

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В МАШИНОСТРОЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Сухоруков Д.В., группа АСУ-01а

Руководитель доц. каф. АСУ Секирин А.И.

Общая постановка проблемы оптимизации работы гибких производственных систем. Одним из основных направлений развития машиностроения является автоматизация обрабатывающего оборудования с помощью современных компьютерных технологий и создание на их базе гибких производственных систем (ГПС). Высокая степень гибкости обеспечивает более полное удовлетворение требований заказчика, оперативный переход к выпуску новой продукции, сохранение оправданного характера мелкосерийного производства, автоматизацию технологической подготовке производства на базе вычислительной техники, снижение затрат на незавершенное производство. С точки зрения управления ГПС является сложным динамическим объектом, во многом его экономическая эффективность зависит от созданной математической модели производства, а так же от эффективности оперативно — календарного планирования[4].

Краткая постановка задачи оптимизации расписания работы. Для уровня производства задача заключается в том, чтобы для ГПС с заданными технологическими маршрутами обработки деталей, определить такую последовательность запуска деталей в производство и размеры партий запуска, при которых критерий оценки качества расписания $F(G)$ стремился к экстремуму $F(\bar{G}) = \text{extr } F(G)$, при выполнении следующих ограничений:

- по объемам изготовления: фактическое количество изготовленных деталей должно быть равно заданному в производственной программе, согласно номенклатуре изготавливаемых деталей;

- фактический срок изготовления i -й детали должен быть не больше директивного срока изготовления i -й детали;
- по фонду времени работы технологического оборудования: произведение суммы заданного количества деталей в производственной программе, на сумму длительностей выполнения технологических операций, должно быть не более ресурса одной группы оборудования (одной группы цехов).

Для цехового уровня задача заключается в том, чтобы для цехов с заданными маршрутами обработки, определить такую последовательность запуска транспортных партий в цеха и их размеры, при которых критерий оценки качества расписания $F(G)$ стремился к экстремуму $F(\bar{G}) = \text{extr } F(G)$. При выполнении ограничений аналогичных производственному уровню.

Для оценки качества составляемого расписания на цеховом уровне предлагается использовать критерии [1]:

- 1. Минимизация общего времени выполнения плана. Это время состоит из минимизации времени транспортировки (f_2), общего машинного времени (f_1), и минимизации общего времени выполнения заказа (F_1):**

$$f_1 = \sum_i^n \sum_j^{p_i} \sum_k^m p v_i \cdot p t_{ijk} \cdot x_{ijk}, \quad (1)$$

$$f_2 = \sum_i^n \sum_j^{p_i-1} \sum_k^m \sum_l^m t_{ikl} \cdot x_{ijk} \cdot x_{i(j+1)l}, \quad (2)$$

$$F_1 = \min\{f_1 + f_2\}, \quad (3)$$

где $p v_i$ — размерность партии деталей типа i ; $p t_{ijk}$ — время обработки единицы типа детали i операцией j на машине типа k ; $x_{ijk} - 1$, если машина типа k выбрана для выполнения операции j , иначе 0; $t_{ikl} = n_{ikl} * t m_{kl}$ — общее время транспортировки между машинами k и l для типа детали i ; $t m_{kl}$ — время транспортировки между машинами k и l ; n_{ikl} — число ходок между машиной k и l для детали типа i ;

2. Минимизация отклонений загрузки машин:

$$F_2 = \min \left\{ \sum_k^m (tw_k - ew)^2 \right\}, \quad (4)$$

где $tw_k = pt_{ijk} * pv_i$ — загрузка k -й машины; ew — средняя загрузка машин;

3. Минимизация максимальной загрузки оборудования:

$$F_3 = \min \{ \max(tw_k) \}; \quad (5)$$

4. «Точно в срок»:

$$F_7 = \min \left\{ D_i - \sum_i^n \sum_j^{p_i} \sum_k^m pv_i \cdot pt_{ijk} \cdot x_{ijk} - \sum_i^n \sum_j^{p_i-1} \sum_k^m \sum_l^m t_{ikl} \cdot x_{ijk} \cdot x_{i(j+1)l} \right\}, \quad (6)$$

где D_i — директивный срок выполнения партии деталей i .

На производственном уровне критерием оптимизации может быть выбран:

1. Минимизация производственного времени выполнения заказов:

$$F_1 = \min \left\{ \sum_i^n \sum_j^{p_i} pv_i \cdot pt_{ij} \cdot x_{ij} + \sum_i^n \sum_j^{p_i-1} \sum_k^m \sum_l^m t_{ikl} \cdot x_{ijk} \cdot x_{i(j+1)l} \right\}, \quad (7)$$

где pv_i — размерность заказа i ; pt_{ij} — время обработки единицы заказа i в j цеху; x_{ij} — 1, если цех j выбран для выполнения заказа i , иначе 0; $t_{ikl} = n_{ikl} * tm_{kl}$ — общее время транспортировки между цехами k и l для заказа i ; n_{ikl} — число ходок между цехами k и l , заказа i ; tm_{kl} — время транспортировки между цехами k и l .

