

**ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ ПРОЦЕДУР  
МЕТОДАМИ: ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ, МУРАШИНИЙ АЛГОРИТМ  
ТА МЕТОД ГІЛОК І МЕЖ**

*(Представлено д.т.н., проф. Панішевим А.В.)*

*В статті наведені порівняння результатів експерименту складання розкладу процедур пацієнтами санаторію (на прикладі санаторію «Дениші» (Житомирська обл.)) за різноманітними методами (генетичний алгоритм, мурашиний алгоритм та метод гілок та меж) та алгоритмами (наприклад, генетичним алгоритмом), що були модифіковані автором для пошуку максимального паросполучення у дводольному графі та враховують обмеження сумісності. Експеримент порівняння методів проведено на обчислювальних платформах за допомогою авторського програмного продукту ICS\_DENISH. Оцінено часові витрати на виконання розрахунків та ефективність алгоритмів. В основі порівняльного обчислювального експерименту необхідність вибору алгоритму з найменшою обчислювальною складністю для прикладного використання його в санаторних закладах України.*

**Ключові слова:** *паросполучення; дводольний граф; генетичний алгоритм; метод гілок і меж; метод повного перебору.*

**Вступ. Постановка проблеми.** Санаторій «Дениші» (Житомирська обл.), як цільовий об'єкт дослідження, популярний у межах України. Основною рисою санаторію є безперервна модернізація комплексу послуг, лікувальних процедур та умов відпочинку і життя пацієнта. В санаторії оздоровлюється більше 500 пацієнтів на зміну (24 дні).

У санаторії розроблені певні комплекси лікувальних процедур, що розраховані на лікування чи профілактику тієї або іншої хвороби. Взагалі до послуг хворих надається близько 98 типів процедур. Серед них – використання радонової води, лікувальні грязі, зали лікувальної фізкультури, тренажерні зали, плавальний басейн, нетрадиційні методи лікування (голкорексфлексотерапія, магнітно-вакуумні банки, п'явки, аромотерапія), різні види масажу тощо. Їх вибір залежить від багатьох факторів: основного і супутнього захворювання, мозкового кровообігу, тривалості лікування, що може собі дозволити пацієнт тощо. Залежно від стану хворого, йому призначається по 5–7 видів процедур.

Згадуючи загальну кількість пацієнтів, які проходять лікування, та індивідуальний підхід до стану кожного пацієнта, стає зрозумілим, що складання розкладу процедур, який зміг би врахувати всі зазначені фактори, є для санаторію більш ніж актуальною проблемою. Основною вимогою до розкладу процедур є його гнучкість та швидкість формування.

У загальній постановці завдання складання розкладу приймання лікувальних процедур пацієнтами санаторію поширюється на велику кількість споріднених завдань складання оптимальних розкладів та може бути вирішена методами комбінаторної оптимізації [1], а також за допомогою теорії графів [2].

Шляхом модифікації класичної задачі теорії графів про паросполучення, прикладне завдання складання оптимального розкладу прийому лікувальних процедур пацієнтами санаторію може бути зведене до розширеної математичної задачі пошуку максимального паросполучення у дводольному графі [3, 4]. Задача про паросполучення може бути розв'язана як методом повного перебору всіх можливих варіантів, так і більш ефективними методами: мурашиним, генетичним алгоритмом, методом гілок і меж тощо.

**Аналіз останніх досліджень публікацій. Постановка завдання дослідження.** Метод повного перебору [5] належить до класу методів пошуку рішення вичерпування всіх варіантів. Складність повного перебору залежить від кількості можливих рішень, якщо простір рішень

дуже великий, тоді перебір може не дати очікуваний результат протягом великого проміжку часу. Будь-яка задача NP-класу може бути вирішена за методом повного перебору.

Мурашиний алгоритм [6] – один з ефективних поліноміальних алгоритмів для знаходження наближених розв'язань задачі комівояжера [7], а також аналогічних завдань пошуку маршрутів на графах. Суть підходу полягає в аналізі та використанні моделі поведінки мурах, що шукають шляхи від колонії до джерела живлення.

