

ЗАСТОСУВАННЯ АДАПТИВНИХ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОМПОНОВКИ ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

Лаздинь С.В., Секірін О.І., Андрєєнкова О.О.

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк

Кафедра автоматизованих систем управління

E-mail: slazd@ukr.net, alx@kita.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Lazdyn S.V., Sekirin O.I., Andreyenkova O.O. Application of the adaptive genetic algorithms for optimization of equipment layout in the machinebuilding automated technological complexes. For optimization of equipment layout in the automated technological complexes it is suggested to use adaptive genetic algorithms (GA). As the criterion of optimum the minimum of total traffic of details parties between machine-tools is chosen. For adaptive GA the structure of chromosomes and method of their coding are developed, genetic operators of selection, crossing and mutation are chosen. The program for optimization of equipment arrangement is developed by Microsoft Visual C# 8.0. The conducted experiments were shown, that adaptive GA provides more high quality of the got optimum results at the less volumes of calculations than classic genetic algorithm.

Загальна постановка проблеми компоновки устаткування автоматизованих технологічних комплексів.

Створення й використання в промисловості автоматизованих технологічних комплексів (АТК) викликано розширенням номенклатури виробів, що випускаються, скороченням циклів оновлення продукції й триваючим ростом дрібносерійного й серійного виробництва (у машинобудуванні й приладобудуванні до 80% всієї випускаємої продукції).

Автоматизований технологічний комплекс являє собою сукупність у різних сполученнях гнучких виробничих модулів (ГВМ), автоматизованого складу (АС) і автоматизованої транспортної системи (АТС) й систем забезпечення їхнього функціонування в автоматичному режимі протягом заданого інтервалу часу. АТК має властивість автоматичного переналагодження при виробництві виробів довільної номенклатури у встановлених межах значень їхніх характеристик. Створення автоматизованих технологічних комплексів передбачає вирішення таких важливих проблем, як зростання продуктивності й ефективності виробництва, підвищення його автоматизації, гнучкості й інтеграції [1].

Актуальність задачі оптимізації проектування компоновальних рішень обумовлена тим, що саме на цьому етапі автоматизований технологічний комплекс формується як інтегрована система верстатів й автоматизованого транспорту. Раціональність закладених тут рішень дозволяє зменшити капітальні витрати на допоміжне встаткування, поліпшити організаційні показники роботи АТК (зменшити час знаходження деталі в системі, підвищити надійність функціонування й ін.), поліпшити використання виробничих площ [2].

Аналіз методів, використаних для оптимізації компоновання обладнання.

Методи вирішення задачі відносного розміщення устаткування підрозділяються на графічні (візуальні) й математичні методи [2,3]. Графічні методи використовуються у діалоговому режимі для візуального розміщення обладнання на екрані в межах заданої площі і не забезпечують отримання оптимальних результатів. На практиці графічні методи часто комбінують з математичними [2]. Із математичних методів широке використання для оптимізації розміщення встаткування одержали наступні: “перестановок”, “тілок і меж” та евристичні [3].

Метод перестановок реалізує повний перебір варіантів розміщення обладнання і є найбільш простим для реалізації на ЕОМ, але він потребує значної кількості обчислень та втрачає ефективність при зростанні числа розташовуваних об'єктів. Метод "гілок і меж" виконує упорядкований перебір варіантів і розглядає лише ті з них, які виявляються за певними ознаками перспективними, і відкидає безперспективні варіанти. Недоліками цього методу є громіздкість і велика обчислювальна складність, що обмежує його використання для реальних задач проектування. Евристичні алгоритми побудовані на основі прагматичних правил організації проектних процедур, що враховують досвід технологічного проектування. Знайдені за допомогою правил компоувальні рішення виробничих систем не є строго оптимальними, але відповідають практичним вимогам.

