

О.А. ЦВІРКУН

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВИРІШЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЗАДАЧІ «ФОРМУВАННЯ РОЗКЛАДУ ХІРУРГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ» У МЕДИЧНОМУ ЗАКЛАДІ

Виконано аналіз сучасного стану об'єкта дослідження – процесу формування розкладу хірургічних операцій Державної установи «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М. І. Ситенка НАМН України». Оглянуто існуючі варіанти задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій та методи їх вирішення. Запропоновано модифікацію моделі цільового програмування та методу її вирішення на основі методу пріоритетів. Проведено реалізацію та експериментальну перевірку отриманих результатів під час вирішення задачі формування розкладу хірургічних операцій.

1. 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. Одним з актуальних напрямів розвитку таких задач є створення на вимоги медичних закладів інформаційних продуктів, які б надавали можливість вирішення проблем, пов'язаних із складанням розкладу проведення хірургічних операцій.

Хоча ринок медичних інформаційних систем (МІС) в Україні розвивається, українські МІС спрямовані переважно на автоматизацію ряду стандартних та уніфікованих процесів, а саме: роботу реєстратури, ведення реєстру пацієнтів, ведення амбулаторної картки хворого, формування звітів, запису до лікаря, інших додаткових послуг. Існуючі комплексні МІС, зазвичай, складаються з окремих компонентів, які можна об'єднати у такі групи: аналітичні та управлінські компоненти, медичні компоненти, фінансово-економічні компоненти, компоненти обміну даними, загально-технічні компоненти [1]-[4]. Аналогічна ситуація існує і за межами України. Сучасні закордонні МІС, такі як Luma Health, PracticeSuite, Breeze, Mend, Epic Systems, RXNT тощо, орієнтовані в першу чергу на процеси, пов'язані з обліком та прийомом пацієнтів [5]-[11]. Існуючі у цих МІС функціональні модулі формування розкладу орієнтовані передусім на формування графіку роботи лікарів та прийому пацієнтів і не надають користувачам послуг з автоматизованого вирішення задачі формування розкладу проведення хірургічних операцій. Тому проведення досліджень, спрямованих на проектування та розробку окремих функціональних модулів та задач, спрямованих на автоматизоване формування розкладу проведення хірургічних операцій, є актуальним як для українських, так і для світових МІС.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми дослідження

Складання розкладів хірургічних операцій в медичних закладах є складною задачею, тому що доводиться враховувати велику кількість специфічних обмежень і вимог, найчастіше індивідуальних для кожної операції та кожного медичного закладу. Тому вирішення подібних задач залишається темою багатьох сучасних досліджень. Так, у [12] для цього пропонується модель цільового програмування, використання якої дозволяє створювати розклади, що якнайкраще відповідають потребам лікарні. Недоліком цієї моделі є те, що оптимальність створених розкладів досягається за рахунок мінімізації часу простою і понаднормової роботи хірургів і персоналу.

У [13] 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 розкладу хірургічних операцій з рівномірною заповненістю післяопераційних ліжок. Рівномірна заповненість післяопераційних ліжок досягається або змішаними методами цілочисельного програмування, що включають рішення задачі квадратичної оптимізації, або евристикою імітаційного відпалу [14], яка мінімізує загальну ймовірність нестачі кількості ліжок або, як альтернативу, загальну очікувану нестачу кількості ліжок.

У [15] розглянуто випадок, коли хірурги і пацієнти вибирають день операції, операція не відхиляється, а розклад проведення операцій коригується таким чином, щоб максимально підвищити ефективність використання операційної. Однак для цього випадку у [15] показано, що компромісні рішення, пов'язані із вивільненням часу, відмінного від найбільшого проміжку часу, виділеного на операцію, помітно знижують ефективність роботи операційного відділення.

У [16] розглянуто вирішення проблеми ліквідації великого навантаження для операційного відділення лікарні за умов призначення операцій і достатнього запланованого часу використання кожної операційної. Мета цього дослідження полягала в тому, щоб максимально використовувати ресурси операційних і звести до мінімуму ризик понаднормової роботи хірургів і скасування проведення операцій для пацієнтів. Було запропоновано різні конструктивні евристики і методи локального пошуку екстремуму, які використовують статистичну інформацію про тривалість операцій для досягнення ефекту портфолію і тим самим мінімізувати час простою операційних.

У [17] 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 розподіляти час використання операційної. Досліджено планування нової операції в операційній з використанням двох підходів до планування початку проведення операцій для пацієнтів: найраніший час початку та найпізніший час початку. Однак досягне поступове скорочення понаднормової роботи за рахунок отримання точної інформації про тривалість розгляду справ у цьому випадку становило лише кілька хвилин на операцію. Різниця між найранішим часом початку і найпізнішим часом початку також становила всього кілька хвилин для операційної.

У [18] розглянуто випадок, коли операції для декількох пацієнтів необхідно планувати для операційної зали на середньостроковий період (один або два тижні). Ця операційна зала складається з декількох операційних і однієї післяопераційної палати, в якій є кілька ліжок. Цілями в цьому випадку є задоволення потреб пацієнтів і підвищення ефективності використання ресурсів лікарні. У [18] основна увага приділяється першому кроку, тобто плануванню робіт операційної зали як прикладу складної NP-проблеми. Для евристичного вирішення цієї проблеми пропонується модель призначення з ресурсними можливостями і додатковими обмеженнями на часові проміжки. Шляхом інтегрування більшості обмежень у цільову функцію витрат, було розроблено модифікацію угорського методу для розрахунку планування робіт в операційній залі.

У [19] розглянуто двоетапний підхід до планування робіт у операційних приміщеннях. На першому етапі відбувається призначення хірургічних операцій в операційних приміщеннях. 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. Проведено порівняння двох можливих стратегій вирішення задачі формування розкладу проведення операцій: призначення операцій операційним приміщенням, отримане на першому етапі, не

переглядається (перша стратегія) та призначення операцій операційним приміщенням перевизначається, щоб бути менш обмеженим (друга стратегія).

У [20] розглянуто випадок, коли при плануванні хірургічних операцій розподіляються ресурси лікарні за окремими хірургічними операціями і визначається час проведення операцій. Для цього випадку пропонується новий підхід до планування, в якому використовується розширення задачі планування робочих місць, зване багаторежимним блокуючим виробничим цехом (multi-mode blocking job shop, ММВJS). За даним підходом ММВJS описується як задачі змішаного цілочисельного лінійного програмування і обумовлюється використання моделі ММВJS для планування додаткових операцій.

У [21] розглянуто випадок, коли обмежений персонал та обладнання в хірургічних службах вимагають ефективного використання цих ресурсів кількома групами хірургів. Для цього розроблено набір ієрархічних моделей математичного програмування з декількома критеріями для створення щотижневих розкладів роботи операційних. Цілями, що розглядаються в цих моделях, є максимальне використання місткості операційних, збалансований розподіл операцій між групами хірургів з урахуванням тривалості операцій і мінімізації часу очікування операцій пацієнтами.