Генетичні алгоритми [8] дозволяють розв'язувати широке коло складних задач багатокритеріальної оптимізації шляхом випадкового підбору, комбінування та зміни параметрів моделювання способами, що подібні до біологічної еволюції (наслідування, мутація, відбір). Застосовують ці алгоритми й для розв'язку задач на графах. Існує досить багато модифікацій генетичних алгоритмів. Але всім їм властива універсальність. Тобто від задачі, що необхідно розв'язати, залежить визначення функції пристосованості й спосіб кодування рішень. Решта етапів генетичних алгоритмів виконується однаково для будь-яких завдань.

Метод гілок і меж [9] є загальним алгоритмічним методом розв'язання різноманітних оптимізаційних задач. Він широко застосовується для таких NP-повних задач, як задача комівояжера та задача про рюкзак. У методі гілок і меж використовуються дві процедури: розгалуження та знаходження оцінок (меж).

**Викладення основного матеріалу.** В основі порівняльного обчислювального експерименту є необхідність вибору алгоритму з найменшою обчислювальною складністю для прикладного використання його в санаторних закладах України.

Для досягнення мети експерименту необхідно:

1. Оцінити часові витрати на виконання розрахунків різними алгоритмами на обчислювальних платформах, що мають різні обчислювальні потужності: різну кількість ядер мікропроцесора, різний обсяг пам'яті тощо.

2. Обрати найбільш ефективний алгоритм розв'язання задачі складання розкладу приймання лікувальних процедур пацієнтами санаторію. Критерієм ефективності є мінімізація часу виконання розрахунків щодо пошуку найбільшого паросполучення у дводольному графі зі зникаючими дугами.

**Умови проведення експерименту.** Експеримент проводився на базі санаторію «Дениші» з використанням авторського проблемно-орієнтованого інструментарію – програми ICS\_DENISH. Програма має можливість розв'язання задачі складання розкладу проходження процедур пацієнтами санаторію п'ятьма алгоритмами: методом повного перебору, оптимальним алгоритмом розв'язання задачі пошуку максимального паросполучення у дводольному графі зі зникаючими дугами; модифікованим методом гілок і меж, модифікованим генетичним алгоритмом та модифікованим мурашиним алгоритмом розв'язання задачі про паросполучення зі зникаючими дугами.

Обчислювальний експеримент проведено на серії випадкових умов задачі, отриманих від реальних пацієнтів санаторію за часовою вибіркою. Характеристики комп'ютерів, що були використані для проведення експерименту, наведені в таблиці 1 та на рисунку 1.

Таблиця 1

*Характеристики комп'ютерів, що були використані  
для проведення порівняльного обчислювального експерименту*

Номер обчислювальної платформи	Назва мікропроцесора	Кіл-ть ядер	Тактова частота	Обсяг оперативної пам'яті ПЕОМ
1	Pentium 4	1	2,42 ГГц	512 МБ
2	Intel Celeron E3300	2	2,50 ГГц	2 ГБ
3	Intel Core i5-3570K	4	3,4 ГГц	4 ГБ

