

Ченгарь О.В., Савкова Е.О.

**ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАГРУЗКИ
 ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОДУЛЕЙ
 АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
 УЧАСТКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

В статье рассматривается графоаналитическая модель процесса загрузки гибких производственных модулей, позволяющая повысить эффективность функционирования автоматизированного технологического участка механообработки деталей, на основе составления субоптимального расписания работы оборудования. Представленная модель позволяет описать и формализовать работу автоматизированного технологического участка и разработать алгоритм оптимизации расписания.

Ключевые слова графоаналитическая модель, муравьиный алгоритм, гибкий производственный модуль, автоматизированный технологический участок.

Общая постановка проблемы и анализ литературы. В настоящее время происходит серьезное переосмысление подходов к организации промышленного производства. Процесс совершенствования организационной структуры управления предприятием усиливает значение и расширяет сферу действия компьютерных технологий. Главным фактором успеха сегодня становится повышение качества и скорости производства, поэтому в вопросах управления предприятием особую роль играют информационные системы. Не является исключением и машиностроительная отрасль, проблемы оперативного планирования которой исследуются достаточно давно [1-3]. Все организационные и технологические решения должны приниматься оперативно. Причём неоптимальные решения значительно снижают эффективность построения расписаний работы производственного участка. Однако до сих пор мало изучено движение партий деталей непосредственно в производственной среде (на производственном участке) в соответствии с технологическим маршрутом в реальном масштабе времени. С внедрением в производство нового технологического оборудования, актуальным становится использование всех его возможностей [4]. В частности, актуальной задачей является построение оптимальных расписаний работы автоматизированного технологического участка (АТУ) в соответствии с технологическим маршрутом.

Большинство разработанных до настоящего времени методик для оперативно-календарного планирования основано на упрощенных моделях, что снижает их точность, или эти методики применяются лишь для определенных специфических условий [4]. Значительную сложность, кроме того, представляет проблема оценки качества получаемых расписаний. Анализ современных работ по комбинаторной оптимизации на графах (особенно динамических задач) показывает, что одним из самых перспективных подходов является использование муравьиных алгоритмов [5 - 7]. Этот подход позволяет существенно улучшить систему оперативного планирования, тем самым, сократив время построения оптимальных или приемлемых производственных расписаний. Динамические задачи (с изменением данных в процессе решения) позволяют учесть проявление случайных событий, что дает возможность быстро реагировать на смену ситуации и вносить коррективы в исходные данные [8].

В рамках оперативного управления одной из важнейших проблем является проблема планирования загрузки оборудования, т.е. упорядочение работ на выбранной структуре гибких производственных модулей (ГПМ). Особенностью машиностроительной сферы является тот факт, что в процессе работы некоторое оборудование может выйти из строя или потребоваться его профилактический ремонт, вследствие этого необходимо иметь возможность динамически перераспределять нагрузки между оставшимся оборудованием, чтобы не останавливать все производство.

Постановка задачи исследования. Как уже было отмечено ранее [7], одним из самых перспективных подходов для решения 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. Однако, исходя из инструментальных особенностей муравьиных алгоритмов, для их реализации необходимо разработать графоаналитическую модель, описывающую процесс загрузки ГПМ и движение партий деталей согласно технологической карте производства.

Для оперативного планирования загрузки ГПМ технологический процесс разделяется на технологические операции [4]. Допустим, что на данном производственном участке обрабатывается n партий деталей d_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Обозначим некоторую произвольную операцию, которую необходимо выполнить над деталью d_i , через O_{ij} ($j = 1, 2, \dots, m_i$), где m_i – общее количество операций, которые необходимо выполнить над d_i . Под технологическим маршрутом детали обычно понимают порядок прохождения детали ГПМ в процессе обработки или же последовательность выполняемых операций (1).

$$M_i = (O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{im_i}) \quad (1)$$

При последовательном выполнении операций предусматривается строгая упорядоченность технологического маршрута. Однако можно допустить, и это часто соответствует действительности, что порядок выполнения операций изменяется (не является строгим), то есть упорядоченность выполнения операций частична. При этом необходимо учитывать следующие ограничения:

1. Ограничения по срокам изготовления (2):

$$T_{пл} \geq T_{ф}, \quad (2)$$

где $T_{ф}$ - фактический срок изготовления партии деталей d_i ,
 $T_{пл}$ - плановый срок изготовления партии деталей d_i .

