. Обчислювальна ефективність цього підходу до динамічного програмування перевіряється шляхом порівняння з підходом змішаного цілочисельного лінійного програмування. Щоб отримати цілочисельні змінні, ми вбудовуємо цикл генерації стовпців в перерахувальну структуру гілок і цін.

У [18] розглянуто проблему розподілу хірургічних операцій (SCAP), пов'язану з розподілом набору хірургічних випадків по декількох багатофункціональних операційних залах з метою мінімізації загальних операційних витрат. По-перше, сформульовано проблему як цілочисельну задачу, використовуючи декомпозицію Данцига-Вольфа як завдання розбиття множини. На основі цього формулювання поділу множин для пропонованої задачі, в якій кожен вузол є завданням лінійної релаксації задачі поділу множини, розроблений так званий алгоритм точного рішення по гілках і цінах, що поєднує процедуру розгалуження і прив'язки з методом генерації стовпців (column generation, CG). Це завдання лінійної релаксації вирішується за

допомогою CG-підходу, в якому кожен стовпець представляє план для однієї операційної і генерується шляхом вирішення підзадачі завдання планування однієї операційної. Результати обчислень показують, що підхід декомпозиції є перспективним і здатний вирішувати великі завдання.

У [19] метою є розробка щотижневого розкладу проведення хірургічних операцій в операційній, де тимчасові блоки зарезервовані для хірургів. Передбачається, що як операційні, так і місця в післяопераційній палаті є багатофункціональними, і цілі полягають в максимальному використанні операційних, мінімізації витрат на понаднормову роботу в операційній і мінімізації непередбаченого простою між хірургічними випадками. Ця щотижнева проблема планування і планування операційної вирішується в два етапи. По-перше, вирішується проблема планування, щоб вказати дату операції для кожного пацієнта, враховуючи наявність операційних і хірургів. Потім розробляється завдання щоденного планування, щоб визначити послідовність операцій в кожній операційній в кожен день з урахуванням наявності ліжок для відновлення. Проблема планування описується як модель цілочисельного програмування з поділом на множини і вирішується за допомогою евристичної процедури на основі генерації стовпців (column-generation-based heuristic, CGBH). Завдання щоденного планування, засноване на результатах, отриманих на етапі планування, розглядається як двоетапна задача гібридного потокового цеху і вирішується за допомогою гібридного генетичного алгоритму (hybrid genetic algorithm, HGA). Результати порівнянні з кількома фактичними розкладами операцій у бельгійській університетській лікарні, де тимчасові блоки були призначені або конкретним хірургам, або спеціальностям на кілька місяців вперед. Згідно з результатами порівняння, розклади проведення хірургічних операцій, отримані пропонованим способом, мають менший час простою між хірургічними випадками, значно більш високе завантаження операційних і виробляють менше понаднормових.

У задачі планування операційної розглянутій у [20] мета полягає в тому, щоб призначити операції операційним у відповідні проміжки часу. Для цього

час розподілом на блоки було визначено протягом одного робочого дня, і були встановлені обмеження кожному блоку. Враховується тільки призначення операцій, в той час як ранжування операцій не береться до уваги. Ця ситуація також згадується в припущеннях. Проблема вирішується за допомогою інтегрованих моделей програмування цілей і програмування обмежень. Було розглянуто декілька моделей планування роботи операційних.

### 1.5 Огляд і аналіз існуючих інформаційних технологій вирішення задач формування розкладу проведення хірургічних операцій

На даний час український ринок медичних інформаційних систем (МІС) розвивається, але існуючі МІС спрямовані переважно на ряд стандартних та уніфікованих процесів, такі як:

- реєстратура;
- ведення реєстру пацієнтів;
- ведення амбулаторної картки хворого;
- формування звітів;
- запис до лікаря;
- інші додаткові послуги.

Комплексні медичні інформаційні системи, зазвичай, складаються з модулів, що надає можливість зібрати та налаштувати МІС з метою отримання необхідної конфігурації для установ різного виду, забезпечити необхідний функціонал та надати можливість подальшого додавання/видалення модулів. Структура МІС складається з окремих компонентів, які можна об'єднати у кілька великих груп:

- аналітичні та управлінські компоненти;
- медичні компоненти;
- фінансово-економічні компоненти;

- компоненти обміну даними;
- загально-технічні компоненти [21] .

Аналітичні та управлінські компоненти – це модулі та засоби, що надають зручний функціонал ведення управлінського обліку. Включають інструменти для аналізу якості та ефективності медичних послуг, що дозволяє виявити проблеми та оптимізувати бізнес процеси.

Медичні компоненти – множина модулів, що пов’язані з реєстрацією пацієнтів, ведення реєстру електронних медичних карт, ведення протоколів лікування, медична статистика та аналітика та ін.

Фінансово-економічні компоненти – множина модулів, які надають функціонал обліку медикаментів та управління їх запасами, розрахунок вартості лікування та інші інструменти проведення економічного аналізу діяльності організації.

Компоненти обміну даними – множина модулів, що надають функціонал роботи з уніфікованими реєстрами, каталогами та довідниками, обмін даними в системі з іншими закладами та обробка отриманих даних.

Загально-технічні компоненти – множина модулів для підтримки роботи МІС, які надаються функціонал контролю доступу користувачів, захист бази даних, модулі інтеграції з іншими системами та ін.

Серед МІС в Україні найбільш популярними є:

- Medods;
- MedElement;
- Doctor Eleks;
- EMCiMED.

Medods [22] є платформою для організації роботи приватних медичних центрів та мережі клінік. Платформа доступна в двох варіантах використання: локальній та хмарній версіях, що представляє собою рішення сервіс, як послуга (Software as a service, Saas) та підтримує всі необхідні модулі. Функціонал дозволяє робити запис до лікаря, зберігати свої електронні карти, налаштувати онлайн-запис з використанням веб-сайту та автоматично

генерувати необхідні документи. Також доступні функції, що дозволяють виставляти рахунки, проводити і відстежувати платежі. Доступні фінансово-економічні компоненти, що дозволяють вести облік запасів та планувати маркетингові акції. Додатковий функціонал дозволяє роботи розсилки електронною поштою та використанням мобільних повідомлень (short message service, SMS). Доступні 2 варіанти отримання ліцензії: сплата по мірі використання для SaaS або одноразова оплата при купівлі локальної версії.

MedElement [23] – МІС, що є поєднанням потужної довідкової системи для лікарів та хмарний сервісів SaaS типу. Сферою застосування даної МІС є автоматизація роботи клінік, аптек та приватних медичних закладів. Особливістю даної МІС є те, що крім основних модулів, характерних для МІС, дана МІС є довідковою системою, що містить довідкові дані про захворювання, медичні терміни, лікарські засоби, лабораторні показники та ін. Підтримується автоматизація медичної документації, формування звітів, облік фінансів, послуг та ін. Сплата за послуги аналогічна використанню SaaS-сервісів – по мірі використання за місяць, квартал, півроку, рік.

Doctor Eleks [24] являє собою комплексне рішення для оптимізації роботи клініки будь-якого розміру та профілю. Розробником є українська компанія Eleks. Дана МІС підтримує функціонал для роботи з медичною картою пацієнта, модуль реєстрації, інструменти для формування та редагування шаблонів вихідних документів, особистий кабінет лікаря, модуль роботи з фінансами. Модуль формування розкладів дозволяє формувати графіки роботи співробітників з урахуванням побажань лікарів та пацієнтів. Лабораторний модуль даної МІС може бути використаний як окремий програмний продукт. Гнучка технологія для побудови різних звітів, що включає можливість проведення аудиту медичних документів. Головною перевагою є потужний функціонал та наявність комунікаційного сервера для обміну даними із суміжними МІС у спеціальному форматі HL7.

EMCiMED [25] є передовою українською МІС для медичних установ, лабораторій та приватних клінік. Дана МІС складається з модулів, які можна

підключати для отримання необхідної конфігурації для кожного окремого закладу. Основними модулями є:

- реєстратура;
- поліклініка;
- стаціонар;
- лабораторія;
- управління персоналом;
- управління організацією.

Існує можливість підключення додаткових модулів, таких як:

- облік послуг;
- управління запасами;
- архів медичних зображень.

За межами України популярними МІС є:

- Luma Health;
- PracticeSuite;
- Breeze;
- Mend;
- Epic;
- RXNT Electronic Health Records [26].

Luma Health [27] являє собою МІС для планування прийому пацієнтів. Пацієнти можуть самостійно заповнювати та завантажувати необхідні документи. Це допомагає медичним установам оптимізувати їх роботу за рахунок зменшення кількості адміністративної роботи, обліку прийому пацієнтів та їх відміну.

PracticeSuite [28] – це хмарна платформа для управління медичною закладом та телемедициною, яка забезпечує виставлення рахунків за медичні послуги на одній платформі. Рішення надає електронні медичні записи (electronic health records, EHR), портал для пацієнтів та функціонал з управління циклом доходів.

Breeze [29] – це система управління прийомом пацієнтів, яка допомагає оптимізувати реєстрацію пацієнтів, платежі пацієнтів і загальний досвід роботи з пацієнтами.

Mend [30] – це система для планування медичних заходів, спеціально розроблена для телемедицини. Дана МІС допомагає оптимізувати роботу медичних закладів, зменшуючи кількість неявок пацієнтів та охоплюючи більше пацієнтів, незалежно від того, де вони знаходяться або який у них постачальник. Mend оптимізує роботу з пацієнтами, оскільки надає можливість підключення до відеодзвінків з будь-якого пристрою, підключеного до Інтернету, без необхідності входити в систему або завантажувати будь-яке спеціальне програмне забезпечення.

Epic Systems [31] – це система для електронної медичної документації для медичних закладів та клінік.

RXNT [32] – це хмарне рішення для електронних медичних записів. Оптимізує догляд за пацієнтами і спрощує робочі процеси. Медичні заклади отримують інформацію про стан здоров'я та історію прийомів пацієнтів в режимі реального часу в пункті надання медичної допомоги за допомогою функціоналу інтегрованого електронного обліку прийому пацієнтів. RXNT надає інтегроване хмарне програмне забезпечення для медичних спеціальностей всіх розмірів, від великих лікарських практик до фахівців з виставлення рахунків за медичні послуги по всій території Сполучених Штатів Америки.

Оглянувши дані МІС можна зробити висновок, що вони орієнтовані в першу чергу на процесу пов'язані з обліком та прийомом пацієнтів. Існуючі модулі формування розкладу орієнтовані в першу чергу на формування графіку роботи лікарів та прийому пацієнта та не надають функціоналу для автоматизованого вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій.

## 1.6 Постановка задачі дослідження

Необхідність проведення дослідження задачі формування розкладу хірургічних операцій частково описана у [33].

Аналіз існуючих методів вирішення задач формування розкладу проведення операцій у клініці показав, що більшість з них не враховують дані заявки на проведення операції, а лише розглядають множини допустимих параметрів (вільні операційні столи, вільні хірурги та ін.). Тому необхідно мати математичні моделі, які гнучко та адекватно враховують специфіку критеріїв оптимальності та обмежень, а також ефективні методи прийняття рішень. Складність вирішення таких задач збільшується разом з їх розмірністю при наявності обмежень.

Тому забезпечити своєчасне і гнучке планування операційної діяльності можна тільки з використанням інформаційних технологій та систем, які виконують велику кількість трудомістких рутинних операцій.

З математичної точки зору задача обліку й планування операційної діяльності є задачею упорядковування робіт.

Планування спільної роботи учасників хірургічних операцій з урахуванням їх взаємозв'язку і ряду обмежень – досить складне завдання. Треба виконати певну сукупність дій в умовах обмежених ресурсів: часу, людських, технологічних. Крім того, це не просто сукупність дій. Повинна дотримуватися певна їх послідовність, обумовлена вимогами до проведення хірургічних операцій.

