

УДК 004.942

Ченгарь О. В.

ИМИТАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ

Проблемы оперативного планирования в машиностроительной отрасли, исследуются достаточно давно. Все организационные и технологические решения должны приниматься оперативно. Причём неоптимальные решения значительно снижают эффективность построения расписаний работы производственного участка [1].

В рамках оперативного управления одной из важнейших проблем является проблема планирования работы гибкой производственной системы (ГПС), т. е. упорядочение работ на выбранной структуре гибких производственных модулей (ГПМ) [2]. Особенностью производственной сферы является тот факт, что в процессе работы некоторые технологические машины могут выйти из строя или потребоваться их профилактический ремонт, вследствие этого необходимо иметь возможность динамически перераспределять нагрузки между оставшимся оборудованием, чтобы не останавливать все производство [3].

Существует множество работ посвященных проблеме оперативного управления в дискретных производствах. Разработаны и внедрены некоторые системы управления гибкими производственными системами (OmegaProduction, ФОБОС). В результате анализа существующих систем планирования выявлен ряд недостатков [1], для исключения которых необходимо использовать эволюционные методы, которые разрешили бы получать оптимальные решения проблем реальных производственных ситуаций за малое время. При решении такие методы рассматривают систему планирования как черный ящик, когда на входе задаются разные значения параметров планирования, после чего оценивается эффективность получаемых расписаний с точки зрения ключевых показателей эффективности.

Задача оперативного планирования работы ГПС заключается в том, чтобы для производственного участка с заданными технологическими маршрутами обработки деталей составить некоторое расписание, удовлетворяющее сформулированным условиям, которое представляется в виде графа. Бесспорно, построение такого графа эквивалентно определению чисел t_{ij} – моментов начала технологической операции O_{ij} . Совокупность чисел $\{t_{ij}\}$ ($i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, m_i$), удовлетворяющая сформулированным условиям, называется расписанием работы ГПС или его графовой моделью $G(i)$.

Очевидно, что существует бесчисленное множество графов, которые удовлетворяют сформулированным условиям и ограничениям. В работе [4] исследован вопрос разработки графоаналитической модели и построена графоаналитическая модель в соответствии с избранным критерием оптимизации. Здесь мы имеем естественное представление задачи в виде графа (1):

$$G = (V, D, P), \quad (1)$$

где V – множество вершин, каждая из которых представляет позицию обработки деталей;

D – множество дуг графа, представляющих время перехода от одной технологической операции на другую;

P – матрица правил перехода, где каждой дуге $(i, j) \in D$ приписывается вес P_{ij} .

Для реализации алгоритма оптимизации производственного расписания была предложена объектная модель функционирования ГПС [5], которая позволяет наглядно отобразить его работу, все связи и последовательность функционирования. Объектная модель представляет

собой описание объектов, составляющих в совокупности проектируемую систему, а также отображает различные зависимости между ними.

Данная модель учитывает различные внешние воздействия, такие как поломка ГПМ, выполнение плановых ремонтных работ, наладка оборудования, задержка в поставках материалов и прочее. При проектировании формируются очередь заготовок для обработки и очередь свободного оборудования, имеющего возможность произвести изготовление заданной партии деталей. Так при составлении расписания моделируется время начала и окончания каждой производственной операции на выбранном типе ГПМ.

Целью работы является разработка имитационного алгоритма моделирования производственного процесса в ГПС, который легко может быть адаптирован к заданным условиям с учетом дополнительных ограничений задачи.

В результате анализа существующих разработок в области эволюционных методов установлено, что перспективным решением сложных комбинаторных задач оптимизации является использование метода муравьиных колоний. Преимуществом данного алгоритма для поставленной задачи является то, что данный метод не требует построения структурной модели непосредственно самого производственного участка.

Анализ литературы [1, 6, 7] показал, что муравьиные алгоритмы хорошо показывают себя при решении динамических задач на графах, прежде всего, задач комбинаторной оптимизации, одной из которых является задача синтеза производственного расписания.

На рис. 1 представлен укрупненный алгоритм прохода одной популяции муравьев для имитационного моделирования производственного процесса в ГПС.