2. Ограничения по объемам изготовления (3):

$$N_{пл} = N_{ф}, \quad (3)$$

где $N_{ф}$ - фактическое изготовленное количество партий деталей i -го типа,
 $N_{пл}$ - заданное в производственной программе количество партий деталей i -го типа.

Задача оперативного планирования загрузки ГПМ заключается в том, чтобы для производственного участка с заданными технологическими маршрутами обработки деталей составить некоторое расписание, удовлетворяющее сформулированным условиям [9], 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 [9], называется расписанием загрузки ГПМ, или его графовой моделью $G(i)$.

Очевидно, что существует бесчисленное множество графов, которые удовлетворяют сформулированным условиям и ограничениям. Таким образом, необходимо построить наилучшую графовую модель в соответствии с избранным критерием (4):

$$T_{opt} = T_{пл} - T_{ф} \rightarrow \min, \quad (4)$$

Для решения задачи составления оптимального расписания зададимся некоторой числовой функцией F (функцией-критерием), определенной на всех графах $G(i)$, что ставит в соответствие каждому графу G определенное число $F(G)$. При этом наилучшему графу должен соответствовать экстремум функции F . Таким образом, задача сводится к тому, чтобы построить граф, который удовлетворяет всем сформулированным в задании условиям и ограничениям, на котором функция $F(G)$ достигнет своего экстремального значения (5).

$$F(G) = \text{extr } F(G) \quad (5)$$

Разработка графоаналитической модели загрузки ГПМ. Графовая модель состоит из множества узлов и ориентированных дуг, соединяющих узлы. При графовом представлении загрузки ГПМ (рис. 1) узлы выступают как позиции обработки, а дуги показывают направление потока оборудования на выполнение заявок (обработку партий деталей) в системе [8].

Следует отметить, что графовая модель не является структурной (функциональной) схемой реального АТУ. В зависимости от поставленной задачи и исследуемой функции изменяется число узлов в сети, их состав и связи между ними.

Исходная вершина графа определяет начало выполнения плана (стартовую точку), в которую помещаются муравьи, в количестве равном числу оборудования (ГПМ) на производственном участке.

Остальные вершины графа разбиты на уровни, каждый из которых соответствует отдельной технологической операции O_{ij} (согласно технологической карте). Число вершин в первом и во втором уровне равно количеству типов, запланированных к выпуску деталей. Каждая вершина O_{ij} однозначно определяется параметрами (6)

$$O_{ij} = (N_{ij}, n_{ij}, T_{vij}, T_{n_{ij}}, L1_{ij}, L2_{ij}) \quad (6)$$

где N_{ij} – номер ГПМ, на котором выполняется операция O_{ij} ;
 n_{ij} – количество запущенных в обработку деталей d_i (партия деталей);
 T_{vij} – время выполнения технологической операции O_{ij} ;
 $T_{n_{ij}}$ – время наладки ГПМ для выполнения технологической операции O_{ij} ;
 $L1_{ij}$ – объем свободного места в лотке для заготовок;
 $L2_{ij}$ – объем свободного места в лотке для готовой продукции;

На остальных уровнях количество вершин может варьироваться, в связи с тем, что технологическая карта выпуска деталей содержит разное количество операций для изготовления различных типов изделий [4].

