

Таким образом, комбинирование процессов точения и ультразвукового алмазного выглаживания является существенным резервом совершенствования технологий изготовления валов.

Список литературы: 1. Потапов, В.А. Третья международная конференция по высокоскоростной механической обработке // СТИН, 2002. – № 5. – С. 35 – 39. 2. Потапов, В.А. Четвертая международная конференция по высокоскоростной механической обработке // СТИН, 2004. – № 5. – С. 36 – 40. 3. Смелянский, В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с. 4. Иванов, С.Ю. Измерительно-вычислительный комплекс скан-идентификации технологических остаточных напряжений / С.Ю. Иванов, В.И. Прима // Тяжелое машиностроение, 1995. – № 12. – С. 14 – 17.

Сдано в редакцию 25.05.07

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Лаздынь С.В., Секирин А.И., Коробкова Т.А. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

For optimization of equipment arrangement in the flexible manufacturing systems (FMS) it is suggested to use genetic algorithms. The structure of chromosome, the genetic operators of selection, crossing, mutation and renewal are developed. The program for optimization of equipment arrangement is developed by Microsoft Visual C# 8.0. The conducted experiments were shown, that the use of genetic algorithms for optimization of equipment arrangement in the FMS allowed to get the decisions near to optimum for short time.

Введение. Актуальность задачи оптимизации размещения оборудования, обусловлена тем, что именно на этом этапе гибкая производственная система (ГПС), которая представляет собой совокупность технических средств, обладающих способностью быстрой переналадки с производства одного вида продукции на другой, формируется как интегрированная система станков, автоматизированного транспорта и склада. Рациональность заложенных здесь решений позволяет уменьшить капитальные затраты на вспомогательное оборудование, улучшить организационные показатели работы ГПС (повысить загрузку технологического оборудования, уменьшить время нахождения детали в системе, повысить надежность функционирования и др.), улучшить использование производственных площадей [1].

Существуют различные методы и подходы к построению оптимальных структурно-компоновочных решений [2, 3]. Компоновочные решения, полученные вручную или эвристическими методами, не являются оптимальными и имеют невысокую эффективность. Использование метода полного перебора вариантов компоновки обеспечивает получение оптимального решения, однако его применение связано со значительным объемом вычислений и ограничивается задачами небольшой размерности. Из математических методов используются следующие: комбинаторика, квадратичная задача о назначениях, метод ветвей и границ. Основной недостаток указанных методов - невысокая точность и большие затраты времени на поиск оптимального решения.

Для устранения указанных недостатков предложено использование эволюционных методов – генетических алгоритмов (ГА), которые позволяют находить решения, близкие к оптимальным в допустимое время.

Постановка задачи оптимизации компоновочных решений ГПС. Оптимизация компоновки производственного оборудования заключается в том, чтобы для ГПС с заданными: размерами цеха, типом и количеством оборудования определить такую схему компоновки цеха, при которой критерий оценки качества компоновки стремился к экстремуму.

В качестве критериев оптимизации компоновки технологического оборудования ГПС предложено использовать [3, 6]:

1. Минимизация стоимости обработки изделий (F_1)

$$F_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n f_{lik} \cdot c_{jl} \cdot x_{ij} \cdot x_{kl} \rightarrow \min ,$$

где a_{ij} - доход от работы машины i расположенной в позиции j ; c_{jl} - стоимость транспортировки единицы изделия от позиции j к l ; f_{lik} - поток изделий от машины i к k ; n - общее число мест для размещения машин; $x_{ij} = 1$, если машина i размещена в позиции j и $x_{ij} = 0$ иначе.

2. Минимизация расстояния, пройденного изделием в процессе обработки (F_2)

$$F_2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N f_{ij} \cdot c_{ij} \cdot d_{ij} \rightarrow \min ,$$

где f_{ij} - частота / объем движения; c_{ij} - затраты на перемещение одного изделия на одну единицу расстояния между машинами i и j ; d_{ij} - расстояние между машиной i и j ; N - число единиц оборудования.

3. Минимизация пиковых загрузок оборудования (F_3)

$$F_3 = \min \left\{ \max \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m p_{tik} \cdot p_{v_i} \right) \right\} ,$$

где p_{tik} - время обработки деталей типа i на машине типа k ; p_{v_i} - размерность партии деталей типа i ; m - количество видов оборудования; n - количество типов партий деталей.

