

УДК 004.023

## Подсистема оптимизации работы гибких производственных систем с использованием многокритериальных генетических алгоритмов

Бабич К. К., Секирин А.И., Новиков Д.Д.  
Донецкий национальный технический университет г. Донецк  
Кафедра автоматизированных систем управления  
E-mail: [bkristyaa@gmail.com](mailto:bkristyaa@gmail.com)

*Бабич К. К., Секирин А.И., Новиков Д. Д. Подсистема оптимизации работы гибких производственных систем с использованием многокритериальных генетических алгоритмов. В статье обоснована актуальность проблемы, проведен краткий обзор основных алгоритмов и методов моделирования, используемых для разрешения схожих проблем, описана математическая постановка задачи и предложенное решение.*

**Ключевые слова:** гибкие производственные системы, максимизация среднего коэффициента загрузки, генетический алгоритм, модель

### Актуальность проблемы

В практике человеческой деятельности, будь то профессиональная сфера или повседневная жизнь, постоянно возникают задачи выбора, предполагающие в результате принятие решения. Только в ряде случаев, лицо принимающее решение осуществляет выбор (принимает решение) интуитивно, опираясь на собственный опыт и здравый смысл, а решение более сложных задач требует особого подхода, так как в данном случае задача принятия решения представляет собой, по сути, уже оптимизационную задачу.

Простейшая ситуация выбора решений соответствует случаю, когда преследуется единственная цель, и эта цель может быть формально задана в виде скалярной функции критерия качества выбора или значения критерия качества могут быть получены для любого допустимого набора значений аргументов. Предполагается также, что известна область определения параметров, входящих в целевую функцию, накладываемые на них ограничения, или для любой заданной точки может быть установлено, является ли она допустимым выбором. В такой ситуации задача выбора решения может быть формализована и описана моделью математического программирования.

Методы решения задач математического программирования с одним критерием

интенсивно разрабатывались последние 40 лет. Изучение таких методов, однако, отражало самый ранний и простой этап в развитии математического

программирования. По мере того как мы стремительно вступаем в век информатики, становится ясно, что практически любая серьезная задача характеризуется более чем одним критерием. Ощущается необходимость оценивать альтернативные решения с точки зрения нескольких критериев.

В процессе управления сложными технологическими комплексами и организационно-техническими системами необходимо постоянно принимать непростые решения, связанные с учетом многих критериев протекания производственных процессов и ограничений на ресурсы. Без использования возможностей современной вычислительной техники достаточно сложно сделать оптимальный выбор. В этой связи необходимо разрабатывать и внедрять системы поддержки принятия решений.

Необходимость внедрения информационных систем управления более остро стоит перед предприятиями машиностроительной отрасли. Машиностроение является одной из наиболее наукоемких, сложных, требующих высококвалифицированных

высококвалифицированных кадров отраслей материального производства. Уровень развития машиностроения определяет уровень развития государства в целом.

Основой для создания компьютеризированных производственных систем являются гибкие производственные системы (ГПС). Это технологические структуры с законченным производственным циклом (участок, цех) и различной степенью автоматизации. ГПС включает в себя автоматизированное технологическое оборудование для механообработки деталей,

а также вспомогательное оборудование: автоматизированный транспорт и автоматизированную складскую систему.

ГПС представляет собой сложный динамический объект. Для эффективного использования такого объекта необходимо формировать и динамически корректировать с учетом изменения ситуации на производстве оптимальное расписание работы оборудования. На реальный производственный процесс влияет ряд внешних факторов:

- сбои в транспортно-складской системе;
- введение в производство новой детали;
- выход из строя технологического оборудования.

Для разработки метода оптимизации необходима модель ГПС, которая обеспечит близкое к реальности отображение процесса работы оборудования и движения материальных и информационных потоков.

Фактически задача оптимизации работы состоит из двух этапов:

- разработка модели ГПС;
- разработка алгоритма оптимизации.