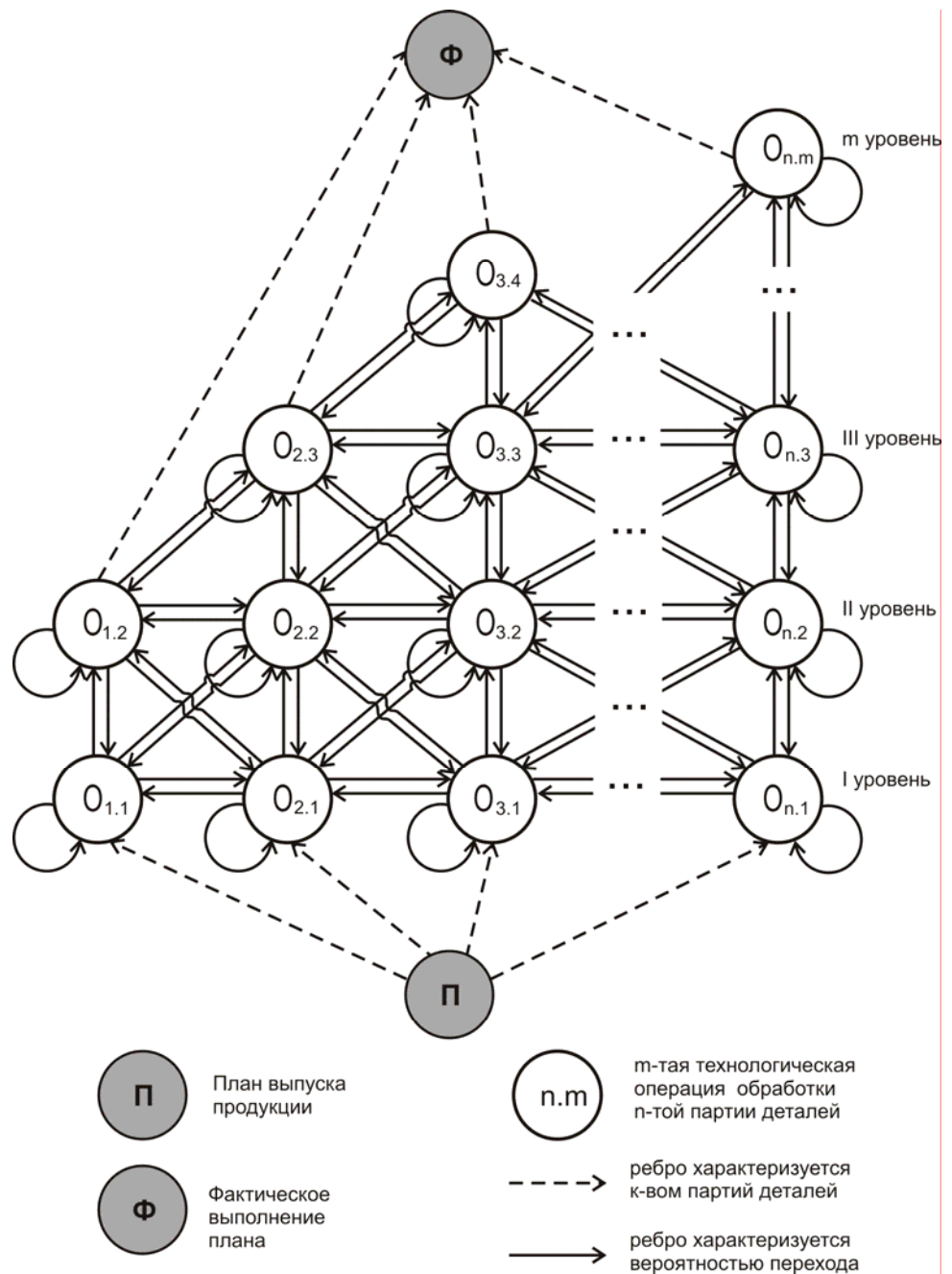


Рис.1 – Графовая модель загрузки ГПМ

Таким образом, узел графовой модели – это условное обозначение выполняемой технологической операции на данном этапе определенным ГПМ, а ребро характеризуется вероятностью и временем перехода муравья (ГПМ) от одной операции на другую. Вероятности размещения муравья (ГПМ) из стартовой точки в вершины первого уровня могут быть рассчитаны с использованием временных параметров технологических карт изготовления деталей и с учетом сроков выполнения заказа. (7-10).