Враховуючи недоліки вказаних методів, для вирішення задачі оптимізації компоновки виробничого устаткування було запропоновано застосовувати генетичні алгоритми (ГА), які базуються на еволюційним розвитку та наслідуванні властивостей осіб (рішень, закодованих хромосомами) [4-6]. Механізм розвитку та наслідування дозволяє послідовно поліпшувати хромосоми у кожній новій популяції, що призводить до отримання субоптимальних (близьких до оптимальних) рішень в прийнятний час.

Незважаючи на позитивні результати, отримані при використанні генетичних алгоритмів для оптимізації компоновки обладнання, авторами запропоновано використання в ГА механізмів адаптації, що робить їх більш ефективними при вирішенні задач оптимізації [7,8]. Розгляд цього підходу і оцінку його ефективності наведено нижче.

Постановка задачі оптимізації компоновки устаткування автоматизованих технологічних комплексів.

Для розміщення обладнання була обрана компоувальна структура довільного типу, при якій кілька верстатів в АТК можуть розташовуватись в межах загальної площі цеху. Спосіб реалізації подачі інструмента - із загальним автоматичним транспортом для деталей й інструмента. Розташування складу - вздовж периметру цеху. Тип проміжного накопичувача - буферний розподілений.

В якості вихідних даних задаються наступні величини: геометричні параметри площі цеху, на якій передбачається розміщення устаткування, а також координати розміщення технологічного обладнання.

У даному формулюванні задачі ГВМ можна представити у вигляді прямокутника, розміри якого визначені заздалегідь залежно від виду устаткування. Нехай устаткування має розміри $h \times l$ м ($h \leq l$), тоді $h' = h/sh$ – нормоване значення ширини, $l' = l/sh$ – нормоване значення довжини, де sh – крок розмітки площі цеху. Також передбачається, що кожна одиниця технологічного обладнання розміщується на будь-якому вільному місці.

Отже площа цеху представляється у вигляді розміченої сітки з певним кроком sh (рис. 1). У кожному вузлі даної сітки може розташовуватися центр прямокутної області (центроїд), що виділена під кожне устаткування.

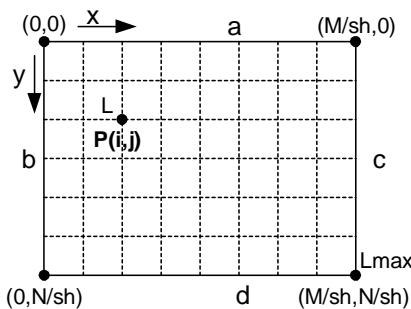


Рисунок 1 – Представлення площі цеху у вигляді розміченої сітки

Припустимо, що цех має розміри $M \times N$ м². Тоді координату довільного розташування центроїду області одиниці устаткування $P(i,j)$, $i = \overline{0, (M/sh)}$, $j = \overline{0, (N/sh)}$ на сітці можна представити у вигляді зсуву відносно початку координат $O(0, 0)$:

$$L = i + j * M / sh \tag{1}$$

Через зсув можна виразити координати центра устаткування:

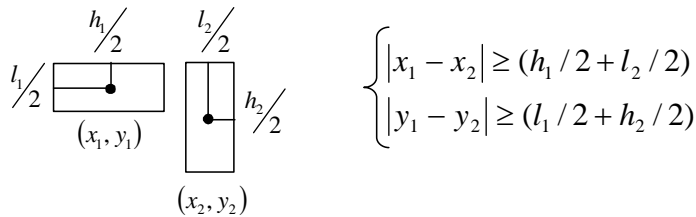
$$x = L - j * (M/sh); \quad y = L / (M/sh) \tag{2}$$

При цьому розташування встаткування приймається паралельним стінам цеху.