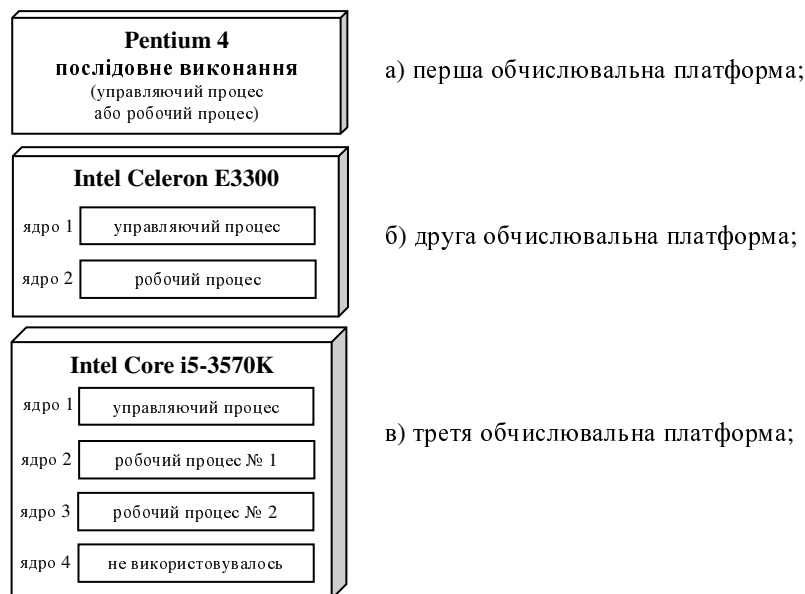


Рис. 1. Структура процесів, що були задіяні на різних обчислювальних платформах

**Вхідні та вихідні параметри.** Вхідні параметри експерименту (табл. 2) є випадковими та отримані від реальних пацієнтів санаторію за часовою вибіркою і обумовлені організаційною структурою санаторію «Дениші». Вхідні параметри були детермінованими, тобто реєстрованими і керованими (залежними від спостерігача), і випадковими, тобто реєстрованими, але некерованими.

Таблиця 2

Перелік вхідних параметрів обчислювального експерименту

Номер параметра	Позначка	Назва параметра	Тип параметра
1	к <sub>лп</sub>	Кількість лікувальних процедур	Детермінований
2	к <sub>п</sub>	Кількість пацієнтів	Випадковий
3	к <sub>пп</sub>	Кількість призначених процедур	Випадковий
4	С <sub>і, j</sub>	Обмеження прийому процедур	Детермінований

Відомі обмеження прийому лікувальних процедур (табл. 2) задаються множиною слідств  $C$ , таких, що  $(x_i, y_j) \rightarrow C_{i,j} = \{(x_{i_1}, y_{j_1}), \dots, (x_{i_k}, y_{j_k})\}$ . Ці обмеження враховують неможливість призначення однієї й тієї самої процедури різним пацієнтам на однаковий час (з урахуванням пропускнуої здатності процедурного кабінету), а також сумісність процедур. Крім того, враховують послідовність прийняття процедур (наприклад, деяка процедура має обов'язково передувати заданій множині інших процедур).

Вихідним параметром для проведення порівняльного обчислювального експерименту є час  $t_{\text{ВР}}$ , що витрачається на виконання розрахунків щодо складання розкладу приймання лікувальних процедур пацієнтами санаторію за допомогою програми ICS\_DENISH (рис. 2).

Пациент	Код процедури	Процедура	Дата	Індекс	Час початку
Білоусова В.А.	28	Тубус-кварц	04.11.2011	13	11:10
Мотрусь Т.І.	124	Масаж	01.11.2011	5	10:40
Мотрусь Т.І.	124	Масаж	02.11.2011	5	10:40
Мотрусь Т.І.	124	Масаж	03.11.2011	5	10:40
Мотрусь Т.І.	124	Масаж	04.11.2011	5	10:40
Мотрусь Т.І.	124	Масаж	07.11.2011	5	10:40
Мотрусь Т.І.	124	Масаж	08.11.2011	5	10:40
Гільметдинова Д.А.	88	Профілактор "Євмінова	01.11.2011	11	12:30
Гільметдинова Д.А.	88	Профілактор "Євмінова	02.11.2011	11	12:30
Гільметдинова Д.А.	88	Профілактор "Євмінова	03.11.2011	11	12:30
Гільметдинова Д.А.	88	Профілактор "Євмінова	04.11.2011	11	12:30
Гільметдинова Д.А.	88	Профілактор "Євмінова	07.11.2011	11	12:30
Гільметдинова Д.А.	88	Профілактор "Євмінова	08.11.2011	11	12:30
Гільметдинова Д.А.	88	Профілактор "Євмінова	09.11.2011	11	12:30
Гільметдинова Д.А.	88	Профілактор "Євмінова	10.11.2011	11	12:30
Киналь К.В.	19	Синус. модульовані стр	04.11.2011	3	10:20
Киналь К.В.	19	Синус. модульовані стр	07.11.2011	3	10:20

