

# Интегрированная САПР технологических процессов производства

А. В. Горячев<sup>1</sup>, Н. Е. Новакова<sup>2</sup>

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

<sup>1</sup>avgoryachev@gmail.com, <sup>2</sup>nenovakova@gmail.com

**Аннотация.** Представлена концепция САПР технологических процессов производства, обеспечивающая ее интеграцию с PDM-системой. Предложен алгоритм формирования технологического маршрута и основных технологических документов. Рассмотрена динамическая модель применения метаданных проекта при создании технологических документов.

**Ключевые слова:** САПР технологических процессов производства; метаданные проекта; база данных; технологический маршрут; маршрутная карта; метаданные проекта; технологическая документация

## I. ВВЕДЕНИЕ

Способность предприятий составить конкуренцию на мировом рынке напрямую зависит от переноса традиционных методов проектирования в единое информационное пространство. Данный факт не является исключением и для систем автоматизированного проектирования технологических процессов производства (ТПП).

Современное производство использует широкий спектр технологий при изготовлении изделий. Это как традиционные технологии (обработка материалов резанием, ковка, прокатка), так и ряд новых технологий (лазерная и плазменная резка, высокоскоростное фрезерование и др.) [1].

Применение той или иной технологии в каждом конкретном случае должно быть представлено в виде технологического процесса (ТП). Технологический процесс определяет последовательность выполняемых действий при обработке или сборке, вид выбранной заготовки или материала, используемое оборудование и инструмент, технологические режимы.

При неавтоматизированной подготовке производства, ТП разрабатываются непосредственно в виде комплектов технологической документации. При использовании систем автоматизации ТПП, создаваемые описания технологических процессов размещаются в БД. Хранящаяся таким образом информация является основным источником для решения задач управления технологической подготовки производства [2].

Одной из актуальных задач разработки САПР ТПП является ее интеграция с PDM-системами и другими средствами автоматизации проектирования.

## II. СТРУКТУРА САПР ТПП

Структура системы автоматизации ТПП представлена на рис. 1.

К основным задачам системы автоматизации ТПП относятся анализ технологического оснащения, синтез ТП, выпуск комплекта ТД. К вспомогательным задачам можно отнести организацию информационной поддержки процесса проектирования, управление ТПП, формирование и заполнение баз данных (БД), взаимодействие компонентов внутри единого информационного пространства и обучение пользователей.

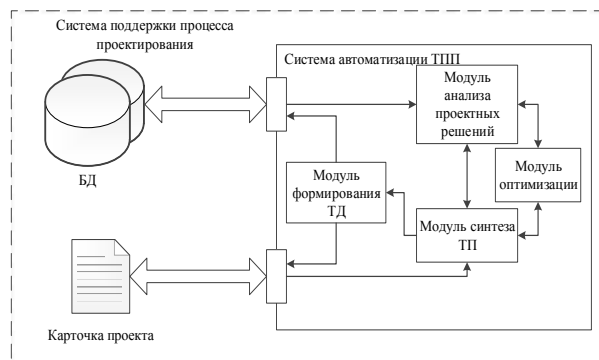


Рис. 1. Структура системы автоматизации ТПП

Модуль анализа проектных решений предназначен для выполнения нескольких задач. Основной из них является оценка эффективности использования технологического оснащения. Аналитическое заключение формируется на основе сопоставления реализуемых технологических операций и технических характеристик имеющегося оборудования. Модуль анализа проектных решений сопоставляет разрабатываемую структуру с уже имеющимися решениями. Если такие решения найдены, то они используются в качестве шаблонов проектирования (типовых проектных решений). Если искомые шаблоны не найдены, то осуществляется синтез новых проектных решений.

При нерациональной организации технологического оснащения, предлагаются варианты оптимальных технических показателей.

Модуль синтеза ТП ответственен за основную часть диалога с человеком (технологом). На основе имеющейся информации в БД и карточке проекта формируется дерево ТП. На его основе проходит поиск похожих проектов, оптимизация ТП и формирование ТД.

