

# Формализация поиска структурных решений в САПР ТП

М.А. Анфёров, e-mail: anfyorov@inbox.ru

«МИРЭА - Российский технологический университет»

**Аннотация.** *Рассматриваются аспекты автоматизации современных САПР ТП, связанные с формированием структуры технологических процессов. Предложен метод формализованного синтеза структуры технологического процесса на уровне маршрутного описания. Метод основан на эволюционной кластеризации множества технологических решений, используемых в процессе синтеза технологических операций в условиях нечеткости оценки расстояния в пространстве признаков. Отмечена роль единого цифрового пространства в интеграции открытых информационных систем, поддерживающих процессы жизненного цикла наукоемкой продукции с целью повышения эффективности этих систем, гарантирующей конкурентную устойчивость выпускаемых изделий.*

**Ключевые слова:** *технологический процесс, структура, синтез, кластеризация, САПР ТП.*

## Введение

Единое цифровое пространство для открытых информационных систем, поддерживающих процессы жизненного цикла (ЖЦ) наукоемкой продукции, является основным инструментом их интеграции [1] с целью снижения затрат на реализацию этих процессов и повышения качества выпускаемых изделий. Все это гарантирует устойчивую конкурентоспособность выше названных изделий в рамках наступательной инновационной стратегии. Понятно, что эффективность CALS-концепции во многом определяется уровнем автоматизации используемых информационных систем, интегрируемых с использованием PDM-технологий. В данной работе рассматривается вопрос эффективности систем автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП), функционирующих в рамках АСТПП.

Слабым звеном САПР ТП в вопросах автоматизации всегда был процесс формирования структуры наукоемкого технологического процесса (ТП), многовариантность которой достигает порядка  $10^{30}$  [2]. Это связано с большим разнообразием структурного исполнения элементов ТП на различных иерархических уровнях [3-4] (см. рис. 1).



*Рис. 1.* Многоуровневое описание структуры технологического процесса

Кроме этого число сочетаний выбора структурных решений растет за счет вариации порядка их следования в технологическом процессе, что однозначно влияет на технологическую наследственность формируемых эксплуатационных свойств поверхностей ответственных деталей изделий.

Процесс синтеза структуры осложняется также за счет использования в наукоемких технологических процессах методов обработки, направленных на модификацию свойств поверхностного слоя ответственных деталей с повышенными эксплуатационными характеристиками: ионной имплантации, нанесения покрытий, электрохимической и др.

Таким образом повышение эффективности и надежности современных САПР ТП во многом определяется эффективностью и надежностью используемых моделей при автоматизированном формировании объекта проектирования.

### **1. Постановка задачи**

Сложные структурно-функциональные связи в наукоемком технологическом процессе привели к тому, что в современных САПР ТП

[5] синтез его структуры происходит в режиме редактирования маршрутно-операционного описания. При этом типовые технологические решения, размещаемые в базе данных, используются технологом исходя из его личного опыта. В качестве таких типовых проектных решений применяются элементы структуры ТП того или иного иерархического уровня (см. рис. 1): при нисходящем проектировании – это типовой технологический процесс [6], при восходящем проектировании – маршруты обработки отдельных поверхностей (ТМП) как совокупность выполняемых технологических переходов [7]. Кроме этого применяется модульный подход к автоматизированной разработке технологических процессов, предполагающий использование комплексных моделей, отображающих модуль (элемент) технологического процесса, привязанный к конкретному конструктивному элементу объекта производства [8]. В ряде САПР ТП (например, САПР ТП «Вертикаль» компании «АСКОН») имеется возможность хранения в базе знаний ранее полученных проектных решений на том или ином уровне описания технологического процесса, которые могут использоваться при разработке технологического процесса на аналогичную деталь. Однако в любом случае вопрос формализованного синтеза структуры ТП остается проблемным.

Выполненное исследование обосновало новый подход к синтезу структуры наукоемкого ТП. В основу положен принцип восходящего проектирования, предложенный в свое время проф. Цветковым В.Д. [7] с использованием информационной технологии кластерного анализа [9], реализующая эволюционную кластеризацию технологических переходов в пространстве характеризующих их признаков.