Вначале формируется остов графа, состоящий из стартовой и конечной вершин, а также из вершин, каждая из которых соответствует отдельной технологической операции (ТО) над определённым типом деталей. Для этого в стартовой вершине устанавливаются начальные параметры алгоритма, согласно производственной программе. Затем организуется массив указателей на ряды вершин, количество которых равно количеству типов деталей по производственной программе. Число вершин в каждом ряду определяется количеством технологических операций над определённым типом деталей. Параметры вершин задаются согласно технологической карте и хранятся в соответствующих массивах:

- 1) номер ГПМ, на которой выполняется ТО;
- 2) n – партия запуска деталей d_i ;
- 3) T_v – время выполнения ТО;
- 4) T_n – время наладки или подготовки ТМ для выполнения ТО;
- 5) T_{np} – время простоя ТМ перед выполнением ТО;
- 6) $L1$ – объём свободного места в лотке для заготовок;
- 7) $L2$ – объём свободного места в лотке для готовой продукции;
- 8) $L3$ – объём свободного места в лотке для инструментов.

Далее происходит инициализация рёбер, также формируемых остов графа в виде динамического списка. Начальным ребром является ребро из стартовой вершины в первую вершину первого ряда, затем в первую вершину второго ряда и т. д. до первой вершины n -го ряда (где n – количество типов деталей). Затем для каждой вершины происходит добавление в динамический массив всех возможных рёбер, соединяющих данную вершину со всеми остальными вершинами графа (с учётом «петель»), за исключением стартовой и финишной. Таким образом, завершается формирование остова графа. Потом формируется массив муравьёв, количество элементов которого равно количеству технологических машин, задействованных в производстве, включая транспорт. Параметрами муравьёв являются объёмы лотков для заготовок, готовых изделий и инструмента. Затем все муравьи помещаются в стартовую вершину. Необходимо отметить, несмотря на то, что муравьиная колония демонстрирует сложное адаптивное поведение, которое позволяет ей решать трудные задачи, поведение одного муравья подчиняется достаточно простым правилам.