Всього знайдено: 51622 записів

Рис. 2. Вікно програми ICS\_DENISH складання загального розкладу приймання процедур

Точність експериментальних даних істотно залежить від кількості випробувань – чим випробувань більше, тим вища достовірність результатів [4]. Для нашого випадку (при невеликій кількості факторів) можна ставити 50–100 випробувань на кожній обчислювальній платформі (табл. 1).

**Результати розрахункового моделювання розв'язання задачі про паросполучення зі зникаючими дугами.** У кожному випробуванні (табл. 3–5) проводився вимір часу на виконання розрахунків:  $t_{МП}$  – методом повного перебору,  $t_{OA}$  – оптимальним алгоритмом розв'язання задачі зі зникаючими дугами,  $t_{MM}$  – модифікацією методу гілок і меж,  $t_{GA}$  – модифікацією генетичного алгоритму,  $t_{MA}$  – модифікацією мурашиного алгоритму.

Таблиця 3

Результати окремих випробувань обчислювального експерименту на першій обчислювальній платформі

Випробування	Вхідний параметр			Вихідний параметр				
	$k_{лп}$	$k_{п}$	$k_{лпп}$	$t_{МП}$	$t_{OA}$	$t_{MM}$	$t_{GA}$	$t_{MA}$
1	74	1584	2974	511,24	57,63	47,13	77,81	68,77
2	74	1312	3217	612,75	96,17	89,43	127,84	111,54
3	80	1723	3343	712	118,8	99,9	144,9	129,8
4	80	1784	3578	811,2	141	119,5	171,1	144,5
5	85	1837	3724	909,2	152,3	135,2	189,2	164,3
...								
86	129	8719	51622	2634,68	587,43	386,72	883,24	783,69

Таблиця 4

Результати окремих випробувань обчислювального експерименту на другій обчислювальній платформі

Випробування	Вхідний параметр			Вихідний параметр				
	к <sub>лп</sub>	к <sub>п</sub>	к <sub>пп</sub>	t <sub>мп</sub>	t <sub>оА</sub>	t <sub>мм</sub>	t <sub>гА</sub>	t <sub>мА</sub>
87	74	1584	2974	365,17	41,16	33,66	55,58	49,12
88	74	1312	3217	437,68	68,69	63,88	91,31	79,67
89	80	1723	3343	508,57	84,86	71,36	103,50	92,71
90	80	1784	3578	579,43	100,71	85,36	122,21	103,21
91	85	1837	3724	649,43	108,79	96,57	135,14	117,36
...								
172	129	8719	51622	1881,91	419,59	276,23	630,89	559,78

Таблиця 5

Результати окремих випробувань обчислювального експерименту на третій обчислювальній платформі

Випробування	Вхідні параметри			Вихідний параметр				
	к <sub>лп</sub>	к <sub>п</sub>	к <sub>пп</sub>	t <sub>мп</sub>	t <sub>оА</sub>	t <sub>мм</sub>	t <sub>гА</sub>	t <sub>мА</sub>
173	74	1584	2974	170,41	19,21	15,71	25,94	22,92
174	74	1312	3217	204,25	32,06	29,81	42,61	37,18
175	80	1723	3343	237,33	39,60	33,30	48,30	43,27
176	80	1784	3578	270,40	47,00	39,83	57,03	48,17
177	85	1837	3724	303,07	50,77	45,07	63,07	54,77
...								
258	129	8719	51622	878,23	195,81	128,91	294,41	261,23

