

В. А. КЛЕВЦОВ, К. П. ПОМПЕЕВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

Рассмотрены особенности структурного анализа и синтеза при проектировании технологических процессов (ТП) автоматизированного производства, базирующегося на системном подходе к изучению и формализованному описанию объектов и процессов проектирования. Синтез структуры ТП осуществляется методом направленного поиска с постепенной детализацией и корректировкой проектных решений. При этом используется установленное соотношение функциональной подчиненности геометрических структур готового изделия его состояниям в процессе механической обработки.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, геометрические связи, механическая обработка, моделирование, синтез, системный подход, теория графов, технологический процесс.

Успешное функционирование автоматизированного производства зависит от эффективности решений, принимаемых при проектировании технологических процессов (ТП). Повышенные требования к качеству проектных решений предполагают дальнейшее развитие теории и методологии проектирования. Безусловно, актуальными являются исследования, направленные на создание методики и алгоритмического обеспечения процесса проектирования ТП механической обработки для автоматизированного производства.

Разработка алгоритмического обеспечения предполагает формализованное описание объекта и процесса проектирования на основе их всестороннего системного изучения. Конечной целью функционирования ТП механической обработки является создание технической системы „деталь“ (ТСД) [1]. Состояния, которые приобретают элементы ТСД в определенные моменты технологического процесса, отражены в модели технической системы „заготовка“ (ТСЗ), а достижение требуемого состояния элементов ТСЗ происходит в ходе функционирования технической системы „обработка“ (ТСО).

Перечисленные системы характеризуют материальное содержание объекта проектирования. Организационно-плановая структура технологического процесса, включающая такие элементы, как операция, установ, переход, определяют состав систем ТСЗ и ТСО. Поэтому комплексное описание объекта проектирования предусматривает одновременный учет материальных и организационно-плановых составляющих ТП.

Специфика технологического проектирования состоит в том, что поиск наиболее эффективного решения производится в обширном пространстве при необходимости учета множества факторов и ограничений. Это обусловило необходимость декомпозиции общей задачи и решения ее в несколько этапов, образующих иерархическую структуру. Последовательность выполнения этапов определяется заранее заданной стратегией, имеющей обратные информационные связи лишь между смежными этапами. Разработка технологического процесса (его маршрутного и операционного описания) осуществляется с постепенной детализацией и корректировкой проектных решений. Технологическое проектирование включает следующие этапы: проектирование принципиальной схемы ТП; проектирование маршрута ТП; проектирование технологических операций; разработка управляющих программ.

Реализуемый на каждом этапе проектирования системный подход предполагает выбор соответствующих математических моделей. Применительно к рассматриваемой задаче речь идет об использовании теории графов, что позволяет структурировать сам процесс проектирования

технических систем, выделяя в нем в качестве составляющих процессы анализа и синтеза структуры связей между отдельными элементами систем [2]. Моделирование с помощью графов позволяет формализовать процессы исследования, а также принятия в ходе него решений [3].

В настоящей работе представлена методика формирования структуры ТП методом ее направленного синтеза. Метод заключается в определении состава технологического процесса и назначении временных и геометрических связей между его элементами на этапах проектирования принципиальной схемы, маршрута, операции, инструментального перехода. Эффективность решений при этом определяется частными технико-экономическими показателями, обеспечивающими максимизацию технологической надежности объекта проектирования по параметрам точности и минимизацию количества технологических операций.

В случае невозможности алгоритмического получения варианта структуры ТП, эффективного по всем критериям, в методике предусмотрен поиск компромиссного решения и предлагаются способы его реализации на основе использования интерактивного диалога проектировщика с ЭВМ.

Формируемая структура ТСЗ должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к ТСД, и учитывать возможности ТСО. Формализованное описание структур геометрических связей может быть представлено в виде графов G . На рисунке представлены варианты геометрической структуры связей между элементами (Ξ) на разных стадиях изготовления детали: a — исходная с учетом максимального сохранения структуры конструкторских связей при начале обработки заготовки с левой стороны; b — оптимальная, характеризуемая с учетом минимальных составов размерных цепей (например, $K_3=T_5-T_{12}$, по сравнению с $K_3=T_5-T_7-T_{12}$ на рисунке, a) при начале обработки заготовки с левой стороны (здесь K — конструкторский размер, T — технологический размер, z — припуск).