Таким чином, задача зводиться до знаходження такої компоновки обладнання, при якій виконуються обмеження:

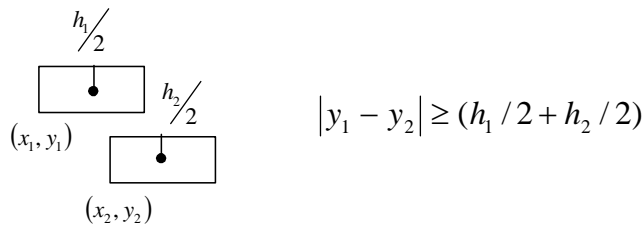
- заборона накладення геометричних зон, що належать різним об'єктам розміщення, однієї на одну:

1) випадок перпендикулярного розташування устаткування:

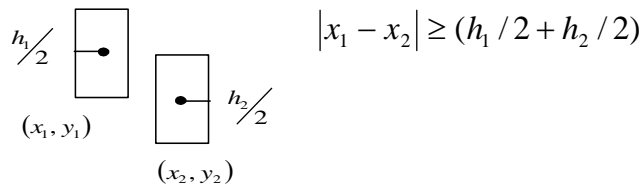


2) випадок паралельного розташування устаткування:

2.1) горизонтальне:



2.2) вертикальне:



- заборона розміщення геометричних об'єктів за межами геометричної області цеху:

1) щодо сторони a :

$$\begin{cases} y \geq h / 2 \\ x \geq l / 2 \\ (M / sh - x) \geq l / 2 \end{cases}$$

2) щодо сторони b :

$$\begin{cases} x \geq h / 2 \\ y \geq l / 2 \\ (M / sh - y) \geq l / 2 \end{cases}$$

3) щодо сторони c :

$$\begin{cases} (M / sh - x) \geq h / 2 \\ y \geq l / 2 \\ (N / sh - y) \geq l / 2 \end{cases}$$

4) щодо сторони d :

$$\begin{cases} (N / sh - y) \geq h / 2 \\ x \geq l / 2 \\ (M / sh - x) \geq l / 2 \end{cases}$$

- сумарна площа, що займана устаткуванням, не повинна перевищувати загальну площу цеху:

$$\sum_{i=1}^n l_i \times h_i \leq S_{\text{общ}} , \tag{3}$$

де n – кількість розташовуваного встаткування; $S_{\text{общ}}$ – загальна площа цеху.

Оптимізація компоновки виробничого встаткування полягає у тому, щоб для АТК із заданими розмірами цеху, заданим типом, кількістю верстатів й певною транспортною системою визначити таку схему розміщення, при якій критерій оцінки якості (цільова функція) прагнув би до екстремуму за умови виконання сформульованих вище обмежень.

У якості цільової функції f запропоновано використати мінімізацію сумарного вантажопотоку партій деталей між верстатами в АТК:

$$f = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{ij} \cdot d_{ij} , \tag{4}$$

де v_{ij} – обсяг руху партій деталей між верстатами i й j ; d_{ij} – відстань між верстатами i й j ; n – кількість одиниць обладнання в АТК .

Побудова адаптивного генетичного алгоритму для оптимізації компоновки устаткування автоматизованих технологічних комплексів.

Для вирішення поставленої задачі оптимізації запропоновано використовувати не класичний генетичний алгоритм (ГА), а адаптивний ГА, у якому параметри операторів не постійні і змінюються в залежності від отримуваних результатів. Виходячи з цього необхідно розробити власну модифікацію адаптивного ГА, у якій з урахуванням специфіки задачі треба визначити наступні параметри: хромосома (вид кодування, довжина), генетичні оператори (селекції, кросинговеру, мутації) та механізм адаптивності [7,8].

Структура хромосом формується таким чином, що кожен ген відповідає певній одиниці устаткування. Для кодування генів хромосоми береться координатне розміщення центра прямокутної області (центроїда), що виділяється під кожен верстат. Координату довільного розташування центроїду області k -ої одиниці встаткування $P(i,j)$ можна представити у вигляді зсуву L_k відносно початку координат $O(0,0)$ (рис. 1). Розрядність хромосом визначається величиною n - кількістю розташовуваного обладнання. Структура хромосоми наведена на рис. 2.