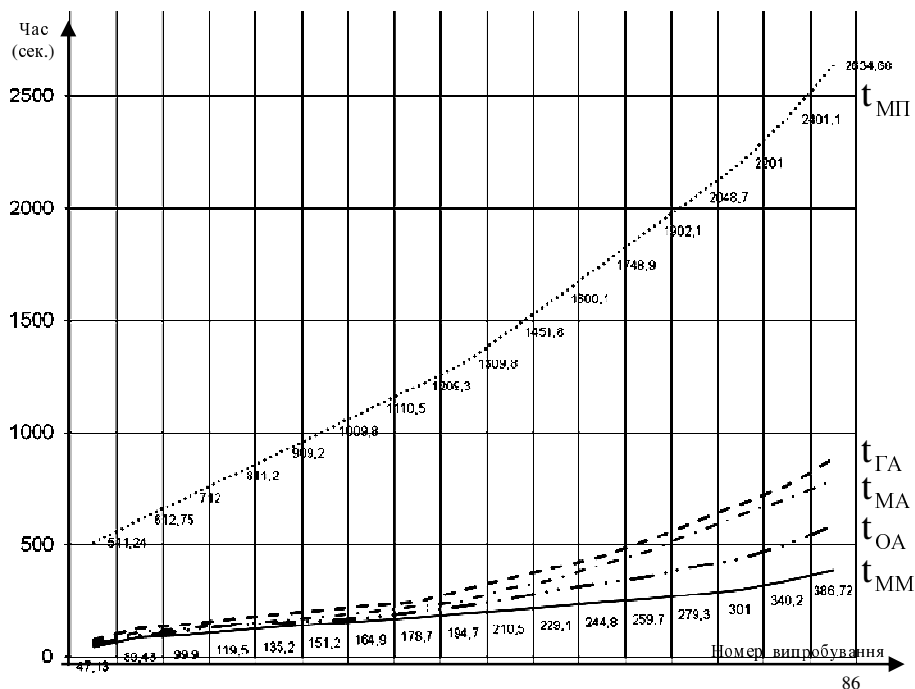


Рис. 3. Графіки залежності часу від розмірності вхідних даних (згідно з номером випробування) для методів, що порівнюються на першій обчислювальній платформі

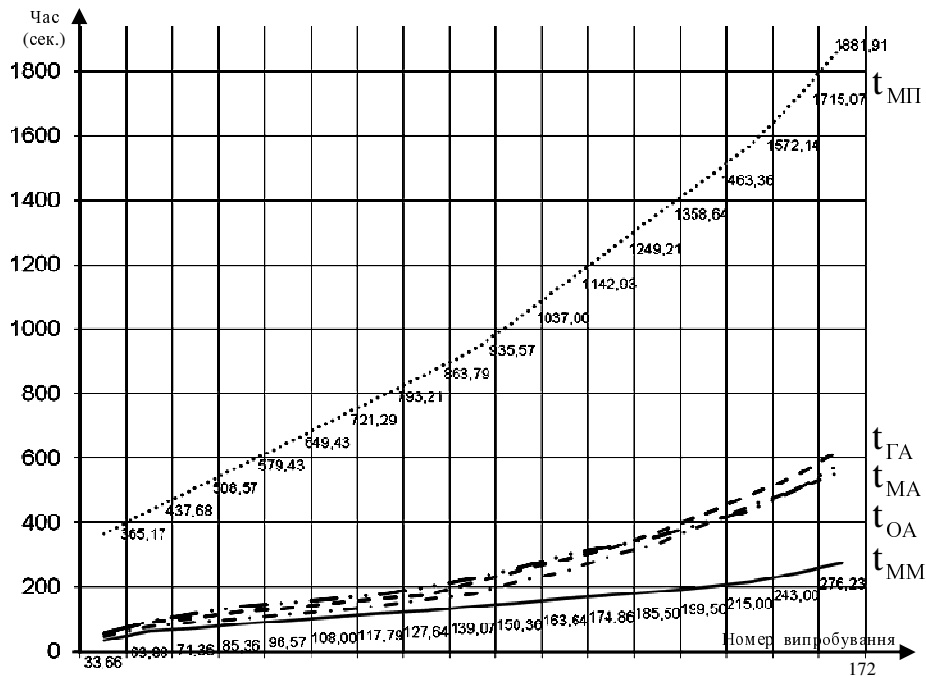


Рис. 4. Графіки залежності часу від розмірності вхідних даних (згідно з номером випробування) для методів, що порівнюються на другій обчислювальній платформі

