

# **ФОРМИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОМПЛЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ СВЕРЛИЛЬНОЙ ГРУППЫ**

*Т.И. РАЗМАНОВА, аспирант,  
С.Г. МИТИН, канд. техн. наук,  
П. Ю. БОЧКАРЁВ, доктор техн. наук, профессор  
(Саратовский ГТУ имени Ю.А.Гагарина,  
г. Саратов)*

Статья поступила 25 июля 2012 года

**Разманова Т.И.** – 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77,  
Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

Описывается новая методика формирования рациональных комплектов технологической оснастки при разработке автоматизированной подсистемы проектирования технологических операций, выполняемых на оборудовании сверлильной группы, в рамках создания системы планирования многономенклатурных технологических процессов.

**Ключевые слова:** автоматизация проектирования, сверлильная обработка, многономенклатурное производство, сети Петри.

В настоящее время для большинства машиностроительных предприятий существует тенденция к постоянному расширению номенклатуры обрабатываемых деталей, конструкция которых усложняется, при этом повышаются требования к качеству механической обработки, что приводит к значительному увеличению затрат времени на технологическую подготовку производства. Для сохранения конкурентоспособности предприятий появляется задача сокращения длительности производственного цикла, которая может быть решена в том числе путем автоматизации проектирования технологических процессов механической обработки.

Наличие на рынке автоматизированных систем технологической подготовки производства безусловно является положительным фактором, поскольку использование таких систем позволяет несколько сократить время разработки технологических процессов, но в современных условиях этого оказывается недостаточно. Поэтому существует необходимость в создании новых методов автоматизации технологической подготовки производства, направленных на более глубокий уровень автоматизации проектирования технологических процессов механической обработки и учет реально складывающейся производственной ситуации.

В Саратовском государственном техническом университете им. Ю.А. Гагарина ведется разработка автоматизированной системы планирования много-

номенклатурных технологических процессов [1, 2]. Основными принципами ее создания является полная формализация всех проектных процедур и возможность учета складывающейся производственной ситуации. В результате процесс проектирования технологии изготовления деталей будет полностью автоматизирован, что позволит значительно сократить затраты времени на технологическую подготовку производства и повысить эффективность работы производственной системы.

В рамках создания системы планирования разрабатывается ряд подсистем, направленных на автоматизацию проектирования технологических операций в зависимости от группы технологического оборудования, на котором осуществляется механическая обработка.

На современных машиностроительных предприятиях расширяется применение оборудования сверлильной группы при механической обработке, поэтому автоматизированная система проектирования технологических операций для такого оборудования является важной составляющей системы планирования технологических процессов.

При разработке системы проектирования технологических операций для оборудования сверлильной группы сформирована структурная модель, фрагмент которой представлен на рис. 1. В соответствии с этой моделью подсистема состоит из трех взаимосвязанных блоков, в каждом из которых предусмотрено три

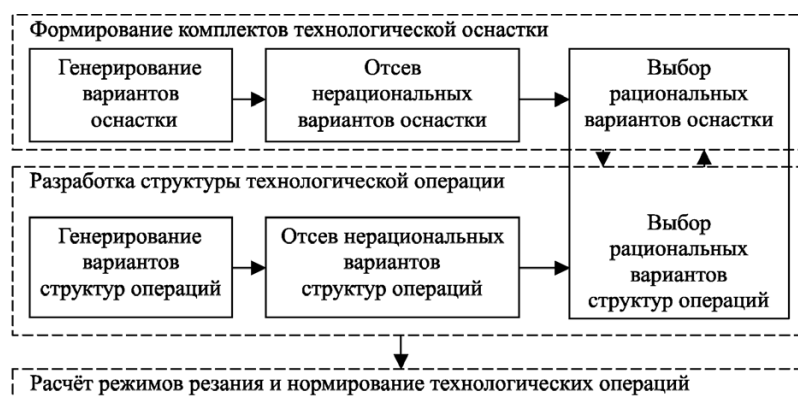


Рис. 1. Фрагмент структурной модели автоматизированной подсистемы проектирования технологических операций для оборудования сверлильной группы

этапа: генерирование возможных вариантов, отсев нерациональных вариантов и выбор рациональных вариантов для сложившейся производственной ситуации.

Формирование комплектов технологической оснастки является одним из ключевых этапов разработки автоматизированной подсистемы проектирования технологических операций для оборудования сверлильной группы, поскольку от выбранных вариантов оснастки зависит состав и последовательность технологических переходов, режимы обработки и время реализации операций.

Процедура генерирования возможных вариантов режущего инструмента (РИ) для оборудования сверлильной группы осуществляется параллельно с процедурой генерирования вспомогательного инструмента (ВИ). Для описания этих процедур используется математический аппарат теории множеств. Процедуры представляют собой перебор всех типоразмеров оснастки и поэтапное отсеивание из всего множества таких вариантов оснастки, которые не соответствуют геометрическим параметрам, точности и материалу обрабатываемых отверстий. Такой перебор влечет значительные затраты вычислительных ресурсов, однако постановка задачи позволяет осуществлять проверку по критериям соответствия параллельно для каждого технологического перехода. Для решения этой задачи используется математический аппарат сетей Петри, поскольку он позволяет моделировать поведение систем с параллельно и асинхронно взаимодействующими компонентами, при этом сама модель представляется в удобной для ее реализации на ЭВМ форме.

Моделирование процессов с помощью сетей Петри основано на взаимодействии событий и условий. Событие – это действие, происходящее в системе, условие – логическое описание состояния системы.

Множество элементарных поверхностей представим как

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_s\}. \quad (1)$$

Множество наименований оборудования:

$$E = \{E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_e\}. \quad (2)$$

Множество наименований режущего инструмента:

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_r\}. \quad (3)$$

Множество наименований вспомогательного инструмента:

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_x, \dots, V_v\}. \quad (4)$$

В терминах теории сетей Петри на каждом этапе формируется множество мест  $P^1, P^2, P^3, P^4, P^5, P^6$ . На каждом этапе принимается решение по выбору вариантов технологической оснастки – происходят события  $T^1, T^2, T^3, T^4, T^5, T^6$ .

Важно правильно выбрать последовательность выполнения процедуры генерирования вариантов оснастки, поскольку от нее зависит количество вариантов перебора и соответственно время вычислений. В результате проведенных исследований сформирована определенная последовательность.

Сначала генерируются возможные варианты вспомогательного инструмента в соответствии с присоединительными параметрами оборудования  $P^1$ . Из базы данных выбираются все типоразмеры ВИ, подходящие к данному типоразмеру оборудования. Таким образом, отсеивается большое количество РИ, которые не могут быть установлены, тем самым сокращается количество вариантов перебора на последующих шагах.

На следующем этапе производится генерирование возможных вариантов вспомогательных (уже сгенерированных на предыдущем этапе) и режущих инструментов на основе их соответствия по типу присоединения и присоединительным размерам – формируется множество мест  $P^2$ .

Далее устанавливается возможность использования РИ из  $P^3$  в соответствии с твердостью обрабатываемой поверхности – формируется множество  $P^4$ .

Затем из  $P^4$  выбираются только варианты, позволяющие обработать данный материал детали.

На следующем этапе из  $P^4$  выбираются варианты, позволяющие получить заданную точность обработки, – формируется множество  $P^5$ .

На завершающем этапе из  $P^5$  выбираются варианты, соответствующие размерам обрабатываемых поверхностей, – формируется множество  $P^6$ .

При объединении фрагментов сети, сформированных на каждом этапе, получается сеть Петри, представляющая собой модель генерации возмож-

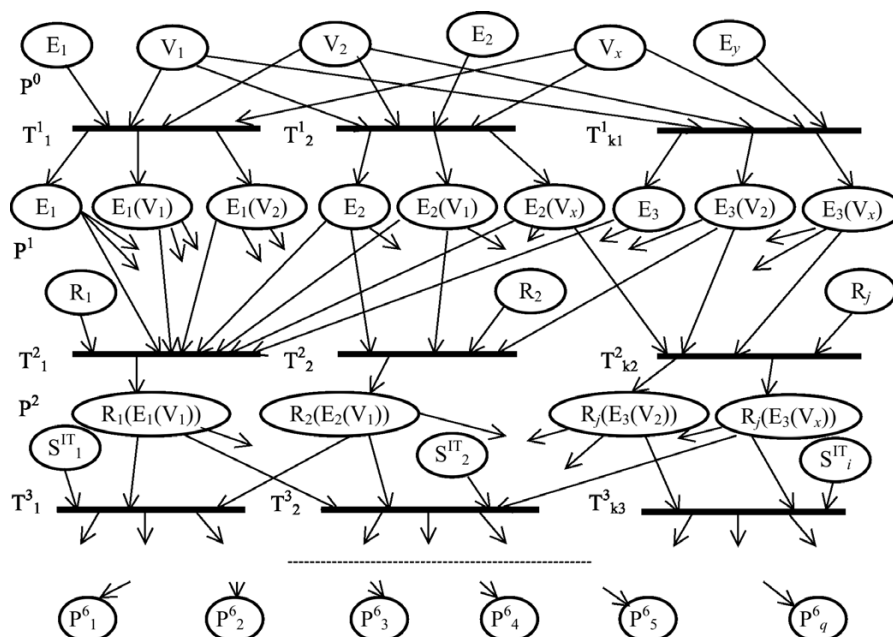


Рис. 2. Фрагмент сети Петри для процедуры генерирования возможных вариантов оснастки для оборудования сверлильной группы

ных вариантов технологической оснастки для оборудования сверлильной группы (рис. 2).

На этапе отсева нерациональных вариантов оснастки принято решение использовать критерий однородности применяемой оснастки, так как он обеспечивает взаимозаменяемость вариантов выполнения операций в случае выхода из строя технологического оборудования или технологической оснастки и позволяет минимизировать затраты времени на переналадку, которые имеют существенное значение в условиях многономенклатурного производства, поскольку зачастую обработка деталей ведется небольшими партиями.

Выбор рациональных вариантов оснастки и рациональных вариантов структур объединяется в одну проектную процедуру, так как одним из критериев для выбора рациональных вариантов является время выполнения операции, зависящее как от применяемой оснастки, так и от структуры операции. Задача выбора рациональных вариантов оснастки и структур операций может быть решена посредством перебора и сравнения всех вариантов, поступивших после этапа отсева нерациональных вариантов, с расчетом основного времени для каждого варианта, что является достаточно сложной и трудоемкой задачей. Поэтому для ее решения предлагается использование математического аппарата динамического программирования, который позволяет значительно сократить количество расчетов путем оптимизации системы в целом, а не каждого ее элемента в отдельности.

Сформулируем задачу выбора рациональных вариантов режущего инструмента в терминах ди-

намического программирования. Процедура выбора рациональных вариантов режущих инструментов представляет собой некоторую операцию, состоящую из ряда последовательных этапов или шагов. В нашем случае каждый шаг – это отдельный технологический переход.

Пусть шаговые управления  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$  – решения по выбору какого-либо типоразмера режущего инструмента для обработки на  $i$ -м шаге (технологическом переходе), где  $i = 1 \dots n$ ;  $n$  – количество технологических переходов. При этом выигрыш при  $i$ -м шаговом управлении равен  $w_i$ . Управление операцией  $x$  – совокупность шаговых управлений:  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ .

Требуется найти такое управление  $x^*$ , при котором суммарный выигрыш  $W$  обращается в максимум:

$$W = \sum_{i=1}^m w_i \rightarrow \max. \quad (5)$$

При этом  $x^* = \{x_1^*, x_2^*, \dots, x_i^*, \dots, x_n^*\}$  – оптимальное управление, состоящее из совокупности оптимальных шаговых управлений.

В нашем случае для каждой модели станка  $E_k$  в системе планирования многономенклатурных технологических процессов генерируется множество кортежей технологических переходов, в каждом из которых имеется не менее одного технологического перехода. Для каждого перехода генерируется несколько возможных вариантов РИ с временем обработки  $t_{ij}$ . Время бессменной работы каждого РИ ограничено периодом стойкости  $T_j$ . Необходимо для множества технологических переходов из множества возможных вариантов РИ  $P^6$  сформировать рациональный комплект РИ, чтобы суммарное время обработки  $t_{\Sigma}$  было минимальным, при этом количество смен инструмента должно быть минимальным.

