

# **ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ**

Андрееenkova E.A., группа ИУС-06м

Руководитель доц. Секирин А.И.

В настоящее время в связи с необходимостью увеличения производительности труда, объема выпуска изделий, повышения их качества и интенсивного развития технических средств производства постоянно совершенствуют методику проектирования и используют в проектных работах математическое моделирование, а также средства вычислительной техники.

Большое значение имеет постоянное обновление предприятий. Ранее в разрабатываемых проектах закладывалась неизменная структура организации и технологии производственного процесса. Также значительная часть современных изделий имеют уникальную технологию производств. Качество, время и надежность их изготовления, а следовательно, и конкурентоспособность во многом определяются точностью соблюдения технологических режимов и условий среды, а также способом пространственного размещения технологического оборудования. Поэтому таким предприятиям требуются гибкие технологии [1].

Для решения задачи оптимизации размещения оборудования применяют, как наиболее простой, метод перестановок, при котором меняют местами произвольную пару размещаемых объектов и вычисляют новое значение целевой функции. Если произошло улучшение целевой функции, полученное размещение становится исходным, в противном случае – остается старое решение. Полным перебором всех возможных перестановок находится оптимальное решение.

Метод ветвей и границ – один из комбинаторных методов. Его суть заключается в упорядоченном переборе вариантов и рассмотрении лишь тех из них, которые оказываются по определенным признакам перспективными, и отбрасывании бесперспективных вариантов. Метод ветвей и границ состоит в следующем: множество допустимых решений (компоновок) некоторым способом разбивается на подмножества, каждое из которых этим же способом снова разбивается на подмножества. Процесс продолжается до тех пор, пока не получено оптимальное целочисленное решение исходной задачи [2].

В отличие от аналитических, эвристические методы находят большее применение, поскольку поиск оптимального решения построен на основе прагматических правил организации проектных процедур, учитывающих опыт технологического проектирования. Найденные с помощью правил компоновочные решения производственных систем не являются строго оптимальными, но соответствуют практическим требованиям.

Среди рассмотренных методов наиболее простым для реализации на ЭВМ является метод перестановок, но такой подход теряет эффективность при росте числа размещаемых объектов.

Метод ветвей и границ применим при наличии полных данных о процессе производства, поэтому не является универсальным.

Эвристические алгоритмы оптимизации размещения оборудования громоздки, в них отсутствуют четкие критерии выбора оптимального решения.

Поэтому для реализации поставленной задачи нами был выбран метод генетических алгоритмов.

Генетический алгоритм очень гибок, и, будучи построенным, в предположении, что об окружающей среде нам известен лишь минимум информации (как это часто бывает для сложных технических систем), алгоритм успешно справляется с широким кругом проблем, особенно в тех

задачах, где не существует общеизвестных алгоритмов решения или высокая степень априорной неопределенности.

Генетические алгоритмы - это процедуры поиска, основанные на механизмах естественного отбора и наследования. В них используется эволюционный принцип выживания наиболее приспособленных особей. Они отличаются от традиционных методов оптимизации несколькими базовыми элементами. В частности, генетические алгоритмы [3]:

- 1) обрабатывают не значения параметров самой задачи, а их закодированную форму;
- 2) осуществляют поиск решения исходя не из единственной точки, а из их некоторой популяции;
- 3) используют только целевую функцию, а не ее производные либо иную дополнительную информацию,
- 4) применяют вероятностные, а не детерминированные правила выбора.

Целью работы является повышение эффективности производства посредством поиска оптимальной компоновки технологического оборудования по принятым критериям с использованием генетических алгоритмов.

Для достижения поставленной цели определяются следующие задачи:

1. Обосновать выбор метода поиска оптимальной компоновки оборудования.
2. Разработать алгоритм, реализующий выбранный метод поиска.
3. Создать программный модуль, реализующий алгоритм поиска.
4. Проверить адекватность полученной модели.

В качестве типа компоновочной структуры нами была выбрана произвольная, при которой несколько станков в гибких производственных системах (ГПС) произвольно.

Способ реализации подачи инструмента - с общим автоматическим транспортом для деталей и инструмента. Расположение склада - вдоль линии

станков. Тип промежуточного накопителя - буферный распределенный.

В качестве исходных данных задаются следующие величины: геометрические параметры участка, на котором предполагается размещение оборудования, а также координаты размещения технологического оборудования.

В данной формулировке задачи каждое оборудование можно представить в виде прямоугольника, размеры которого определены заранее в зависимости от вида оборудования. Пусть оборудование имеет размеры  $h \times l$  ( $h \leq l$ ), тогда  $h' = h / sh$  – нормированное значение ширины,  $l' = l / sh$  – нормированное значение длины, где  $sh$  – шаг разметки цеха. Также предполагается, что каждая единица технологического оборудования размещается на любом свободном месте.