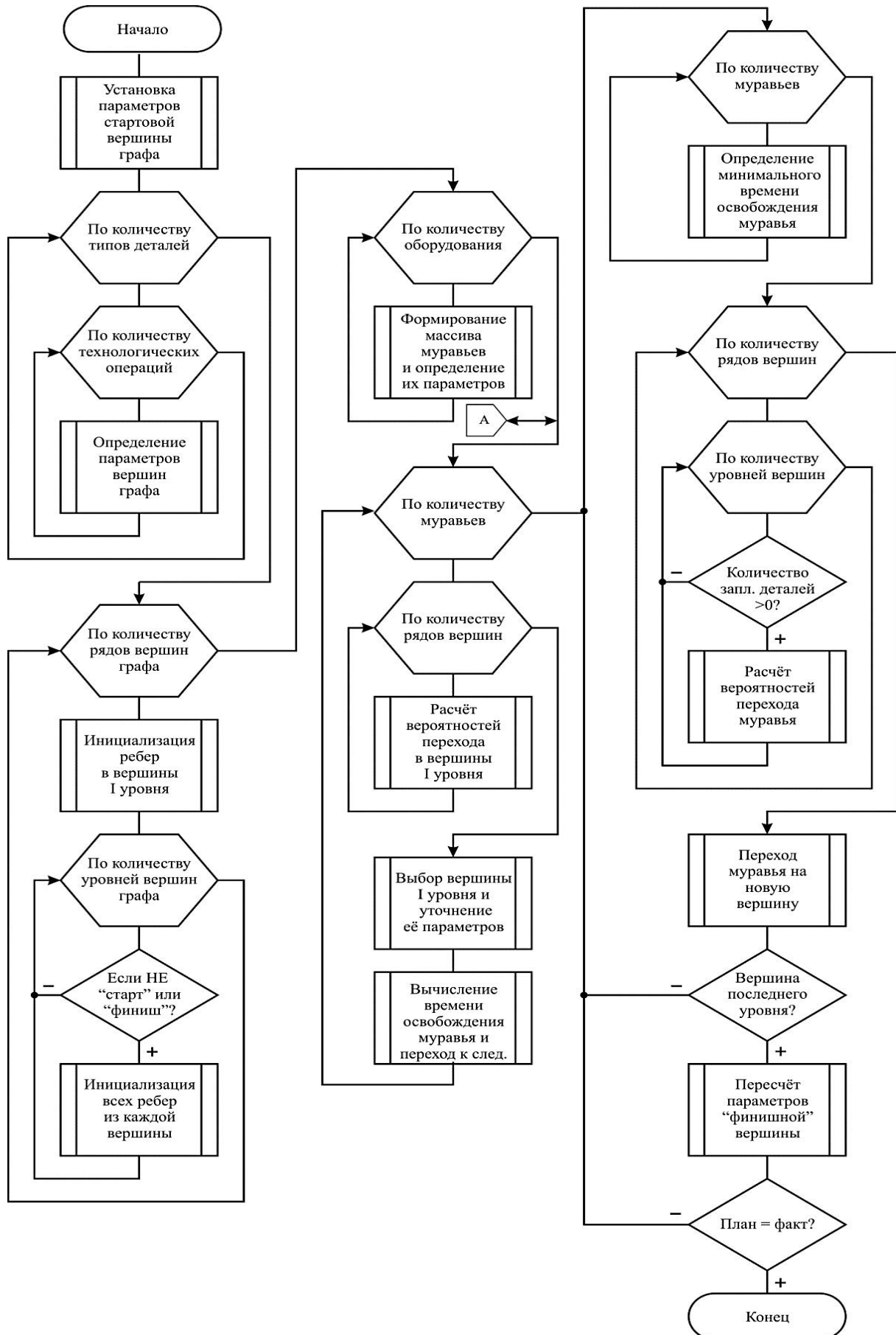


Рис. 1. Алгоритм прохода одной популяции муравьёв

Параметрами муравьев являются: признак принадлежности искусственного муравья к «элитным» особям; объем лотков для заготовок, для готовых изделий и для инструмента.

Затем множество муравьев $k = 1, \dots, n_k$ помещаются в стартовую вершину. После чего реализуется переход каждого из муравьев в вершины I уровня на основании алгоритма моделирования полной группы событий (2).

$$P_{ij} = \frac{K_{ij}}{\sum K_{ij}}, \quad \sum P_{ij} = 1, \quad (2)$$

где K_{ij} – рассчитывается по формуле (3):

$$K_{ij} = \frac{To_{ij} \cdot kf}{Ts_i}, \quad (3)$$

где To_{ij} – время выполнения технологической операции O_{ij} над партией деталей i -го типа (4);

kf – коэффициент возможности перехода ($kf = 1$);

Ts_i – срок изготовления партии деталей i -го типа (5).

$$To_{ij} = \sum_{j=1}^m Tn_{ij} + Tv_{ij} \cdot n_{ij}, \quad (4)$$

где Tv_{ij} – время выполнения технологической операции O_{ij} над деталью i -го типа;

n_{ij} – количество запущенных в обработку деталей d_i (партия запуска);

Tn_{ij} – время наладки ГПМ для выполнения технологической операции O_{ij} .

$$Ts_i = k_i \cdot dl, \quad (5)$$

где k_i – количество рабочих дней для выполнения заказа;

dl – длительность рабочего дня, ч.;

В результате перехода пересчитываются следующие параметры объектов модели:

– для вершины, в которую перешёл муравей, количество запланированных деталей уменьшится на количество, содержащееся в лотке для заготовок, а количество выпущенных деталей увеличится на эту величину;

– для муравья вычисляется время его освобождения по формуле (6):

$$Tos_{ij} = Tn_{ij} + Tnn_{ij} + n_{ij} \cdot Tv_{ij}, \quad (6)$$

После этого пересчитываются вероятности перехода из стартовой вершины в вершины I уровня с учётом того, что часть деталей ушла на обработку, и время выполнения технологической операции определяется формулой (7):

$$Tv_{ij} = \sum_{j=1}^m Tn_{ij} + Tv_{ij} \cdot (n_{i_{nl}} - n_{ij}), \quad (7)$$

где n_{ij} – количество запущенных в обработку деталей d_i (партия деталей).

Таким образом, реализуется переход всех муравьев в вершины I уровня.