Управление  $x_i = \{j, t_{ij}, a_{ij}\}$  на  $i$ -м шаге означает, что на данном технологическом переходе обработка ведется с помощью  $j$ -го типоразмера РИ с временем обработки  $t_{ij}$ , с количеством смен инструмента  $a_{ij}$ :

$$a_{ij} = \left\lceil \frac{\tau_{ij}}{T_j} \right\rceil - 1, \quad (6)$$

где  $\tau_{ij}$  – суммарное время бессменной работы  $j$ -го режущего инструмента после обработки на  $i$ -м переходе

$$\tau_{ij} = \tau_{(i-1)j} + t_{ij} N_r. \quad (7)$$

Состояние системы на каждом  $i$ -м шаге характеризуется вектором  $S_i = \{j, \tau_{ij}\}$ , который означает, что перед выполнением  $i$ -го перехода использовался  $j$ -й типоразмер режущего инструмента, и его использованный ресурс равен  $\tau_{ij}$ .

Запишем функцию выигрыша для каждого шага:

$$w_i = f_i(S_i, x_i). \quad (8)$$

Определим функцию изменения состояния системы

$$S' = \varphi_i(S_i, x_i), \quad (9)$$

которая показывает, как меняется состояние  $S_i$  под влиянием управления  $x_i$ .

Тогда имеем возможность записать основное рекуррентное уравнение динамического программирования

$$W_i(S_i) = \max_{x_i} \{f_i(S_i, x_i) + W_{i+1}(\varphi_i(S_i, x_i))\}, \quad (10)$$

которое выражает условный оптимальный выигрыш  $W_i(S_i)$  (начиная с  $i$ -го шага и до конца) через уже известную функцию  $W_{i+1}(S')$ . Этому выигрышу соответствует условное оптимальное управление на  $i$ -м шаге  $x_i(S_i)$ .

Решение задачи начинается с проведения условной оптимизации последнего  $n$ -го шага, вычисляя для возможных вариантов режущего инструмента на этом шаге условный оптимальный выигрыш

$$W_n(S_n) = \max_{x_n} \{f_n(S_n, x_n)\} \quad (11)$$

и находя условное оптимальное управление  $x_n(S_n)$ .

В нашем случае в качестве последнего шага определяется технологический переход, на котором может быть использовано наименьшее количество различных наименований и типоразмеров режущего инструмента, так как в противном случае не гарантируется выполнение данного перехода ввиду существующей вероятности исключения подходящего режущего инструмента на предшествующих шагах.

Далее проводится условная оптимизация  $(n-1)$ -го,  $(n-2)$ -го и т. д. шагов по формуле (10). В итоге остается произвести безусловную оптимизацию управления, учитывая полученные рекомендации на каждом шаге.

Таким образом, полученные модели, благодаря использованию математического аппарата сетей Петри и динамического программирования, а также применению критерия однородности, позволяют формализовать проектную процедуру формирования рациональных комплектов технологической оснастки при проектировании технологических операций, реализуемых на оборудовании сверлильной группы. Это дает возможность разработки алгоритма и программы для ЭВМ, полностью автоматизирующих этап выбора технологической оснастки для оборудования сверлильной группы, что позволит существенно сократить время проектирования технологических операций, повысить качество проектных решений, снизить себестоимость изготовления деталей.

#### Список литературы

1. Бочкарев П.Ю. Системное представление планирования технологических процессов механообработки [Текст] / П.Ю. Бочкарев // Технология машиностроения. – 2002. – № 1. – С. 10–14.
2. Бочкарев П.Ю. Планирование технологических процессов в условиях многономенклатурных механообрабатывающих систем. Теоретические основы разработки подсистем планирования маршрутов технологических операций: учеб. пособие / П.Ю. Бочкарев, А.Н. Васин. – Саратов: СГТУ, 2004. – 136 с.

#### Formation of the rational sets of manufacturing tool for the equipment of drilling group

T.I. Razmanova, S.G. Mitin, P.Y. Bochkarev

In article the new technique of formation of rational sets of manufacturing equipment is described while developing the automated subsystem of designing of the technological operations which are carried out on the equipment of drilling group, within creation of the system of planning of multinomenclature technological processes.

**Key words:** CAD/CAM, drilling processing, multinomenclature manufacturing, Petri nets.