Необхідні ресурси крім кількісних обмежень мають також обмеження, пов'язані з вимогами нормативів, спеціалізацією і просто людським фактором.

У загальній постановці є потік хірургічних операцій, які необхідно розподілити між операційними блоками, лікарями і допоміжним персоналом (операційними бригадами) так, щоб мінімізувати простой операційних столів з урахуванням даних, вказаних в заявках на проведення операції.

Особливістю даної задачі є той факт, що заздалегідь невідома тривалість кожної хірургічної операції, відомий лише порядок проведення операцій.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є дослідження моделей і методів вирішення функціональної задачі планування операцій в клініці, які дозволять розробити інформаційну технологію формування та управління розкладом хірургічних операцій з врахуванням існуючих обмежень.

Для досягнення поставленої мети у магістерській кваліфікаційній роботі пропонується вирішити такі задачі дослідження:

- аналіз існуючих моделей та методів вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій у клініці;
- модифікація існуючої моделі та методу вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій у клініці з урахуванням характерних для неї обмежень;
- практична реалізація моделі та методу вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій;
- експериментальна перевірка розробленої технології вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій.

## **2 МОДИФІКАЦІЯ ІСНУЮЧОЇ МОДЕЛІ ТА МЕТОДУ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ФОРМУВАННЯ РОЗКЛАДУ ХІРУРГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ З УРАХУВАННЯМ ХАРАКТЕРНИХ ДЛЯ НЕЇ ОБМЕЖЕНЬ**

2.1 Опис обраної існуючої моделі задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій

На основі проведеного аналізу об'єкта дослідження у розділі 1.1 даної роботи визначено, що процес формування розкладу операцій виконується на основі поданих лікарем заявок на проведення операцій. Отже, необхідно в першу чергу розглянути методи вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій, описані у розділі 1.4 даної роботи, в яких враховуються побажання лікарів щодо порядку проведення операцій.

У одному із запропонованих методів планування операцій у [20] передбачено побажання лікарів щодо порядку проведення операції.

Основною метою дослідження [20] є підвищення якості обслуговування відповідно до запланованого графіка в операційних, які, є одними з найважливіших підрозділів медичних закладів. Оскільки існує безліч зовнішніх факторів, операційна містить багато невизначеності у своїй структурі. З цієї причини при плануванні операційної робляться деякі допущення. Ці допущення полягають в наступному:

- кількість операцій, які повинні бути виконані в лікарні, є відомою, і надзвичайні ситуації не розглядаються.
- є достатня кількість співробітників і всі необхідні ресурси для виконання операцій.
- середня тривалість кожної операції була розрахована на основі минулих даних аналогічних операцій, раніше виконаних у лікарні.
- відповідно до рішення комітету з управління лікарнею, робочий час в лікарні є 08:00-17:00, і в ці робочі години включена одна година з 12:00 до 13:00 перерви;

- операції не проводяться по вихідних;
- протягом робочого дня враховується тільки статус призначення операцій.

З урахуванням графіків роботи операційних, встановлених відповідно до цих припущень, наступні цілі:

- мінімізація витрат на операційні в лікарні;
- збалансований розподіл ресурсів для запобігання понаднормової роботи і недостатнього використання;
- планування блоків;
- забезпечення задоволеності пацієнтів і персоналу на найвищому рівні;
- підвищення ефективності роботи лікарні за рахунок отримання найвищого рівня продуктивності від працюючого персоналу.

Математична модель задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій запропонована у вигляді задачі цільового програмування [20] представлена у вигляді значень, що приведені у формулах 2.1-2-3 та обмежень і цільових функцій, приведених у формулах 2.4-2.16 .

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, \text{ якщо операція } i, \text{ назначена операційній } j, \\ \text{ у } k \text{ проміжок часу} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases}, \forall i, \forall j, \forall k, (2.1)$$

де  $i$  – операція;

$j$  – операційна;

$k$  – проміжок часу;

$x_{ijk}$  – призначення операції  $i$  у операційну  $j$  на проміжок часу  $k$ .

$$y_{jks} = \begin{cases} 1, \text{ якщо призначений хірург } s, \text{ операційній } j, \\ \text{ у } k \text{ проміжок часу} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases}, \forall j, \forall k, \forall s, (2.2)$$

де  $j$  – операційна;

$s$  – хірург;

$k$  – проміжок часу;

$y_{jks}$  – призначення хірурга  $s$  у операційну  $j$  на проміжок часу.

$$y_{jks} = z_{js} = \begin{cases} 1, \text{ якщо призначений хірург } s \text{ у операційну } j, \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases}, \forall j, \forall s \quad (2.3)$$

де  $j$  – операційна;

$s$  – хірург;

$k$  – проміжок часу;

$y_{jks}$  – призначення хірурга  $s$  у операційну  $j$  на проміжок часу;

$z_{js}$  – призначення хірурга  $s$  у операційну  $j$ .

Обмеження приведені у формулі 2.4 значить, що кожна операція призначається всіх операційних і проміжків часу тільки один раз.

$$\sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^m x_{ijk} = 1, \forall i, \quad (2.4)$$

де  $k$  – проміжок часу;

$r$  – кількість проміжків часу;

$j$  – операційна;

$m$  – кількість операційних;

$i$  – операція;

$x_{ijk}$  – призначення операції  $i$  у операційну  $j$  на проміжок часу  $k$ .

Обмеження приведені у формулі 2.5 гарантує, що не більше шести різних хірургів можуть працювати у всіх операційних в певному проміжку часу. Таким чином, операції можуть виконуватися одними і тими ж хірургами в певний проміжок часу.

$$\sum_{j=1}^m \sum_{s=1}^S y_{jks} \leq 6, \forall k, \quad (2.5)$$

де  $j$  – операційна;

$m$  – кількість операційних;

$s$  – хірург;

$S$  – кількість хірургів;

$y_{jks}$  – призначення хірурга  $s$  у операційну  $j$  на проміжок часу  $k$ ;

$k$  – проміжок часу.

Обмеження приведені у формулах 2.6 та 2.7 завжди гарантують, що певний проміжок часу і хірурги будуть призначені всім операційним не більше шести разів. Таким чином, в різних певних проміжках часу різні хірурги можуть бути збалансовано розподілені у всіх операційних. Можна запобігти скупченню хірургів тільки в одній операційній.

$$\sum_{j=1}^m y_{jks} \leq 6, \forall k, \forall s, \quad (2.6)$$

де  $j$  – операційна;

$m$  – кількість операційних;

$k$  – проміжок часу;

$s$  – хірург;

$y_{jks}$  – призначення хірурга  $s$  у операційну  $j$  на проміжок часу  $k$ .

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} \leq M * y_{jks}, \forall j, \forall k, \forall s, \quad (2.7)$$

де  $i$  – операція;

$n$  – кількість операцій;

$j$  – операційна;

$k$  – проміжок часу;

$x_{ijk}$  – призначення операції  $i$  у операційну  $j$  на проміжок часу  $k$ ;

$M$  – деяке достатньо велике число;

$s$  – хірург;

$y_{jks}$  – призначення хірурга  $s$  у операційну  $j$  на проміжок часу  $k$ .

Обмеження приведені у формулі 2.8 дозволяє призначити хірурга у всіх операційних на певних проміжок часу. Таким чином, в операційних, розділених одним і тим же хірургом, операції можуть проводитися без будь-яких очікувань або перерв через персоналу.

$$\sum_{k=1}^r y_{jks} \leq M * z_{js}, \forall j, \forall s, \quad (2.8)$$

де  $k$  – проміжок часу;

$r$  – кількість часових проміжків;

$j$  – операційна;

$s$  – хірург;

$y_{jks}$  – призначення хірурга  $s$  у операційну  $j$  на проміжок часу  $k$ ;

$M$  – деяке достатньо велике число;

$z_{js}$  – призначення хірурга  $s$  у операційну  $j$ .

Обмеження приведені у формулі 2.9 спрямовані на мінімізацію понаднормової роботи в операційній і недостатнє використання операційної. Це дозволяє мінімізувати відхилення між досяжним часом і робочим часом у цій меті. Цільова функція цієї мети приведена у формулі 2.10.

$$\sum_{i=1}^n p_i x_{ijk} + u_{kj}^- - u_{kj}^+ = U_{kj}, \forall j, \forall k, \quad (2.9)$$

де  $i$  – операція;  
 $n$  – кількість операцій;  
 $p_i$  – тривалість операції  $i$ ;  
 $j$  – операційна;  
 $k$  – проміжок часу;  
 $x_{ijk}$  – призначення операції  $i$  у операційну  $j$  на проміжок часу  $k$ ;  
 $u_{kj}^-$  – величина від'ємного відхилення від загального доступного часу операційної  $j$  в проміжок часу  $k$ ;  
 $u_{kj}^+$  – величина додатного відхилення від загального доступного часу операційної  $j$  в проміжок часу  $k$ ;  
 $U_{kj}$  – величина використаного щоденного часу операційної  $j$  у проміжок часу  $k$ .

$$\sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^m (u_{kj}^- + u_{kj}^+) \rightarrow \min, \quad (2.10)$$

де  $k$  – проміжок часу;  
 $r$  – кількість проміжків часу;  
 $j$  – операційна;  
 $m$  – кількість операційних;  
 $u_{kj}^-$  – величина від'ємного відхилення від загального доступного часу операційної  $j$  в проміжок часу  $k$ ;  
 $u_{kj}^+$  – величина додатного відхилення від загального доступного часу операційної  $j$  в проміжок часу  $k$ .

Обмеження приведені у формулі 2.11 спрямовані на збалансований розподіл усіх операцій у всіх операційних. Права частина має значення 6, тому що в задачі з 10 проміжками часу потрібно призначити в середньому шість проміжків часу для кожної операційної. Негативні і позитивні відхилення

зводяться до мінімуму за допомогою даного обмеження. Цільова функція цієї мети приведена у формулі 2.12.

$$\sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^r y_{jks} + k_j^- - k_j^+ = 6, \forall j, \quad (2.11)$$

де  $s$  – хірург;

$S$  – кількість хірургів;

$k$  – проміжок часу;

$r$  – кількість проміжків часу;

$j$  – операційна;

$y_{jks}$  – призначення хірурга  $s$  у операційну  $j$  на проміжок часу  $k$ ;

$k_j^-$  – величина від'ємного відхилення від збалансованого розподілу проміжків часу в операційній  $j$ ;

$k_j^+$  – величина додатного відхилення від збалансованого розподілу проміжків часу в операційній  $j$ .

$$\sum_{j=1}^m (k_j^- + k_j^+) \rightarrow \min, \quad (2.12)$$

де  $j$  – операційна;

$m$  – кількість операційних;

$k_j^-$  – величина від'ємного відхилення від збалансованого розподілу проміжків часу в операційній  $j$ ;

$k_j^+$  – величина додатного відхилення від збалансованого розподілу проміжків часу в операційній  $j$ .

Обмеження приведені у формулі 2.13 спрямовані на призначення операцій хірургу в кожній операційній у бажаних проміжках часу. Коли обмеження виконується, воно дорівнює нулю проміжкам часу, в яких хірург,

щоб призначали операції. У цьому обмеженні мети відхилення в позитивному напрямку зведено до мінімуму. Цільова функція цієї мети приведена у формулі 2.14.

$$\sum_{k \in d_s} y_{jks} + r_s^- - r_s^+ = 0, \forall s, \quad (2.13)$$

де  $d_s$  – множина хірургів, що бажають проводити операції в  $k$ -й проміжок часу;

$j$  – операційна;

$k$  – проміжок часу;

$s$  – хірург;

$y_{jks}$  – призначення хірурга  $s$  у операційну  $j$  на проміжок часу  $k$ ;

$r_s^-$  – величина від'ємного відхилення від бажаного проміжку часу хірургом  $s$ ;

$r_s^+$  – величина додатного відхилення від бажаного проміжку часу хірургом  $s$ .

$$\sum_{s=1}^S r_s^+ \rightarrow \min, \quad (2.14)$$

де  $s$  – хірург;

$S$  – кількість хірургів;

$r_s^+$  – величина додатного відхилення від бажаного проміжку часу хірургом  $s$ .