Согласно методике, на основе выявленных закономерностей соотношения систем, выполняется структурный синтез ТСЗ, который включает решение следующих задач:

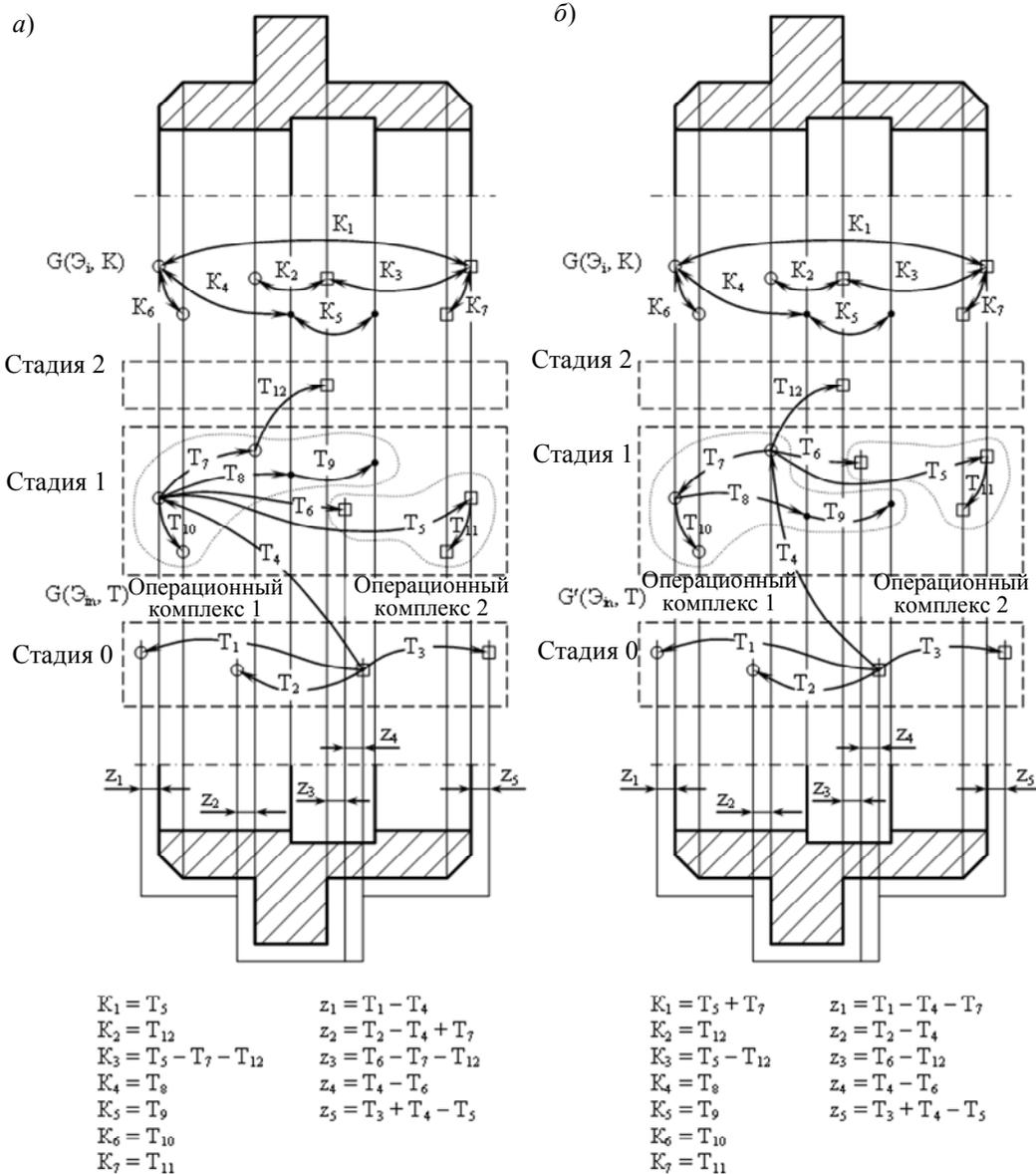
— определение состава элементов системы с учетом требований, предъявляемых к объекту производства и существующей при обработке технологической наследственности;

— определение временной и геометрической структуры связей между элементами ТСЗ.

Решение указанных задач осуществляется по формализованным правилам, полученным с помощью эвристических методов. Правила предусматривают обеспечение принципа минимизации состава размерных цепей графа (см. рисунок, b), моделирующего структуру связей. Определение параметров геометрических связей и оценка возможности их достижения производятся путем составления уравнений размерных цепей с последующим их расчетом методом максимума-минимума.