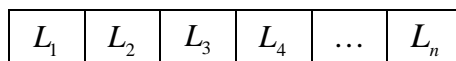


Рисунок 2 - Структура хромосоми для кодування розміщення обладнання

Генетичний оператор селекції – вибір батьківських хромосом для схрещування виконується за правилом рулетки [8].

Для реалізації процедури схрещування був обраний генетичний оператор – однокрапковий кросинговер. Крапка перетинання визначається випадковим образом з ймовірністю $P(OK)$. При перетинанні відбувається обмін властивостями генів, що несуть у собі інформацію про розміщення одиниці устаткування. Наприклад, для 5-ти одиниць розміщуваного обладнання операція схрещування буде мати вигляд:

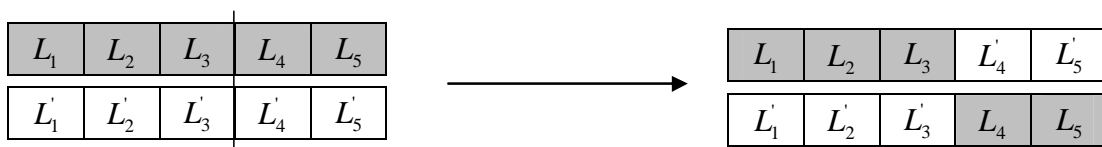


Рисунок 3 - Оператор однокрапкового кросинговеру для хромосом L й L'

Генетичний оператор мутації виконується за наступним правилом: випадковим образом з ймовірністю $P(OM)$ вибирається ген, якому відповідає зсув певної одиниці встаткування. Потім цей зсув замінюється різницею максимального зсуву й поточного зсуву i -ої одиниці устаткування $L_{max} - L_i$, де $L_{max} = N * M / sh$. Приклад реалізації мутації гена L_4 наведено на рис. 4.

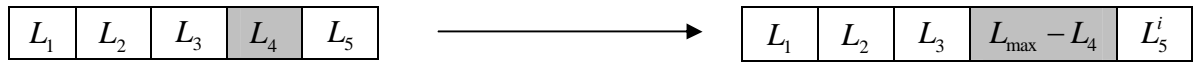


Рисунок 4 - Оператор мутації гена L_4

В адаптивних ГА інформація про результати роботи алгоритму за допомогою зворотного зв'язку впливає на значення його параметрів [7,8]. При цьому ймовірності кросинговеру й мутації ($P(OK)$ й $P(OM)$) перераховуються в залежності від значень фітнес-функції (цільової функції) за формулами:

$$P(OK) = \begin{cases} k_1 \cdot \frac{f_{max} - f'}{f_{max} - \bar{f}}, & \text{якщо } f' > \bar{f} \\ k_2 & \end{cases} \quad (5)$$

$$P(OM) = \begin{cases} k_3 \cdot \frac{f_{max} - f'}{f_{max} - \bar{f}}, & \text{якщо } f' > \bar{f} \\ k_4 & \end{cases} \quad (6)$$

де f_{max} – краще значення фітнес-функції в даній популяції, f' – значення фітнес-функції для даної хромосоми, \bar{f} – середнє значення фітнес-функції в популяції. Коефіцієнти k_1, k_2, k_3, k_4 підбираються експериментальним шляхом.

Таким чином адаптивні генетичні алгоритми корегують (приспосовують) параметри своїх операторів кросинговеру і мутації при зміні значень фітнес-функції, що дозволяє більш ефективно виконувати пошук оптимального рішення.

Хромосоми, отримані в результаті застосування генетичних операторів до хромосом тимчасової батьківської популяції, включаються до складу нової популяції. На кожній черговій ітерації розраховуються значення функції пристосованості для всіх хромосом цієї популяції, після чого перевіряється умова зупинки алгоритму й або фіксується результат у вигляді хромосоми з найбільшим значенням фітнес-функції, або здійснюється перехід до наступного кроку генетичного алгоритму, тобто до селекції.