Обмеження приведені у формулі 2.15 спрямовані на розподіл кожної операційної для хірургів. У цьому обмеженні мети відхилення в позитивному напрямку зведено до мінімуму. Цільова функція цієї мети приведена у формулі 2.16

$$\sum_{s=1}^S z_{js} + p_j^- - p_j^+ = 1, \forall j, \quad (2.15)$$

де  $s$  – хірург;

$S$  – кількість хірургів;

$j$  – операційна;

$z_{js}$  – призначення хірурга  $s$  у операційну  $j$ ;

$p_j^-$  – величина від'ємного відхилення від призначених хірургів у операційну  $j$ ;

$p_j^+$  – величина додатного відхилення від призначених хірургів у операційну  $j$ .

$$\sum_{j=1}^m p_j^+ \rightarrow \min, \quad (2.16)$$

де  $j$  – операційна;

$m$  – кількість хірургів;

$p_j^+$  – величина додатного відхилення від призначених хірургів у операційну  $j$ .

## 2.2 Модифікація обраної моделі задачі формування розкладу хірургічних операцій

Оскільки об'єкт дослідження, що розглядається в даній роботі має свої особливості бізнес-процесів, що пов'язані з задачею формування розкладу проведення хірургічних операцій, відрізняється від об'єкту дослідження розглянутому у [20], необхідно скорегувати обмеження.

По перше існують деякі відмінності в термінології, тому необхідно описати терміни та поняття, що використовуються в установі, що розглядається в даній роботі:

- операцій стіл – операційна;
- тур – проміжок часу, коли виконується операція, являє собою порядковий номер операції, що проводиться на певному операційному столі;
- операційна бригада – склад медичного персоналу, що проводить операцію, складається з хірурга, від 1 до 3 асистентів та анестезіолога;
- тур операції, вказаний в заявці на проведення операції вважаємо бажаним часом проведення операції.

Порядок проведення операцій визначається туром.

Оскільки існує безліч зовнішніх факторів та відмінностей від об'єкта дослідження [20], у даній роботі зроблені деякі допущення. Ці допущення полягають в наступному:

- кількість операцій, які повинні бути проведені, є відомою, і надзвичайні ситуації не розглядаються;
- є достатня кількість співробітників і всі необхідні ресурси для виконання операцій;
- вважаємо, що тривалість операцій однакова.

Модифікація математичної моделі задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій запропонованої у вигляді задачі цільового програмування у розділі 2.1 представлена у вигляді значень, що приведені у формулах 2.17-2-22 та обмежень і цільових функцій, приведених у формулах 2.23-2.16 .

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, \text{ якщо операція } i, \text{ назначена} \\ \text{ на операційних стіл } j, \text{ на тур } k, \forall i, \forall j, \forall k, (2.17) \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases}$$

де  $i$  – операція;

$j$  – оперційний стіл;

$k$  – тур;

$x_{ijk}$  – призначення операції  $i$  на операційний стіл  $j$  на тур  $k$ .

$$y_{jks} = \begin{cases} 1, \text{ якщо призначений член операційної бригади } s, \\ \text{ на операційний стіл } j, \text{ на } k \text{ тур,} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases} \quad \forall j, \forall k, \forall s, \quad (2.18)$$

де  $j$  – операційний стіл;

$k$  – тур;

$s$  – член операційної бригади;

$y_{jks}$  – призначення члена операційної бригади  $s$  на операційний стіл  $j$  на тур  $k$ ;

$$y_{jks} = z_{js} = \begin{cases} 1, \text{ якщо призначений член операційної бригади } s \\ \text{ на операційний стіл } j, \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases} \quad \forall j, \forall s, \quad (2.19)$$

де  $j$  – операційний стіл;

$k$  – тур;

$s$  – член операційної бригади;

$y_{jks}$  – призначення члена операційної бригади  $s$  на операційний стіл  $j$  на тур  $k$ ;

$z_{js}$  – призначення члена операційної бригади  $s$  на операційних стіл  $j$ .

Оскільки кожне відділення проводить операції переважно на своїх операційних столах, то необхідно ввести додаткові позначення, приведені у формулах 2. 20 та 2.21.

$$d_{jk} = \begin{cases} 1, \text{ якщо відділення } k \text{ проводить} \\ \text{ операції на операційному столі } j, \\ 0, \text{ у іншому випадку} \end{cases} \quad \forall k, \forall j, \quad (2.20)$$

де  $k$  – відділення;

$j$  – операційний стіл.

$d_{jk}$  – призначення операційного столу  $j$  відділенню  $k$ .

$$d_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{якщо операція } i \text{ проводиться на} \\ & \text{операційному столі } j \text{ відділенням } k, \forall i, \forall j, \forall k, \\ 0, & \text{у іншому випадку} \end{cases} \quad (2.21)$$

де  $i$  – відділення;

$j$  – операційний стіл;

$k$  – відділення;

$d_{ijk}$  – призначення операція  $i$  операційного столу  $j$  відділенню  $k$ .

Оскільки операція може проводитись для пацієнта, що може бути інфікованим, то необхідно ввести додаткові позначення приведені у формулі 2.22.

$$h_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо операція } i \text{ проводиться для інфікованого} \\ & \text{пацієнта на операційному столі } j, \forall i, \forall j, \\ 0, & \text{у іншому випадку} \end{cases} \quad (2.22)$$

де  $i$  – операція;

$j$  – операційний стіл;

$h_{ij}$  – призначення операції  $i$  для інфікованого пацієнта на операційний стіл  $j$ .

Оскільки тривалість проведення операції не є детермінованою величиною, вважаємо, що умовно тривалість операцій однакова. Дана умова приведена у формулі 2.23.

$$p_i = 1, \forall i, \quad (2.23)$$

де  $i$  – операція;

$p_i$  – тривалість операції  $i$ .

Оскільки існує певний кількісний склад операційної бригади, то необхідно скоректувати обмеження приведені у формулах 2.5. Скоректовані обмеження приведені у формулах 2.24 відповідно

$$1 \leq \sum_{j=1}^m \sum_{s=1}^S y_{jks} \leq 4, \forall k, \quad (2.24)$$

де  $j$  – операційний стіл;

$m$  – кількість операційних;

$s$  – хірург;

$S$  – кількість хірургів;

$k$  – тур;

$y_{jks}$  – призначення хірурга  $s$  на операційний стіл  $j$  на тур  $k$ .

Оскільки роль анестезіолога у операційній бригаді може виконувати лише анестезіолог, то необхідно ввести додаткове обмеження приведені у формулі 2.25

$$\sum_{j=1}^m \sum_{a=1}^A y_{jka} = 1, \forall k, \quad (2.25)$$

де  $j$  – операційний стіл;

$m$  – кількість операційних;

$a$  – хірург;

$A$  – кількість хірургів;

$k$  – тур;

$y_{jks}$  – призначення анестезіолога  $s$  на операційний стіл  $j$  на тур  $k$ .

Скоректовані обмеження приведені у формулах 2.26 та 2.27 гарантують, що на певний тур члени операційної бригади будуть призначені на всі операційні столи не більше п'яти разів.

$$\sum_{j=1}^m y_{jks} \leq 5, \forall k, \forall s, \quad (2.26)$$

де  $j$  – операційний стіл;

$m$  – кількість операційних;

$k$  – тур;

$s$  – член операційної бригади;

$y_{jks}$  – призначення члена операційної бригади  $s$  на операційний стіл  $j$  на проміжок часу  $k$ .

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} \leq M * y_{jks}, \forall j, \forall k, \forall s, \quad (2.27)$$

де  $i$  – операція;

$n$  – кількість операцій;

$j$  – операційний стіл;

$k$  – тур;

$x_{ijk}$  – призначення операції  $i$  на операційний стіл  $j$  на тур  $k$ ;

$M$  – деяке достатньо велике число;

$s$  – член операційної бригади;

$M$  – деяке достатньо велике число;

$y_{jks}$  – призначення члена операційної бригади  $s$  на операційний стіл  $j$  на тур  $k$ .

Обмеження приведені у формулі 2.11 спрямовані на збалансований розподіл усіх операцій на всіх операційних столах. Оскільки максимальна кількість турів має значення 5, то необхідно скоректувати обмеження, приведені у формулі 2.11. Скоректовані обмеження приведені у формулі 2.28. Цільова функція цієї мети приведена у формулі 2.12.

$$\sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^r y_{jks} + k_j^- - k_j^+ \leq 5, \forall j, \quad (2.28)$$

де  $s$  – член операційної бригади;

$S$  – кількість членів операційної бригади;

$k$  – тур;

$r$  – кількість турів;

$j$  – операційний стіл;

$y_{jks}$  – призначення члена операційної бригади  $s$  на операційний стіл  $j$  на тур  $k$ ;

$k_j^-$  – величина від'ємного відхилення від збалансованого розподілу турів на операційному столі  $j$ ;

$k_j^+$  – величина додатного відхилення від збалансованого розподілу турів на операційному столі  $j$ .

Обмеження приведене у формулі 2.13 спрямоване на призначення операцій члену операційної бригади на операційний стіл на бажаний тур. Цільова функція цієї мети приведена у формулі 2.14. Оскільки необхідно мінімізувати відхилення бажаного туру проведення членом операційної бригади, то дане обмеження можна не враховувати та необхідно скоректувати цільову функцію 2.14. Скоректована цільова функція приведена у формулі 2.29.

$$\sum_{s=1}^S (r_s^+ + r_s^-) \rightarrow \min, \quad (2.29)$$

де  $s$  – член операційної бригади;

$S$  – кількість членів операційної бригади;

$r_s^+$  – величина додатного відхилення від бажаного туру членом операційної бригади  $s$ ;

$r_s^-$  – величина від'ємного відхилення від бажаного туру членом операційної бригади  $s$ .

Обмеження приведені у формулі 2.30 спрямовані на забезпечення проведення операцій лише на операційних столах для певного відділення та гарантує, що всі операції проводяться лише на допустимих операційних столах відділень.

$$\sum_{i=1}^n d_{ijk} * d_{jk} = \sum_{i=1}^n d_{ijk}, \forall j, \forall k, \quad (2.30)$$

де  $i$  – операція;

$n$  – кількість операцій;

$j$  – операційний стіл;

$k$  – відділення;

$d_{ijk}$  – призначення операції  $i$  на операційний стіл  $j$  відділення  $k$ ;

$d_{jk}$  – призначення операційного столу  $j$  відділенню.

Обмеження приведені у формулі 2.31 спрямовані на забезпечення проведення операцій для інфікованого пацієнта не більше одного разу для кожного операційного столу.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r x_{ijk} * h_{ij} \leq 1, \forall j, \quad (2.31)$$

де  $i$  – операція;

$n$  – кількість операцій;

$r$  – кількість турів;

$k$  – тур;

$h_{ij}$  – призначення операції  $i$  для інфікованого пацієнта на операційний стіл  $j$ .

Обмеження приведенне у формулі 2.32 спрямоване на забезпечення проведення операцій для інфікованого пацієнта лише останнім туром для операційного столу.

$$x_{ijk}^{h_{ij} \neq 1} < x_{ijl}^{h_{ij} = 1}, \forall i, \forall j, \forall k, \forall l, \quad (2.32)$$

де  $i$  – операція;

$k$  – тур операції для неінфікованого пацієнта;

$l$  – тур операції для інфікованого пацієнта;

$x_{ijk}$  – призначення операції  $i$  на операційний стіл  $j$  на тур  $k$ .

$h_{ij}$  – призначення операції  $i$  для інфікованого пацієнта на операційний стіл  $j$ ;

$x_{ijl}$  – призначення операції  $i$  на операційний стіл  $j$  на тур  $l$ .