Анализ методов и моделей применяемых для решения данной задачи.

Существуют различные методы и подходы к построению оптимальных расписаний, в их основе лежат: решающие правила, система массового обслуживания, теории сетей и графов, имитационные модели. Основной недостаток перечисленных методов моделирования — невысокая точность, т.к. все они составляются со слов экспертов и представляют собой набор усредненных субъективных показателей.

Оптимизация расписания технологических систем на основе эволюционных вычислений. Для решения задачи предлагается использовать генетические алгоритмы[2]. (Обобщенный алгоритм генетического поиска представлен на рис. 1).

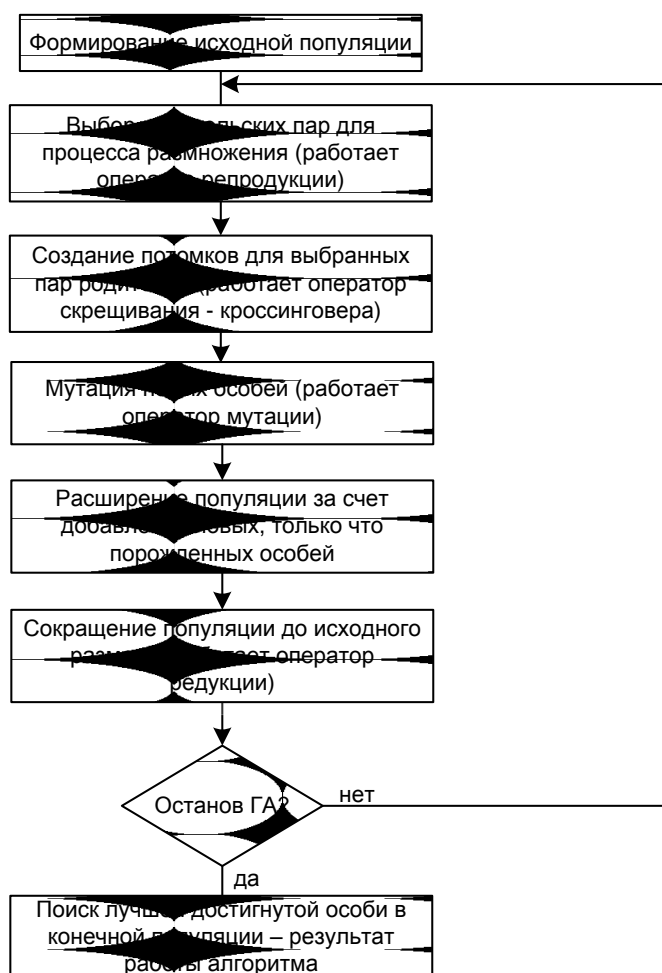


Рисунок 1 — Обобщенный алгоритм генетического поиска

Предложено использовать матричное представление хромосом позволяющее реализовывать произвольное кодирование решения в виде матрицы размерности $N \times M$ (рис. 2).

$$\begin{array}{l}
 H_i^1 = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline m_1 & m_2 & m_3 & \dots & m_n \\ \hline \end{array} \\
 \dots \\
 H_i^j = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline l_1 & l_2 & l_3 & \dots & l_n \\ \hline \end{array} \\
 \dots \\
 H_i^t = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline l_1 & l_2 & l_3 & \dots & l_n \\ \hline \end{array}
 \end{array}$$

Рисунок 2 — Схема кодирования решения

Здесь, H_i^j, H_i^l — соответственно хромосомы i -го и нижнего уровня; m_i, l_i — натуральные числа, кодирующие заданные параметры решения; n — размерность строки, характеризующее число возможных типов решения.

Для расчета целевой функции используется подсистема моделирования работы ГПС, входным параметром которой является закодированное решение, а выходным — таблица моделирования, на основании которой и производится расчет значения целевой функции по выбранному критерию (рис. 3).