У [22] оцінено вплив моделі лінійного цілочисельного програмування для вирішення проблеми планування роботи операційних з урахуванням точки зору пацієнта. Модель визначає, як упродовж заданого планового періоду розподіляти ці блоки часу між хірургічними підспеціальностями, тобто вирішує так звану задачу створення основного розкладу проведення хірургічних операцій (Master Surgical Schedule Problem, MSSP), разом із підмножинами пацієнтів для планових операцій, яких слід оперувати у межах кожного часового блоку, тобто вирішує задачу призначення хірургічних операцій (Surgical Case Assignment Problem, SCAP). Недоліком такого підходу є те, що при цьому важливим стає не кількість пацієнтів, яких можна вилікувати за певний період, а те, наскільки можна запобігти погіршенню стану пацієнтів або іншим негативним наслідкам, пов'язаним з надмірним часом очікування операції.

У [23] визначено багатокритеріальну цільову функцію, в якій мінімізовано пікове використання ліжок для відновлення пацієнтів, понаднормову роботу під час відновлення пацієнтів і порушення різних побажань пацієнтів і хірургів. Враховується також обмежена доступність ресурсів і необхідність прийняття медичних запобіжних заходів, таких як додаткове прибирання операційної після операції інфікованого пацієнта. Але для застосування цієї цільової функції у [23] запропоновано використовувати алгоритм динамічного програмування для вирішення проблеми цілеутворення, що збільшує обчислювальні витрати.

У [24] розглянуто вирішення проблеми розподілу хірургічних операцій, пов'язаної із розподілом набору хірургічних випадків за декількома багатofункціональними операційними залами з метою мінімізації загальних операційних витрат. Отримані результати обчислень показують, що запропонований для вирішення цієї проблеми у [24] підхід декомпозиції є перспективним і здатним вирішувати великі за обсягом задачі.

У [25] розглянуто розробку щотижневого розкладу проведення хірургічних операцій в операційній, де часові блоки зарезервовані для хірургів. Передбачається, що як операційні, так і місця в післяопераційній палаті є багатofункціональними, а цілі полягають в максимальному використанні операційних, мінімізації витрат на понаднормову роботу в операційній і мінімізації непередбаченого простою між хірургічними операціями. Отримані результати порівняні з кількома фактичними розкладами операцій у бельгійській університетській лікарні, де часові блоки були призначені або конкретним хірургам, або хірургічним спеціалізаціям на кілька місяців

наперед. Згідно з результатами порівняння, розклади проведення хірургічних операцій, отримані запропонованим способом, містять менший час простою між хірургічними операціями, значно вище завантаження операційних і передбачають менше понаднормових хірургічних операцій.

Мета задачі планування використання операційної, розглянута у [26], полягає в тому, щоб призначити операції для проведення в операційних у відповідні проміжки часу. Для цього в межах одного робочого дня було визначено блоки часу і встановлені обмеження для кожного блоку часу. Враховувалося тільки призначення операцій, в той час як ранжування операцій не бралось до уваги. Проблема вирішувалася за допомогою інтегрованих моделей програмування цілей і програмування обмежень. Було розглянуто декілька моделей планування роботи операційних.

У [27] пропонується евристика для послідовності проведення операцій, спрямована на мінімізацію піків використання ресурсів операційного блоку (surgical theater, ST), як до операції, так і після неї, з метою пошуку розкладів операцій, що максимізують кількість операцій, призначених для виконання в операційних (operating room, OR), при цьому мінімізуючи дисперсію інтервалів між операціями (Break-In Interval, BII). Такий підхід дозволяє збільшити пропускну здатність ST за тих самих ресурсів (персонал і обладнання).

Аналіз розглянутих публікацій дозволяє зробити такі висновки:

– з математичної точки зору задачу формування розкладу хірургічних операцій найчастіше розглядають як задачу упорядкування робіт;

– у задачі формування розкладу хірургічних операцій ресурси крім кількісних мають також обмеження, пов'язані з вимогами нормативів, спеціалізацією і просто людським фактором;

– особливістю задачі формування розкладу хірургічних операцій є априорно невідома тривалість кожної хірургічної операції (відомий лише порядок проведення операцій);

– у переважній більшості досліджень вирішення задачі планування проведення хірургічних операцій спрямовані на отримання результатів на вимоги конкретного медичного закладу, а не на створення типового рішення подібної задачі для різноманітних МІС;

– більшість досліджень, пов'язаних з задачею планування проведення хірургічних операцій, припадає на 2000-2015 роки, після даного періоду кількість досліджень даної задачі зменшується.

Базуючись на цих висновках, можна зробити припущення, що використання отриманих у попередніх дослідженнях рішень задачі формування розкладу хірургічних операцій для автоматизації формування розкладів роботи операційних у інших медичних закладах неможливе без внесення суттєвих змін у такі рішення. Внесення таких змін є, за своєю суттю, науково-прикладною проблемою, яка для свого вирішення вимагає проведення теоретичних та прикладних досліджень. Тому проблему даного дослідження слід сформулювати як науково-прикладну проблему розробки формальних основ та прикладної реалізації функціональної задачі «Формування розкладу хірургічних операцій» на вимоги конкретного медичного закладу.

3. Мета і задачі дослідження

Метою даної роботи є рішення функціональної задачі «Формування розкладу хірургічних операцій» (далі – задачі «Розклад») згідно з вимогами Державної установи (ДУ) «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М. І. Ситенка НАМН України».

Для досягнення даної мети необхідно вирішити такі задачі дослідження:

– модифікувати модель формування розкладу проведення хірургічних операцій з урахуванням характерних особливостей установи;

– обґрунтувати вибір методу вирішення задачі «Розклад»;

– визначити особливості реалізації запропонованих моделі та методу вирішення задачі

«Розклад»;

– експериментально перевірити отримані результати на даних установи, згідно з вимогами якої здійснювалося дослідження.

4. Матеріали і методи дослідження

4.1. Стисла характеристика об'єкта автоматизації та досліджуваної функціональної задачі

Об'єктом дослідження є процес формування розкладу хірургічних операцій Державної установи «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М. І. Ситенка НАМН України» (далі – об'єкт автоматизації, ОА). Під розкладом проведення хірургічних операцій тут і далі будемо розуміти документ «Розклад проведення операцій», який використовується у ОА.

Особливість задачі «Розклад» для ОА полягає у тому, що розклад формується на основі поданої лікарем заявки на проведення блоку операцій. Блок операцій – це перелік суворо послідовних операцій, які повинні бути виконані однією операційною бригадою для одного пацієнта. Операційна бригада – члени медичного персоналу, які проводять операцію. Операційна бригада складається з хірурга, асистентів хірурга, анестезіолога.

У поданій лікарем заявці на проведення операції вказані: дані про пацієнта, діагноз, назва відділення установи, назви операцій у блоці, операційний стіл, тур операції, склад операційної бригади. У заявці також вказується блок операцій, але, оскільки, це є нерозривна послідовність декількох операцій, що виконується однією і тією ж операційною бригадою протягом одного туру операцій, то далі розглядаємо блок операцій як одну операцію.