Оскільки тривалість операцій фіксована, то необхідно скоректувати обмеження приведенне в формулі 2.9 з метою перевірки недопустимості більшої кількості операцій, ніж можливо. Скоректоване обмеження приведенне у формулі 2.33. З метою мінімізації відхилення між бажаним туром проведення операції та дійсним цільову функцію приведену у формулі 2.10.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r p_i x_{ijk} + u_{kj}^- - u_{kj}^+ \leq m * r, \forall j, \quad (2.33)$$

де  $i$  – операція;

$n$  – кількість операцій;

$k$  – тур;

$r$  – кількість турів;

$p_i$  – тривалість операції  $i$ ;

$j$  – операційний стіл;

$x_{ijk}$  – призначення операції  $i$  у операційну  $j$  на проміжок часу  $k$ ;

$u_{kj}^-$  – величина від'ємного відхилення від бажаного туру операційного столу  $j$  на тур  $k$ .

$u_{kj}^+$  – величина додатного відхилення від бажаного туру операційного столу  $j$  тур  $k$ ;

$m$  – кількість операційних столів.

### 2.3 Опис обраного існуючого методу вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій

Оскільки обрана у розділі 2.1 та модифікована у розділі 2.2 математична модель задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій є задачею цільового програмування то необхідно обрати метод для вирішення задачі цільового програмування.

Основними методами цільового програмування є:

- метод вагових коефіцієнтів;
- метод пріоритетів.

У методі вагових коефіцієнтів кожному з критеріїв присвоюється власний ваговий коефіцієнт, при цьому сума коефіцієнтів дорівнює одиниці. Недоліком даного методу є те, що вагові коефіцієнти підбираються суб'єктивно, в той час як невелике збільшення коефіцієнта робить істотний вплив на зміну значення цільової функції.

У методі пріоритетів  $n$  окремих цільових функцій сортуються в порядку важливості, потім по черзі вирішуються задачі з однією цільовою функцією, починаючи з задачі, що має найвищий пріоритет, і закінчуючи задачею, що має мінімальний пріоритет. У процесі вирішення послідовних задач рішення

задачі з цільовою функцією, що має нижчий пріоритет, не може погіршити отримані раніше рішення задач, що мають більш високий пріоритет [34].

Оскільки не існує чітко визначених вагових коефіцієнтів для задачі цільового програмування описаній у розділі 2.1 та модифікованій у розділі 2.2 було обрано метод пріоритетів.

Нижче перераховані обмеження та їх цільові функції задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій, описаної у розділі 2.2, за зменшенням пріоритету:

- обмеження, яке гарантує, що операції проводяться лише на операційних столах певного відділення, приведені у формулі 2.30;

- обмеження, яке гарантує, що операція для інфікованого пацієнта буде проведена лише один раз на операційному столі, приведені у формулі 2.31;

- обмеження, яке гарантує, що операція для інфікованого пацієнта проводиться останнім туром для операційного столу, приведені у формулі 2.32;

- обмеження, яке гарантує, що в склад операційної бригади включено від 1 до 4 хірургів, приведені у формулі 2.24;

- обмеження, яке гарантує, що в склад операційної бригади включено 1 анестезіолога, приведені у формулі 2.25;

- обмеження, які гарантують, що на певний тур члени операційної бригад будуть призначені на всі операційні столи не більше п'яти разів, приведені у формулах 2.26 та 2.27;

- обмеження, яке спрямоване на рівномірний розподіл операцій на операційних столах, приведе у формулі 2.28, цільова функція цієї мети приведена у формулі 2.12.

- цільова функція, спрямована на мінімізацію відхилень бажаних членів операційної бригади, приведена у формулі 2.29;

- цільова функція, спрямована на мінімізацію відхилень бажаних турів для операцій, приведена у формулі 2.12;

– обмеження, яке гарантує, що кількість операцій, які будуть проводитись не більша за можливу, приведене у формулі 2.33, цільова функція даного обмеження приведена у формулі 2.10.

#### 2.4 Модифікація обраного існуючого методу вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій

Оскільки метод цільового програмування з використанням пріоритетів не є самостійним методом виникає необхідність його модифікації з метою використання іншого методу для знаходження оптимальних значень для кожної цільової функції.

Оскільки більшість із приведених обмежень у модифікованій моделі цільового програмування для вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій приведених у розділі 2.2 має бінарний характер, то це дозволяє суттєво скоротити кількість переборів можливих варіантів для знаходження оптимального рішення.

Метод гілок та границь, описаний у розділі 1.3 є оптимальним рішенням для вирішення задач перестановок шляхом неповного перебору варіантів.

Модифікація методу гілок та границь для вирішення задачі комівояжера може бути використана для знаходження оптимальних рішень, при обмеженнях, що мають бінарний характер.

Алгоритм метода гілок та границь, для вирішення задачі комівояжера складається з наступних кроків.

Крок 1. Побудова вершин першого рівня. Для кожної вершини підрахувати оцінку нижньої (верхньої) границі. Продовжити гілкування для вершин, яким відповідає краще оцінка (максимальна або мінімальна).

Крок 2. Для всіх вершин  $i$ -го рівня ( $i = 2, 3, \dots$ ) підрахувати оцінку. Продовжити гілкування тієї висячої вершини рівня  $i$ ,  $i-1, \dots, 1$ , якій відповідає краща (максимальна або мінімальна) оцінка.

Крок 3. Дії, указані у кроці 2, повторювати, доки не буде отримано точне рішення на останньому рівні. Для нього підрахувати точне значення  $i$ . Якщо дане значення не гірше оцінок залишених висячих вершин, то знайдено оптимальне рішення. Якщо дане значення строго краще, то оптимальне рішення одне. Якщо значення функції для вершини для вершини останнього рівня не краще значення оцінок, залишених висячих вершин, то перейти до кроку 2.

Для того, що застосувати даний алгоритм для вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій описаної у розділі 2.2, необхідно модифікувати даний алгоритм роботи методу гілок та границь. Оскільки більшість обмежень мають бінарний характер, то пропонується на етапі гілкування відсіювати варіанти, що не відповідають даному обмеженню. Отже, модифікуємо даний алгоритм наступним чином.

Крок 1. Вибрати обмеження з пріоритетом  $p$ . Перевірити, чи відповідає дана операція  $i$ . Якщо відповідає – переходимо до обмеження  $p-1$ ,  $i$  повторюємо процедуру, якщо ні – відсіюємо дану гілку. Якщо обмежень не залишилось – перехід до кроку 2.

Крок 2. Для кожного варіанта  $i$ -го рівня ( $i = 2, 3, \dots$ ) підрахувати оцінку нижньою (верхньою) границі. Доки є варіанти продовжити гілкування того варіанту рівня  $i$ ,  $i-1, \dots, 1$ , що є кращим, та перейти до кроку 1.

Крок 3. Повторювати крок 2, доки не буде знайдено точного рішення на останньому рівні. Для нього підрахувати точно значення цільової функції. Якщо дане значення не гірше оцінок залишених варіантів, то знайдено оптимальне рішення. Якщо дане значення строго краще, то оптимальне рішення одне. Якщо значення функції останнього рівня не краще значень оцінок залишених варіантів, то перехід до пункту 2.

## 2.5 Висновки до розділу 2

У розділі 2.1 було обрано модель вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій на основі проведеного дослідження процесу формування розкладу хірургічних операцій Державної установи Інституту патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка у розділі 1.1 та оглянутих існуючих моделей та методів вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій у розділі 1.4. Було аргументовано вибір моделі цільового програмування, що була використана у [20].

У розділі 2.2 було модифіковано обрану у розділі 2.1 модель цільового програмування вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій, описано відмінності в термінології та скоректовано деякі та додано нові обмеження та цільові функції даних обмежень з урахуванням особливостей процесу формування розкладу проведення хірургічних операцій Державної установи Інституту патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка.

У розділі 2.3 було обрано метод вирішення задачі цільового програмування методом пріоритетів та вказаний пріорітезований перелік обмежень та цільових функцій задачі цільового програмування.

У розділі 2.4 було описано модифікацію обраного метода вирішення задачі цільового програмування обраного у розділі 2.3 з використанням модифікованого методу гілок та границь вирішення задачі комівояжера, який було модифіковано для вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій описаної у розділі 2.2.

### **3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ТА МЕТОДУ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ФОРМУВАННЯ РОЗКЛАДУ ХІРУРГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ**

#### **3.1 Опис сучасного стану автоматизації об'єкта дослідження**

Об'єкт дослідження даної роботи – процес формування розкладу хірургічних операцій є частково автоматизованим в результаті бакалаврської роботи на тему «Задача «Облік проведення медичних операцій» ІС медичного закладу».

Призначення задачі «Облік проведення медичних операцій» ІС медичного закладу є автоматизація обліку проведення медичних операцій та пов'язаних з нею задач.

В ході бакалаврської роботи було описано та проаналізовано обрані інформаційні технології, що були використані у вирішенні задачі обліку проведення медичних операцій, розроблено рішення з інформаційного, математичного та програмного забезпечені задачі «Облік проведення медичних операцій», було вибрано та обґрунтовано технічне забезпечення, розроблено методичні рекомендації щодо використання задачі «Облік проведення медичних операцій», синтезовано та описано рішення для задачі «Облік проведення медичних операцій» з інформаційного захисту від несанкціонованого доступу.

Під час розробки рішень з інформаційного забезпечення було вибрано інструменти та методології проектування бази даних (БД), розроблено логічну та фізичну схему даних задачі «Облік проведення медичних операцій», вибрано систему управління базами даних (СУБД) Microsoft SQL Server для реалізації фізичної схеми даних задачі «Облік проведення медичних операцій» та було проведено його обґрунтування [35]. Логічну та фізичну схеми даних задачі «Облік медичних операцій» приведено на рисунках 3.1 та 3.2 відповідно.