Классическая схема решения задач производственной оптимизации представлена на рисунке:

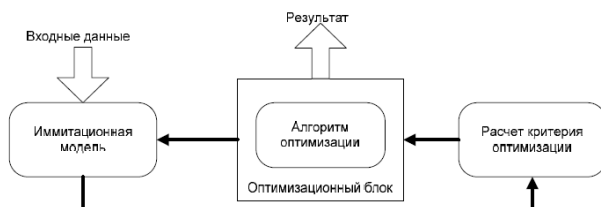


Рисунок 1. Схема подсистемы оптимизации

### **Применяемые методы, модели и алгоритмы для решения задачи**

Математическое моделирование – это средство изучения реального объекта, процесса или системы путем их замены математической моделью, более удобной для экспериментального исследования с помощью ЭВМ.

Модель является приближенным представлением реальных объектов, процессов или систем, выраженным в математических терминах и сохраняющим существенные черты оригиналов. Математические модели описывают основные свойства объекта, его параметры, внутренние и внешние связи.

Для моделирования работы гибких производственных систем чаще всего

используются следующие методы моделирования:

- аналитические модели;
- модели, построенные на теории сетей и графов;
- имитационные модели;
- объектно-ориентированный подход.

Проведенный сравнительный анализ моделей, применяемых для формализации работы ГПС показал, что на сегодня наиболее эффективными являются подходы, основанные на использовании сетей и графов или имитационное моделирование. Однако указанные модели

не лишены недостатков, главным из которых является формализация с допущениями с целью упрощения модели, что негативно влияет на оперативность и оптимальность управления, а также на эффективность функционирования ГПС в целом.

Для оптимизации работы ГПС применяются следующие алгоритмы:

- метод линейного программирования;
- метод динамического программирования;
- метод ветвей и границ;
- генетические алгоритмы.

При использовании первых трех алгоритмов оптимальное расписание работы технологического комплекса либо вообще не может быть получено, либо не может быть получено в приемлемые сроки. Решения получены лишь для простейших случаев. Выходом из ситуации является использование эвристических методов поиска, таких как генетические алгоритмы. Механизм развития и наследования позволяет последовательно улучшать хромосомы в каждой новой популяции, что приводит к получению субоптимальных (близких к оптимальным) решений.

### **Математическая постановка**

В общем виде задачу оптимизации можно описать следующим образом: имеется  $n$  деталей, которые необходимо обработать на  $L$  станках. При этом необходимо составить расписание работы оборудования, очередность запуска деталей в производство и размеры партий запуска, которые будут удовлетворять одновременно нескольким критериям оценки качества расписания.

Запишем основные критерии, по которым может быть эффективности полученного расписания:

1. Минимизация длительности цикла изготовления деталей

$$T_{\text{опт}} = T \rightarrow \min \quad (1)$$

где  $T$  - общее время производственного цикла.

$$T = \sum_{k=1}^n \left( \sum_{j=1}^n T_{ij} + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \right) \quad 2)$$

где  $T_{ij}$  - длительность цикла технологической операции  $i$ -ой партии деталей,  $\alpha_{ij}$  - длительность простоя перед началом выполнения  $j$ -ой технологической операции над  $i$ -ой партией деталей;

2. Максимизация среднего коэффициента загрузки технологического оборудования (максимизация загрузки оборудования)

$$K_{\text{оптз}} = \frac{1}{m} * \sum K_3 \rightarrow \max, \text{ или } K_{\text{оптз}} = \frac{1}{m} * \sum K_3 \rightarrow \min \quad 3)$$

где  $m$  - количество оборудования,  $K_3$  - коэффициент загрузки  $i$ -го оборудования.