$$P_{ij} = \frac{K_{ij}}{\sum K_{ij}}, \sum P_{ij} = 1 \quad (7)$$

где K_{ij} – некоторый коэффициент (4).

$$K_{ij} = \frac{T_{v_{ij}} * kf}{T_{s_{ij}}}, \quad (8)$$

$$T_{s_{ij}} = k * dl, \text{ ч.} \quad (9)$$

$$T_{v_{ij}} = \sum_{j=1}^m T_{n_{ij}} + T_{v_{ij}} * (n_{пл} - n_{ij}), \text{ ч.} \quad (10)$$

где k – количество рабочих дней для выполнения заказа;

dl – длительность рабочего дня, ч.;

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

$n_{пл}$ – запланированное количество деталей d_i ;

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

$T_{s_{ij}}$ – срок изготовления партии деталей;

$T_{n_{ij}}$ – время наладки ГПМ для выполнения технологической операции O_{ij} ;

Время освобождения муравья (ГПМ) рассчитывается по формуле (11).

$$T_{ij} = L_{ij} * T_{v_{ij}} + T_{n_{ij}}, \quad (11)$$

где L_{ij} – максимально допустимая партия запуска деталей d_i .

Если переходы от стартовой точки возможны только к вершинам первого уровня, то дальнейшие переходы предусматривают соединение вершин одного уровня и наличие петель, что означает продолжение выполнения данной операции со следующей партией запуска деталей без переналадки оборудования. По формуле (7) рассчитывается вероятность перехода из стартовой точки в узлы первого уровня. Вероятности дальнейших переходов рассчитываются с учётом уже выполненной части производственного плана. Переход по петле имеет высший приоритет, поскольку нет необходимости в переналадке оборудования. Вероятность такого перехода определяется коэффициентом, который увеличивает эту вероятность.

После прохода всех муравьёв исходные и последующие вероятности переходов корректируются в соответствии со временем выполнения плана.

Апробация графоаналитической модели на контрольном примере.

Чтобы продемонстрировать реализацию графоаналитической модели рассмотрим следующий пример, исходные данные которого представлены в таблицах 1-2.

Таблица 1

Исходные данные для задачи загрузки ГПМ АТУ.

№	Параметры	Значение
1.	Количество ГПМ	2
2.	Количество типов деталей	3
3.	Минимальное количество операций для каждого типа деталей	2
4.	Максимальное количество операций для каждого типа деталей	3
5.	Количество операций для 1 типа деталей	2
6.	Количество операций для 2 типа деталей	3
7.	Количество операций для 3 типа деталей	2

Технологическое задание на обработку деталей в АТУ

№ партии деталей	№ техн. операции	Объём партии, шт.	Время наладки ГПМ, ч.	Время обработки детали, ч.	Запланир. время выпуска партии, ч
1	1	650	0,5	0,0980	200
1	2	650	0,3	0,0561	
2	1	400	0,4	0,0832	250
2	2	400	0,5	0,2451	
2	3	400	0,2	0,0630	
1	1	500	0,4	0,0924	150
2	2	500	0,3	0,0734	

На рис. 2 представлена исходная графовая модель для поставленной задачи.