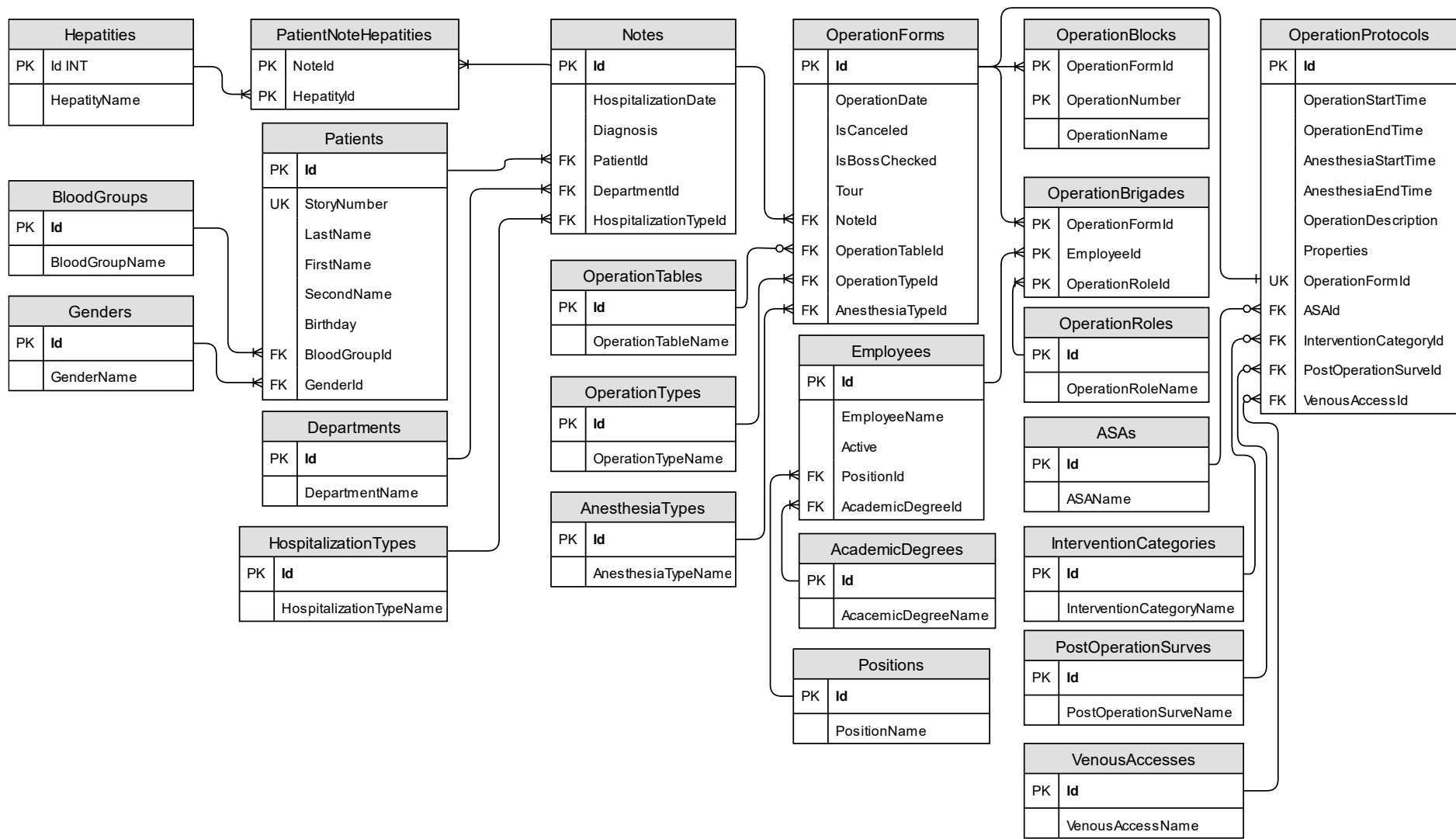


Рисунок 3.1 – Схема логічної структури бази даних задачі «Облік проведення медичних операцій»

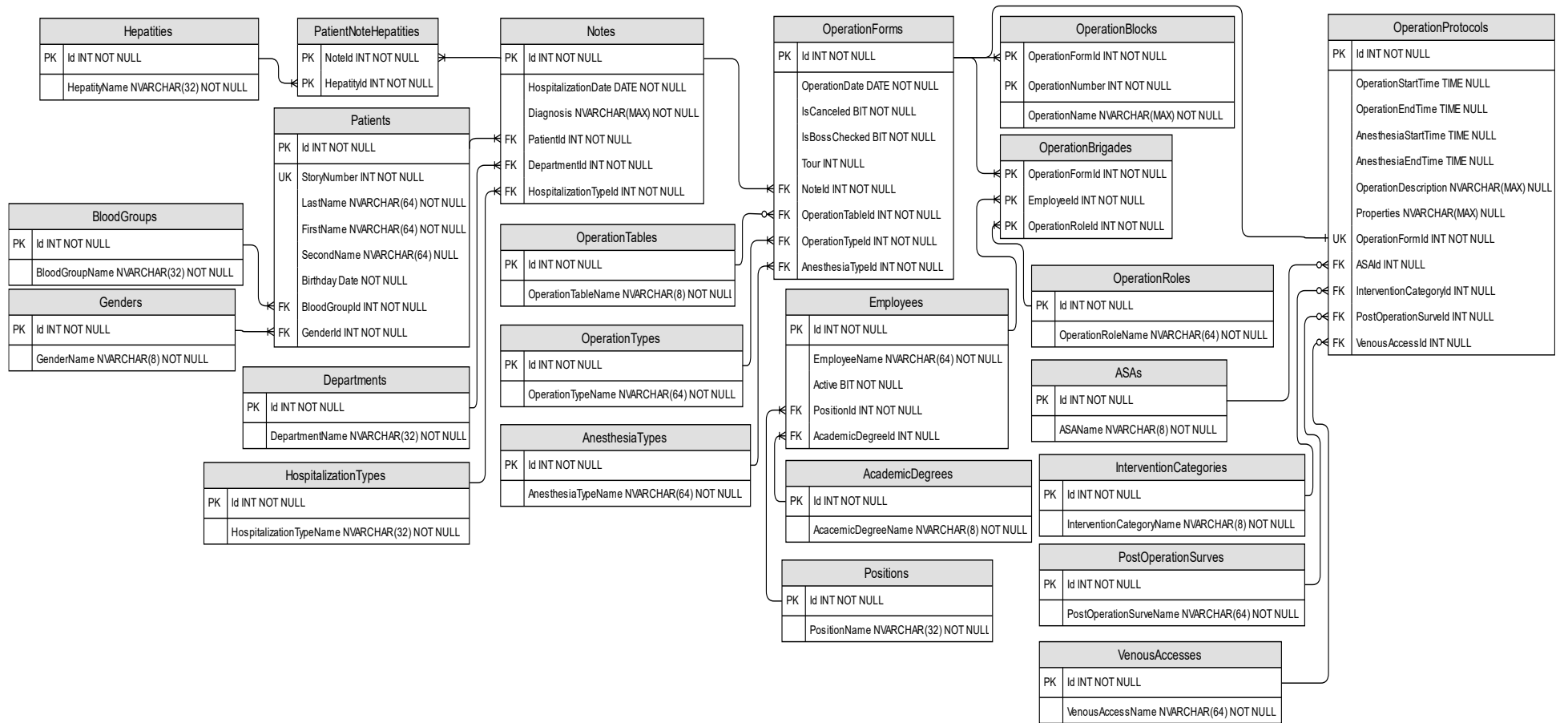


Рисунок 3.2 – Схема фізичної структури бази даних задачі «Облік проведення медичних операцій»

Під час розробки рішень з математичного забезпечення задачі «Облік проведення медичних операцій» було вибрано інструменти для розробки схеми роботи даної задачі та розроблено схему роботи задачі «Облік проведення медичних операцій».

Під час розробки рішень з програмного забезпечення задачі «Облік проведення медичних операцій» було вибрано технології розробки програмного забезпечення, три-ланкової Web-орієнтованою архітектурою «Клієнт – Сервер – Сервер БД» архітектури програмного забезпечення, мови програмування C#, середовища розробки .NET, способів для введення та виведення інформації та була розроблена програмна реалізація задачі «Облік проведення медичних операцій» [36]. Схема взаємодії програмних модулів задачі «Облік проведення медичних операцій» представлена на рисунку 3.3, а короткий їх опис в таблиці 3.1.

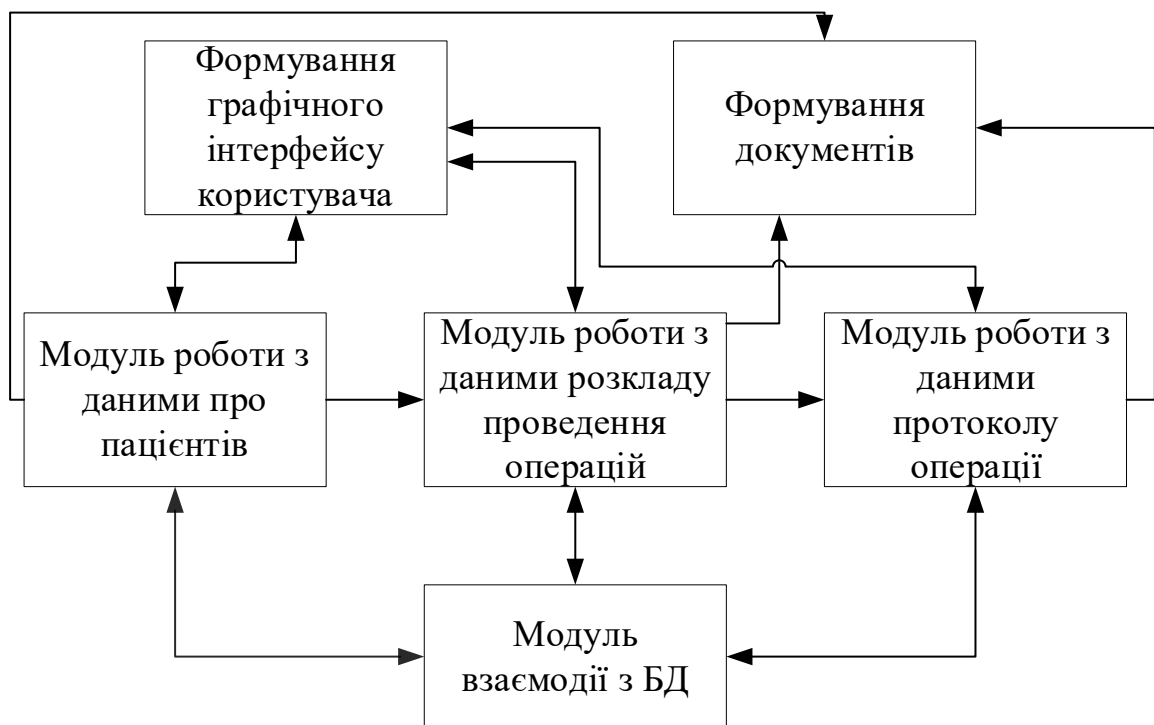


Рисунок 3.3 – Схема взаємодії описаних програмних модулів задачі «Облік проведення медичних операцій»

Таблиця 3.1 – Опис програмних модулів задачі «Облік проведення медичних операцій»

| Модуль  | Опис  |
|---|---|
| Модуль роботи з даними про пацієнтів                | Надає можливість створювати, зберігати і використовувати інформацію про пацієнтів                                       |
| Модуль роботи з даними розкладу проведення операцій | Надає засоби для підтримки ручного формування розкладу  |
| Модуль роботи з даними протоколу операцій           | Надає можливість створювати, зберігати і використовувати інформацію про протоколи операцій                              |
| Формування графічного інтерфейсу користувача        | Відповідає за формування екранних, заповнення їх даними для користувача та для зчитування даних, які вводить користувач |
| Формування документів                               | Відповідає за формування документів у форматі Microsoft Word  |
| Модуль взаємодії з БД                               | Реалізує взаємодію програмних компонентів з базою даних задачі  |

Було вибрано та обґрунтовано вибір пристроїв, що необхідні для функціонування задачі «Облік проведення медичних операцій» з урахування вимог роботи інформаційного, математичного та програмного забезпечень задачі «Облік проведення медичних операцій».

Під час розробки методичних рекомендацій щодо експлуатації задачі було розроблено рекомендації щодо впровадження задачі та її експлуатації співробітниками організації.

Описано рішення з інформаційного захисту задачі «Облік проведення медичних операцій» від несанкціонованого доступу, а саме описано заходи щодо резервного копіювання даних, захищених способів зберігання інформації, розроблено рішень з обмеження доступу для користування задачею.

Схема роботи реалізованого модуля роботи з даними розкладу проведення операцій приведена на рисунку 3.4.