Далее определяется муравей с минимальным временем освобождения и для него рассчитываются все возможные вероятности перехода в доступные вершины. Доступными вершинами являются те, в которых количество запланированных деталей больше нуля (включая переходы по петле). При этом, в формулах расчёта вероятностей в качестве $n_{i_{nl}}$ выбирается

не количество запланированных деталей, а соответствующий параметр вершины, в которую совершается переход. Кроме этого, в формуле (5) пересчитывается время выполнения плана выпуска i -й детали по формуле (8):

$$Ts_i = Ts_i - Tos_{ij}. \tag{8}$$

Если в процессе работы алгоритма освободившийся муравей находится в вершине последнего уровня (выполнилась последняя операция над i -м типом деталей), то корректируются параметры финишной вершины графоаналитической модели (количество фактически выпущенных деталей i -го типа увеличивается на количество готовых деталей). После расчёта вероятностей возможных переходов каждый муравей проходит выше описанный маршрут. При этом соответствующий элемент в массиве оборудования в исходной вершине становится равным нулю, а в вершине перехода устанавливается в 1.

Алгоритм построения пути по графоаналитической модели расписания загрузки ТМ одной популяцией муравьев выполняется до тех пор, пока количество выпущенных деталей i -го типа не станет равным количеству запланированных деталей. Фактическое время выполнения плана равно времени освобождения последнего муравья, выполняющего обработку i -го типа детали.

Описанный выше алгоритм требует некоторого уточнения. На рис. 2 отображена часть общего алгоритма нахождения решения одной популяцией муравьев для уточнения маршрута «элитного» муравья с учётом складского и транспортного оборудования.