4. Критерий учета эксплуатационных или весовых коэффициентов (F_4)

Каждому типу оборудования назначается приоритет использования, согласно которому станки с наивысшим приоритетом необходимо размещать ближе к складу, а с наименьшим - дальше.

$$F_4 = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot \left(|p_{ij} - i| - kn_{ij} \right) ,$$

где n - количество рядов; m - количество машин в ряду; i - номер ряда $i = 1..n$; j - номер машины в ряду $j = 1..m$; p_{ij} - приоритет j машины, расположенной в i ряду; $x_{ij} = 0$, если j машина в i ряду является накопителем и $x_{ij} = 1$ в противном случае; kn_{ij} - количество накопителей вокруг j машины в i ряду.

Данная задача является задачей оптимизации с дискретными переменными. Множество ее решений счетное и конечно, поэтому задача относится к классу комбинаторных задач. Число возможных решений определяется выражением $K=N!$, где N - число единиц оборудования, которые необходимо разместить на заданной площади.

Разработка модификации генетического алгоритма для оптимизация компоновочных решений гибких производственных систем. Учитывая недостатки ранее применявшихся методов, для решения задачи оптимизации компоновки производст-

венного оборудования было предложено использовать генетические алгоритмы (ГА), в основу которых положено эволюционное развитие и наследование свойств особей (решений, кодированных хромосомами) [4-6]. Механизм развития и наследования позволяет последовательно улучшать хромосомы в каждой новой популяции, что приводит к получению субоптимальных (близких к оптимальным) решений.

Для решения задачи оптимизации стандартный генетический алгоритм неприменим, необходимо разработать модификацию ГА, в которой нужно с учетом специфики решаемой задачи определить следующие его параметры: хромосома (вид кодирования, длина строки), популяция (размерность, изменяемость), операторы селекции, скрещивания, мутации и восстановления, задать целевую функцию.

Обобщенный генетический алгоритм поиска оптимального решения можно представить следующей схемой, приведенной на рис. 1.

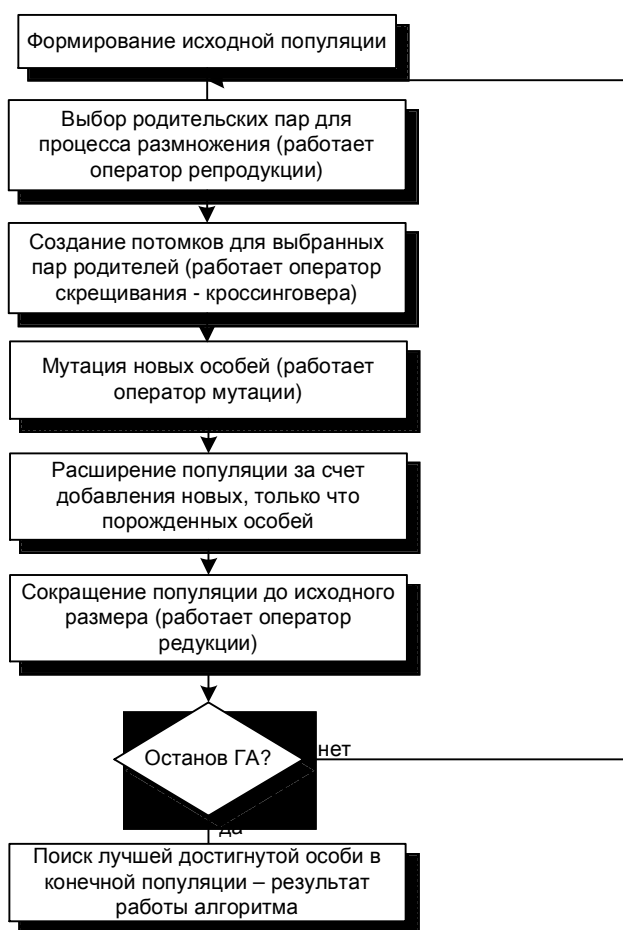


Рис. 1. Обобщенный алгоритм генетического поиска

Кодирование хромосомы. В качестве типа компоновочной структуры предложена групповая, при которой каждая группа станков предназначена для обработки определенной номенклатуры заготовок. Эта компоновка является развитием принципа групповой технологии и обеспечивает наиболее высокую производительность.

Группы машин разделим на два подвида:

- универсальные группы машин (склад) – расположены по периметру цеха;
- специализированные (технологические) группы машин (накопители, станки токарные, фрезерно-расточные, шлифовальные и др.) – расположение этого оборудования опре-

деляется модифицированным генетическим алгоритмом оптимизации компоновочных решений ГПС.