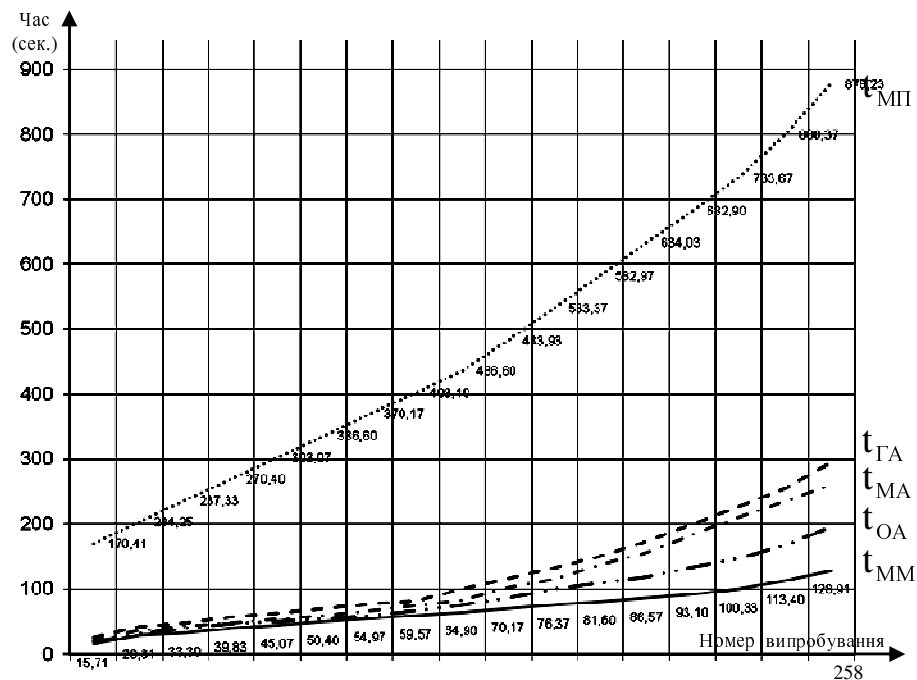


Рис. 5. Графіки залежності часу від розмірності вхідних даних (згідно з номером випробування) для методів, що порівнюються на третій обчислювальній платформі

Результати обчислювального експерименту (рис. 3–5) для методів, що порівнюються на різних обчислювальних платформах, дозволяють зробити наступні висновки.

1. Час складання розкладу прямо пропорційно залежить від кількості вершин дводольного графа (що дорівнює сумі кількості процедур та кількості пацієнтів), кількості призначених процедур та обмежень  $C_{i,j}$ .

2. Найменший час складання розкладу показав модифікований метод гілок і меж, при  $k_{\text{лп}} = 74$ ,  $k_{\text{п}} = 1584$ ,  $k_{\text{пп}} = 2974$  на першій платформі – 47,13, на другій – 33,14, та третій – 15,06 с.

3. Час складання розкладу за умов розв'язання задачі пошуку найбільшого паросполучення методом повного перебору в 6,8 раза більший за час розв'язання цієї самої задачі модифікацією методу гілок і меж.

Якщо розглянути результати обчислювального експерименту (рис. 6) окремо для кожного методу, що порівнюються на кожній обчислювальній платформі, можна побачити, що за однакових вхідних даних (однаковій кількості процедур, пацієнтів та призначених процедур) час складання розкладу найменший під час використання третьої, найбільш потужної платформи. Так для найбільш ефективного алгоритму модифікації методу гілок і меж приріст часу при  $k_{\text{лп}} = 85$ ,  $k_{\text{п}} = 1837$ ,  $k_{\text{пп}} = 3724$  становить 3 рази.