Модуль оптимизации предназначен для поиска вариантов оптимальных проектных решений. Он необходим для работы модуля анализа проектных решений: определяет характеристики технологических процессов исходя из группировки данных по наиболее часто применяемым операциям. По сформированному описанию дерева ТП модуль оптимизации определяет оптимальную загрузку оборудования и выбирает последовательность технологических операций по соответствующим критериям.

За формирование выходных данных отвечает модуль формирования ТД. По заданному описанию дерева ТП составляется пакет технологических документов. Помимо этого, модуль добавляет информацию (идентификаторы-ссылки) по сформированным документам в карточку проекта.

Карточка проекта (метаданные) – это объект, обеспечивающий централизованное хранение данных о проекте на всем его протяжении.

Базы данных хранят информацию по составным элементам технологических процессов, материалам, оборудованию, оснастке, а также архивную технологическую документацию.

### III. СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА

Для технологического процесса проектирование структуры может быть рассмотрено на трёх принципиальных уровнях: маршрута, операции, перехода.

На каждом уровне структуру процесса можно отобразить в виде ориентированного графа. Для уровня маршрута – это граф, у которого вершины представляют операции, а дуги – отношения между ними. В качестве отражения последовательности выполнения операций выбрано отношения следования « $\rightarrow$ ». Т.е. если за элементом  $x$  следует элемент  $y$ , то в качестве отношения следования это можно обозначить следующим образом:  $x \rightarrow y$ .

Структура технологического процесса определяет некоторые свойства отношения следования:

- антирефлексивность, за какой-либо операцией не может следовать такая же операция ( $x \rightarrow x$  – ложно);
- антисимметричность, последовательность операций нельзя поменять (если  $x \rightarrow y$ , то  $y \rightarrow x$  – ложно и наоборот);

- антитранзитивность, нельзя пропускать операции в последовательности (если  $x \rightarrow y$  и  $y \rightarrow z$ , то  $x \rightarrow z$  – ложно).

Граф имеет линейную структуру, так как объект воздействия один и заготовка последовательно обрабатывается, начиная с первой операции и до последней. Записи в маршрутной карте отражают граф следования.

Некоторые процессы воздействуют на несколько объектов одновременно. Таким образом, несколько линейных структур образуют древовидное представление графа.

Аналогичным образом можно описать и структуру операции. В этом случае вершинами графа будут являться переходы, а отношениями между ними будут по-прежнему следования.

Переходы могут выполняться одновременно. Данный факт на графе следования выражается объединением вершин – блочный переход. Переходы  $T_{B1}$  и  $T_{B2}$  (рис. 2) объединены в один блочный переход  $T_B$ .

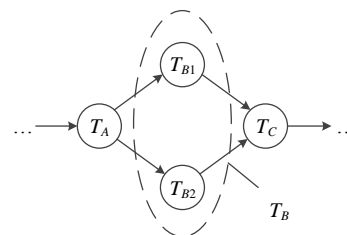


Рис. 2. Пример графа переходов

Переходы блочного типа должны выполняться набором инструментов для одновременной обработки нескольких поверхностей.

### IV. ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Информация и данные, необходимые для осуществления технологического процесса, распределены по модулям системы.

В зависимости от назначения технологические документы подразделяются на основные и вспомогательные. К основным относятся документы со сводной информацией по решению одной задачи или их комплекса. Вспомогательные же документы применяют при внедрении и функционировании ТП и операций.

Основные технологические документы подразделяются на документы общего и специального назначения. Документы общего назначения (титульный лист, карта эскизов, технологическая инструкция), применяемые в отдельности или в комплекте документов на ТП, не зависят от используемых методов изготовления или ремонта изделий. К документам специального назначения (маршрутная карта, операционная карта, ведомость технологической документации) относят документы, применяемые при описании ТП и операций в зависимости от типа и вида производства.

Обязательный состав пакета документов стандартами не регламентирован. Он определяется соответствующими подразделениями и службами предприятия, согласно стадиям разработки и типам производства.

Среди документов разного рода особое место занимают технологические карты. В них приводится подробное описание и расчёты всех выполняемых технологических операций.