Итак, площадь цеха представляется разметочной сеткой с определенным шагом  $sh$  (рисунок 1). В каждом узле данной сетки может располагаться центр прямоугольной области (центроид), выделяемое под каждое оборудование.

Допустим, цех имеет размеры  $M \times N$  м<sup>2</sup>. Тогда координату произвольного расположения центроида области единицы оборудования  $P(i,j)$ ,  $i = \overline{0, (M / sh)}$ ,  $j = \overline{0, (N / sh)}$  на сетке можно представить в виде смещения относительно начала координат  $O(0, 0)$ :

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

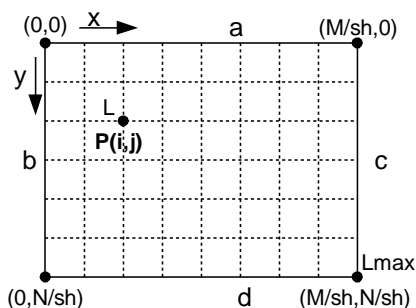


Рисунок 1 Представление цеха в виде разметочной сетки

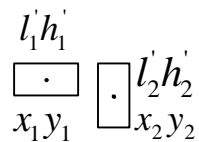
Через смещение можно выразить координаты центра оборудования:

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

При этом расположение оборудования принимается параллельным стенам цеха. Таким образом, задача сводится к нахождению такой компоновки, при которой выполняются ограничения:

- запрет наложения геометрических зон, принадлежащих различным объектам размещения, друг на друга:

1) случай перпендикулярного расположения оборудования:

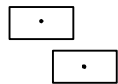


$$\text{а) } |x_2 - x_1| \geq (h_2 / 2 + l_1 / 2); \quad (3)$$

$$\text{б) } |y_2 - y_1| \geq (l_2 / 2 + h_1 / 2); \quad (4)$$

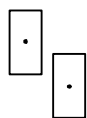
2) случай параллельного расположения оборудования:

2.1) горизонтальное:



$$|y_2 - y_1| \geq (h_1 / 2 + h_2 / 2); \quad (5)$$

2.2) вертикальное:



$$|x_2 - x_1| \geq (h_1 / 2 + h_2 / 2); \quad (6)$$

- запрет размещения геометрических объектов за пределами геометрической области цеха:

1) относительно стороны  $a$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} y \geq h' / 2 \\ x \geq l' / 2 \\ (M / sh - x) \geq l' / 2; \end{array} \right. \quad (7)$$

2) относительно стороны  $b$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} x \geq h' / 2 \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned}
 y &\geq l' / 2 \\
 (M / sh - y) &\geq l' / 2 ;
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

3) относительно стороны  $c$ :

$$\left\{ \begin{aligned}
 (M / sh - x) &\geq h' / 2 \\
 y &\geq l' / 2 \\
 (N / sh - y) &\geq l' / 2 ;
 \end{aligned} \right.
 \tag{9}$$

4) относительно стороны  $d$ :

$$\left\{ \begin{aligned}
 (N / sh - y) &\geq h' / 2 \\
 x &\geq l' / 2 \\
 (M / sh - x) &\geq l' / 2
 \end{aligned} \right.
 \tag{10}$$

- суммарная площадь, занимаемая оборудованием, не должна превышать общую площадь цеха:

$$\sum_{i=1}^k l_i \times h_i \leq S_{общ} ,
 \tag{11}$$

где  $k$  – количество размещаемого оборудования;

$S_{общ}$  – площадь цеха.

Оптимизация компоновки производственного оборудования заключается в том, чтобы для ГПС с заданными размерами цеха, заданным типом, количеством оборудования и определенной транспортной системой определить такую схему компоновки цеха, при которой критерий оценки качества компоновки стремился к экстремуму.

В качестве целевой функции предложено использовать следующие критерии оптимизации компоновки производственного оборудования [4]:

- Минимизация стоимости обработки изделия:

$$F_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_{ij} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n fl_{ik} \cdot c_{jl} \cdot x_{ij} \cdot x_{kl} ,
 \tag{12}$$

где  $a_{ij}$  тип работы станка  $i$  расположенного в позиции  $j$

$c_{jl}$  стоимость транспортирования единицы изделия из позиции  $j$  в  $l$

$fl_{ik}$  поток изделий от станка  $i$  к станку  $j$

$n$  общее количество мест для расположения станков

$x_{ij} = 1$  если станок  $i$  расположен в позиции  $j$

$x_{ij} = 0$  иначе.

- Минимизация расстояния, пройденного изделием в процессе обработки

$$F_2 = \min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N traffic_{ij} \cdot distace_{ij},$$

(13)

где  $traffic_{ij}$  частота / объем движения между станками  $i$  и  $j$

$distace_{ij}$  расстояние между станками  $i$  и  $j$

- Минимизация пиковых нагрузок оборудования

$$F_3 = \min\{\max(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m pt_{ik} \cdot pv_i)\}, \quad (14)$$

где  $pt_{ik}$  время обработки деталей типа  $i$  на станке типа  $k$

$pv_i$  размерность партии деталей типа  $i$

$m$  количество видов оборудования

$n$  количество типов партии деталей

В качестве исходных данных для кодирования хромосомы берется координатное размещение центра прямоугольной области (центроид), выделяемой под каждое оборудование. Координату произвольного расположения центроида  $P(i, j)$ , можно представить в виде смещения относительно начала координат  $O(0, 0) - L(1)$ .