Коэффициент загрузки  $i$ -го оборудования определяется отношением времени производительной работы к общему времени по формуле:

$$K_3 = \frac{\sum_{j=1}^n T_{ij}}{\sum_{j=1}^n T_{ij} + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}} \quad 4)$$

3. Минимизация временных затрат на перенастройку оборудования

$$t_H = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tau_{ij} \rightarrow \min \quad 5)$$

где  $t_H$  - общее время, затраченное на перенастройку оборудования,  $\tau_{ij}$  - время, затраченное на перенастройку  $i$ -го станка  $j$ -ый раз,  $n$  - количество перенастроек

Т.е. фактически необходимо минимизировать количество перенастроек:

$$n \rightarrow \min \quad 6)$$

При этом необходимо учитывать следующие ограничения:

1. Ограничения по объемам изготовления:

$$N_{\text{пл}} = N_{\Phi} \quad 7)$$

где  $N_{\Phi}$  - фактическое изготовленное количество деталей  $i$ -го типа ( $i=1 \dots K$ ),  $N_{\text{пл}}$  - заданное в производственной программе количество деталей  $i$ -го типа,  $K$  - номенклатура изготавливаемых деталей.

2. Ограничения по срокам изготовления:

$$T_{\text{пл}} \geq T_{\Phi} \quad 8)$$

где  $T_{\Phi}$  - фактический срок изготовления  $i$ -ой детали ( $i=1 \dots K$ ),  $T_{\text{пл}}$  - директивный срок изготовления  $i$ -ой детали.

3. Ограничение по фонду времени работы технологического оборудования:

$$\sum_{i=1}^n N_{\text{пл}} \sum_{j=1}^m T_{ij} \leq R_i \quad 9)$$

где  $T_{ij}$  - длительность выполнения технологической операции,  $R_i$  - ресурс  $i$ -ой группы оборудования.

В реальных условиях производства на функционирование цеха механообработки оказывают влияние различные возмущающие воздействия  $\{V_k\}$ , которые приводят к отклонениям выпуска деталей от производственной программы.

Задачей управления является обеспечение выпуска продукции согласно производственной программе ( $N_{\text{пл}}$ ) по количеству и в установленные сроки при эффективном использовании ресурсов ( $R_i$ ) в условиях действия возмущений ( $V_k$ ). Обеспечение высокой эффективности использования ресурсов ( $R_i$ ) и функционирования цеха в целом достигается за счет оптимизации расписаний работы оборудования.

Процесс изготовления деталей  $D_i$  ( $i=1 \dots n$ ) разбивают на технологические операции  $O_{ij}$  ( $i=1 \dots n$ ;  $j=1 \dots m$ ). Детали одного типа объединяются в транспортные партии и в разрезе расписаний рассматриваются как технологическая единица. Каждая операция может быть выражена:

$$O_{ij} = \langle H_{ij}, T_{ij} \rangle \quad 10)$$

где  $H_{ij}$  - номер группы технологического оборудования;  $T_{ij}$  - продолжительность выполнения операции.

Технологический маршрут представляет собой последовательность выполняемых операций, которые проходят  $i$ -я деталь в процессе обработки:

$$M_i = \langle O_{i1}, O_{i2} \dots O_{im} \rangle \quad 11)$$

Операция  $O_{ij}$  должна выполняться без перерыва с самого начала. Если обозначить через  $t_{ij}$  - время начала выполнения операции  $O_{ij}$ , а через  $t'_{ij}$  - момент окончания обработки, то должно выполняться равенство:

$$t'_{ij} = t_{ij} + T_{ij} \quad 12)$$

Очевидно, что время начала обработки зависит от времени выполнения предыдущих операций и всегда выполняется неравенство:  $t_{ij} \leq t_{ij+1}$ . Тогда совокупность  $\{t_{ij}\}$  ( $i = 1 \dots n$ ;  $j = 1 \dots m$ ), удовлетворяющих всем технологическим и

временным ограничениям, является расписанием работы.

### **Предлагаемое решение**

Для построения адекватной модели технологического комплекса используется объектно-ориентированный подход. Учитывая модульную структуру ГПС выделены следующие классы:

- гибкий производственный модуль (ГПМ);
- автоматизированный транспортный модуль (АТМ);
- автоматизированный склад (АС);
- система управления (СУ).

Для управления комплексом и создания событий введен дополнительный управляющий класс «диспетчер событий».