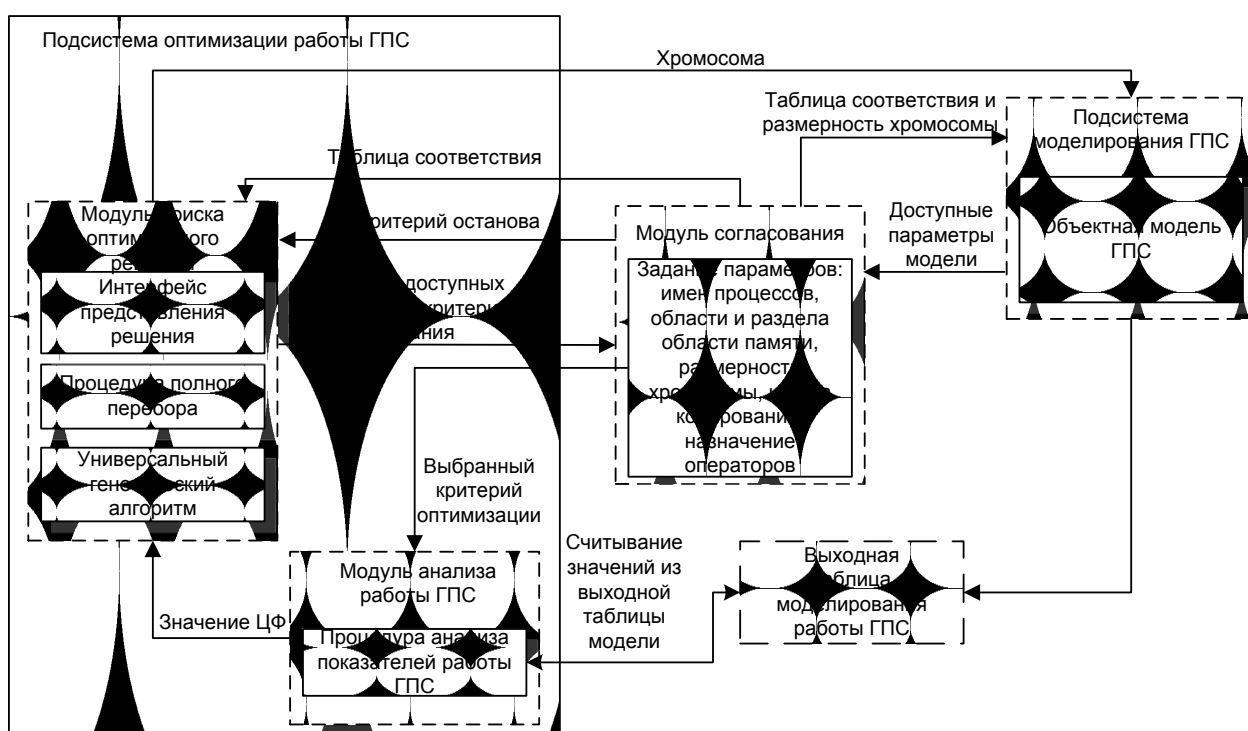


Рисунок 3 — Унифицированный интерфейс взаимодействия генетического алгоритма с моделью объекта

Впервые предлагается использование модуля согласования. В нем задается: способ кодирования хромосомы, назначаются операторы мутации и кроссинговера (для каждого уровня хромосомы), критерий останова, критерий оптимизации, а так же задаются начальные параметры алгоритма, выбирается тип применяемого алгоритма.

Генетические операторы. В алгоритме реализованы однотоочечный и двуточечный операторы кроссинговера, с возможностью коррекции, если это необходимо. Так, двухточечный оператор скрещивания на первом шаге из всей популяции выбирает две хромосомы родителя. Далее случайным образом определяются две точки кроссинговера:

1. Первая точка расположена в интервале ОК $k_1 \in [1, N-1-L_{\text{блока}}]$ ($L_{\text{блока}}$ — минимальное расстояние между точками кроссинговера, N — длина хромосомы);
2. Позиция второй точки $k_2 \in [k_1+L_{\text{блока}}, N-1]$.

Схема поэлементного формирования хромосом — потомков с коррекцией нижнего уровня (рис. 4)