Алгоритм може припинити подальші обчислення при виконанні однієї з наступних умов, визначених користувачем:

- 1) відпрацьована задана кількість поколінь (або проведено задане число обчислень цільової функції);
- 2) досягнута задана кількість повторень, при якій не відбувається значного поліпшення рішення.

Схема роботи адаптивного генетичного алгоритму для пошуку оптимальної компоновки виробничого устаткування АТК представлена на рис. 5.

Програмна реалізація описаного вище адаптивного генетичного алгоритму виконана за допомогою середовища візуального програмування Microsoft Visual C# 8.0. Розроблено програмний додаток FacilityLayout.exe, який зчитує вихідну інформацію з бази даних і знаходить близький до оптимального варіант розміщення обладнання АТК. База даних, в якій зберігаються параметри розміщеного устаткування і площі АТК, розроблена за допомогою СУБД Microsoft SQL Server 2003.

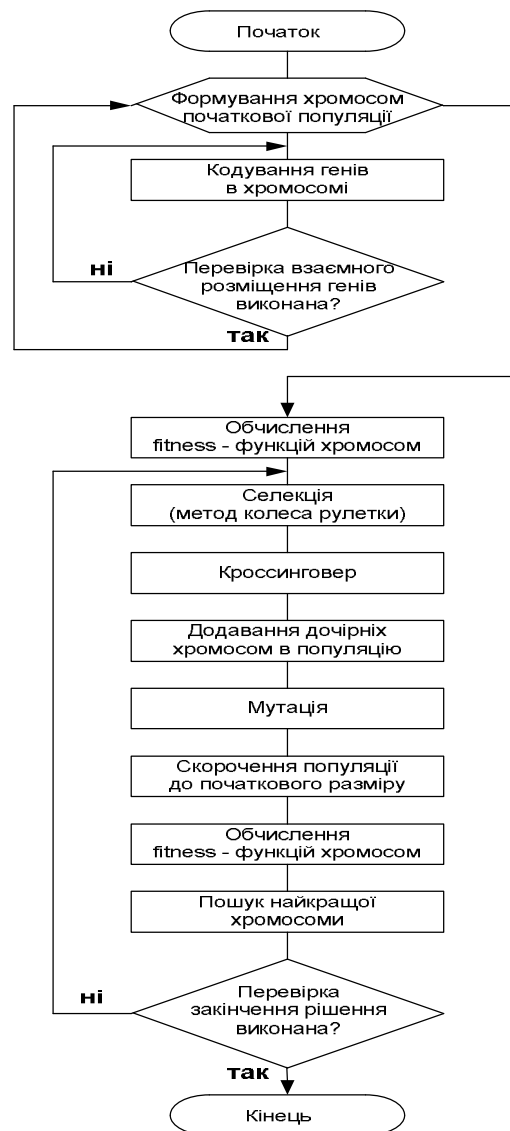


Рисунок 5 – Схема роботи адаптивного генетичного алгоритму для пошуку оптимальної компоновки виробничого устаткування ATK

Результати експериментальних досліджень.

Перевірка працездатності і ефективності адаптивного генетичного алгоритму проведена за допомогою розробленої програми на прикладі задачі оптимізації розміщення 26 гнучких виробничих модулів на заданій площі ATK механообробки деталей. У якості фітнес-функції ГА використовувалась цільова функція f (4) для мінімізації сумарного вантажопотоку партій деталей між верстатами в ATK.

Основними показниками ефективності ГА є швидкість роботи алгоритму й якість оптимального рішення. Швидкість роботи генетичного алгоритму залежить від розміру популяції, тому що цей параметр визначає кількість ітерацій, а тим самим і об'єм обчислень при пошуку екстремуму. Якість оптимального рішення показує наскільки отриманий ГА результат наближений до екстремуму цільової функції вирішуваної задачі. Цей показник залежить від значень параметрів генетичних операторів кросингверу і мутації.

Оцінка показників ефективності запропонованого адаптивного ГА і визначення його переваг виконувалась в порівнянні з аналогічними показниками для класичного генетичного алгоритму.