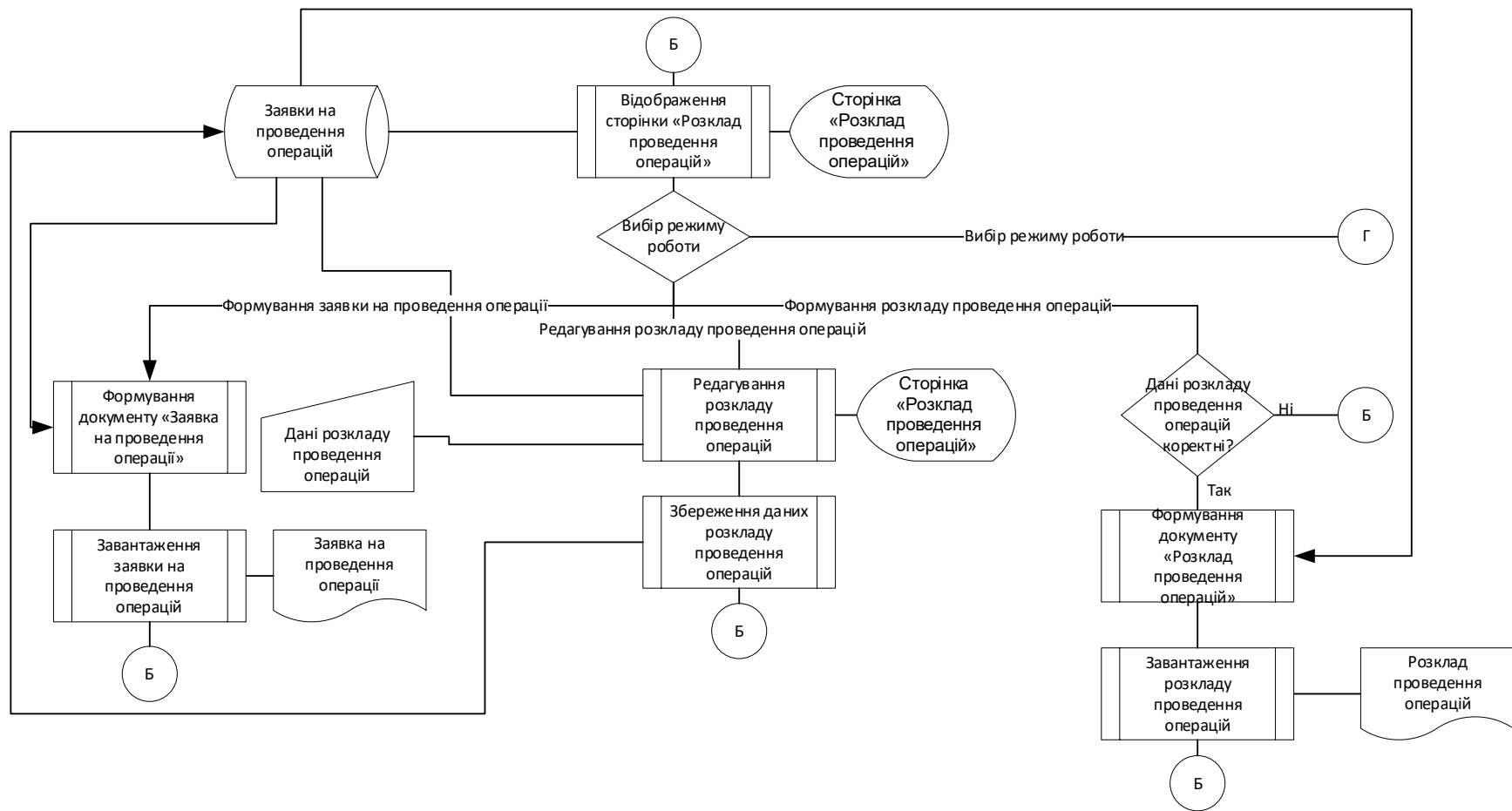


Рисунок 3.4 – Схема роботи модуля роботи з даними розкладу проведення операцій задачі «Облік проведення медичних операцій»

Отже, з таблиці 3.1 видно, що модуль роботи з даними розкладу проведення операцій надає засоби для підтримки ручного формування розкладу, тому, для реалізації автоматичного формування розкладу проведення хірургічних операцій необхідно лише замінити або доповнити новим функціоналом лише один модуль роботи з даними розкладу проведення операцій.

### 3.2 Розробка алгоритму вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій

З рисунку 3.4 видно, що формування розкладу проведення хірургічних операцій відбувається вручну, але з використанням графічного інтерфейсу користувача (ГІК), що був розроблений в рамках задачі «Облік проведення медичних операцій» ІС медичного закладу.

Отже, необхідно розробити алгоритм роботи задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій, який буде використовувати моделі та методи розглянуті у розділах 2.1-2.4 та їх модифікації з метою автоматичного вирішення задачі формування розкладу проведення медичних операцій.

Розроблений алгоритм автоматичного вирішення задачі формування розкладу проведення медичних операцій можна спростити, оскільки додаток, розроблений у рамках задачі «Облік проведення медичних операцій» ІС медичного закладу, вже реалізує деякі обмеження. Отже, розроблений алгоритм автоматичного вирішення задачі формування розкладу проведення медичних операцій має наступні кроки:

Крок 1. Завантаження даних заявок на проведення операцій.

Крок 2. Перевірка обмеження, яке гарантує, що операції проводяться лише на операційних столах певного відділення, приведені у формулі 2.30. Якщо хибність – перехід до кроку 3, якщо істина – перехід до кроку 5.

Крок 3. Перевірка чи є вільний стіл для даного відділення, якщо хибність – перехід до кроку 11, якщо істина – перехід до кроку 4.

Крок 4. Зміна операційного столу для операції та перехід до кроку 5.

Крок 5. Перевірка обмеження, яке гарантує, що операція для інфікованого пацієнта буде проведена лише один раз на операційному столі, приведені у формулі 2.31. Якщо хибність – перехід до кроку 3, якщо істина – перехід до кроку 6.

Крок 6. Перевірка обмеження, яке гарантує, що операція для інфікованого пацієнта проводиться останнім туром для операційного столу, приведені у формулі 2.32. Якщо хибність – перехід до кроку 7, якщо істина – перехід до кроку 8.

Крок 7. Призначити інфікованого пацієнта на останній тур для операційного столу та скоректувати інші тури для даного операційного столу.

Крок 8. Перевірка обмежень, які гарантують, що на певний тур члени операційної бригади будуть призначені на всі операційні столи не більше п'яти разів, приведені у формулах 2.26 та 2.27. Якщо хибність – перехід до кроку 9, якщо істина – перехід до кроку 10.

Крок 9. Перестановка членів операційної бригади.

Крок 10. Завершення формування розкладу. Збереження змін у БД.

Крок 11. Відмінити операцію.

Схема роботи описаного вище алгоритму приведена на рисунку 3.5.

Реалізація розробленого алгоритму дозволить автоматизовано вирішувати задачу формування розкладу проведення медичних операцій Державної установи Інституту патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка.

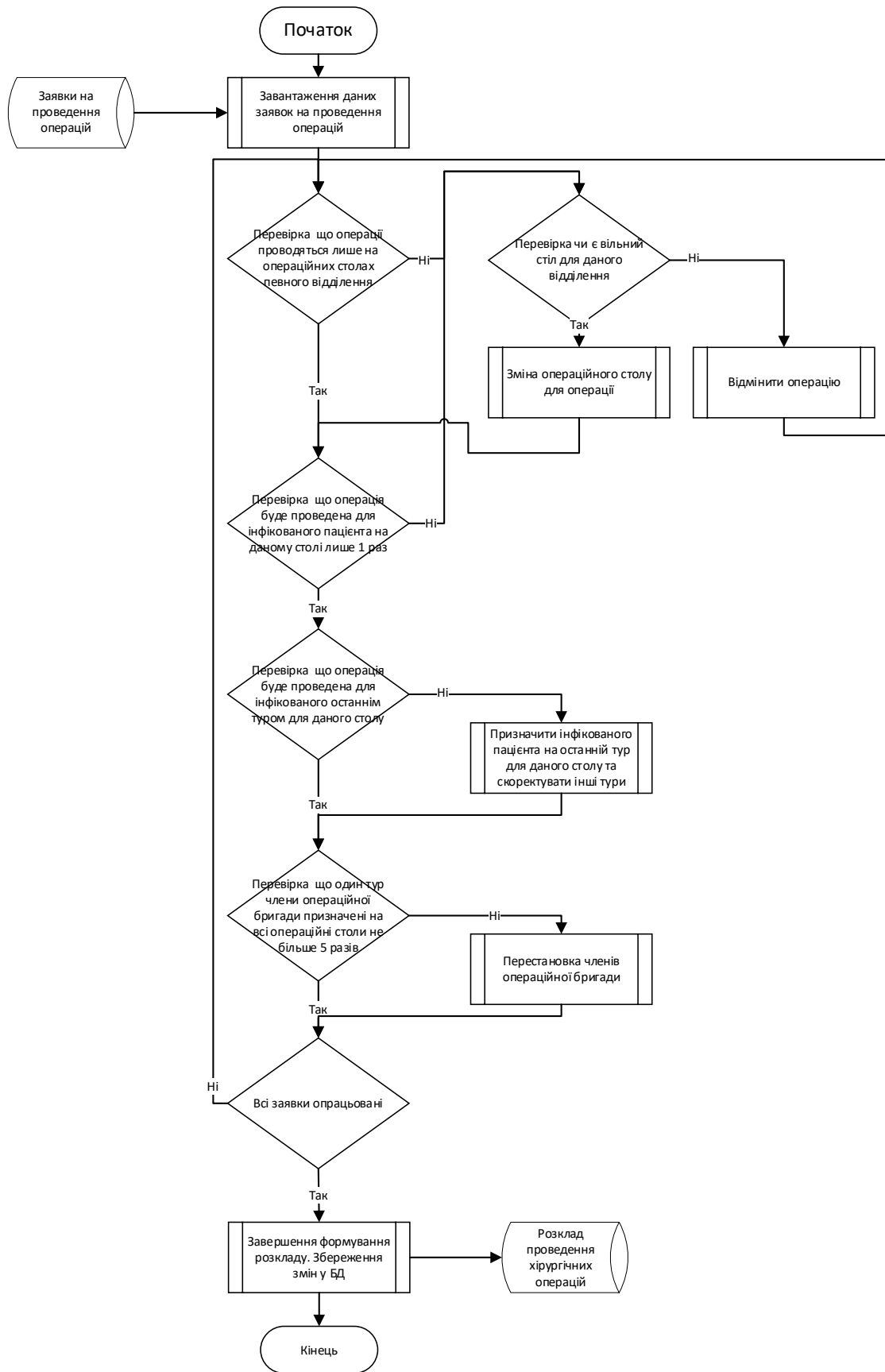


Рисунок 3.5 – Схема роботи алгоритму автоматизованого вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій

## **4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА РОЗРОБЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ФОРМУВАННЯ РОЗКЛАДУ ХІРУРГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ**

4.1 Опис вхідних даних для експериментальної перевірки розробленої технології вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій та проведення експерименту

Для проведення експерименту пропонується використати реальні дані заявок на проведення операцій. Використання саме реальних даних дозволить зробити об'єктивну оцінку перспективності застосування модифікованої моделі та методу формування розкладу проведення хірургічних операцій та розробленого і реалізованого алгоритму автоматичного вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій Державної установи Інституту патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка.

Зв'язок процесу формування розкладу проведення хірургічних операцій у Державній установі Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка приведений у розділі 1.1 та на рисунку 1.1. Головним вхідним документом для формування розкладу проведення хірургічних операцій є документ «Заявка на проведення операції». Задача створення заявок на проведення операцій реалізована у задачі «Облік проведення медичних операцій».

Опис структурних одиниць документу «Заявка на проведення операції» задачі «Облік проведення медичних операцій» приведений у таблиці 4.1.

Вхідні дані для експериментальної перевірки розробленої технології автоматизованого вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій приведені у таблиці 4.2.