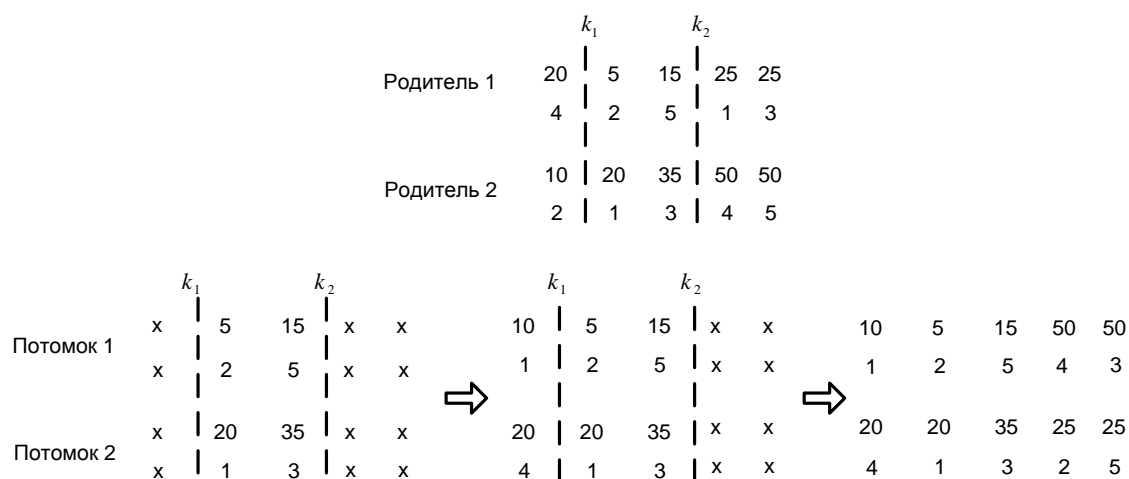


Рисунок 4 — Схема поэлементного формирования хромосом — потомков с коррекцией нижнего уровня

Для хромосомы произвольного уровня разработано несколько вариантов оператора мутации: случайно выбранный элемент замещается числом рассчитываемым согласно формуле (8); обмен значений строки и генерация нового значения из заданного интервала.

$$w = i \cdot x, \quad (8)$$

где w — новое значение; i — натуральное число, случайный множитель в интервале $[1; \delta]$, задающий кратность значения (например, для случая размерности партии запуска); x — возможный размер величины (например, размер транспортной партии $x \in \{5; 10; 15\}$).

Пользователь имеет возможность выбрать либо комбинацию операторов, либо определенный тип операторов мутации и кроссинговера. В алгоритме предусматривается возможность задания вероятностей мутации и кроссинговера несколькими способами — постоянные значения, при стандартном генетическом алгоритме и стартовые значения, для адаптивного алгоритма.

Эволюционная стратегия. В качестве стратегии эволюции впервые, применительно к задаче оптимизации расписания предлагается использование стратегии [3] изображенной на рис. 5. Применение элитизма способствует сохранению общего качества популяции на высоком уровне. При этом элитные особи участвуют еще и в процессе отбора родителей для последующего скрещивания. Процесс перехода от одного поколения к другому проиллюстрирован на рис. 5.

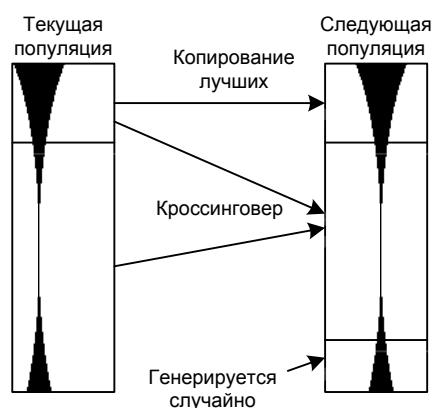


Рисунок 5 — Процесс перехода от одного поколения к другому

Критерии останова. 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. Программная реализация произведена в среде программирования C++ Builder 6.0. Тестирование алгоритма проведено на функциях Розенброка (Rosenbrock's valley (De Jong's function 2)) и Ackley's Path. Расхождение с оптимальным решением не превысило от 9 до 12,5%.

Выводы. Для повышения эффективности работы производственно-технологических систем и оптимизации оперативно-календарного планирования предложено использовать метод эволюционного моделирования генетические алгоритмы. Для повышения качества расписания оптимизация проводится на производственном и цеховом уровнях. С целью обеспечения универсальности реализован специальный интерфейс согласования, он позволяет настраивать алгоритм на конкретный уровень производства с учетом сложившейся производственной ситуации. Проведенные исследования показали эффективность применения данного подхода к оптимизации расписания производственно — технологических систем.

Перечень ссылок

1. Multi-Objective Evolutionary Optimization of Flexible Manufacturing Systems, Jian-Hung Chen, Shinn-Ying Ho / Электронный ресурс. Способ доступа: URL: <http://www.lania.mx/~ccoello/chen01a.pdf.gz>.
2. Holland J.H. «Adaptation in Natural and Artificial Systems: 2nd edition», MIT Press, 1992.
3. A Hybrid Genetic Algorithm for the Job Shop Scheduling Problem, Jose Fernando Goncalves, Jorge Jose de Magalhaes Mendes, Mauricio G.C. AT&T Labs Research Technical Report TD-5EAL6J September, 2002.
4. Секирин А.И. Программный комплекс для моделирования, анализа и оптимизации работы автоматизированных технологических комплексов механообработки // Научные работы ДонНТУ. Серия: Вычислительная техника и автоматизация, выпуск 90. — Донецк: Изд-во ДонНТУ 2005. — С. 104–110.