

## МЕТОД СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

Б. С. ПАДУН, К. В. КИПРИЯНОВ, А. С. ШЕМАНЯЕВ

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: kinnder@mail.ru*

Рассмотрены подходы к представлению технологических процессов в виде ориентированных графов и системы проектирования на их основе. Выявлены проблемы и ограничения этих подходов, для их преодоления разработан метод синтеза на основе линейных графов. Представлены общие положения метода, приведены алгоритм его использования и рекомендации по применению метода для проектирования инструментальной системы синтеза технологических процессов.

**Ключевые слова:** автоматизация, технологический процесс, алгоритм синтеза, линейный граф.

Задача создания инструментальных средств синтеза технологических процессов (ТП) является центральной в проблеме разработки САПР технологической подготовки производства. В работе [1] приведены классификация, формальные описания моделей и схемы реализации методов синтеза ТП: с использованием ТП-аналогов, с использованием элементов-аналогов и без аналогов. Предложенные схемы проектирования методов определяют состав компонентов программной системы синтеза ТП, но не дают представления об использовании математических моделей при реализации компонента „синтез структуры ТП“.

В работе [2] предложен вариант алгоритмического представления процедуры синтеза решений, которая успешно применялась при проектировании наладки револьверной головки токарно-револьверного станка. В основу этой процедуры положен метод синтеза с использованием элементов-аналогов. В качестве типовых элементов-аналогов использовались блочные переходы. Но разработанную в [2] программную реализацию процедур нельзя считать инструментальной, так как она содержит специфичные оригинальные компоненты. Поэтому работы по дальнейшей формализации методов синтеза и разработке соответствующих инструментальных средств являются актуальными.

В настоящей статье представлен разработанный метод синтеза, позволяющий создать инструментальную систему проектирования ТП из элементов-аналогов (типовых компонентов) и сформировать базу знаний.

Определим понятие „технологический процесс“ как систему действий, которые выполняются на ресурсах технологической системы при изготовлении изделия. Это определение является развитием определений, которые представлены в работах [3—5]. В рамках настоящей работы актуален подход к ТП с позиций формализации решения задачи проектирования процесса.

При проектировании ТП широко используется теория графов. С помощью ориентированных графов обычно задается временная последовательность изготовления изделий.

Например, множество вершин — это множество состояний изделия в процессе изготовления, а множество дуг — это множество операций изготовления изделия. Также при построении ориентированных графов используется подход, согласно которому множество вершин — это множество технологических действий  $D$ , выполняемых при изготовлении изделий, а множество дуг  $G$  описывает временную последовательность действий [2]. В нашем случае более перспективным вариантом является второй. Следовательно,  $t = (D, G)$ , где  $t$  — это ТП.

В тех случаях, когда требуется задать на графе одновременно несколько правил взаимодействия, например: временные, пространственные, качественные и т.д., то используются мультиграфы. В этом случае множество дуг — это множество непересекающихся подмножеств дуг:  $G = \{G_1, G_2, G_m\}$ . Каждое подмножество дуг задает правила взаимодействия действий по одному показателю. Нетрудно заметить, что два технологических действия при изготовлении изделия в общем случае должны согласовываться по разным показателям.

Современные технологические системы — это программно управляемое многокомпонентное оборудование, где каждый компонент может работать автономно, пример: автоматизированная линия сборки [6], обрабатывающий центр Willemin Macodel 508MT. Для проектирования процессов и управляющих программ целесообразно применять типовые части ТП и макросы, что предполагает синтез решений из элементов-аналогов. В общем случае каждый элемент-аналог (технологическое действие) описывается множеством свойств и каждое свойство задается множеством значений.

В работе [1] представлены инвариантная схема и формальное представление синтеза ТП с применением элементов-аналогов. В схему включены компоненты классификации изделия к определенному классу ( $\Gamma_{ki}$ ), выбора элементов-аналогов ( $\Gamma_{ai}$ ), синтеза ТП ( $S_i$ ), оценки эффективности элементов-аналогов ( $K_i$ ) и ТП, параметризации ТП ( $N_i$ ):

$$L K_i N_i S_i \Gamma_{ai} \Gamma_{ki} u = t_{i+1},$$

где  $t_{i+1}$  — ТП ( $i+1$ )-го уровня декомпозиции (например, технологический маршрут, технологическая операция и т.д.),  $u$  — изделие,  $L$  — диалоговый оператор.