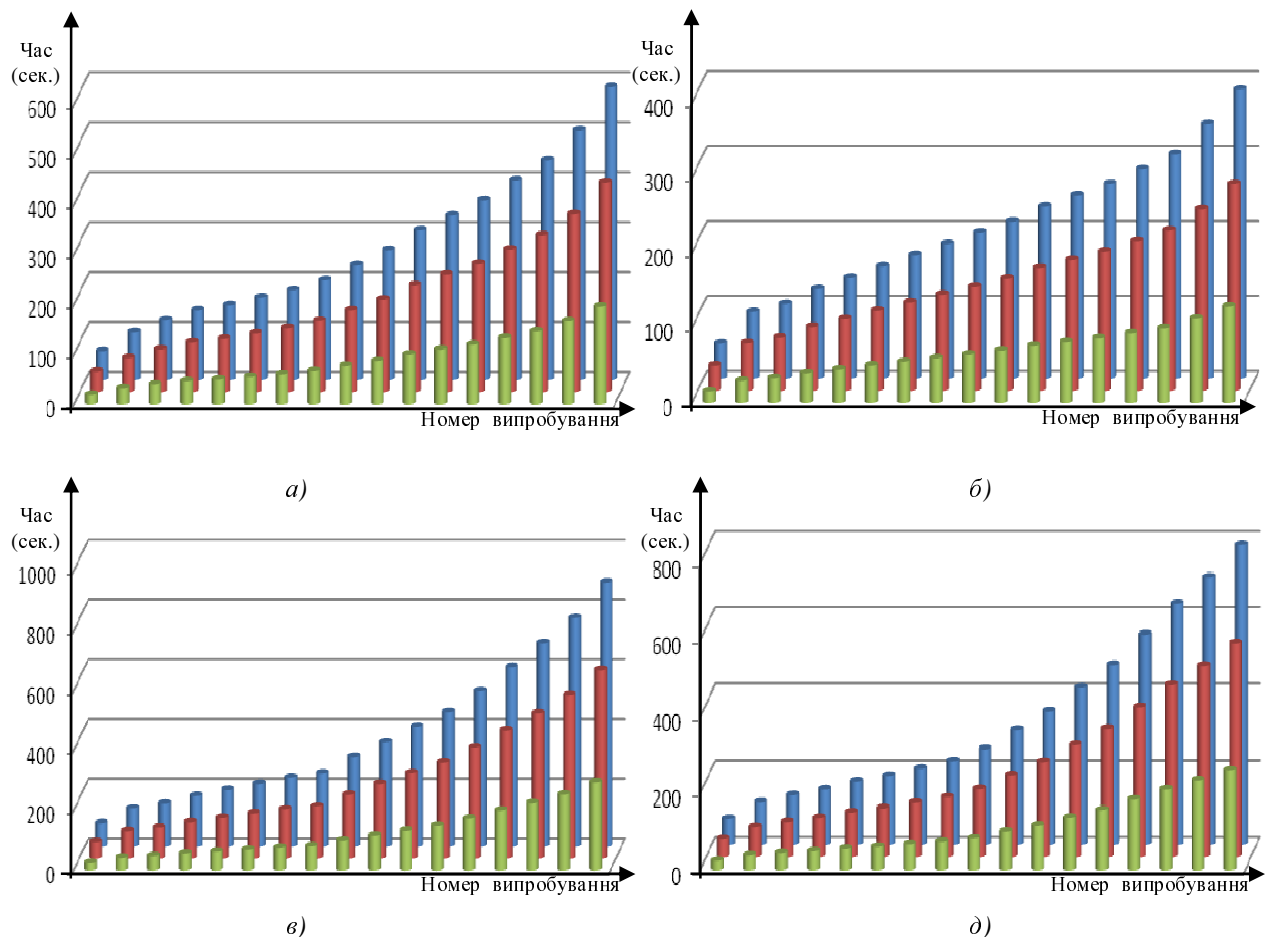


Рис. 6. Час складання розкладу приймання процедур пацієнтами санаторію за допомогою програми ICS\_DENISH на різних обчислювальних платформах:  
 а) оптимальним алгоритмом; б) модифікацією методу гілок і меж;  
 в) модифікацією генетичного алгоритму; д) модифікацією мурашиного алгоритму

**Висновки.** Проведено порівняльний обчислювальний експеримент, що дозволив оцінити часові характеристики методів та алгоритмів розв'язання задачі про паросполучення зі зникаючими дугами та порівняти їх.