## **2. Синтез структуры технологического процесса**

На начальном этапе в конструкции детали выделяются элементарные поверхности. Далее исходя из заданных конструктором параметров качества этих поверхностей (параметров шероховатости, точности и др.), а также их геометрических и функциональных характеристик реализуется поиск в базе знаний типового проектного решения в виде ТМП, обеспечивающего получение в процессе технологической обработки вышеназванных параметров и характеристик. С каждым технологическим переходом, принадлежащим ТМП, в базе знаний связан набор атрибутов, используемых при принятии решений в процессе формирования технологических операций и всей структуры технологического процесса на уровне маршрутного описания (см. рис. 1).

Первый атрибут представляет собой вектор значений. Элементы вектора образуют каждый свое отдельное измерение, используемое при кластеризации. Каждый элемент вектора содержит значение соответствующего параметра качества поверхности: параметра шероховатости, точности, микротвердости и др. Данные значения, в отличие от остальных атрибутов, определены на непрерывной шкале.

Второй атрибут образует отдельное измерение при кластеризации и представлен множеством номеров поверхностей детали, которые конструктивно и с позиции точности технологической обработки могут использоваться в качестве установочных технологических баз. Представленные в атрибуте поверхности являются альтернативными в принятии решения при формировании структуры операции.

Что касается третьего атрибута, то он также представляет собой множество, каждый элемент которого определяет код технологического оборудования, которое может использоваться для выполнения данного технологического перехода. Представленные в атрибуте значения также являются альтернативными в принятии решения. Фактически данный атрибут определяет возможные методы технологической обработки. При этом учитывается возможность современного технологического оборудования выполнять интегрированную обработку заготовки различными технологическими методами.

Четвертый атрибут представляет собой вектор значений. Элементы вектора образуют каждый свое отдельное измерение, используемое при кластеризации, и характеризуют наличие наследственной связи выполняемого технологического перехода с другим переходом, направленным на модификацию структуры поверхности детали. Принимаемые значения имеют бинарный вид (0 или 1) в зависимости от того имеется технологически наследственная связь с соответствующей модификацией или нет.

Используемые атрибуты образует пространство признаков для эволюционной кластеризации технологических переходов [9]. Формируемые в результате кластеры отображают синтезируемые технологические операции, объединяющие в своей структуре технологические переходы, входящие в эти кластеры (см. рис.2).

Однако решение данной задачи наталкивается на проблему нечеткости величины расстояния между объектами кластеризации (см. рис.3). Это связано с тем, что второй и третий атрибуты представляют собой множества альтернативных значений. Для этого случая каждый технологический переход представляется в процедуре кластеризации не одним объектом, а несколькими по числу сочетаний дискретных значений из множеств. Использование эволюционной

кластеризации [9] позволяет исключить в окончательном решении наличие объектов кластеризации, дублирующих технологические переходы. Использование генетического оператора фильтрации порождаемых хромосом [9] обеспечивает порождение при работе генетического алгоритма только допустимых вариантов кластеризации.

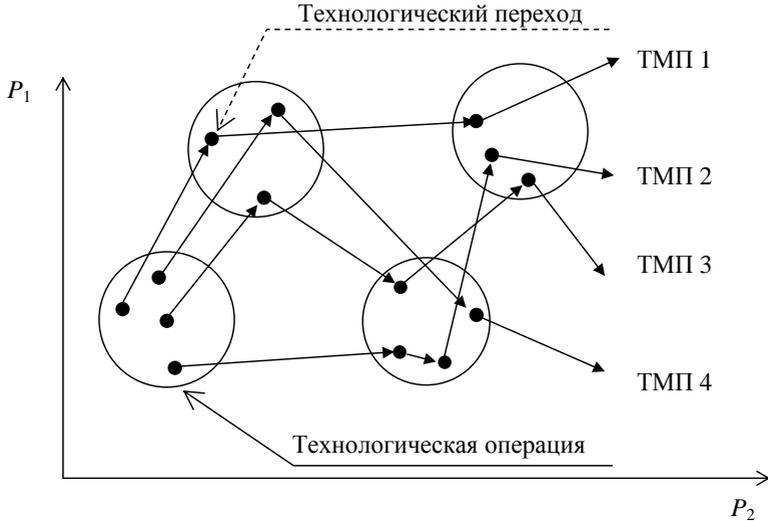


Рис. 2. Формирование технологических операций при восходящем проектировании в пространстве признаков кластеризации  $P_1$  и  $P_2$