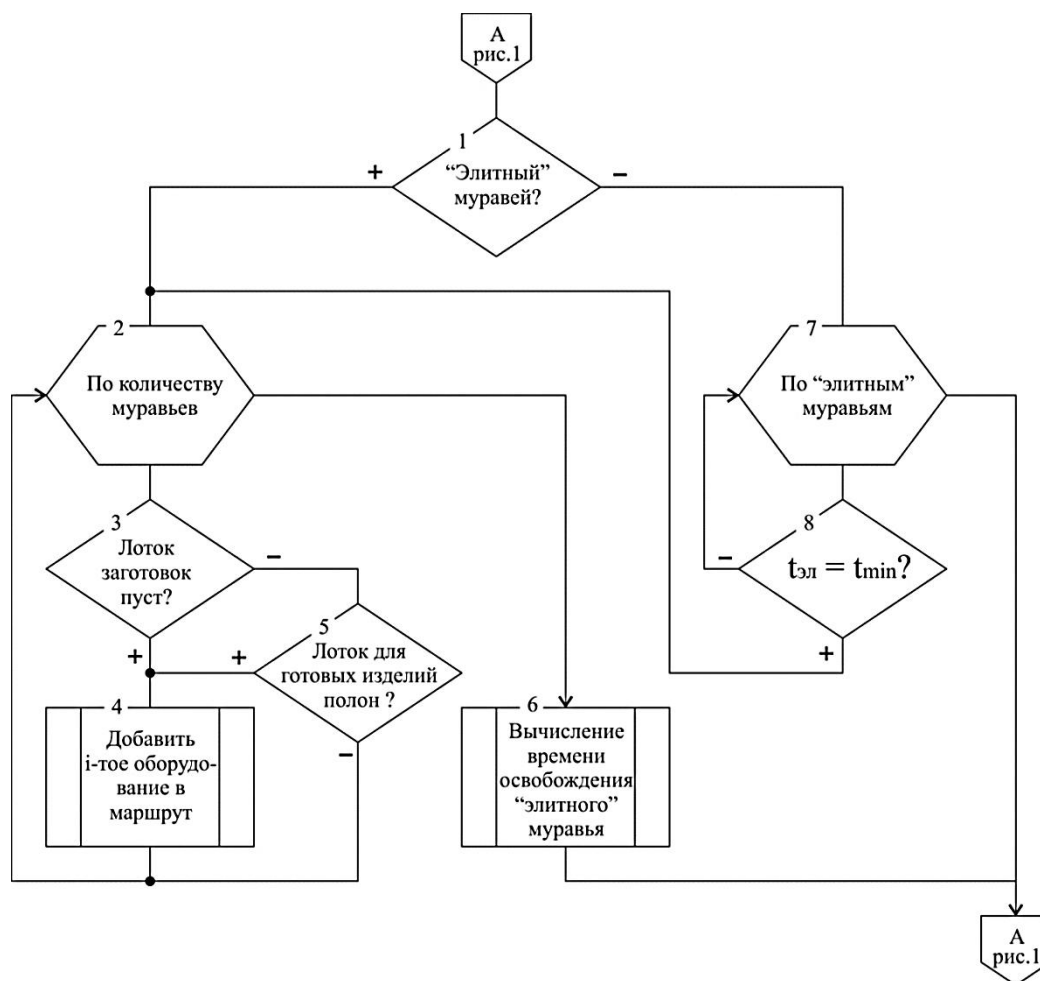


Рис. 2. Уточнение маршрута «элитного» муравья с учётом складского и транспортного оборудования

В процессе описания алгоритма было использовано понятие «элитный» муравей. Это искусственный агент, моделирующий функционирование транспортного оборудования с учетом складских операций. Его особенностью является то, что в отличие от других муравьев, «элитный» агент не имеет ограничений для посещения каких-либо вершин графоаналитической модели. Напротив, для этого муравья накладываются некоторые условия при посещении им вершин графа, соответствующих складским операциям, с целью оптимального распределения рабочего времени (недопущение «холостых» ходов). Так при доставке готовой продукции на склад «элитный» муравей должен обратно возвратиться либо с новыми заготовками, либо с инструментом, либо с тем и другим вместе, в зависимости от того, на какую из вершин будет совершен переход. Также «элитный» муравей имеет преимущество для перевода на следующую вершину перед обычным агентом при равном времени их освобождения.

ВЫВОДЫ

Предложен имитационный алгоритм моделирования производственного процесса ГПС с применением инструментальных возможностей муравьиных алгоритмов для оперативно-календарного планирования.

Представленная модель предусматривает распределение оборудования по технологическим операциям согласно плану выпуска продукции, а также позволяет варьировать числом ГПМ, в зависимости от их исправности и плановых профилактических работ. Также разработанный алгоритм моделирует функционирование транспортного оборудования с учетом складских операций, что особенно важно в реальной производственной ситуации, т. к., как правило, транспорт является самым «загруженным» звеном в производственном процессе.

Решены вопросы инициализации алгоритма, связанные с начальным расположением и мощностью популяций муравьиных колоний. Предложены эвристические знания для выбора следующего узла графа, а также определены правила перехода между вершинами. Рассмотренный алгоритм имеет гибкую структуру и легко наращивается. Компьютерный эксперимент подтвердил возможность применения предложенного алгоритма для имитационного моделирования производственного процесса в ГПС.

Следует отметить, что разработанный алгоритм совместно с модификацией метода муравьиных колоний имеет свое продолжение применительно к задаче оперативно-календарного планирования при оптимизации производственного расписания ГПС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сачко Н. С. Организация и оперативное управление машиностроительным производством / Н. С. Сачко. – Минск : Новое знание, 2005. – 635 с.
2. Малярченко И. Планирование и оптимизация / И. Малярченко // Корпоративные системы. – 2006. – № 27. – С. 29–32.
3. Ченгар О. В. Аналіз методів, моделей, алгоритмів оперативного планування роботи виробничої ділянки / О. В. Ченгар, Ю. О. Скобцов, О. І. Секірін // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Донецьк, 2010. – Випуск 18 (169). – С. 133–140. – (Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація»).
4. Ченгарь О. В. Графоаналитическая модель загрузки гибких производственных модулей автоматизированного технологического участка машиностроительного предприятия / О. В. Ченгарь, Е. О. Савкова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2011. – № 13(167). – С. 239–245.
5. Ченгарь О. В. Объектная модель производственного процесса для составления субоптимального расписания работы автоматизированного технологического участка / О. В. Ченгарь // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Донецьк, 2012. – Випуск 22 (200). – С. 56–62. – (Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація»).
6. Dorigo M. Swarm Intelligence, Ant Algorithms and Ant Colony Optimization / M. Dorigo // Reader for CEU Summer University Course «Complex System». – Budapest, Central European University, 2001. – P. 1–38.
7. Козаловский М. Р. Перспективные технологии информационных систем / М. Р. Козаловский. – М. : ДМК Пресс ; Компания АйТи, 2003. – 288 с.