При построении программной системы все компоненты были реализованы в виде инструментальных моделей, кроме компонентов синтеза, которые подключались через унифицированный информационный интерфейс к программной системе как оригинальные. Компоненты синтеза включали инвариантные процедуры, полностью унифицировать которые, используя рассмотренные выше подходы, нельзя.

Предлагается реализовать процедуру синтеза ТП, используя линейные графы, в которых граф представляет собой объединение многосвязных элементов. Многосвязный элемент — это вершина графа с полусвязями, которые инцидентны элементу с одной стороны [7]. По полусвязям элемент может взаимодействовать с другими элементами и средой. Связи в графе образуются при объединении пар полусвязей одного наименования. В линейном графе каждая вершина соответствует компоненту ТП  $i$ -го уровня декомпозиции, а дуга — причинно-следственной связи. Полученный линейный граф является моделью ТП ( $i + 1$ )-го уровня декомпозиции.

Будем называть часть линейного графа, в которой не все полусвязи соединены как связи, фрагментом линейного графа. Нетрудно заметить, что элементы-аналоги (компоненты), из которых синтезируется ТП, являются фрагментами линейного графа.

Связи между элементами ТП, а следовательно и полусвязи, многообразны и определяются применяемым технологическим оборудованием, технологической оснасткой, методами и способами изготовления изделий, организацией производства. При проектировании любого ТП используются временные, энергетические, пространственные и качественные полусвязи; в свою очередь, например, энергетические полусвязи могут быть силовыми, тепловыми и т.п.

Каждая полусвязь описывается именем, типом и значениями показателя, а также именем правила. Будем различать качественный и количественный показатели. Качественный

задается конкретным значением или множеством допустимых значений, количественный — конкретным числом либо интервалом чисел, либо граничным значением. По правилу полусвязи одного наименования разных элементов-аналогов соединяются в связь. Правила соединения позволяют не только определить возможность образования связей, но и сформировать новые значения показателей. После объединения полусвязей могут уточняться свойства технологических действий, вошедшие в сформированный фрагмент линейного графа на данном этапе.

**Многосвязные элементы** делятся на такие категории, как усилие, поток, момент, перемещение, емкость, инерционность, сопротивление, трансформатор, гиратор, нулевой элемент, единичный узел.

Под усилием, которое должно передаваться на исполнительные органы технологического оборудования, понимается сила или температура, а под потоком — скорость изменения характеристики. Момент — это количество движения; перемещение — механический сдвиг; емкость — аккумуляция потенциальной энергии, или энергии упругости, или температуры; инерционность — аккумуляция кинетической энергии; сопротивление — механические потери (например, трение) или потери температуры (например, взаимодействие с внешней средой).

Трансформатор и гиратор — это двусвязные элементы, которые сохраняют мощность или температуру. Нулевой и единичный узлы — трех- и более связные, нулевой узел суммирует энергию, а единичный — реакцию на энергетическое воздействие.

В инструментальной системе „Синтез“ фрагменты линейного графа хранятся в базе данных и могут рассматриваться как входные данные. Процесс проектирования ТП ведется по заданию, содержащему описание изготавливаемого изделия и заготовки. Выходными данными является ТП.

Метод включает следующие этапы.

*Подготовительный этап.* Формируется база элементов-аналогов. Для каждого элемента-аналога определяются технологическое действие (переход, операция, маршрут), а также состав и состояние технологической системы до и после ее выполнения. Также указывается переходная функция, осуществляющая расчет параметров технологического действия и характеристики результирующего состояния.

*Постановка задачи на проектирование.* На этом этапе описываются начальное и конечное состояния технологической системы. Начальное состояние должно быть описано полностью, т.е. перечислены все входящие объекты, с указанием количественных и качественных характеристик. Конечное состояние описывается так, чтобы можно было определить, достигнуто оно при проектировании или нет.

*Проектирование.* На этом этапе осуществляются формирование ТП и определение состояний технологической системы на основе базы элементов-аналогов. Формирование последовательности осуществляется по следующему алгоритму:

- 1) поиск элементов-аналогов;
- 2) добавление найденных элементов в последовательность;
- 3) расчет параметров технологических действий и результирующих состояний технологической системы.

Если какая-то полусвязь сформированного фрагмента на промежуточном этапе не связывается ни с одной родственной полусвязью выбранных элементов-аналогов, то рассматриваются следующие варианты: диалог с пользователем, ввод промежуточного элемента-аналога для согласования связей (его называют согласующим или паразитным элементом), замыкание полусвязи на окружающую среду.