Заявка на проведення операції рецензується завідуючим 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 тощо. Операції проводяться у робочі дні тижня, окрім понеділка. Кожне відділення подає заявки на проведення операції переважно у своїх операційних, пов'язаних зі специфікою функціонування відділення. Якщо пацієнт інфікований, то операція для нього проводиться останньою на день.

Підготовка та вирішення задачі «Розклад» складається з таких процесів: процеси, пов'язані з прийомом пацієнта; процеси формування заявок на операції, якщо вони показані за медичними вимогами; процеси безпосереднього формування розкладу операцій; процеси формування протоколів операцій. Користувачами цієї задачі є: медсестра приймального відділення, що вносить дані про пацієнта 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 проведення операції. Основними функціями цієї задачі є: облік даних про пацієнтів, облік відомостей про госпіталізацію пацієнтів, облік заявок на проведення операції, формування розкладу хірургічних операцій, облік проведених операцій.

Таким чином, задачу «Розклад», яку слід розробити згідно з вимогами ОА, запропоновано віднести до задач часового планування сумісної роботи множини елементів складної системи, якою є ОА. Ця задача характеризується наявністю визначеної сукупності робіт, які треба виконати за умови обмежень часових, кадрових, матеріальних ресурсів.

4.2. Визначення припущень дослідження

Визначені особливості ОА та досліджуваної функціональної задачі вимагають розглянути моделі та методи вирішення задачі «Розклад», в яких враховуються побажання лікарів щодо порядку проведення операцій. Як основу вирішення задачі пропонується використати рішення, запропоновані у [26] для випадку, коли обмежений персонал та обладнання в хірургічних службах вимагають ефективного використання цих ресурсів кількома групами хірургів.

Зокрема, у [26] передбачено врахування побажань лікарів щодо порядку проведення операції. Основною метою вирішення задачі «Розклад» за [26] є підвищення якості надаваних послуг пацієнтам відповідно до запланованого графіка робіт в операційних.

Оскільки ОА, що розглядається в даному дослідженні, має свої особливості бізнес-процесів, пов'язаних з задачею «Розклад», і відрізняється від ОА, розглянутому у [26], то пряме використання отриманих у [26] рішень функціональної задачі неможливе. Тому перед початком робіт з модифікації цих рішень згідно з вимогами ОА введемо необхідні припущення.

По-перше, для ліквідації деяких відмінностей в термінології від тієї, що використовується у [26], введемо описи термінів, які використовуються у діяльності ОА:

- операційний стіл – операційна;
- тур – проміжок часу, протягом якого виконується операція; визначає порядковий номер операції, що проводиться на певному операційному столі;
- тур, вказаний в заявці на проведення операції, визначає бажаний час проведення операції;
- операційна бригада – медичний персонал, що проводить операцію; складається з хірурга, від одного до трьох асистентів та анестезіолога.

По-друге, введемо припущення, що проміжок часу, у який відбувається реальне проведення операції, не виходить за межі туру.

По-третє, для ліквідації невизначеності, яка виникає внаслідок відмінності ОА від медичного закладу, який досліджується у [26], введемо такі припущення:

- кількість операцій, які повинні бути проведені, є відомою, і надзвичайні ситуації не розглядаються;
- є достатня кількість співробітників і всі необхідні ресурси для виконання операцій;
- тривалість операцій вважається однаковою;
- номером операційного стола вважається поверх, на якому він розташований;
- якщо на поверсі більше одного операційного столу, то додається маленька літера українського алфавіту, яка вказує на порядковий номер на поверсі, наприклад, «1а», «1б».

5. Результати вирішення функціональної задачі «Формування розкладу хірургічних операцій» у медичному закладі

5.1. Результати модифікації моделі формування розкладу операцій

Як показано у підрозділі 4.1, ОА має власні особливості процесів, пов'язаних з задачею «Розклад», і відрізняється від медичного закладу, розглянутого у [26]. Тому було запропоновано модифікувати запропоновану у [26] модель. З цією метою спочатку було визначено множину значень, які можуть приймати змінні модифікованої моделі. Так, змінна x_{ijk} , яка описує факт призначення i -ї операції на j -й операційний стіл на k -й тур, буде приймати такі значення:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i\text{-та операція призначена на } j\text{-й} \\ \text{операційний стіл на } k\text{-й тур} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases}, \forall i, \forall j, \forall k. \quad (1)$$

Змінна y_{jkp} , яка описує факт призначення p -го члена операційної бригади на j -й операційний стіл на k -й тур, буде приймати такі значення:

$$y_{jkp} = \begin{cases} 1, \text{ якщо на } j\text{-й операційний стіл на } k\text{-й тур призначений} \\ p\text{-й член операційної бригади,} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases} \forall j, \forall k, \forall p. \quad (2)$$

Змінна z_{jp} , яка описує факт призначення p -го члена операційної бригади на j -й

операційний стіл, буде приймати такі значення:

$$z_{jp} = \begin{cases} 1, \text{ якщо на } j\text{-й операційний стіл призначений} \\ p\text{-й член операційної бригади,} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases} \quad \forall j, \forall p. \quad (3)$$

Оскільки кожне відділення ОА проводить операції переважно на своїх операційних столах, необхідно ввести такі додаткові змінні:

$$D_{lj} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } l\text{-те відділення проводить} \\ \text{операції на } j\text{-му операційному столі, } \forall l, \forall j, \\ 0, \text{ у іншому випадку} \end{cases} \quad (4)$$

де D_{jl} – призначення j -го операційного столу l -му відділенню;

$$d_{ijl} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i\text{-та операція проводиться на} \\ j\text{-му операційному столі } l\text{-им відділенням, } \forall l, \forall j, \forall i, \\ 0, \text{ у іншому випадку} \end{cases} \quad (5)$$

де d_{ijl} – призначення i -ї операції на j -й операційний стіл l -му відділенню.

Оскільки операція може проводитись для пацієнта, який може бути інфікованим, необхідно ввести таку додаткову змінну h_{ij} :

$$h_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i\text{-та операція проводиться для інфікованого} \\ \text{пацієнта на } j\text{-му операційному столі} \\ 0, \text{ у іншому випадку} \end{cases} \quad \forall i, \forall j, \quad (6)$$

де h_{ij} – призначення i -ї операції для інфікованого пацієнта на j -й операційний стіл.

Оскільки тривалість проведення i -ї операції не є детермінованою величиною, вважаємо, що умовно тривалість операцій однакова. Дана умова має вигляд:

$$t_i = 1, \forall i, \quad (7)$$

де t_i – тривалість i -ї операції.

Особливістю ОА є можливість працювати на кожному операційному столі у певний тур не більше чотирьом різним хірургам. Це обмеження має такий вигляд:

$$1 \leq \sum_{j=1}^m \sum_{s=1}^S y_{jks} \leq 4, \forall k, \quad (8)$$

де j – ідентифікатор операційного стола, $j=1, \dots, m$; s – ідентифікатор хірурга, $s=1, \dots, S$; y_{jks} – призначення на j -й операційний стіл на k -й тур; s -го хірурга.

Роль анестезіолога у операційній бригаді може виконувати лише анестезіолог. Відповідне обмеження має такий вигляд:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{a=1}^A y_{jka} = 1, \forall k, \quad (9)$$

де a – ідентифікатор анестезіолога, $a=1, \dots, A$; y_{jka} – призначення на j -й стіл на k -й тур a -го анестезіолога.

На певний тур члени операційних бригад будуть призначені на всі операційні столи, але на кожен стіл – не більше максимальної кількості членів операційної бригади. Цю вимогу слід описати такими обмеженнями:

$$\sum_{j=1}^m y_{jkr} \leq P, \forall k, \forall r, \quad (10)$$

де y_{jkr} – призначення на j -й операційний стіл на k -й тур r -го члена операційної бригади $r=1, \dots, P$ (P – максимальна кількість членів операційної бригади);

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} \leq M * y_{jkp}, \forall j, \forall k, \forall p, \quad (11)$$

де i – ідентифікатор операції, $i = 1, \dots, n$; x_{ijk} – призначення i -ї операції на j -й операційний стіл на k -й тур; M – деяке достатньо велике число [28]; y_{jkp} – призначення на j -й операційний стіл на k -й тур p -го члена операційної бригади.

Розподіл усіх операцій на всіх операційних столах повинен припускати мінімальні відхилення від даних, вказаних у заявці. Відповідне обмеження буде мати вигляд:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K x_{ijk} + (k_j^- - k_j^+) \leq K, \forall j, \quad (12)$$

де k – номер тура, $k = 1, \dots, K$; x_{ijk} – призначення i -ї операції на j -й операційний стіл на k -й тур; k_j^- – величина від'ємного відхилення від бажаного розподілу турів на j -му операційному столі; k_j^+ – величина додатного відхилення від бажаного розподілу турів на j -му операційному столі.

Від'ємні k_j^- і додатні k_j^+ відхилення слід звести до мінімуму. Відповідна цільова функція буде мати вигляд:

$$\sum_{j=1}^m (k_j^- + k_j^+) \rightarrow \min \quad (13)$$

де k_j^- – величина від'ємного відхилення від бажаного розподілу турів для j -го операційного столу; k_j^+ – величина додатного відхилення від бажаного розподілу турів для j -го операційного столу.

Необхідно також мінімізувати відхилення номеру туру проведення операції від бажаного для члена операційної бригади. Відповідна цільова функція буде мати вигляд:

$$\sum_{p=1}^P (r_p^+ + r_p^-) \rightarrow \min \quad , \quad (14)$$

де r_p^+ – величина додатного відхилення номеру туру проведення операції від бажаного для p -го члена операційної бригади; r_p^- – величина від'ємного відхилення номеру туру проведення операції від бажаного для p -го члена операційної бригади.

Проведення операцій кожним окремим відділенням може відбуватися лише на призначених для цього відділення операційних столах. Відповідне обмеження задачі буде мати вигляд:

$$\sum_{i=1}^n d_{ijl} * D_{lj} = \sum_{i=1}^n d_{ijl}, \forall j, \forall l, \quad (15)$$

де d_{ijl} – призначення i -ї операції на j -й операційний стіл l -му відділенню; D_{lj} – призначення l -му відділенню j -го операційного столу.

Проведення операцій для інфікованого пацієнта протягом робочого дня може відбуватися не більше одного разу для кожного операційного столу. Відповідне обмеження буде мати вигляд

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K x_{ijk} * h_{ij} \leq 1, \forall j, \quad (16)$$

де x_{ijk} – призначення i -ї операції на j -й операційний стіл на k -й тур; h_{ij} – призначення i -ї операції для інфікованого пацієнта на j -й операційний стіл.

Проведення операцій для інфікованого пацієнта бажано здійснювати лише в останньому турі для операційного столу. Відповідне обмеження буде мати вигляд:

$$k^H < k^L \quad , \quad (17)$$

де k^H – тур операції для неінфікованого пацієнта за умови $x_{ijk} * h_{ij} \neq 1$; x_{ijk} – призначення i -ї операції на j -й операційний стіл на k -й тур; h_{ij} – призначення i -ї операції для інфікованого пацієнта на j -й операційний стіл; k^I – тур операції для інфікованого пацієнта за умови $x_{ijk} * h_{ij} = 1$.

Оскільки тривалість операцій фіксована, то необхідно ввести обмеження з метою перевірки недопустимості планування більшої кількості операцій для операційного столу в день, ніж це можливо. Це обмеження має вигляд

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K x_{ijk} \leq K, \forall j. \quad (18)$$

Необхідно також мінімізувати відхилення між бажаним та дійсним номерами туру проведення операції. Відповідна цільова функція має вигляд:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^m (u_{kj}^- + u_{kj}^+) \rightarrow \min, \quad (19)$$

де u_{kj}^- – величина від'ємного відхилення від номеру бажаного туру на k -му турі j -го операційного столу; u_{kj}^+ – величина додатного відхилення від номеру бажаного туру на k -му турі j -го операційного столу.

Необхідно також мінімізувати відхилення дійсного номера j -го операційного столу проведення операції від бажаного для p -го члена операційної бригади. Відповідна цільова функція буде мати вигляд

$$\sum_{p=1}^P z_{jp} + p_j^- - p_j^+ \rightarrow \min, \quad (20)$$

де p_j^- – величина від'ємного відхилення дійсного номера j -го операційного столу від бажаного для p -го члена операційної бригади; p_j^+ – величина додатного відхилення дійсного номера j -го операційного столу від бажаного для p -го члена операційної бригади.

5.2. Обґрунтування вибору методу вирішення задачі «Формування розкладу хірургічних операцій»

Оскільки модифікована математична модель (1)-(20) задачі «Розклад» є багатокритеріальною задачею цільового програмування, необхідно обрати метод для вирішення такої задачі.

Класичними методами вирішення багатокритеріальних задач цільового програмування є [28]:

- метод вагових коефіцієнтів;
- метод пріоритетів.

У методі вагових коефіцієнтів кожному з критеріїв призначається 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 істотно впливає на зміну значення цільової функції [28].

У методі пріоритетів n окремих цільових функцій сортуються к 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 послідовного вирішення задач рішення задачі з цільовою функцією, що має нижчий пріоритет, не може погіршити отримані раніше рішення задач, що мають вищий пріоритет [28].

Оскільки для модифікованої моделі задачі не існує чітко визначених вагових коефіцієнтів, було запропоновано обрати для вирішення задачі метод пріоритетів.

Цільові функції для модифікованої моделі (1)-(20) за зменшенням пріоритету впорядковані таким чином:

- цільова функція (13);
- цільова функція (14);
- цільова функція (19);
- цільова функція (20).