Это смещение и является характеристикой размещения единицы оборудования.

Разрядность хромосом определяется количеством размещаемого оборудования. Структура хромосом формируется заранее таким образом, что каждый ген соответствует определенной единице оборудования. В процессе решения ГА происходит обмен данными свойств, определяющих смещение данной единицы оборудования относительно начала координат, причем порядок генов в хромосоме остается неизменным, что исключает

дублирование одной и той же единицы оборудования в совокупности.

Хромосома имеет структуру:

$L_1^i$	$L_2^i$	$L_3^i$	$L_4^i$	...	$L_k^i$
---------	---------	---------	---------	-----	---------

Рисунок 2 Структура хромосомы

где  $k$  – количество единиц оборудования;

$i$  – номер хромосомы.

Для реализации процедуры скрещивания был выбран оператор – одноточечный кроссинговер. Точка пересечения определяется случайным образом. При пересечении происходит обмен свойствами генов, несущих в себе информацию о размещении единицы оборудования.

Оператор мутации выполняется по следующему правилу. При выполнении оператора мутации случайным образом выбирается ген, которому соответствует смещение определенной единицы оборудования. Затем это смещение заменяется разностью максимального смещения и текущего смещения единицы оборудования:

$$L' = L_{\max} - L \quad (15)$$

где  $L_{\max} = N * M / sh \quad (16)$

Обобщенная блок-схема генетического алгоритма представлена на рисунке 3.

Алгоритм может прекратить дальнейшие вычисления по одному из следующих критериев, определяемых пользователем:

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



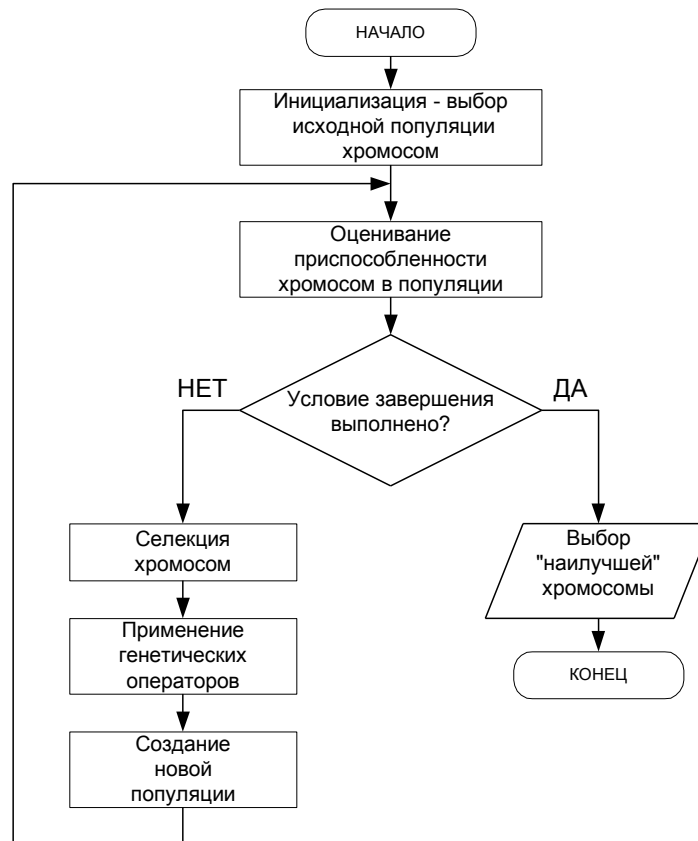


Рисунок 3 Обобщенная блок-схема генетического алгоритма

Объектом исследования является пространственное размещение производственного оборудования.

В данной статье рассмотрена задача оптимизации компоновки оборудования, обоснована ее актуальность, выбраны критерии поиска оптимального решения, а также накладываемые ограничения. Составлен алгоритм поиска оптимальной компоновки оборудования. В результате выполнения данного алгоритма получены компоновочные решения с последующей проверкой адекватности модели.

#### Перечень ссылок

1. Вороненко В. П., Егоров В. А., Косов М.Г. Проектирование автоматизированных участков цехов: учебник для машиностроительных специальностей вузов – М. : Высшая школа, 2000.
2. Зайченко Ю. П. Исследование операций: учебник – К. : Высшая школа, 1975.

3. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Перевод с польского И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия, 2006.

4. Kazuhiro Kado. An Investigation of Genetic Algorithms for Facility Layout Problems: A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Master of Philosophy to the University of Edinburgh, 1995.