В качестве алгоритма оптимизации используется двухуровневый генетический алгоритм.

$$C_i^1 = [m_1, m_2 \dots m_n], C_i^2 = [k_1, k_2 \dots k_n] \quad 13)$$

где  $m$  и  $k$  – натуральные числа,  $n$  – размер популяции

Первый уровень хромосом кодирует различные варианты последовательностей запуска деталей по их типам на технологический участок. Каждой хромосоме первого уровня сопоставляется хромосома второго уровня, в которой содержится информация о величине партий запуска для каждого типа детали. Начальные решения (хромосомы первой популяции) формируются случайным образом, затем генетический алгоритм производит перебор очередности и размеров партий запуска, поступающих в обработку.

Для реализации многокритериальной оптимизации используется метод взвешенной функции, он является естественным развитием классических методов оптимизации, где новая «общая» целевая функция строится из заданных в виде взвешенной суммы:

$$F(x) = \sum_{i=1}^k w_i f_i(x), \text{ где веса } w_i \in [0,1] \text{ и } \sum_{i=1}^k w_i = 1 \quad 14)$$

Здесь каждой целевой функции  $f_i(x)$  присваивается свой вес  $w_i$  и задача сводится к скалярному случаю. При этом различные веса  $w_i$  дают разные решения в смысле Парето.

### **Программная реализация**

Подсистема состоит из двух программных модулей:

- Блок моделирования;
- Блок оптимизации.

Для реализации используется среда MS Visual Studio 2010, в качестве языка программирования выбран C#.

### **Результаты работы**

Моделирование работы гибких производственных систем механообработки позволяет получать оценки загрузки всех видов оборудования и выявлять «узкие места», снижающие эффективность работы ГПС. Проведение на модели анализа различных вариантов их устранения позволяет разработать практические рекомендации, обеспечивающие повышение загрузки технологического оборудования. Применение модифицированного двухуровневого генетического алгоритма совместно с объектной моделью позволяет получать субоптимальные расписания работы оборудования по нескольким критериям, что обеспечивает высокую эффективность функционирования ГПС механообработки.

### **Выводы**

Разработанная объектная модель ГПС позволила получить и проанализировать загрузку различных видов оборудования: гибких производственных модулей, автоматизированного транспорта и склада. Применение генетических алгоритмов позволяет получать близкие к оптимальным решения в допустимые сроки. Проведенные исследования

показали целесообразность и эффективность применения данного подхода в управлении автоматизированными технологическими комплексами.

### **Список литературы**

1. Секирин А.И. Использование генетических алгоритмов для оптимизации работы автоматизированных технологических комплексов механообработки [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2009/kita/aleksandrova/library/article10.htm>
2. Оптимизация моделей процессов производства [электронный ресурс]. Режим доступа: [http://revolution.allbest.ru/manufacture/0003752\\_2\\_0.html](http://revolution.allbest.ru/manufacture/0003752_2_0.html)
3. Сачко Н.С. Организация и оперативное управление

машиностроительным производством / Н.С. Сачко – Новое знание, 2006. – 520 с.

4. Шеховцов А.В., Крючковский В.В., Мельник А.Н. «Решение многокритериальной оптимизации с использованием адаптивных алгоритмов» [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://aaecs.org/shehovcov-av-kryuchkovskii-vv-melnik-a-n-reshenie->

[mnogokriterialnoi-optimizacii-s-ispolzovaniem-adaptivnih-algoritmov.html](http://mat.1september.ru/article.php?id=1701001)

М. Скворцова Математическое моделирование [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mat.1september>

***Babich K., Sekirin A., Novikov D. Subsystem for optimizing the operation of flexible production systems using multicriteria genetic algorithms. The article substantiates the urgency of the problem, provides a brief overview of the main algorithms and modeling methods used to solve similar problems, describes the mathematical formulation of the problem and the proposed solution.***

***Keywords:*** Flexible production systems, maximizing of the average load factor, genetic algorithm, model

*Статья поступила в редакцию 20.09.2017*

*Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом*