

ОБРАТНАЯ ИМИТАЦИЯ СЕТИ ПЕТРИ В ЗАДАЧАХ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Сочнев А. Н.¹

(ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет,
Красноярск)

В статье выполнен анализ соответствия функциональных возможностей типичных систем планирования и оптимизации производства. Рассматривается вариант применения в качестве математической основы планирования производства имитационных моделей процессов на основе сетей Петри. Предложен механизм решения задачи планирования материальных потребностей производства на основе обратной имитации сети Петри. Приведен пример решения указанной задачи для типичного среднесерийного машиностроительного предприятия.

Ключевые слова: планирование производства, APS-системы, сети Петри, сети-процессы.

1. Введение

В настоящее время сформировалась тенденция к использованию для оперативно-календарного планирования производства специальных программных продуктов, в частности APS-систем. APS (от англ. Advanced Planning & Scheduling - синхронное планирование и оптимизация) – система планирования и управления производством, которая включает в себя подсистемы планирования производства и снабжения и диспетчеризацию производства.

Большинство APS-систем являются инструментами имитационного моделирования производственной деятельности и применяются для поддержки принятия решений в области операционного менеджмента промышленных предприятий. Диспетчеризация производства производится с возможностью учета различного рода ограничений с элементами оптимизации.

Известно несколько математических методов решения задач APS-систем: сетевые модели, имитационные, модели мате-

¹ Алексей Николаевич Сочнев, к.т.н., доцент (asochnev@sfu-kras.ru)

матического моделирования, моделирование с использованием нейронных сетей и другие.

В данной статье предлагается подход к решению одной из типовых задач APS-систем на основе имитационных моделей, реализованных сетями Петри.

2. Планирование на современном предприятии

Производственное планирование предполагает последовательное решение ряда задач анализа имеющихся возможностей, формулирования производственной программы, составления технологического расписания, контроля хода его выполнения. APS алгоритм использует для расчета реальную модель предприятия, содержащую реальные ресурсы завода, станки или группы оборудования, площади, инструменты и оснастку [2].

Работа APS-систем начинается с описания производственного процесса в виде информационной модели. Информационная модель процесса включает описание рабочих центров и технологических операций, технологические маршруты, спецификации и рецептуры изделий, а также некоторые другие параметры.

Следующий шаг процесса планирования — формирование производственной программы (рис. 1). В случае, если планирование осуществляется по определенным периодам, необходимо согласование возможностей производства, служб материально-технического снабжения и сбыта.

После формирования портфеля заказов, полученный план используется службой материально-технического снабжения для оценки потребности в сырье и материалах. В дальнейшем эта информация будет использована для составления производственного расписания с учётом ожидаемых поставок материалов и сырья на склад.

Следующим шагом в планировании производства является составление детального расписания. Помимо решения вышеназванной задачи APS-система на основании введённых в неё данных о целях и стратегиях оптимизации позволяет получить оптимизированное производственное расписание. Производствен-

ное расписание в виде нарядов на работы передаётся в цех, где начинается его исполнение.

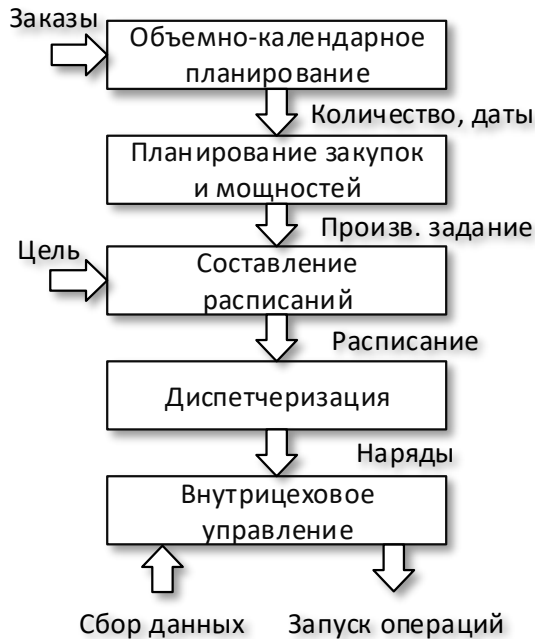


Рис. 1. Схема взаимодействия различных подразделений в процессе использования ими APS-системы

В процессе исполнения плана накапливаются отклонения хода производственного процесса (поломки оборудования, брак, отсутствие каких-либо компонентов на складе), которые нарушают изначальную схему работ. В связи с этим для контроля процессов и оперативного их перепланирования необходим механизм обратной связи с технологическими подразделениями, который реализуется в системах класса APS.

В данной статье предлагается метод планирования закупок и мощностей и составления расписаний на основе имитационной модели, представленной сетью Петри.

3. Постановка типичных задач планирования производства

Сети Петри являются одним из базовых средств моделирования дискретных систем любой природы, в частности производственных [1, 4]. Базовой задачей, связанной с производством и решаемой имитационными экспериментами, является задача планирования производственного процесса. Формально при её решении требуется составить оптимальное по заданному критерию расписание работы производственной системы.

Если имеется имитационная модель процессов, представленная сетью Петри, то вполне естественно, что она описывает процессы как есть, т.е. от входа системы к выходу, от заготовок до готовой продукции. Основной идеей данной статьи является разработка методов изменения состояний сетевой модели производственного процесса, позволяющего решать задачи по определению потребности в ресурсах.

Определим две основные формулировки задач моделирования сетей Петри, связанных с функциями APS-систем.

1) По известному начальному состоянию модели определить некоторое конечное состояние либо его достижимость.

2) По заданному конечному состоянию определить начальное состояние либо его достижимость.

Первая постановка эквивалентна задаче планирования выпуска заданного объема продукции, вторая – определения количества исходного сырья или заготовок [5].

В данной статье рассматривается вторая из перечисленных задач. Обобщенный алгоритм ее решения предполагается следующим.

1) Определяются позиции сети, моделирующие накопители готовой продукции, и позиции, отображающие заготовки и сырье.

2) Задается начальная маркировка этих позиций.

3) Формируется обратная сеть или выполняется обратная имитация исходной сети.

4) Анализируется конечная маркировка сети. Если в промежуточных позициях сети остается ненулевое количество маркеров, то выполняется шаг 5.

5) Интерпретация количества маркеров в сети и окончательное определение количества требуемых заготовок и сырья.

4. Обратная сеть Петри и обратная имитация сети Петри

При реализации имитационной модели на основе сети Петри первая задача сводится к анализу свойства достижимости сети. Методы ее решения понятны и хорошо описаны в литературе [3, 4].

Для решения второй задачи требуется либо свести ее к типу первой, либо разработать формальный метод, позволяющий менять состояние сети в обратном порядке. Разберем основные положения и особенности этих подходов.

Формирование сети Петри, обратной к исходной.

Идея данного подхода состоит в прямом развороте всех структурных связей в исходной сети. Фактически, предлагается формировать обратную к исходной сеть Петри. Входные позиции становятся выходными и наоборот (рис.2).



Рис. 2. Механизм создания обратной сети Петри

Формально описание сети изменяется переопределение матрицы инциденций:

$$(1) \quad B^* = -B.$$

Очевидно, что не каждая сеть Петри способна выдержать такую трансформацию. Этот вопрос требует дальнейшего исследования. Предлагаемый подход применен для подмножества сетей Петри, которые называются **сети-процессы** [3]. Этот

класс сетей характеризуется простой (линейной) структурой, выделенными входными и выходными позициями.

Обратная имитация сети Петри.

Вторым вариантом решения задачи может быть изменение только уравнения состояний при сохранении исходной структуры сетевой модели.

Условие срабатывания переходов:

$$(2) \quad x[k] \geq B^- \cdot u[k].$$

Уравнение изменения состояний:

$$(3) \quad x[k+1] = x[k] - B^+ \cdot u[k] + B^- \cdot u[k],$$

где $x[k]$ – текущая маркировка сети Петри;

$x[k+1]$ – следующая маркировка сети Петри;

$u[k]$ – управляющий вектор сети Петри.

Подобный вариант по сравнению с первым более удобен для визуализации, поскольку структура сети Петри никак не изменяется.

5. Пример решения задач планирования производства

Исследуется участок предприятия. Производятся детали двух типов. Имеются следующие операции производственного процесса – рубка листового металла, резка, гибка, сварка и окраска. Определены параметры технологических операций: длительности выполнения операций и объемы партий. Детализированная структура технологических процессов для изделий представлена на рис. 3.

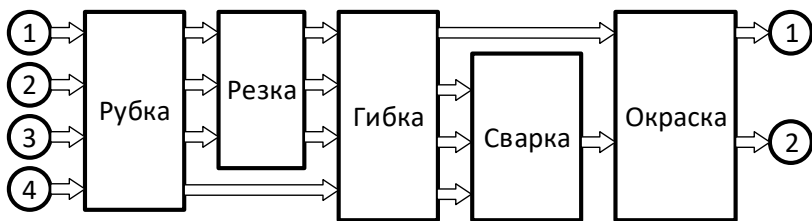


Рис. 3. Структура процессов производственной системы

На входе система потребляет сырье (листовой металл) четырех сортов, на выходе формирует готовые изделия двух типов.

Формирование сетевой модели. Для представления имитационной модели используются временные сети Петри. На первой стадии исследования модель описывает структуру процессов производственной системы и не использует каких-либо методов оптимизации. В целом, сопоставление рисунков 1 и 2 дает основания для интерпретации элементов модели, тем не менее более детально они описаны в таблице 1.

Таблица 1. Функциональное назначение элементов модели

Позиции	
$p1...p4$	Сырье типа 1, 2, 3, 4 для изделий
$p5...p7$	Детали 1, 2, 3 после рубки
$p8...p11$	Детали 1, 2, 3, 4 после резки
$p12...p15$	Детали 2, 3, 4, 1 после гибки
$p16$	Детали 2, 3, 4 после сварки
$p17, p18$	Детали 1 и 234 после окраски
Переходы	
$t1...t4$	Операция рубки деталей 1, 2, 3, 4
$t5...t7$	Операция резки деталей 1, 2, 3
$t8...t11$	Операция гибки деталей 1, 2, 3, 4
$t12$	Сварка деталей 2, 3, 4
$t13, t14$	Окраска деталей 1 и 234

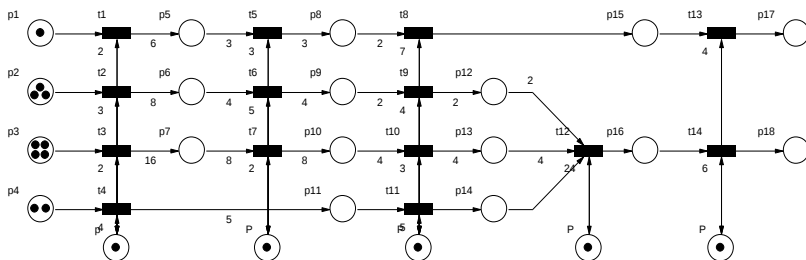


Рис. 4. Сеть Петри производственного процесса (СП)

Для оценки потребности системы в ресурсах выбирается первый описанный вариант, в соответствии с которым формируется обратная сеть. Имитация в этом случае реализуется как в обычной обобщенной сети Петри.

В общем случае планирование производственного процесса должно проходить по следующей схеме:

$$x^*[n] \longrightarrow СП^* \longrightarrow x^*[0] \longrightarrow СП \longrightarrow x[n],$$

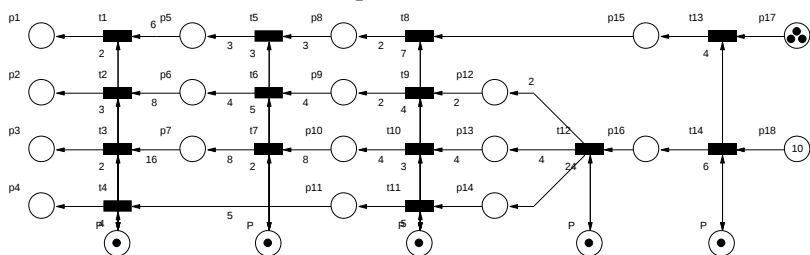
где $x^*[n]$ – желаемая конечная маркировка сети (план производства);

$x^*[0]$ – начальная маркировка сети (количество сырья, заготовок);

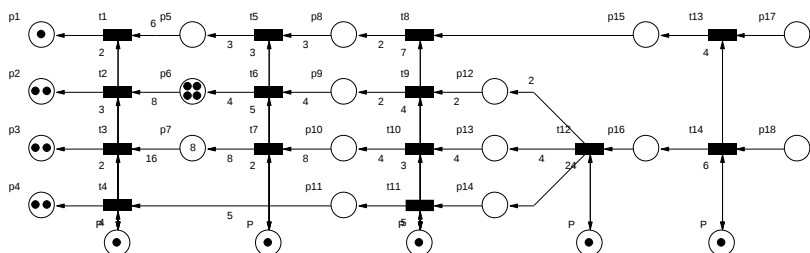
$x[n]$ – фактическая конечная маркировка сети (план производства);

$СП^*$ – обратная сеть Петри;

$СП$ – исходная сеть Петри.



а)



б)

Рис. 5. Обратная сеть Петри
(а-начальная маркировка, б-конечная маркировка)

В сетях-процессах выделяется множество входных позиций и множество выходных позиций. Соответственно, маркировка $x^*[n]$ присваивается выходным позициям, а $x^*[0]$ – входным позициям (рис.5).

По итогу имитационного эксперимента маркировка входных позиций (p_1, p_2, p_3, p_4) определяет потребность производства во входных ресурсах.

В процессе имитации обратной сети Петри выявлена особенность, заключающаяся в том, что часть маркеров в конце имитационного эксперимента задерживается в промежуточных позициях сети. Для задачи определения количества заготовок (сырья) это явный недостаток, не позволяющий найти окончательное решение.

По указанной причине после имитации требуется оценить и проанализировать конечную маркировку. Далее на основе результатов анализа ответить на вопрос о необходимом количестве заготовок и сырья. В рассматриваемом примере видно, что в позиции p_6 в конце имитационного эксперимента осталось 4 маркера. Этот факт требует добавить к количеству входного сырья второго типа дополнительную единицу. Маркировка позиции p_2 увеличивается на единицу: $x[p_2]=x[p_2]+1=2+1=3$.

Количественные соотношения определяются на основании описания операции представляемой соответствующим переходом (в данном случае t_2). В данном случае по кратности дуг видно, что из одной единицы сырья 2 получается 8 заготовок, соответственно для того, чтобы получить 4 заготовки потребуется одна единица. Аналогичные рассуждения проводятся для третьего типа сырья и окончательно получаем маркировку позиций, представляющих количество сырья: $x[n]=(1\ 3\ 3\ 2)$.

6. Заключение

По итогам работы по теме статьи получены следующие основные научные результаты.

1. Обоснована актуальность поиска эффективных и быстрых методов оптимального планирования производства в рамках базовых функций APS-систем

2. Определена необходимость использования на различных этапах производственного планирования единой имитационной модели процесса.

3. Обоснован выбор сетей процессов для представления имитационной модели производства.

4. Сформулированы задачи, приводящие к обоснованному использованию обратной имитации сетей-процессов (сети Петри).

5. Формализованы методы получения обратной сети Петри и обратной имитации сети Петри.

6. Приведен пример решения задачи планирования ресурсов производства на основе обратной сети Петри.

7. Выявлены и проанализированы некоторые особенности решения подобных задач обратными сетями Петри.

Стоит заметить большой перечень проблем, которые могут сопровождать использование обратных сетей. В частности, можно выделить задачи достижимости, анализа тупиков, безопасности получаемой сети и другие. В данной статье они не рассмотрены, основное внимание уделено описанию самого подхода.

Литература

1. ЕМЕЛЬЯНОВ В. В., ГОРНЕВ В. Ф., ОВСЯННИКОВ М. В. *Оперативное управление в ГПС*. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
2. ЗАГИДУЛЛИН Р. Р. *Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP*: монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 372 с.
3. КОТОВ В. Е. *Сети Петри*. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
4. ПИТЕРСОН ДЖ. *Теория сетей Петри и моделирование систем*: Пер. с англ.-М.: Мир, 1984. – 263 с.
5. СОЧНЕВ А. Н. *Оперативное управление производственными системами на основе сетей Петри*: дис. канд. техн. наук: 05.13.01: Красноярск, 2005. – 153 с.

REVERSE PETRI NET IMITATION IN THE TASKS OF PRODUCTION PLANNING

Alexey Sochnev, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, assistant professor (asochnev@sfu-kras.ru).

Abstract: The article analyzes the compliance of functional capabilities of typical production planning and optimization systems. Consideration is given to using as a mathematical basis for planning the production of simulation models of processes based on Petri nets. A mechanism for solving the problem of planning the material requirements of production on the basis of reverse imitation of the Petri net is proposed. An example is given of solving this problem for a typical medium-series machine-building enterprise.

Keywords: production planning, APS-systems, Petri nets, nets-processes.

УДК 519.7

ББК 22.18

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...*

*Поступила в редакцию ...заполняется редактором...
Опубликована ...заполняется редактором...*