Каждую группу машин обозначим буквой латинского алфавита, тогда строка из последовательности этих букв (последовательности расположения групп машин) представляет собой хромосому. Например, для кодирования размещения 8 единиц оборудования 4 типов (A, B, C, D) хромосома может иметь следующий вид:

A	D	C	B	A	C	B	D
---	---	---	---	---	---	---	---

Генетические операторы. Селекция основывается на отборе хромосом в следующую популяцию в зависимости от значений фитнес-функции. Выживают решения с наилучшими показателями. Предложено использование наиболее популярного механизма пропорционального отбора – «колесо рулетки».

Скращивание (кроссинговер) заключается в генерации новых решений на основании отобранных родительских решений. Классическая схема заключается в создании одного или нескольких решений на основании родительской пары (2 родительские особи) посредством различного рода комбинаций их ген. Для реализации операции скрещивания был выбран оператор – одноточечный кроссинговер. Точка пересечения выбирается случайно для каждого решения (рис. 2).

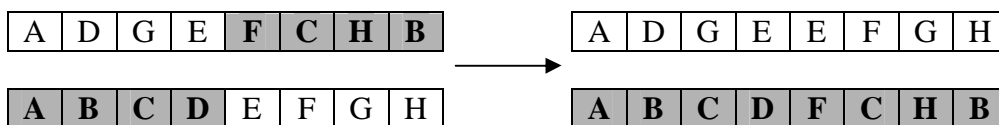


Рис. 2. Скрещивание хромосом

Мутация привносит случайные изменения в хромосомы-потомки, которых не было в хромосомах-родителях. В данной задаче реализован случайный выбор номера гена в хромосоме, который обменивается с соседним геном. Пример оператора мутации в точке 2 будет выглядеть следующим образом (рис.3.).

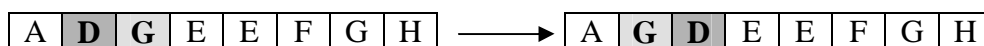


Рис. 3. Мутация хромосомы

После выполнения оператора скрещивания некоторые хромосомы могут быть повреждены (повторяющиеся буквы, означают, что некоторые группы машины повторяются в компоновке, а некоторые вообще не участвуют), что недопустимо. Восстановление хромосомы заключается в выявлении двойных букв и замене каждой повторяющейся упущенной в хромосоме буквой. Пример выполнения процедуры восстановления хромосомы приведен на рис. 4.

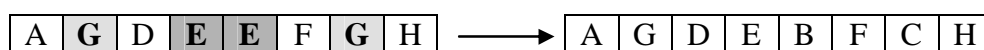


Рис. 4. Восстановление хромосомы

Целевая функция. В качестве целевой (fitness) функции в обобщенном генетическом алгоритме может выступать один из критериев оптимизации компоновки тех-

нологического оборудования ГПС $F_1 - F_4$ или их свертка, полученная одним из известных способов [7].

Критерии останова генетического алгоритма. Алгоритм может прекратить дальнейшие вычисления по одному из следующих критериев, определяемых пользователем:

1. Отработано заданное пользователем количество поколений (или произведено заданное число вычислений целевой функции);
2. Алгоритм отработал отведенное время;
3. Достигнуто заданное количество повторений, при котором не происходит существенного улучшения решения.

Программная реализация. Разработка программы оптимизации компоновки производственного оборудования произведена с помощью среды визуального программирования Microsoft Visual C# 8.0, поскольку указанная среда имеет удобные инструментальные средства для быстрой разработки программ, взаимодействия с базами данных различных типов и эффективного использования компьютерных ресурсов. Разработка базы данных, предназначенная для хранения различных параметров производства, была произведена с помощью СУБД Microsoft SQL Server 2000.

Результаты экспериментов. Проверка работоспособности разработанной программы была проведена для компоновки участка из трех станков типа А, В, С. Технологическая карта (последовательность обработки деталей на станках) выглядит следующим образом: $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow A$. Матрица трафика, элементами которой являются суммарное количество переходов между двумя станками приведена в табл 1.

Таблица 1. Матрица трафика

№ станка	А	В	С
А	0	1	2
В	1	0	1
С	2	1	0

С целью проверки эффективности разработанного генетического алгоритма были проведены вычислительные эксперименты по критерию минимизации расстояния, пройденного изделием в процессе обработки (F_2), которые в сравнении с результатами полного перебора показали небольшие отклонения от оптимального решения. Результаты экспериментов приведены таблице 2.

Таблица 2. Результаты поиска решения при заданном количестве поколений

№	Количество поколений	Значение критерия (ГА)	Оптимальное значение критерия (полный перебор)
1	10	12	12
2	20	12	12
3	30	12	12
4	40	14	12
5	50	14	12
6	70	12	12
7	100	12	12

Также были проведены вычислительные эксперименты по критерию F_2 для компоновки 20 станков при различных значениях количества поколений и вероятности кроссинговера, результаты которых приведены на рис. 5 – 6. Анализ указанных зависимостей показал, что наименьшее значение критерия F_2 достигается при количестве поколений (120-150), вероятности кроссинговера (0,5-0,6).