Обмеження даних цільових функцій за зменшенням пріоритету впорядковані таким чином:

- обмеження (15);
- обмеження (16);
- обмеження (17);
- обмеження (8);
- обмеження (9);
- обмеження (10)-(11);
- обмеження (12);
- обмеження (18).

Оскільки метод цільового програмування з використанням пріоритетів не є самостійним методом, необхідно його адаптувати з метою використання іншого методу для знаходження оптимальних значень для кожної цільової функції. Більшість із наведених обмежень у модифікованій моделі (1)-(20) має бінарний характер. Це дозволяє суттєво скоротити кількість переборів можливих варіантів для знаходження оптимального рішення за рахунок використання методу гілок та границь для вирішення задачі комівояжера. Такий метод може бути використаний для знаходження оптимальних рішень при обмеженнях, що мають бінарний характер.

Для того, щоб застосувати зазначений метод гілок та границь для вирішення задачі «Розклад», пропонується модифікувати його згідно з особливостями вказаної задачі. Зокрема, було запропоновано на етапі гілкування відсіювати варіанти, що не відповідають встановленому обмеженню. Результат даної адаптації представимо як послідовність таких кроків.

Крок 1. Вибрати обмеження з пріоритетом ω . Перевірити, чи відповідає i -та операція цьому обмеженню. Якщо відповідає, то перейти до обмеження з пріоритетом $\omega-1$ і повторити процедуру, якщо ні – відсіяти дану гілку. Якщо обмежень не залишилось, то перейти до кроку 2.

Крок 2. Для кожного варіанта β -го рівня ($\beta = 2,3,\dots$) підрахувати оцінку нижньої/верхньої границі. Якщо є варіанти для продовження гілкування варіанту рівня β , $\beta-1, \dots, 1$, то вибрати найкращий з них та перейти до кроку 1. Повторювати крок 2, доки не буде знайдено точного рішення на останньому рівні.

Крок 3. Для отриманого точного рішення підрахувати точне значення цільової функції. Якщо дане значення не гірше оцінок остаточних варіантів, то вважати, що знайдено оптимальне рішення. Якщо дане значення строго краще, то оптимальне рішення одне. Якщо значення функції останнього рівня не краще значень оцінок остаточних варіантів, то перейти до кроку 2.

5.3. Визначення особливостей реалізації моделі та методу вирішення задачі «Формування розкладу хірургічних операцій»

Базуючись на отриманих результатах розробки моделі (1)-(20) та обґрунтуванні вибору методу вирішення задачі «Розклад», було розроблено алгоритм вирішення цієї функціональної задачі. Цей алгоритм запропоновано представити як послідовність таких кроків.

Крок 1. Завантаження даних заявок на проведення операцій.

Крок 2. Перевірка обмеження (15), яке гарантує, що операції проводяться лише на операційних столах певного відділення. Якщо умова не задовольняється, то перехід до кроку 3, якщо задовольняється – перехід до кроку 5.

Крок 3. Перевірка, чи є вільний стіл для даного відділення. Якщо ні, то перехід до кроку 11, якщо так, то перехід до кроку 4.

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

Крок 5. Перевірка обмеження (16), яке гарантує, що операція для інфікованого пацієнта буде проведена лише один раз на операційному столі. Якщо умова не виконується, то перехід до кроку 3, в іншому випадку – перехід до кроку 6.

Крок 6. Перевірка обмеження (17), яке гарантує, що операція для інфікованого пацієнта проводиться в останньому турі для операційного столу. Якщо ні, то перехід до кроку 7, якщо так, то перехід до кроку 8.

Крок 7. Призначення інфікованого пацієнта на останній тур на операційний стіл та коректування інших турів для даного операційного столу.

Крок 8. Перевірка обмежень (10)-(11), які гарантують, що на певний тур члени операційних бригад будуть призначені на всі операційні столи, у кількості не більше п'яти на кожний стіл. Якщо ні, то перехід до кроку 9, якщо так, то перехід до кроку 10.

Крок 9. Перепризначення членів операційної бригади на операційні столи.

Крок 10. Завершення формування розкладу. Збереження змін у базі даних. Завершення вирішення задачі.

Крок 11. Відміна операції. Якщо залишилися нерозглянуті заявки, то перехід до кроку 2. В іншому випадку – перехід до кроку 10.

Слід зазначити, що в наведеному алгоритмі розглядаються не всі елементи моделі (1)-(20). Це обумовлене тим, що на ОА автором даного дослідження вже реалізовано і впроваджено функціональну задачу «Облік проведення медичних операцій» інформаційної системи медичного закладу, в межах якої відбувалася перевірка окремих обмежень.

Під час розробки рішень з інформаційного забезпечення розроблюваної задачі було запропоновано взяти за основу розроблену логічну та фізичну схему даних задачі «Облік проведення медичних операцій». Для реалізації фізичної схеми даних було обгрунтовано вибір СУБД Microsoft SQL Server [29]. Логічну схему даних задачі наведено на рис. 1.

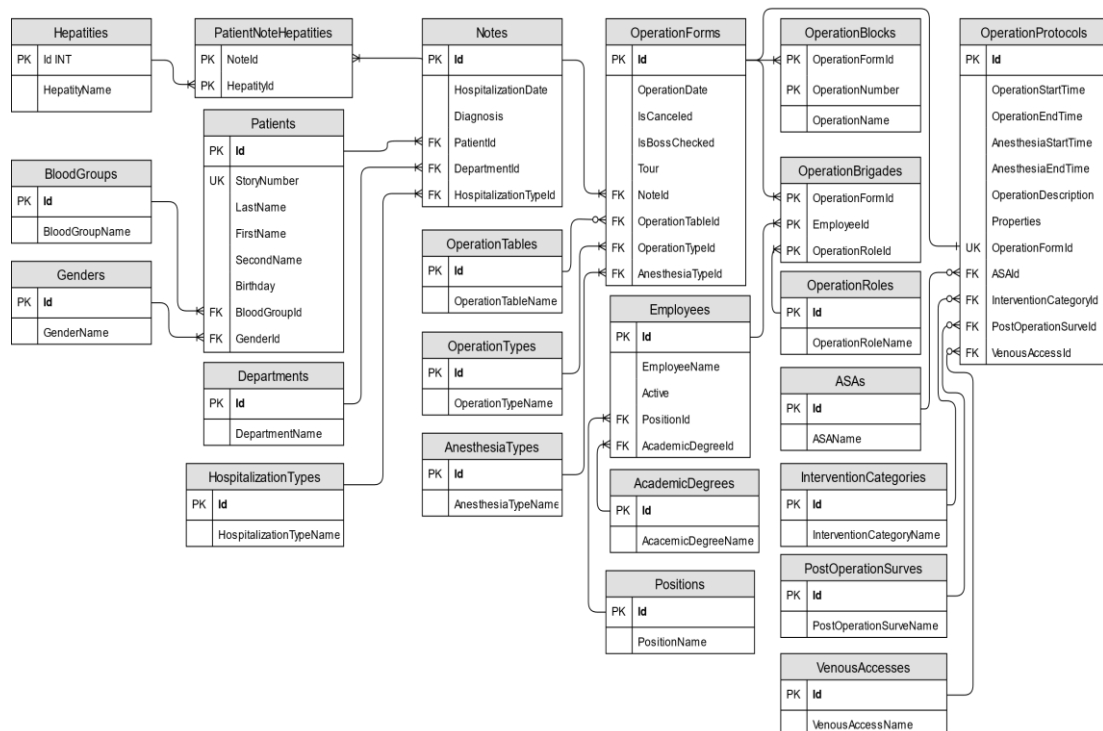


Рис. 1. Схема логічної структури бази даних задачі «Облік проведення медичних операцій»

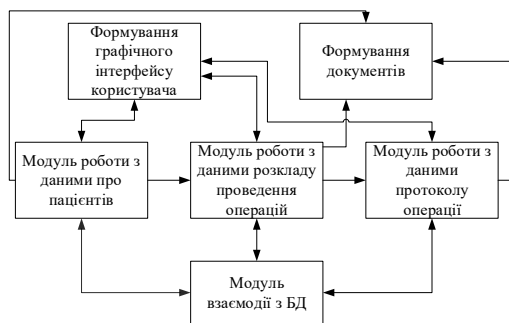


Рис. 2. Схема взаємодії програмних модулів задачі «Облік проведення медичних операцій»

Схема взаємодії програмних модулів задачі «Облік проведення медичних операцій» представлена на рис. 2, а її стислий опис наведено в табл. 1, з якої 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 було запропоновано не розробляти окреме програмне забезпечення функціональної задачі «Розклад», а доповнити новими функціями лише один цей модуль.

Таблиця 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 форм, 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 базою даних	Реалізує взаємодію програмних компонентів з базою даних задачі

5.4. Експериментальна перевірка отриманих результатів

Для проведення експериментальної перевірки роботи задачі використано реальні дані заявок на проведення операцій. Використання саме реальних даних дозволить зробити об'єктивну оцінку перспективності застосування модифікованої моделі та методу формування розкладу хірургічних операцій та розробленого і реалізованого алгоритму автоматичного вирішення задачі «Розклад» ОА. З метою захисту персональних даних прізвища пацієнтів та членів операційної бригади були змінені.

Головним вхідним документом для задачі «Розклад» є документ «Заявка на проведення операції». Функція створення заявок на проведення операцій реалізована у раніше розробленій і впровадженій на ОА функціональній задачі «Облік проведення медичних операцій». На основі даних з прикладів заявок сформовано рядки табл. 2.

У документі «Розклад проведення операцій» використовуються такі скорочення для назв відділень:

- відділення патології суглобів – «Пат. суглобів»;
- дитяче відділення – «Дитяче»;
- відділення вертебрології – «Вертеброл.»;
- відділення невідкладної травматології – «Невідкл. травм.».

Таблиця 2
Вхідні дані для експериментальної перевірки розробленої технології автоматизованого вирішення задачі «Формування розкладу хірургічних операцій»

Дата	Відділення	Стіл	Тур	Прізвище Ініціали	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 Р. В.	–	ТЕП правого кульшового суглоба ендоскопічним методом «Arskar»	д.м.н. Дуб А.І.	Вахній І.В.	Лікар-курсант	–	Василик Ш.А.
28.09.2021	Пат. суглобів	16	3	Бондар Н.М.	–	Біопсія вогнища фіброзної дисплазії правої стопи ендоскопічним методом	к.м.н. Харчук О.В.	–	–	–	Василик Ш.А.
28.09.2021	Дитяче	2а	1	Бурлака С.С.	–	Шкірна пластика і формування трьохпалої кисті	к.м.н. Магійко І.М.	Юзвенко А.М.	–	–	к.м.н. Духота М.І.
28.09.2021	Дитяче	2а	1	Шарій А.І.	–	1. Операція Страйера обох стоп 2. Операція Еванса обох стоп з кістковою пластиною	к.м.н. Березюк Г.В.	Ємченко Є.І.	Вірченко Х.А.	–	к.м.н. Мацько А.О.
28.09.2021	Дитяче	2б	1	Черський Р.А.	–	Монтаж ст. АЗФ на праве передпліччя, коригуюча резекція 1/3 променевої кістки	проф. Мацько С.О.	к.м.н. Зайчук А.В.	Лікар-курсант	–	к.м.н. Мацько А.О.

Кінець таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28.09.2021	Дитяче	26	3	Ханенко М.С.	–	Видалення кістково-хрящового екзостозу з проксимального відділу лівої стегнової кістки	проф. Ушкаленко О.Є.	Юзвенко А.В.	Лікар-курсант	–	к.м.н. Мацько А.О.
28.09.2021	Вертебрал.	3	1	Ляшенко В.Ф.	Вір. гепатит	Задній спондилодез L2-L3-L4-L5, ламінектомія L5-L5, фасетектомія L2-L3, L3-L4	к.м.н. Іжак О.Г.	Рябоштан Р.М.	к.м.н. Степанюк О.В.	–	к.м.н. Шарко Г.С.
28.09.2021	Вертебрал.	3	2	Гапон В.Б.	–	Пункційна вертебропластика тіла Т8 хребця кістковим цементом «Sunicem IG» фірми «Mathys»	к.м.н. Ромашко А.І.	Білоконь М.Ю.	–	–	д.м.н. Залужний М.В.
28.09.2021	Вертебрал.	3	3	Хижняк Д.О.	–	Пункційна вертебропластика тіла Т6 хребця кістковим цементом «Sunicem IG» фірми «Mathys»	к.м.н. Ромашко А.І.	к.м.н. Сопронюк О.О.	Білоконь М.Ю.	–	д.м.н. Залужний М.В.
28.09.2021	Вертебрал.	3	4	Шиян О.В.	–	Пункційна вертебропластика тіл грудних хребців кістковим цементом «VFIX DH»	д.м.н. Вітренко А.Г.	Усенко М.Б.	–	–	к.м.н. Шарко Г.С.
28.09.2021	Вертебрал.	4	1	Пашук	–	Артроскопія, парціальна резекція медіального меніска лівого колінного суглоба	к.м.н. Яроцький П.В.	Яроцький М.П.	–	–	У сик М.Г.
28.09.2021	Вертебрал.	4	2	Сенюга Л.А.	–	Артроскопія, парціальна резекція медіального меніска, ендоскопічне відновлення ПХЗ правого колінного суглоба	к.м.н. Яроцький П.В.	к.м.н. Пирож С.О.	Яроцький М.П.	–	У сик М.Г.
28.09.2021	Невідкл. травм.	5а	1	Братунь А.Й.	–	Ендопротезування лівого колінного суглоба	проф. Ушкаленко О.Є.	к.м.н. Черненко І.В.	Юркевич І.О.	–	У сик М.Г.
28.09.2021	Невідкл. травм.	5а	2	Мацора О.В.	–	Видалення пухлини правого ліктьового суглоба	проф. Мацько С.О.	Мінько Д.Б.	Римарук С.С.	–	Філь І.А.
28.09.2021	Паг. суглобів	5а	3	Васьків О.В.	–	Ендопротезування лівого кульшового суглоба ендопротезом «United»	проф. Мацько С.О.	Ілленко А.А.	Пирож О.С.	–	к.м.н. Залужний К.І.

Як можна побачити у табл. 2, у заявках на проведення операцій часто відбуваються випадки, коли вказується неефективний та навіть невірний розподіл операцій між ресурсами клінічного підрозділу ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка НАМН України». Зокрема, було виявлено такі недоліки:

– для операції, призначеної відділенню «Пат. суглобів», було вказано операційний стіл «5а», на якому проводить операції відділення невідкладної травматології. Скоріше за все, це спричинено людським фактором і необхідно вказати стіл «1а», на якому проводить операції відділення патології суглобів. Цей приклад демонструє порушення умови (15);

– для операційного столу «1б» надійшли заявки на тури 1 і 3;

– для операційного столу «2а» надійшло дві заявки на проведення операції у тур 1;

– для операційного столу «2б» надійшли заявки на тур 1 і 3;

– для операційного столу «3» надійшла заявка для проведення операції для інфікованого пацієнта на тур 1, це порушує умову (17), оскільки є інші заявки на проведення операцій для цього операційного столу.

Часто такий неефективний розподіл призводить до суттєвих часових витрат на вирішення подібних проблем та конфліктів персоналу з відповідальним за формування розкладу проведення медичних операцій у ОА.

Результати експериментальної перевірки як вихідні дані, які було сформовано в результаті застосування розробленої реалізації задачі «Розклад», наведено у табл. 3.

6. Обговорення результатів дослідження

З усього розмаїття моделей формування розкладу хірургічних операцій було обрано варіант, який передбачав можливість ефективного використання часових ресурсів медичного закладу кількома групами хірургів. На основі цього варіанту було модифіковано модель формування розкладу хірургічних операцій ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М. І. Ситенка НАМН України». Результати модифікації враховують особливості, які є характерними саме для даного ОА.

Розроблена модифікація моделі (1)-(20) дозволяє використати світовий досвід для автоматизації вирішення задачі «Розклад», не упускаючи з уваги і особливості, які є унікальними саме для цього ОА.

Розглянуті елементи реалізації вирішення задачі «Розклад» у ДУ «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка НАМН України» дозволяє в автоматизованому режимі вирішувати цю задачу як оптимізаційну. Отримані рішення призводять до збільшення ефективності розподілу ресурсів клінічного підрозділу ОА та зменшують витрати часу на вирішення цієї задачі.

Головним недоліком отриманих результатів дослідження слід вважати умову (7), за якою тривалість операцій вважається під час вирішення задачі однаковою. Насправді тривалість навіть однакових за характером операцій для різних пацієнтів може розрізнятися між собою. Іншим недоліком слід визнати базування отриманих результатів модифікації моделі на неявному припущенні про доступність усіх ресурсів на момент запланованого проведення операції. Існує відмінна від нуля ймовірність того, що окремі ресурси (персонал, операційні столи тощо) можуть бути визнані недоступними для використання у проміжок часу між формуванням розкладу операцій та виконанням запланованої операції. Подібні події приводять до необхідності повторного вирішення усієї задачі «Розклад» замість внесення мінімально необхідних змін.

Виходячи із зазначених недоліків, пропонується розглядати такі подальші перспективи проведення досліджень із подальшого вдосконалення запропонованого вирішення задачі «Розклад» у медичному закладі:

Таблиця 3
 Вихідні дані, які було сформовано в результаті застосування розробленої реалізації задачі «Формування розкладу хірургічних операцій»

Дата	Відділення	Стіл	Тур	Прізвище Ініціали	Інфек- ція	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	1а	1	Васьків О. В.	–	Ендопротезування лівого кульшового суглоба ендопро- тезом «United»	д.м.н. Щербак С.С.	Ілєнко А.А.	Пирож О.С.	–	к.м.н. Залужний К.І.
28.09. 2021	Пат. суглобів	16	1	Гресь Р. В.	–	ТЕП правого кульшового су- глоба ендопро- тезом «Askular»	д.м.н. Дуб А.І.	Вахній І.В.	Лікар- курсант	–	Василик Ш.А.
28.09. 2021	Пат. суглобів	16	2	Бондар Н.М.	–	Біопсія вогнища фіброзної дис- плазії правої сто- пи ендопротезом	к.м.н. Харчук О.В.	–	–	–	Василик Ш.А.
28.09. 2021	Дитяче	2а	1	Бурлака С.С.	–	Шкірна плас- тика і форму- вання трьохпа- лої кисті	к.м.н. Матійко І.М.	Юзвенко А.М.	–	–	к.м.н. Духота М.І.
28.09. 2021	Дитяче	2а	2	Шарій А.І.	–	1. Операція Страй- ера обох стоп 2. Операція Еванса обох стоп з кістко- вою пластикою	к.м.н. Березюк Г.В.	Ємченко Є.І.	Вірченко Х.А.	–	к.м.н. Духота М.І.

Кінцеві таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28.09.2021	Дитяче	26	3	Ханенко М.С.	–	Видалення кістково-хрящового екзостозу з проксимального відділу лівої стегнової кістки	проф. Мацько С.О.	Юзвенко А.В.	Лікар-курсант	–	к.м.н. Мацько А.О.
28.09.2021	Вертебрал.	3	2	Гапон В.Б.	–	Пункційна вертебропластика тіла Т8 хребця кістковим цементом «Synicem 1G» фірми «Mathys»	к.м.н. Ромашко А.І.	Білоконь М.Ю.	–	–	д.м.н. Залужний М.В.
28.09.2021	Вертебрал.	3	3	Хижняк Д.О.	–	Пункційна вертебропластика тіла Т6 хребця кістковим цементом «Synicem 1G» фірми «Mathys»	к.м.н. Ромашко А.І.	к.м.н. Сопронюк О.О.	Білоконь М.Ю.	–	д.м.н. Залужний М.В.
28.09.2021	Вертебрал.	3	4	Шиян О.В.	–	Пункційна вертебропластика тіл грудних хребців кістковим цементом «VFIX DH»	д.м.н. Вітренко А.Г.	Усенко М.Б.	–	–	к.м.н. Шарко Г.С.
28.09.2021	Вертебрал.	3	1	Ляшенко В.Ф.	Вір. гепатит	Задній спондилодез L2-L3-L4-L5, ламінектомія L5-L5, фасетектомія L2-L3, L3-L4	к.м.н. Іжак О.Г.	Рябоштан Р.М.	к.м.н. Степанюк О.В.	–	к.м.н. Шарко Г.С.
28.09.2021	Вертебрал.	4	1	Пащук Ю.О.	–	Артроскопія, парціальна резекція медіального меніска лівого колінного суглоба	к.м.н. Яроцький П.В.	Яроцький М.П.	–	–	Філь І.А.
28.09.2021	Вертебрал.	4	2	Сенюта Л.А.	–	Артроскопія, парціальна резекція медіального меніска, ендоскопічне відновлення ПХЗ правого колінного суглоба	к.м.н. Яроцький П.В.	к.м.н. Пирож С.О.	Яроцький М.П.	–	Філь І.А.
28.09.2021	Вертебрал.	5а	1	Братунь А.Й.	–	Ендопротезування лівого колінного суглоба	проф. Ушкаленко О.Є.	к.м.н. Черненко І.В.	Юркевич І.О.	–	Усик М.Г.
28.09.2021	Невідкл. травм.	5а	2	Мацора О.В.	–	Видалення пухлини правого ліктьового суглоба	проф. Ушкаленко О.Є.	Мінько Д.Б.	Римарук С.С.	–	Усик М.Г.