Использование структурного образования — комплекса элементов, объединяемых по следующим признакам: вид элемента, стадия преобразования, геометрическая связность, расположение в конфигурации заготовки, — позволяет сократить число возможных вариантов синтезируемых структур, причем структура геометрических связей формируется постепенно путем последовательного включения в рассмотрение значимых факторов. Так, на этапе создания принципиальной схемы ТП учет фактора времени преобразования элементов в структуре ТСЗ позволяет выделить комплексы элементов, формируемых на каждой стадии (стадийные комплексы, СК), а в его структуре — стадии обработки. Каждая стадия характеризуется достижением определенного качественного уровня (состояния) элементов ТСЗ. Назначив временную структуру на этом этапе проектирования, возможно определить направленность связей между СК. При этом могут быть выявлены недостатки структуры, заключающиеся в неоднозначности базирования элементов. В качестве показателя неоднозначности базирования используется коэффициент связности вершин графа, моделирующего структуру ТСЗ.

Устранение неоднозначности базирования обеспечивается одним из следующих способов:
 — изменением временной структуры, т.е. перераспределением состава стадийных комплексов;
 — изменением геометрической структуры связей.



Для исключения необходимости полного перебора возможных вариантов методика предусматривает эвристически принятую систему предпочтений, учитывающую характеристики геометрических связей между элементами.

Если на уровне проектирования принципиальной схемы получен наилучший вариант структуры, осуществляется переход к созданию маршрута технологического процесса, на котором предусматривается:

- выделение комплекса элементов, объединяющим признаком для которых является возможность обработки в одной операции, с учетом их геометрической связности и положения в конфигурации ТСЗ;
- определение последовательности технологических операций.

Моделирующий структуру граф преобразуется при этом в направленный путем определения корня граф-дерева по установленным формализованным правилам, учитывающим отношения предпочтения среди рассматриваемых вариантов.

С целью минимизации количества необходимых технологических операций в методике предусмотрена возможность корректировки полученной ранее структуры связей.

Получение рациональной структуры на уровне проектирования маршрута позволяет перейти к этапу разработки отдельных операций. Задачи структурного синтеза, описанные выше, решаются также на этапе проектирования операций. В составе операционных комплексов ТСЗ выделяются совокупности элементов, объединенные общностью применяемого для их обработки вида инструмента (комплексы инструментальных переходов), и назначаются временные и геометрические связи между ними.

Результаты проектирования, полученные с помощью рассматриваемой методики, могут представляться в виде графа технологических размеров или в виде операционных эскизов при использовании сервисных систем автоматизированного проектирования.

Реализация описанной методики показала, что производительность труда проектировщиков повышается, при этом полученные решения в виде структуры технологического процесса гарантируют обеспечение точностных требований к изделию, представленных в конструкторском чертеже. Кроме того, значительно снижаются материальные затраты, связанные с необходимостью проведения отработки ТП по опытным и установочным партиям заготовок, а само внедрение ТП будет связано с отработкой и уточнением режимов резания при изготовлении одной-двух деталей из партии с последующим изготовлением всех деталей партии без брака [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клевцов В. А., Одицова Л. В., Помпеев К. П. Системный анализ при проектировании технологических объектов и процессов // Тр. XI Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, студентов и аспирантов „Анализ и прогнозирование систем управления“. СПб: СЗТУ, 2010. Ч. 1. С. 193—197.
2. Клевцов В. А. Некоторые итоги реализации принципа системности при техническом проектировании. Ч. 1 // Межвуз. сб. „Проблемы машиноведения и машиностроения“. СПб: СЗТУ, 2011. Вып. 41. С. 246—254.
3. Клевцов В. А. Некоторые итоги реализации принципа системности при техническом проектировании. Ч. 2 // Межвуз. сб. „Проблемы машиноведения и машиностроения“. СПб: СЗТУ, 2011. Вып. 41. С. 255—265.
4. Помпеев К. П., Лазарев Э. Е., Пинаев Д. С. Интерактивный синтез и расчет биений // Тр. 10-й сессии Междунар. науч. школы „Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов“, посвященной памяти В.П. Булатова. СПб: ИПМаш РАН, 2011. С. 334—340.

Сведения об авторах

- Владилен Андреевич Клевцов** — канд. техн. наук, доцент; Национальный минерально-сырьевой университет „Горный“, кафедра машиностроения, Санкт-Петербург; E-mail: sapr2k8@yandex.ru
- Кирилл Павлович Помпеев** — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО, кафедра технологии приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: kirpom@rambler.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
09.04.14 г.