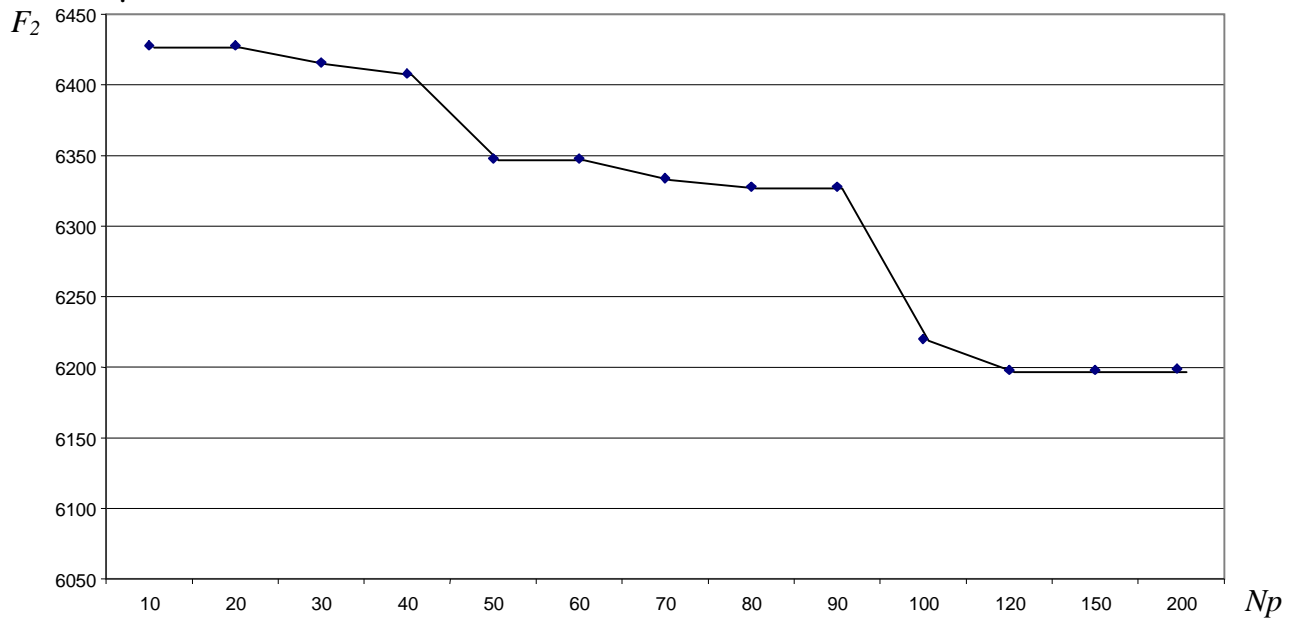


Рис. 5. Зависимость значения критерия F_2 от количества поколений (N_p).