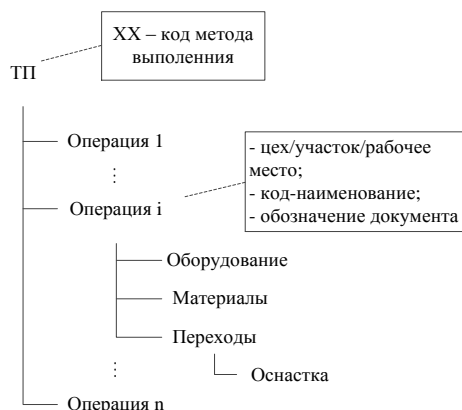


Рис. 3. Структура дерева технологического процесса

В общей (маршрутной) карте указывается последовательность операций, перечень оборудования, материалов и оснастки для её проведения. Каждой категории характерны свои атрибуты и условия: номенклатуры, коды и условные обозначения, специальность и разряд рабочего, нормы времени и объёмов, режим работы, количество одновременных использований, всевозможные коэффициенты и т.д. Маршрутная карта составляется для каждого изделия, и является основой для операционных и других технологических документов. Таким образом, сводная информация маршрутной карты находит своё расширение по мере необходимости в документах общего назначения набора ТД.

Характеристики используемых технических средств, оборудования, оснастки и материалов находятся в базе данных. Потребность в информации данной категории возникает при непосредственном проектировании ТП – создании дерева технологического процесса (рис. 3).

Корневым элементом здесь является описание ТП. Описанию присваивается двузначный код для определения метода выполнения. Следующим уровнем идут описания технологических операций. Они содержат в себе производственные (номера цехов, участков, рабочих мест) и нормативно-правовые атрибуты (код-наименование, обозначение документов). Уровень операций заканчивается листовыми элементами с описаниями оборудования, материалов, переходов и оснастки. Каждому листовому элементу соответствуют определённые атрибуты, связанные с нормами использования, режимами работ и другими коэффициентами. Из-за большого количества заполняемых полей атрибутов и дублирования информации, порядок и

обязательность заполнения устанавливается на уровне производства.

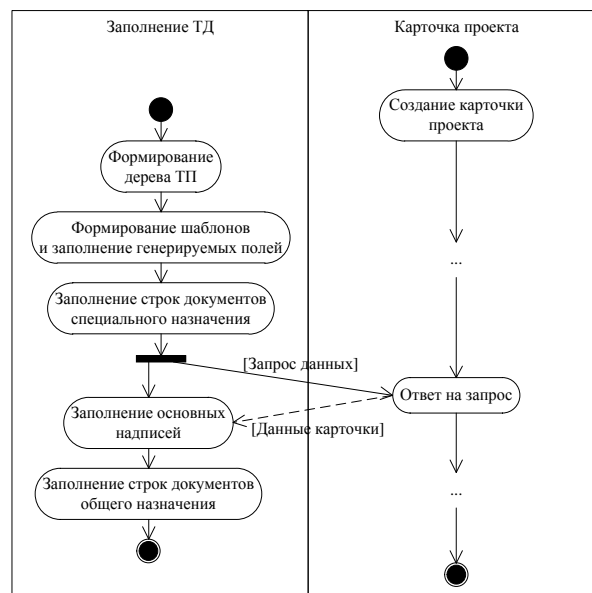


Рис. 4. Алгоритм заполнения пакета ТД

На основе дерева ТП происходит заполнение строк ТД. Основная надпись наполняется служебной и автоматически генерируемой информацией. К служебной составляющей относятся данные по проекту с момента его создания, которые вносятся в сводную карточку (карточка проекта). К автоматически генерируемой – первые два блока обозначения документа и статистика сформированного пакета документов.

Сформировав логическую структуру процесса, технолог может на её основе получить определённые документы. Первоначально система создаёт шаблоны всех документов и определяет их обозначения согласно типу документа и виду ТП. Затем осуществляется перенос информации из дерева ТП в строки документов специального назначения. На основе карточки проекта заполняются графы основной надписи комплекта документации. После этого шага система располагает всеми необходимыми данными для заполнения документов общего назначения.