Проведено експеримент, в якому вивчалась залежність знайденого рішення від розміру популяції адаптивного і класичного генетичного алгоритму. Отримані результати показують, що адаптивний ГА дозволяє знайти оптимальне рішення при розмірі популяції 90-110 хромосом, у той час як для класичного ГА цей показник складає 120-140, що співпадає з результатами, наведеними в статті [6].

Досліджено також вплив ймовірностей кросинговеру й мутації на якість отриманого оптимального рішення. На рис. 6 приведена залежність критерію оптимальності – цільової функції f від ймовірності кросинговеру $P(OK)$ для адаптивного та класичного генетичних алгоритмів.

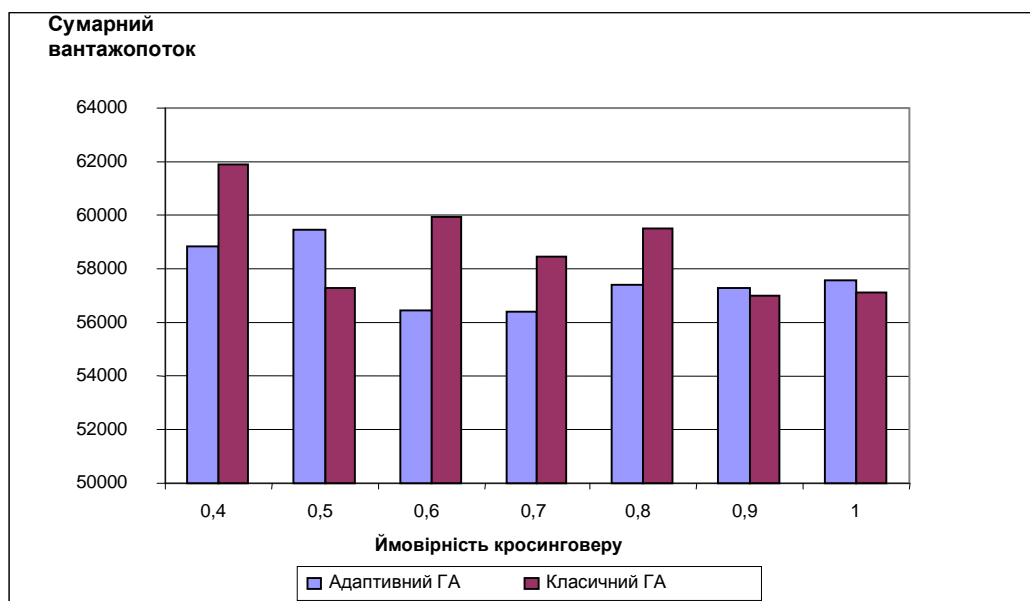


Рисунок 6 - Залежність цільової функції f – сумарного вантажопотоку АТК від ймовірності кросинговеру $P(OK)$ для адаптивного та класичного ГА

На рис. 7 приведена залежність критерію оптимальності – цільової функції f від ймовірності мутації $P(OM)$ для адаптивного та класичного генетичних алгоритмів.

Аналіз результатів експериментів, наведених на рис. 6 і 7 показав, що при використанні адаптивного ГА в більшості випадків досягаються кращі результати оптимізації компоновки обладнання ніж для класичного ГА. При цьому адаптивний ГА забезпечує найменші значення цільової функції f – сумарного вантажопотоку АТК при ймовірностях оператора кросинговеру 0,7 і оператора мутації 0,005.

Таким чином, використання адаптивного генетичного алгоритму для оптимізації розміщення устаткування є більш ефективним ніж класичного ГА, як по швидкості роботи алгоритму, так і по якості отриманого субоптимального рішення.