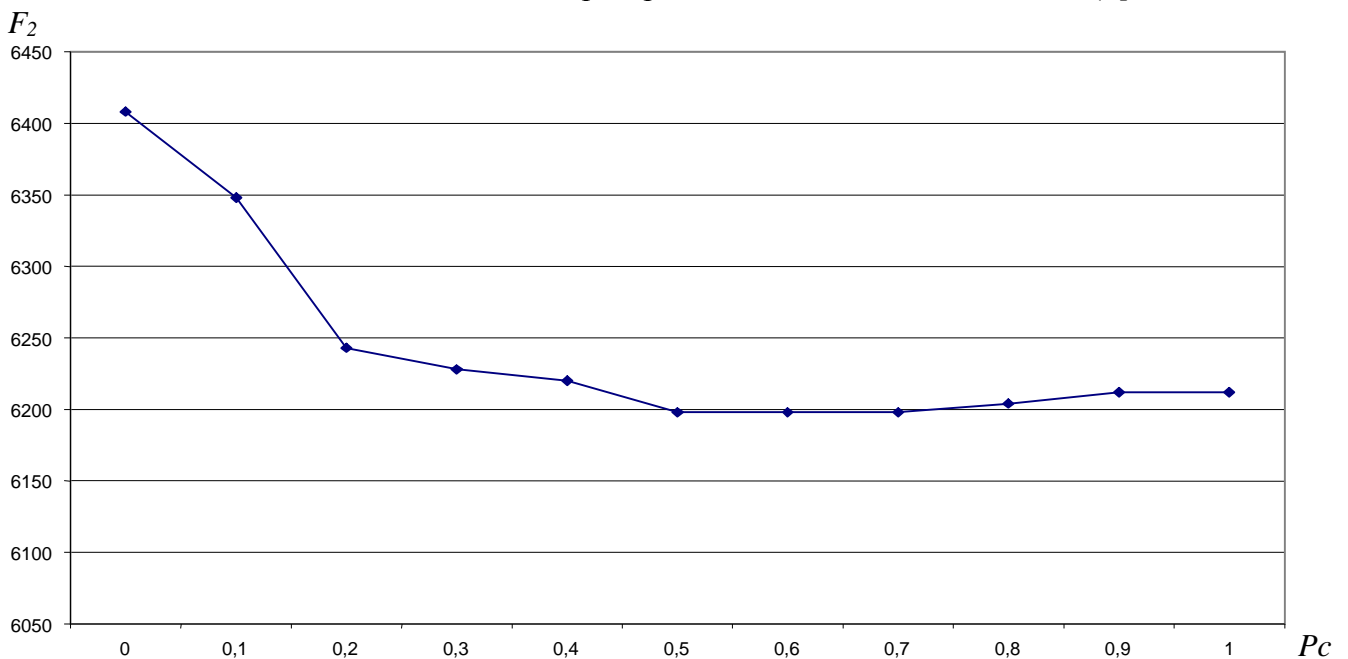


Рис. 6. Зависимость значения критерия F_2 от вероятности кроссинговера (P_c)

Выводы. Для оптимизации компоновки технологического оборудования гибких производственных систем предложено использовать метод эволюционных вычислений - генетические алгоритмы. Выбраны критерии оптимальности компоновки. Раз-

работана структура и способ кодирования хромосомы, выбраны генетические операторы селекции, скрещивания, мутации и восстановления. Разработана программа оптимизации компоновки оборудования с помощью среды визуального программирования Microsoft Visual C# 8.0. Проведенные эксперименты показали, что использование генетических алгоритмов для оптимизации компоновки оборудования ГПС позволяет получить решения близкие к оптимальным за короткое время

Список литературы: 1. Основы гибкого автоматизированного производства // Е.С. Пуховский. - К.: Высшая школа, Головное издательство, 1989. 2. Блехерман М.Х. Гибкие производственные системы: организационно-экономические аспекты. - М.: Машиностроение, 1988. 3. Ямпольский Л.С., Банашак З. Автоматизация проектирования и управления в гибком производстве. – Киев: Техника, Варшава: Научно техническое издательство, 1989. – 214 с. 4. Agnieszka Stachowiak. Evolutionary strategies in agile facility design. - Poznan University of Technology, Computing and Management Department, 2001. 5. Kazuhiro Kado. An investigation of genetic algorithms for facility layout problems. – University of Edinburgh, 1995. 6. Norhashimah Morad. Genetic algorithm optimization for the machine layout problem – School of industrial technology university Sains Malaysia, 2003. 7. Методы многокритериальной оптимизации. /Сост. В. И. Ильин. – Тверь: ТвГУ, 1990.

Сдано в редакцию 28.05.07

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СБОРКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СОСТАВНЫХ ВАЛКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ХОЛОДА

Лебедь В.Т., Кулаченко А.А. (АО «НКМЗ», г. Краматорск, Украина)

Set out has been the theoretical solution of the problem of large-size composite components assembly using subzero temperatures.

Производство крупногабаритных составных изделий, в частности, прокатных валков, представляет собой сложный технологический цикл [1], где определяющей операцией является сборка оси валка с бандажом (составной валок).

Технология тепловой сборки (как и демонтажа) достаточно полно изучена в [1], поэтому рассмотрим сборку с использованием холода.

Установлено, что технология сборки составных изделий с использованием холода позволяет [2,3]:

- допускать большие величины микронеровностей при одном и том же значении качества сопрягаемых поверхностей;
- уменьшать длительность процесса сборки;
- обеспечивать максимальную прочность посадки.

Компьютерное моделирование процесса сборки с нагревом деталей позволяет с высокой степенью точности определять конечную температуру и время нагрева на основании данных о распределении температур, деформаций и напряжений в бандаже в любой момент времени сборки.

Имея данные о текущем изменении напряженно-деформационного состояния оси валка и бандажа, были уточнены параметры формы посадочной поверхности сопрягаемых деталей и величина натяга [4].

При моделировании процесса сборки соединения «ось валка – бандаж» с использованием холода также решалась задача термоупругости. В качестве базового