- проведення досліджень із вдосконалення модифікованої моделі (1)-(20) з врахуванням різної тривалості окремих видів операцій;
- розвиток отриманих результатів із врахуванням можливості відсутності або тимчасової недоступності окремих ресурсів, що виділяються для проведення операції.

7. Висновки

У ході даного дослідження було вирішено функціональну задачу «Формування розкладу хірургічних операцій» згідно з вимогами Державної установи «Інститут патології хребта та суглобів імені професора М.І. Ситенка НАМН України» як ОА. Під час вирішення цієї задачі було здійснено:

- модифікацію моделі (1)-(20) формування розкладу операцій як задачі цільового програмування, яка враховує особливості ОА;
- обґрунтування вибору методу пріоритетів та адаптацію методу гілок та границь як методів, що використовуються для вирішення задачі «Формування розкладу хірургічних операцій» у медичному закладі як задачі цільового програмування із бінарними обмеженнями;
- реалізацію алгоритмічного, інформаційного (рис. 1) та програмного (рис. 2, табл. 1) забезпечень зазначеної задачі;
- експериментальну перевірку отриманих результатів шляхом формування розкладу проведення хірургічних операцій ОА (табл. 3).

Перелік посилань:

1. Медичні інформаційні системи: огляд можливостей і приклади використання. URL: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/medical-information-systems.html> (дата звернення: 02.08.2024).
2. Medelement. URL: <https://medelement.com/> (дата звернення: 02.08.2024).
3. Переваги. *Doctor Eleks*. URL: <https://doctor.eleks.com/landings/perevagi> (дата звернення: 02.08.2024).
4. EMCImed. Медична інформаційна система. *EMCI*. URL: <https://emci.ua/products/emcimed/> (дата звернення: 02.08.2024).
5. The Best Medical Scheduling Software. *SoftwareConnect*. URL: <https://softwareconnect.com/medical-scheduling/> (дата звернення: 02.08.2024).
6. Luma Health. The Best Medical Scheduling Software. *SoftwareConnect*. URL: <https://softwareconnect.com/medical-scheduling/luma-health/> (дата звернення: 02.08.2024).
7. PracticeSuite. The Best Medical Scheduling Software. *SoftwareConnect*. URL: <https://softwareconnect.com/medical-practice-management/practicesuite/> (дата звернення: 02.08.2024).
8. Breeze. The Best Medical Scheduling Software. *SoftwareConnect*. URL: <https://softwareconnect.com/patient-management/breeze/> (дата звернення: 02.08.2024).
9. Mend. The Best Medical Scheduling Software. *SoftwareConnect*. URL: <https://softwareconnect.com/medical-scheduling/mend/> (дата звернення: 02.08.2024).
10. Epic Systems. The Best Medical Scheduling Software. *SoftwareConnect*. URL: <https://softwareconnect.com/chr/epic/> (дата звернення: 02.08.2024).
11. RXNT Electronic Health Records. The Best Medical Scheduling Software. *SoftwareConnect*. URL: <https://softwareconnect.com/chr/rxnt/> (дата звернення: 02.08.2024).
12. Ozkarahan I. Allocation of Surgeries to Operating Rooms by Goal Programing. *Journal of Medical Systems*. 2000. Vol. 24, No. 6. P. 339-378.
13. Marcon E., Kharraja S., Simonnet G. 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.
14. Henderson D., Jacobson S.H., Johnson A.W. The Theory and Practice of Simulated Annealing. Handbook of Metaheuristics. International Series in Operations Research & Management Science/ editors: Glover F., Kochenberger G.A. Springer, Boston, MA. 2003. Vol. 57. P. 287–319. https://doi.org/10.1007/0-306-48056-5_10
15. 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.
16. Hans E., Wullink G., Van Houdenhoven M., Kazemier G. Robust surgery loading. *European Journal of Operational Research*. 2008. Vol. 185, No. 3. P. 1038-1050.
17. 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.

18. Guinet A., Chaabane S. Operating theatre planning. *International Journal of Production Economics*. 2013. Vol. 85, No. 1. P. 69-81.
19. Jebali A., Hadj-Alouane A.B., Ladet P. Operating rooms scheduling. *International Journal of Production Economics*. 2006. Vol. 99, No. 1-2. P. 52-62.
20. Pham D.-N., Klinkert A.. Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*. 2018. Vol. 185, No. 3. P. 1011-1025.
21. Noyan O. S., Rizvan E. 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.
22. Testi A., Tanfani E. Tactical and operational decisions for operating room planning: Efficiency and welfare implications. *Health Care Management Science*. 2009. Vol. 12, No. 4. P. 363-373.
23. Cardoen B., Demeulemeester E., Belien J. Sequencing surgical cases in a daycare environment: An exact branch-and-price approach. *Computers & Operations Research*. 2009. Vol. 36, No. 9. P. 2660-2669.
24. Fei H., Chu C., Meskens N., Artiba A. Solving surgical cases assignment problem by a branch-and-price approach. *International Journal of Production Economics*. 2008. Vol. 112, No. 1. P. 96-108. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.08.030>
25. 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.
26. Gür Ş., Tamer E., Hacı M. A. Surgical Operation Scheduling with Goal Programming and Constraint Programming: A Case Study. *Mathematics*. 2019. V.7, No. 3. P. 251.
27. Bosch R., Trick M. Integer Programming. Search Methodologies / editors: Burke E., Kendall G. Springer, Boston, MA, 2014. P. 67-92. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6940-7_3.
28. Оптимізаційні методи та моделі в підприємницькій діяльності: Навчальний посібник / Волонтир Л.О., Потапова Н.А., Ушкаленко І.М., Чіков І.А. Вінниця: ВНАУ, 2020. 404 с.
29. Цвіркун О. А. Аналіз підходів проектування сховищ даних з урахування необхідності зберігання історії зміни даних. «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті»: матеріали XXIV Міжнар. молодіж. форуму. Харків: ХНУРЕ. 2020. Т. 6. С. 78-79.

Надійшла до редколегії 07.08.2024 р.

Цвіркун Олександр Анатолійович, здобувач вищої освіти, група САУМ-23-2, факультет інформаційно-аналітичних технологій та менеджменту, ХНУРЕ, м. Харків, Україна, e-mail: oleksandr.tsivirkun@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4380-7003>