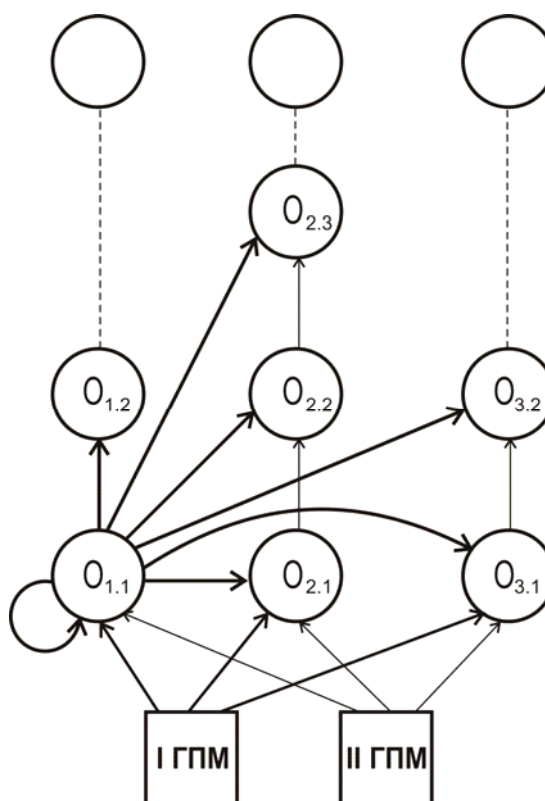


Рис. 2 – Графовая модель загрузки ГПМ по заданным параметрам

Здесь вероятности перехода от одной вершины к другой рассчитываются для каждого муравья в отдельности. После выполнения первой технологической операции над первой партией деталей существует несколько вариантов перехода на следующую вершину (рис. 3). Причём вероятность перехода между вершинами разного уровня равна нулю, если отсутствуют детали, прошедшие предыдущую операцию.

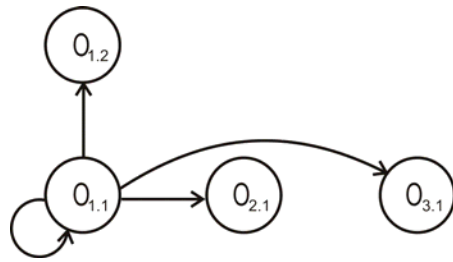


Рис. 3 – Варианты перехода на следующую вершину после первой операции над первой партией деталей

В свою очередь после выполнения первой технологической операции над второй партией деталей возможности перехода на следующий узел существенно изменяются (рис. 4).

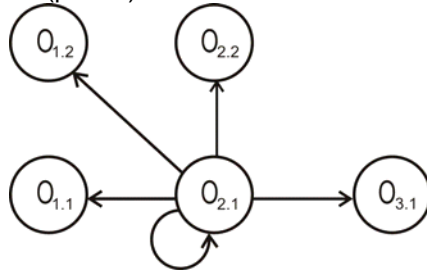


Рис. 4 – Варианты перехода на следующую вершину после первой операции над второй партией деталей

Ввиду сложности представления всех потенциальных вариантов движения от узла к узлу по вершинам графа даже для двух ГПМ, нет возможности представить пересчёт параметров для определения существующих вероятностей перехода и характеристик узлов графоаналитической модели. Поэтому по предложенной модели был составлен алгоритм, а полученные результаты представлены на рис. 5.

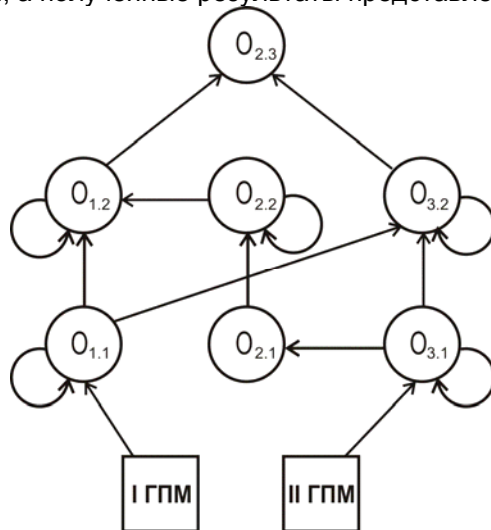


Рис. 5 – Результаты апробации графоаналитической модели на контрольном примере

Выводы. В данной статье разработана графоаналитическая модель загрузки ГПМ производственного участка механообработки с применением инструментальных возможностей муравьиных алгоритмов для оперативно-календарного планирования.

Представленная модель предусматривает оптимальное распределение оборудования по технологическим операциям согласно плану выпуска деталей, а также позволяет варьировать числом ГПМ, в зависимости от их исправности и плановых профилактических работ.