Вихідні дані експериментальної перевірки розробленої технології автоматизованого вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій приведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.1 – Опис структурних одиниць документу «Заявка на проведення операції» задачі «Облік проведення медичних операцій»

| №  | Повне найменування        | Джерело інформації                             | Тип інформації | Загальна кількість символів | Формат представлення (приклад) | Спосіб введення   |
|----|---------------------------|--|----------------|-----------------------------|--------------------------------|---|
| 1  | 2                         | 3  | 4              | 5                           | 6                              | 7   |
| 1  | Дата госпіталізації       | БД задачі «Облік проведення медичних операцій» | Дата           | 10                          | dd.MM.yyyу                     | Запит до БД задачі «Облік проведення медичних операцій» |
| 2  | Відділення                |  | Символьний     | 32                          | Пат. суглобів                  |   |
| 3  | Прізвище                  |  | Символьний     | 64                          | Пупкін                         |   |
| 4  | Ім'я                      |  | Символьний     | 64                          | Василій                        |   |
| 5  | По батькові               |  | Символьний     | 64                          | Василійович                    |   |
| 6  | Номер історії хвороби     |  | Числовий       | 6                           | xxxxxx                         |   |
| 7  | Стать                     |  | Символьний     | 8                           | Ч                              |   |
| 8  | Вік                       |  | Числовий       | 3                           | 55                             |   |
| 9  | Група крові, резус фактор |  | Символьний     | 32                          | O(I) Rh нег                    |   |
| 10 | Діагноз                   |  | Символьний     | 16384                       | Зрощений перелом               |   |
| 11 | Гепатит                   |  | Символьний     | 64                          | Вірусний гепатит В             |   |

Кінець таблиці 4.1

| 1  | 2   | 3              | 4          | 5           | 6                              | 7  |
|----|---|----------------|------------|-------------|--------------------------------|--|
| 12 | Дата операції   | Зі слів лікаря | Дата       | 10          | dd.ММ.уууу                     | Клавіатура,<br>екранна<br>клавіатура                                   |
| 13 | Назва операції  |                | Символьний | 16384       | Ендопротезування<br>правого КС | Клавіатура,<br>екранна<br>клавіатура                                   |
| 14 | Вид операції  |                | Символьний | 64          | Первинна                       | Запит до БД<br>задачі<br>«Облік<br>проведення<br>медичних<br>операцій» |
| 15 | Операційний стіл  |                | Символьний | 8           | 1а                             |  |
| 16 | Тур операції  |                | Числовий   | 4           | 2                              |  |
| 17 | Вид анестезії   |                | Символьний | 64          | СА                             |  |
| 18 | Академічний ступінь,<br>прізвище та ініціали хірурга          |                | Символьний | 64          | проф. Вирва О.Є.               |  |
| 19 | Академічний ступінь,<br>прізвище та ініціали<br>асистента 1   |                | Символьний | 64          | Бєбіа Л.Б.                     |  |
| 20 | Академічний ступінь,<br>прізвище та ініціали<br>асистента 2   |                | Символьний | 64          | кнн. Гарбузняк<br>І.М.         |  |
| 21 | Академічний ступінь,<br>прізвище та ініціали<br>асистента 3   |                | Символьний | 64          | Пупкін А.В.                    |  |
| 22 | Академічний ступінь,<br>прізвище та ініціали<br>анестезіолога | Символьний     | 64         | Орлов Г. С. |                                |  |

Таблиця 4.2 – Вхідні дані для експериментальної перевірки розробленої технології автоматизованого вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій

| Дата       | Відділення    | Стіл | Тур | Прізвище | Інфекція         | Назва операції                    | Хірург               | Асистент 1        | Асистент 2       | Асистент 3 | Анестезіолог      |
|------------|---------------|------|-----|----------|------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|------------------|------------|-------------------|
| 1          | 2             | 3    | 4   | 5        | 6                | 7                                 | 8                    | 9                 | 10               | 11         | 12                |
| 28.09.2021 | Пат. Суглобів | 16   | 1   | Гресь    | –                | ТЕП правого кульшового суглобу... | дмн. Жигун А.І.      | Циганок І.В.      | Лікар-курсант    | –          | Маруф Ш.А.        |
| 28.09.2021 | Пат. Суглобів | 16   | 3   | Бондар   | –                | Біопсія вогнища фіброзної дисп... | кмн. Танькут О.В.    | –                 | –                | –          | Маруф Ш.А.        |
| 28.09.2021 | Дитяче        | 2а   | 1   | Бурлака  | –                | Шкірна пластика Іформування тр... | кмн. Гарбузняк І.М.  | Гриценко А.М.     | –                | –          | кмн. Волошин М.І. |
| 28.09.2021 | Дитяче        | 2а   | 1   | Шарій    | –                | Операція Страйера обох стоп....   | кмн. Кікош Г.В.      | Вінніков Є.І.     | Аль-Баяти Х А    | –          | кмн. Хмизов А.О.  |
| 28.09.2021 | Дитяче        | 2б   | 1   | Черський | –                | Монтаж ст АЗФ на праве передпл... | проф. Хмизов С.О.    | кмн. Пашенко А.В. | Лікар-курсант    | –          | кмн. Хмизов А.О.  |
| 28.09.2021 | Дитяче        | 2б   | 3   | Ханенко  | –                | Видалення кістково-хрящового е... | проф. Вирва О.Є.     | Гриценко А.В.     | Лікар-курсант    | –          | кмн. Хмизов А.О.  |
| 28.09.2021 | Вертебрал.    | 3    | 1   | Ляшенко  | Вірусний гепатит | Задній спондилодез L2-L3-L4-L5... | кмн. Чернишов О.Г.   | Тетянченко Р.М.   | кмн. Палкін О.В. | –          | кмн. Орлов Г.С.   |
| 28.09.2021 | Вертебрал.    | 3    | 2   | Гапон    | –                | Пункційна вертебропластика ті...  | кмн. Попов А.І.      | Гниря М.Ю.        | –                | –          | дмн. Лизогуб М.В. |
| 28.09.2021 | Вертебрал.    | 3    | 3   | Хижняк   | –                | Пункційна вертебропластика ті...  | кмн. Попов А.І.      | кмн. Барков О.О.  | Гниря М.Ю.       | –          | дмн. Лизогуб М.В. |
| 28.09.2021 | Вертебрал.    | 3    | 4   | Шиян     | –                | Пункційна вертебропластика тіл... | дмн. Скіданов А.Г.   | Гольбаум М.Б.     | –                | –          | кмн. Орлов Г.С.   |
| 28.09.2021 | Вертебрал.    | 4    | 1   | Пашук    | –                | Артроскопія, парціальна резекц... | кмн. Болховітін П.В. | Болховітін М.П.   | –                | –          | Клебек М.Г.       |

Кінець таблиці 4.2

| 1          | 2                  | 3  | 4 |         | 6 | 7                                    | 8                            | 9                            | 10                  | 11                         | 12                     |
|------------|--------------------|----|---|---------|---|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------|
| 28.09.2021 | Вертебрал.         | 4  | 2 | Сенюта  | – | Артроскопія,<br>парціальна резекц... | к.м.н.<br>Болховітін<br>П.В. | к.м.н.<br>Нестеренко<br>С.О. | Болховітін<br>М.П.  | –                          | Клебек М.Г             |
| 28.09.2021 | Невідкл.<br>Травм. | 5а | 1 | Братунь | – | Ендпротезування<br>лівого колінно... | проф. Вирва<br>О.Є.          | к.м.н.<br>Шевченко<br>І.В.   | Скорік<br>І.О.      | Ватаманни<br>ца Д.Б.       | Клебек М.Г.            |
| 28.09.2021 | Невідкл.<br>Травм. | 5а | 2 | Мацюра  | – | Видалення пухлини<br>правого лікт... | проф. Хмизов<br>С.О.         | Ватаманниц<br>а Д.Б.         | Губський<br>С.С.    | –                          | Згола І.А.             |
| 28.09.2021 | Пат.<br>Суглобів   | 5а | 3 | Васьків | – | Ендопротезування<br>лівого кульшо... | д.м.н.<br>Бондаренко<br>С.Є. | Баднауи<br>А.А.              | Нестеренк<br>о О.С. | к.м.н.<br>Арутюнян<br>З.А. | к.м.н. Лизогуб<br>К.І. |

Таблиця 4.3 – Вихідні дані експериментальної перевірки розробленої технології автоматизованого вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій

| Дата       | Відділення       | Стіл | Тур | Прізвище | Інфекція | Назва операції                          | Хірург                       | Асистент 1       | Асистент 2          | Асистент 3                 | Анестезіолог              |
|------------|------------------|------|-----|----------|----------|---|------------------------------|------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1          | 2                | 3    | 4   | 5        | 6        | 7                                       | 8                            | 9                | 10                  | 11                         | 12                        |
| 28.09.2021 | Пат.<br>Суглобів | 1а   | 1   | Васьків  | –        | Ендопротезування<br>лівого кульшо...    | д.м.н.<br>Бондаренко<br>С.Є. | Баднауи<br>А.А.  | Нестеренк<br>о О.С. | к.м.н.<br>Арутюнян<br>З.А. | к.м.н. Лизогуб<br>К.І.    |
| 28.09.2021 | Пат.<br>Суглобів | 1б   | 1   | Гресь    | –        | ТЕП правого<br>кульшового<br>суглобу... | д.м.н. Жигун<br>А.І.         | Циганок<br>І.В.  | Лікар-<br>курсант   | –                          | Маруф Ш.А.                |
| 28.09.2021 | Пат.<br>Суглобів | 1б   | 2   | Бондар   | –        | Біопсія вогнища<br>фіброзної дисп...    | к.м.н. Танькут<br>О.В.       | –                | –                   | –                          | Маруф Ш.А.                |
| 28.09.2021 | Дитяче           | 2а   | 1   | Бурлака  | –        | Шкірна пластика<br>Іформування тр...    | к.м.н. Гарбузняк<br>І.М.     | Гриценко<br>А.М. | –                   | –                          | к.м.н.<br>Волошин<br>М.І. |

Кінець таблиці 4.3

| 1          | 2               | 3  | 4 | 5        | 6                | 7                                 | 8                    | 9                    | 10               | 11                | 12                |
|------------|-----------------|----|---|----------|------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 28.09.2021 | Дитяче          | 2а | 2 | Шарій    | –                | Операція Страйера обох стоп....   | кнн. Кікош Г.В.      | Вінніков Є.І.        | Аль-Баяти Х А    | –                 | кнн. Волошин М.І. |
| 28.09.2021 | Дитяче          | 2б | 1 | Черський | –                | Монтаж ст АЗФ на праве передпл... | проф. Хмизов С.О.    | кнн. Пашенко А.В.    | Лікар-курсант    | –                 | кнн. Хмизов А.О.  |
| 28.09.2021 | Дитяче          | 2б | 2 | Ханенко  | –                | Видалення кістково-хрящового е... | проф. Хмизов С.О.    | Гриценко А.В.        | Лікар-курсант    | –                 | кнн. Хмизов А.О.  |
| 28.09.2021 | Вертебрал.      | 3  | 1 | Гапон    | –                | Пункційна вертебропластика ті...  | кнн. Попов А.І.      | Гниря М.Ю.           | –                | –                 | дмн. Лизогуб М.В. |
| 28.09.2021 | Вертебрал.      | 3  | 2 | Хижняк   | –                | Пункційна вертебропластика ті...  | кнн. Попов А.І.      | кнн. Барков О.О.     | Гниря М.Ю.       | –                 | дмн. Лизогуб М.В. |
| 28.09.2021 | Вертебрал.      | 3  | 3 | Шиян     | –                | Пункційна вертебропластика тіл... | дмн. Скіданов А.Г.   | Гольбаум М.Б.        | –                | –                 | кнн. Орлов Г.С.   |
| 28.09.2021 | Вертебрал.      | 3  | 4 | Ляшенко  | Вірусний гепатит | Задній спондилодез L2-L3-L4-L5... | кнн. Чернишов О.Г.   | Тетянченко Р.М.      | кнн. Палкін О.В. | –                 | кнн. Орлов Г.С.   |
| 28.09.2021 | Вертебрал.      | 4  | 1 | Пашук    | –                | Артроскопія, парціальна резекц... | кнн. Болховітін П.В. | Болховітін М.П.      | –                | –                 | Згола І.А.        |
| 28.09.2021 | Вертебрал.      | 4  | 2 | Сенюта   | –                | Артроскопія, парціальна резекц... | кнн. Болховітін П.В. | кнн. Нестеренко С.О. | Болховітін М.П.  | –                 | Згола І.А.        |
| 28.09.2021 | Невідкл. Травм. | 5а | 1 | Братунь  | –                | Ендпротезування лівого колінно... | проф. Вирва О.Є.     | кнн. Шевченко І.В.   | Скорік І.О.      | Ватаманни ца Д.Б. | Клебек М.Г.       |
| 28.09.2021 | Невідкл. Травм. | 5а | 2 | Мацюра   | –                | Видалення пухлини правого лікт... | проф. Вирва О.Є.     | Ватаманниц а Д.Б.    | Губський С.С.    | –                 | Клебек М.Г.       |

#### 4.2 Аналіз практичного використання модифікованої моделі та методу формування розкладу проведення хірургічних операцій

Як можна побачити у таблиці 4.2 у заявках на проведення операцій часто відбуваються випадки, коли вказуються неефективний та навіть невірний розподіл операцій між ресурсами клінічного підрозділу Державної установи Інституту патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка, тому необхідно було в рамках задачі «Облік проведення медичних операцій» ІС медичного закладу розробити модуль для роботи з даними розкладу проведення медичних операцій, що надає зручний графічний інтерфейс користувача для надання можливості відстежувати такий неефективний розподіл ресурсів між операціями і іноді навіть суперечливий. Часто такий неефективний розподіл призводить до суттєвих часових витрат на вирішення подібних проблем та конфліктів завідуючим відділення анестезіології та інтенсивної терапії, який є відповідальним за формування розкладу проведення медичних операцій у Державній установі Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка.