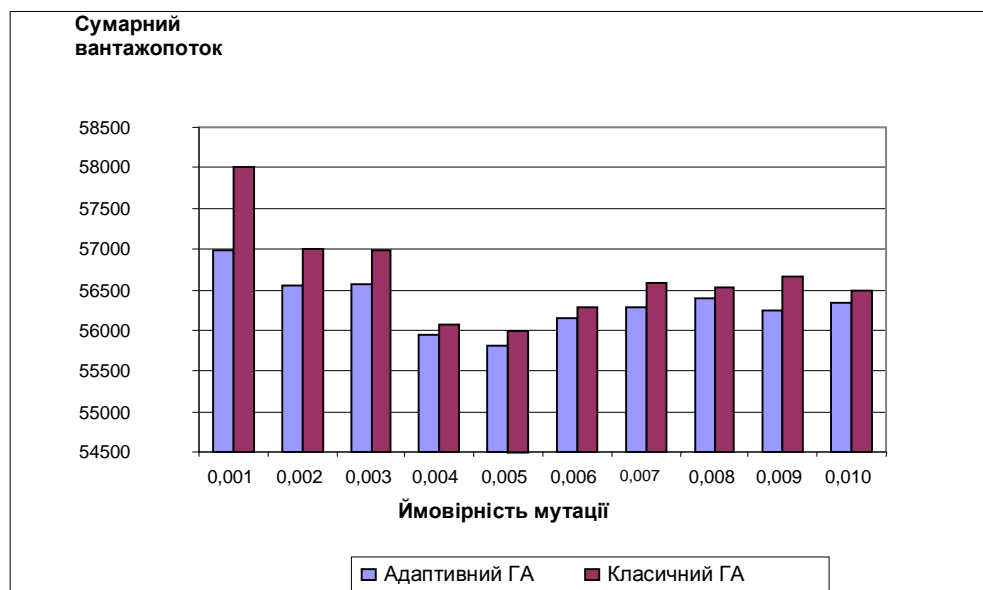


Рисунок 7 - Залежність цільової функції f – сумарного вантажопотоку АТК від ймовірності мутації $P(OM)$ для адаптивного та класичного ГА

Висновки.

Для оптимізації компоновки устаткування автоматизованих технологічних комплексів (АТК) запропоновано використовувати адаптивні генетичні алгоритми (ГА), у яких параметри операторів не постійні і змінюються в залежності від отримуваних результатів. В якості критерію оптимальності вибрано мінімум сумарного вантажопотоку партій деталей між верстатами. Для адаптивного ГА розроблено структуру і спосіб кодування хромосом, вибрані генетичні оператори селекції, схрещування і мутації. Розроблена програма оптимізації компоновки устаткування за допомогою середовища візуального програмування Microsoft Visual C# 8.0. Проведені експерименти показали, що застосування адаптивного ГА для оптимізації компоновки устаткування АТК забезпечує при менших обсягах обчислень більш високу якість субоптимального рішення ніж класичний генетичний алгоритм.

Література

1. Шишмарёв В.Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. – М.: Издательский центр «Академия», 2007.
2. Полетаев В.А. Разработка компоновки и планировки гибких производственных систем: Методические указания. - Иваново: ИГЭУ, 1999.
3. Калинин О.М., Ямпольский С.Л., Песков Л.В. Моделирование гибких производственных систем. – К.: Техника, 1991.
4. Jaime Garces-Perez, Dale A. Schoenfeld, Roger L. Wainwright. Solving Facility Layout Problems Using Genetic Programming. - The University of Tulsa, OK, 1999.
5. Norhashimah Morad. Genetic algorithm optimization for the machine layout problem. – School of Industrial Technology University of Sains, Malaysia, 2003.
6. Лаздынь С.В., Секирин А.И., Коробкова Т.А. Оптимизация компоновки технологического оборудования гибких производственных систем с использованием генетических алгоритмов. //Международный сборник научных трудов “Прогрессивные технологии и системы машиностроения”, вып. 34. - Донецк: ДонНТУ, 2007. - С. 114-120.
7. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems: 2nd edition. - MIT Press, 1992.
8. Курейчик В.В. Эволюционные методы решения оптимизационных задач. - Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999.