Решены вопросы инициализации, связанные с начальным расположением и мощностью популяций муравьиных колоний. Предложены эвристические знания для выбора следующего узла графа, а также определены правила перехода между вершинами. Рассмотренная графоаналитическая модель имеет гибкую структуру и легко наращивается. Компьютерный эксперимент подтвердил возможность применения предложенной модели для реализации поставленной задачи.

Однако представленная модель имеет своё продолжение и требует доработки, т.к. она не учитывает ограничений со стороны транспортного оборудования и складской подсистемы. Поэтому рассмотренная задача нуждается в дальнейшем исследовании и усовершенствовании данной модели с учетом перечисленных выше аспектов.

Литература

1. Сачко Н.С. Организация и оперативное управление машиностроительным производством / Н.С. Сачко. – Минск: Новое знание, 2005. – 635 с.
2. Тюленев Л.В. Организация и планирование машиностроительного производства: Учебное пособие / Л.В. Тюленев. – СПб: Бизнес-пресса, 2001. – 304 с.
3. Маляренко И. Планирование и оптимизация / И. Маляренко // Корпоративные системы. – 2006. – № 27. – С. 29-32.
4. Михайлова Л.В. Формирование и оперативное управление производственными системами на базе поточно-группового производства в автоматизированном режиме / Л.В. Михайлова, Ф.И. Парамонов, А.В. Чудин. – М.: ИТЦ МАТИ, 2002. – 60 с.
5. МакКоннелл Дж. Основы современных алгоритмов / Дж. МакКоннелл — М.: Техносфера, 2004. — 368 с.
6. Dorigo M. Swarm Intelligence, Ant Algorithms and Ant Colony Optimization // Reader for CEU Summer University Course «Complex System». – Budapest, Central European University, 2001. – P. 1–38.
7. Ченгар О.В. Аналіз методів, моделей, алгоритмів оперативного планування роботи виробничої ділянки / О.В. Ченгар, Ю.О. Скобцов, О.І. Секірін // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – Донецьк, 2010. – Випуск 18(169). – С.133-140.
8. Скобцов Ю.А. Основы эволюционных вычислений: учебное пособие / Ю.А. Скобцов. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – 326 с.
9. Ченгарь О.В. Оптимизация работы производственного участка машиностроительного предприятия на основе метода муравьиных колоний / Ю.А. Скобцов, О.В. Ченгарь // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. - №31. – С. 177-183.

Ченгар О.В., Савкова О.Й. Графоаналітична модель завантаження гнучких виробничих модулів автоматизованої технологічної ділянки машинобудівного підприємства

У статті розглядається графоаналітична модель процесу завантаження гнучких виробничих модулів, яка підвищує ефективність функціонування автоматизованої технологічної ділянки механообробки деталей, на основі складання субоптимального розкладу роботи встаткування. Представлена модель дозволяє описати й формалізувати роботу автоматизованої технологічної ділянки й розробити алгоритм оптимізації розкладу.

Ключові слова графоаналітична модель, мурашиний алгоритм, гнучкий виробничий модуль, автоматизована технологічна ділянка.

Chengar O.V., Savkova O.Y. Graphic-analytical model of flexible production modules loading for automated technological area of engineering company

Graphical-analytical model of flexible production modules loading process has been discussed in this article. The model based on the compilation of a suboptimal schedule for the equipment to enhance the operation efficiency of automated technological area for machining of parts. The presented model allows to describe and formalize the work of the automated technological area and develop an algorithm for schedule optimizing.

Key words: graphical-analytical model, ants algorithm, flexible production modules, automated technological area

Ченгар О.В. аспірант, асистент кафедри автоматизованих систем управління Донецького національного технічного університету.

Савкова О.Й. к.т.н., доцент кафедри автоматизованих систем управління Донецького національного технічного університету.

Рецензент Скобцов Юрій Олександрович, д.т.н., проф. каф. АСУ ДонНТУ.

Стаття подана
6.04.2011.