## V. ПРОЦЕСС ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТПП

При решении отдельных задач для заданных исходных данных на выходе может получиться несколько вариантов решения [3]. Принятие решений в этом случае рассматривается, как следующая совокупность:

$$\langle A, K, M, P \rangle,$$

где  $A$  – множество возможных альтернатив;  $K$  – вектор критериев, по которым оцениваются альтернативы;  $M$  – модель, позволяющая рассчитать значения критериев альтернатив;  $P$  – правило выбора наиболее подходящего решения (в многокритериальной ситуации).

В свою очередь, каждой альтернативе конкретного приложения можно поставить в соответствие значения упорядоченного множества атрибутов.

Основными проблемами такого представления являются:

- компактное представление множества альтернатив;
- построение модели синтезируемого объекта;
- формулировка предпочтений в многокритериальной ситуации;
- выбор метода поиска оптимального варианта.

На основе описания структуры технологического процесса целесообразно использовать дерево альтернатив (рис. 5) для представления множества  $A$ .

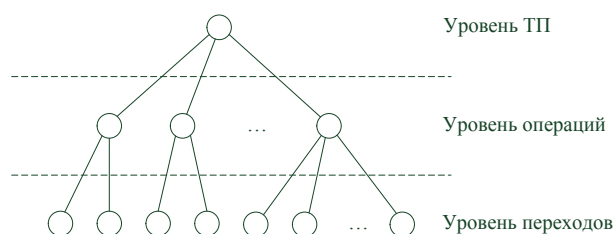


Рис. 5. Граф альтернатив

Данное представление является многоуровневым и многомерным.

Корневым элементом будет являться описание технологического процесса. Его вид, предъявленные требования и необходимые условия выполнения определяют уровень альтернатив операций.

Вершины уровня операций представляют собой маршрутный граф следования. Для исключения избыточности рёбер в пространстве операций лучше выбирать отдельные маршрутные графы. В таком случае, описания операций могут входить в состав более чем одной вершины.

Уровень альтернатив переходов определяется уровнем операций. Представление вершин здесь аналогично представлению предыдущего уровня. Каждая вершина является отдельным операционным графом следования.

Дальнейшая уровневая градация затрагивает характеристики, определяемые переходами – режимы выполнения, материалы и ресурсы, оснастка и пр. В общем случае разбиение на уровни зависит от детализации используемой модели технологического процесса.

Критерии оценки альтернатив в основном исходят из принципов разработки ТП – технического и экономического. Иными словами, предложенные варианты

решений должны обеспечивать выполнение всех требований с наименьшими затратами на производство. В зависимости от поставленных условий технолог будет устанавливать приоритетные критерии. Такими критериями могут являться общее время производства, объёмы затраченных ресурсов, износ оборудования, экологичность производства и др.

Выбор метода поиска оптимального решения напрямую зависит от технической базы и возможностей предприятия. Очевидно, что при большом количестве альтернатив на каждом уровне и внутри каждого его элемента оправдано использование эвристических алгоритмов. Если же число альтернатив велико только на одном из элементов уровня и требуются большая точность, то могут применяться и алгоритмы полного перебора.

Из-за большого числа возможных альтернатив технологических проектных решений применение классических методов оптимизации является нерациональным. В данной системе используется гибридная технология оптимизации на основе сочетания алгоритма искусственной иммунной системы и алгоритма поиска с запретами [4]. Гибридная стратегия направлена не только на лучшее локальное изучение дискретных областей, но и на ограничение повторного рассмотрения бесперспективных вариантов решения.

## VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлена концепция САПР технологических процессов производства, интегрированная с PDM-системой. В системе реализован алгоритм динамического формирования технологического маршрута и его оптимизации. Система обеспечивает централизованное хранение промежуточных данных проекта, поиск проектных данных и типовых проектных решений. Для автоматизированной подготовки технологической документации система выполняет подготовку комплекта типовых документов. Для заполнения полей документов используются данные, хранящиеся в БД и в карточке проекта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Петухов А.В. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов. Гомель ГГТУ им. П.О. Сухого, 2005. 84 с.
- [2] Яблочников Е.И. Автоматизация технологической подготовки производства в приборостроении. СПб.: СПбГИТМО, 2002. 92 с.
- [3] Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, 334 с.
- [4] Stuart J Russell, Peter Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, 2-nd ed., Prentice Hall, 2003, 1078 с.