Розроблена інформаційна технологія автоматизованого вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій у Державній установі Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка дозволяє в автоматизованому режимі розв'язувати подібні задачі з оптимізації, що призводить до збільшення ефективності розподілу ресурсів клінічного підрозділу установи та зменшує часові витрати на вирішення подібних задач. А в медичній установі даний збережений час іноді може врятувати життя людині, при його ефективному використанні.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання даної кваліфікаційної роботи було проведено аналіз процесу формування розкладу проведення хірургічних операцій Державної установи Інституту патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка як об'єкта дослідження, існуючих моделей та методів вирішення задачі формування розкладу, ознайомлено з роботами інших науковців на тему формування розкладу проведення хірургічних операцій та було виявлено, що процес формування розкладу проведення хірургічних операцій не є стандартизованим та має певні відмінності навіть в медичних установах країн Європи та Америки, які достатньо інтенсивно використовують інформаційні технології, в тому числі в сфері охорони здоров'я. Це призводить до того, що дослідження на дану тематику є актуальним, тому що потребує як мінімум модифікації існуючих моделей та методів вирішення задачі формування розкладу, в тому числі з урахуванням специфіки процесу формування розкладу проведення хірургічних операцій.

Було проведено огляд існуючих МІС та інших інформаційних технологій на предмет можливості їх застосування для вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій, але було виявлено, що існуючі технології спрямовані в першу чергу на задачі прийому та обслуговування пацієнтів, а в другу – на формування графіку роботи лікарів та інших співробітників медичних закладів не надають функціоналу для автоматичного формування розкладу проведення хірургічних операцій.

На основі результатів цих досліджень поставлено задачу вибору існуючих моделей та методів вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій з множини оглянутих у [6-20] та їх модифікації з метою застосування для автоматизації об'єкта дослідження – процесу формування розкладу проведення хірургічних операцій у Державній установі Інституті патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка.

В ході даної роботи було модифіковано модель задачі цільового програмування, запропонованої у [20] для вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій, з метою можливості застосування даної моделі для вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій у Державній установі Інституті патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка. Також було запропоновано модифікацію методу пріоритетів та методу гілок та границь з метою розв'язання задачі з використанням модифікованої моделі. Було запропоновано модифікацію існуючої модифікації алгоритму гілок та границь для вирішення задачі комівояжера з метою спрощення розв'язання запропонованою моделі задачі формування розкладу проведення медичних операцій.

Для практичного застосування модифікованих моделі та методу було оглянуто сучасний стан автоматизації об'єкта дослідження, який був частково автоматизований в рамках задачі «Облік проведення медичних операцій». Грамотний розподіл модулів програмного забезпечення дозволив без зайвих зусиль для інтеграції реалізувати алгоритм вирішення задачі формування розкладу проведення медичних операцій запропонований у розділі 2.4.

Було проведено експеримент з використання заявок на проведення операцій, який показав, що реалізований алгоритм дозволяє більш ефективно розподілити ресурси клінічного підрозділу закладу та суттєво зменшити часові витрати на вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій.

Хоча розроблене рішення для вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій і є відносно ефективним, однак воно може бути покращене шляхом виявлення неявних залежностей, що дозволить підвищити ефективність вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки щодо розробки та оформлення кваліфікаційної роботи (для студентів усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 122 Комп'ютерні науки освітньо-професійної програми «Інформаційні управляючі системи та технології») / Упоряд.: Петров К.Е., Левикін В.М., Чалий С.Ф., Євланов М.В., Саєнко В.І., Міхнов Д.К., Міхнова А.В., Чала О.В. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 30 с.
2. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання, Чинний від 22.06.2015. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016, 26 с.
3. ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання».
4. IDEF0 – Function Modeling Method – IDEF URL: [http://www.idef.com/idefo-function\\_modeling\\_method](http://www.idef.com/idefo-function_modeling_method) (Дата звернення 02.10.2021).
5. Євланов, М. В., Корнеєва, Є. В., Формалізований опис візуальних представлень автоматизованого процесу. URL: <https://openarchive.nure.ua/handle/document/7805> (Дата доступу 06.10.2021)
6. Ozkarahan I. Allocation of Surgeries to Operating Rooms by Goal Programing. //Journal of Medical Systems. 2000. Vol. 24. no. 6. P. 339-378.
7. Marcon Eric, Kharraja Said, Simonnet Gerard. The operating theatre planning by the follow-up of the risk of no realization. International Journal of Production Economics. 2003. Vol. 85, no. 1. P. 83-90.
8. Dexter M.D., Macario M.D., Traub Rodney D. Which Algorithm for Scheduling Add-on Elective Cases Maximizes Operating Room Utilization? Use of Bin Packing // Anesthesiology. 2017. Vol. 91, no. 5. P. 1491.
9. Dexter F., Traub R.D., Macario A. How to Release Allocated Operating Room Time to Increase Efficiency: Predicting Which Surgical Service Will Have

the Most Underutilized Operating Room Time // *Anesthesia & Analgesia*. 2003. February. Vol. 96, no. 2. P. 507-512.

10. Erwin Hans, Gerhard Wullink, Mark Van Houdenhoven, Geert Kazemier Robust surgery loading // *European Journal of Operational Research*. 2008. Vol. 185, no. 3. P. 1038-1050.

11. Rodney D. How to Schedule Elective Surgical Cases into Specific Operating Rooms to Maximize the Efficiency of Use of Operating Room Time // *Anesthesia & Analgesia*. 2012. Vol. 94. P. 933–942.

12. Guinet Alain, Chaabane Sondes. Operating theatre planning // *International Journal of Production Economics*. 2013. Vol. 85, no. 1. P. 69-81.

13. Jebali Aida, Alouane Atidel B. Hadj, Ladet Pierre. Operating rooms scheduling // *International Journal of Production Economics*. 2006. Vol. 99, no. 1-2. — P. 52-62. *Control and Management of Productive Systems*

14. Pham Dinh-Nguyen, Klinkert Andreas. Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem // *European Journal of Operational Research*. 2018. Vol. 185, no. 3. P. 1011-1025.

15. Ogulata S.Noyan, Erol Rizvan. A Hierarchical Multiple Criteria Mathematical Programming Approach for Scheduling General Surgery Operations in Large Hospitals // *Journal of Medical Systems*. 2003. Vol. 27, no. 3. P. 259-270.

16. Testi Angela, Tanfani Elena. Tactical and operational decisions for operating room planning: Efficiency and welfare implications // *Health Care Management Science*. 2009. Vol. 12, no. 4. P. 363-373.

17. Cardoen Brecht, Demeulemeester Erik, Belien Jeroen. Sequencing surgical cases in a daycare environment: An exact branch-and-price approach // *Computers & Operations Research*. 2009. Vol. 36, no. 9. P. 2660-2669.

18. H. Fei, C. Chu, N. Meskens, A. Artiba Solving surgical cases assignment problem by a branch-and-price approach // *International Journal of Production Economics*. 2008. Vol. 112, no. 1. P. 96-108. *Special Section on Recent Developments in the Design, Control, Planning and Scheduling of Productive Systems*.

19. Fei H., Meskens N., Chu C. A Planning and scheduling problem for an operating theatre using an open scheduling strategy // *Computers & Industrial Engineering*. 2010. Vol. 58, no. 2. P. 221-230. — *Scheduling in Healthcare and Industrial Systems*.

20. Gür, Şeyda, Tamer Eren, and Hacı M. Alakaş 2019. "Surgical Operation Scheduling with Goal Programming and Constraint Programming: A Case Study" Mathematics 7, no. 3: 251.

21. Медичні інформаційні системи: завдання, можливості та розробка URL: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/medical-information-systems.html> (Дата звернення 16.10.2021).

22. Медицинская информационная система MEDODS URL: <https://medods.ru/> (Дата звернення 16.10.2021).

23. Medical Information System "MedElement" URL: <https://medelement.com/> (Дата звернення 16.10.2021).

24. переваги - Dr. ELEKSDr. ELEKS URL: <https://doctor.eleks.com/perevagi/> (Дата звернення 16.10.2021).

25. Медичні інформаційні системи в Україні – ЕМСІ URL: <https://emci.ua/> (Дата звернення 16.10.2021).

26. 19 Best Medical Scheduling Software of 2021 - Reviews, Pricing, Demos URL: <https://softwareconnect.com/medical-scheduling/> (Дата звернення 17.10.2021).

27. Luma Health | Medical Scheduling Software | 2021 Reviews, Pricing URL: <https://softwareconnect.com/medical-scheduling/luma-health/> (Дата звернення 17.10.2021).

28. PracticeSuite | 2021 Software Reviews, Pricing, Demos URL: <https://softwareconnect.com/medical-practice-management/practicesuite/> (Дата звернення 17.10.2021).

29. CareCloud Breeze | Medical Scheduling Software | 2021 Reviews, Pricing URL: <https://softwareconnect.com/patient-management/breeze/> (Дата звернення 17.10.2021).

30. Mend | Medical Scheduling Software | 2021 Reviews, Pricing URL: <https://softwareconnect.com/medical-scheduling/mend/> (Дата звернення 17.10.2021).

31. Epic | Electronic Medical Records (EHR) Software | 2021 Reviews URL: <https://softwareconnect.com/ehr/epic/> (Дата звернення 18.10.2021).

32. RXNT Electronic Health Records | 2021 Software Reviews, Pricing URL: <https://softwareconnect.com/ehr/rxnt/> (Дата звернення 18.10.2021).

33. Цвіркун О. А. Дослідження моделей та методів планування хірургічних операцій. 25-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. Матеріалів форуму. Т. 6. – Харків: ХНУРЕ. 2021. – 306 с.

34. Оптимізаційні методи та моделі в підприємницькій діяльності: Навчальний посібник. / Волонтир Л.О, Потапова Н.А., Ушкаленко І.М., І.А.Чіков., Вінницький національний аграрний університет. – Вінниця: ВНАУ, 2020 – 404 с.

35. Цвіркун О. А. Аналіз підходів проектування сховищ даних з урахування необхідності зберігання історії зміни даних. 24-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. Матеріалів форуму. Т. 6. – Харків: ХНУРЕ. 2020. – 306 с.

36. Цвіркун О. А. Інформаційна система обліку проведення медичних операцій. 23-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті». Зб. Матеріалів форуму. Т. 6. – Харків: ХНУРЕ. 2019. – 306 с.