Технологическое действие или их система, направленные на предмет труда, переводят его из одного состояния в другое. Технологическое действие или их система — это оператор, который применяется к конкретному состоянию предмета труда, а результат применения —

новое состояние предмета:  $u_v = t_v(u_{v-1})$ , где  $v$  — шаг проектирования,  $u_v$  — состояние изделия на  $v$ -м шаге,  $t_v$  — действия  $v$ -го шага;

4) выбор элемента-аналога и интегрирование его в фрагмент линейного графа предыдущего шага проектирования;

5) если текущее состояние не равно конечному, то переход к шагу 1.

*Вывод решения.* На этом этапе осуществляются выбор оптимального решения и вывод его в виде, удобном для предметной области. Оптимальное решение определяется по заданному критерию.

Перечисленные этапы могут выполняться отдельно друг от друга.

**Заключение.** Предложенный метод позволяет построить инструментальный компонент „Синтез“, который можно настраивать на решение конкретных задач за счет наполнения базы элементами-аналогами и организации базы знаний, ориентированных на определенный тип технологического оборудования. Следует отметить, что полученный линейный граф описания ТП в дальнейшем может быть использован в качестве модели для исследования и оптимизации ТП и реализующей его технологической системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митрофанов С. П., Куликов Д. Д., Миляев О. Н., Падун Б. С. Технологическая подготовка гибких производственных систем. Л.: Машиностроение, 1987. 352 с.
2. Митрофанов С. П., Гульнов Ю. А., Куликов Д. Д., Падун Б. С. Применение ЭВМ в технологической подготовке серийного производства. М.: Машиностроение, 1981. 287 с.
3. Чарнко Д. В. Основы проектирования поточного производства в механо-сборочных цехах. М.: Машгиз, 1957. 256 с.
4. Лебедевский М. С., Федотов А. И. Автоматизация в промышленности. Л.: Лениздат, 1976. 254 с.
5. Маталин А. А. Технология машиностроения. Л.: Машиностроение, 1985. 496 с.
6. Падун Б. С., Латышев С. М. Интегрированная система автоматизации сборки микрообъективов // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53, № 8. С. 34—39.
7. Применение теории графов связей в технике / Под ред. Д. Кэрнопа и Р. Розенберга. М.: Мир, 1974. 96 с.

#### *Сведения об авторах*

**Борис Степанович Падун**

канд. техн. наук, доцент, Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения; E-mail: bsp.tps.ifmo@mail.ru

**Кирилл Васильевич Киприянов**

аспирант, Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения; E-mail: kinnder@mail.ru

**Александр Сергеевич Шеманаев**

магистрант, Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения; E-mail: alt-64@mail.ru

Рекомендована кафедрой  
технологии приборостроения

Поступила в редакцию  
22.10.14 г.

**Ссылка для цитирования:** Падун Б. С., Киприянов К. В., Шеманаев А. С. Метод синтеза технологических процессов изготовления изделий // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 4. С. 289—293.

**METHOD FOR SYNTHESIS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF PRODUCT MANUFACTURING****B. S. Padun, K. V. Kipriyanov, A. S. Shemanaev***ITMO University, 197101, Saint Petersburg, Russia  
E-mail: kinnder@mail.ru*

Approaches to design systems based on representation of technological processes as oriented graphs are considered. Limitations and problems associated with the approach are revealed, method of synthesis based on linear graphs is developed to avoid the difficulties. General concepts of the method are formulated; an algorithm of the method application for instrumental system of synthesis of technological processes is presented.

**Keywords:** automation, technological process, algorithm of synthesis, linear graph.

**Data on authors****Boris S. Padun**

PhD, Associate Professor; ITMO University, Department of Instrumentation Technology; E-mail: bsp.tps.ifmo@mail.ru

**Kirill V. Kipriyanov**

Post-Graduate Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology; E-mail: kinnder@mail.ru

**Alexander S. Shemanaev**

Student; ITMO University, Department of Instrumentation Technology; E-mail: alt-64@mail.ru

**Reference for citation:** *Padun B. S., Kipriyanov K. V., Shemanaev A. S. Method for synthesis of technological processes of product manufacturing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie. 2015. Vol. 58, N 4. P. 289—293 (in Russian).*

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-4-289-293