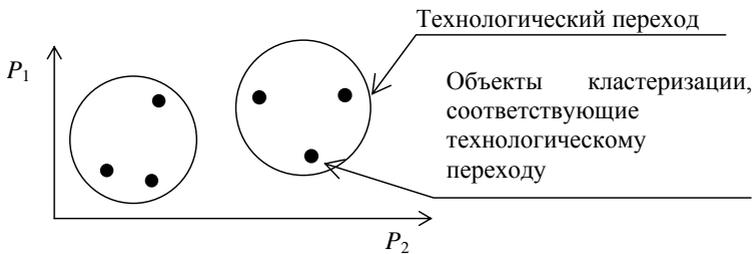


Рис. 3. Иллюстрация нечеткости расстояния при кластеризации переходов в пространстве признаков  $P_1$  и  $P_2$

Работоспособность полученных теоретических результатов была проверена на классе корпусных деталей изделий среднего

машиностроения. Данные объекты производства были выбраны не случайно, так как их отличает значительная вариативность в концентрации и дифференциации технологических операций, формируемых на большом множестве технологических переходов, связанных с обработкой поверхностей широкого спектра конфигурации с использованием, в том числе, различного мерного инструмента. Выделение кластеров осуществлялось в различном количестве, что приводило соответственно к получению различного числа технологических операций с различной их концентрацией. Выполненный анализ получаемых альтернативных решений позволил найти оптимальные структуры по критерию минимальных технологических затрат.

### **Заключение**

По результатам выполненных исследований получен новый способ синтеза структуры технологических операций, в основу которого положена эволюционная кластеризация. Построенный на этих результатах процесс проектирования в рамках САПР ТП отличается высоким уровнем формализации, повышающим производительность данного процесса. С другой стороны полученные результаты предоставляют проектировщику дополнительный аналитический инструмент, что способствует получению более качественных технологических решений.

Подтверждена работоспособность предложенного способа по результатам тестовых вычислений для класса корпусных деталей.

### **Список литературы**

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498–1–99. Информационная технология. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель. Часть 1. Базовая модель. – Введ. 2000–01–01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 58 с.
2. Анфёров, М. А. Системная оптимизация наукоемких технологий / М. А. Анфёров // Авиационная техника: Известия вузов. – 2002. – № 2. – С. 57-60.
3. ГОСТ 3.1109–82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий. – Введ. 1983-01-01. – М.: Стандартинформ, 2012. – 14 с.
4. ГОСТ 14.004–83. Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий. – Введ. 1983-07-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 8 с.
5. Фролова, И.Н., Анализ современных систем автоматизированного проектирования технологических процессов

(САПР ТП) / И. Н. Фролова, О. И. Кутилова // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – 2010. – № 1 (80). – С. 91-94.

6. Капустин, Н.М. Принципы и методика автоматизированного проектирования технологических процессов обработки деталей в машиностроении : дис. ... докт. техн. наук : 05.02.08 / Капустин Николай Михайлович. – М., 1976. – 447 с.

7. Цветков, В.Д. Многоуровневый синтез структурных моделей технологических процессов обработки деталей в автоматизированных системах проектирования : дис. ... докт. техн. наук : 05.13.12 / Цветков Виктор Дмитриевич. – Минск, 1979. – 412 с.

8. Базаров, Б.М. Организация проектирования модульных технологических процессов изготовления деталей / Б. М. Базаров // Вестн. маш. – 1995. – № 5. – С. 23-28.

9. Анфёров, М.А. Генетический алгоритм кластеризации / М. А. Анфёров // Российский технологический журнал. – 2019. – Т. 7. – № 6. – С. 134-150.