За результатами розрахункового моделювання при розв'язанні задачі про паросполучення зі зникаючими дугами на різних обчислювальних платформах за допомогою авторського програмного продукту ICS\_DENISH можна визначити, що найбільш ефективним за часом виконання розрахунків є модифікований метод гілок і меж. Час складання розкладу за умов розв'язання задачі пошуку найбільшого паросполучення на дводольному графі модифікованим методом гілок і меж на максимально складних вхідних даних  $k_{\text{лп}} = 129$ ,  $k_{\text{п}} = 8719$ ,  $k_{\text{пп}} = 51622$  менший за метод повного перебору в 6,8 раза.

Модифікований метод гілок і меж показує стабільність зменшення часу складання розкладу приймання процедур пацієнтами при збільшенні обчислювальних потужностей ПЕОМ. Так, наприклад, при  $k_{\text{лп}} = 85$ ,

$k_{II} = 1837$ ,  $k_{III} = 3724$  час розв'язання задачі на третій платформі зменшується у 3 рази, порівняно з першою обчислювальною платформою.

#### Список використаної літератури:

1. Рейнгольд Э. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика / Э.Рейнгольд, Ю.Нивергельт, Н.Део. – М. : Мир, 1980. – 476 с.
2. Харари Ф. Теория графов / Ф.Харари ; пер. с англ. и предисл. В.П. Козырева ; под ред. Г.П. Гаврилова. – 2-е изд. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 296 с.
3. Балдин А.В. Математическое программирование : учебник / К.В. Балдин, Н.А. Брызгалов, А.В. Рукосуев ; под общ. ред. д.э.н., проф. К.В. Балдина. – М. : Издат.-торг. корпорация «Дашков и К», 2009. – 220 с.
4. Гладков Л.А. Генетические алгоритмы : учебное пособие / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – 2-е изд. – М. : Физматлит, 2006. – 320 с.
5. Данильченко О.М. Интеллектуальный анализ данных (Data Mining) : навч. посібник / О.М. Данильченко, А.О. Данильченко. – Житомир : ЖДТУ, 2009. – 405 с.
6. Жолобов Д.А. Введение в математическое программирование : учебное пособие / Д.А. Жолобов. – М. : МИФИ, 2008. – 376 с.
7. Cormen Introduction to Algorithms / Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, and Clifford Stein. – MIT Press, 2001. – P. 1292.
8. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы. Exponenta Pro / С.Д. Штовба // Математика в приложениях. – 2003. – № 4. – С. 70–75.
9. Алгоритм для решения задачи коммивояжера / Д.Ж. Литтл, К.Мурти, Д.Суини и др. // Экономика и математические методы. – 1965. – Т. 1. – Вып. 1. – С. 90–107.
10. Данильченко О.М. Розв'язання одного класу задач складання розкладів генетичними алгоритмами на кластерних системах / О.М. Данильченко, А.О. Данильченко, С.А. Ібрагім // Вісник ЖІТІ. – 2004. – № 4. – С. 130–135.

ДАНИЛЬЧЕНКО Анна Олександрівна – старший викладач кафедри інформатики та комп'ютерного моделювання Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- бази даних;
- якість програмного забезпечення та тестування;
- програмування Internet;
- архітектура та технології веб-служб.

КРАВЧЕНКО Світлана Миколаївна – асистент кафедри програмного забезпечення систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- економіка програмного забезпечення;
- менеджмент проектів програмного забезпечення;
- людино-машинна взаємодія;
- інформаційні системи і технології;
- Інтернет-технології.

Стаття надійшла до редакції 20.08.2015