

УДК 004.042

DOI: 10.30987/conferencearticle\_5c19e5eca5cca2.01375815

Г.С. Жетесова, В.В. Юрченко, Т. Ю. Никонова, С.С. Иванов, А.С. Кибeko  
(г. Караганда, Карагандинский государственный технический университет)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ САПР ТП МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Проведены исследования использования САПР ТП машиностроительных производств. Кратко описаны современные программы, используемые на производстве, и представлен их зарубежный аналог. Проанализированы лучшие программные комплексы, отвечающие современным требованиям документооборота и апробации данных.*

*In this article, research has been carried out on the use of CAD for the TP of machine-building industries. A brief description of modern programs used in production is given, and their foreign counterpart is presented. The analysis of the best program complexes, meeting modern requirements of document circulation and approbation of the data is made.*

*Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, технологический процесс, комплексная автоматизация, прикладное программное обеспечение, технология изготовления, модульное проектирование, автоматизированный анализ, унифицированные технологические процессы.*

*Keywords: computer-aided design system, technological process, complex automation, applied software, manufacturing technology, modular design, automated analysis, unified technological processes.*

Анализ рынка САПР ТП, проведенный за последние 10 лет [1], показывает что на сегодняшний момент основными представителями, использующимися на предприятиях, являются Timeline, ТехноПро, Вертикаль, Автопроект, Techcard, МАЛАХИТ, Спрут Технология, Techwind, Технолог-Гепард, NATTA, ТЕМП, TechnologiCS, T-FLEX Технология, Автомат, АРБАТ, КАРУС, АДЕМ САПР, иностранные САПР ТП: Metalink, Technomatix, Solumina, Notixia, Metamatrix, Proplanner.

Развитие получают как системы, работающие главным образом в диалоговом режиме (ТехноПро, Вертикаль, Автопроект [2], Techcard, МАЛАХИТ, ТЕМП, T-FLEX Технология [3-6], Автомат, КАРУС), так и системы, работающие в автоматизированном режиме (NATTA, TechnologiCS [7], АДЕМ САПР, Спрут-ТП). Рассмотрим подробнее возможности некоторых передовых САПР ТП, работающих в автоматизированном режиме.

## **Система автоматизированного проектирования Спрут-ТП**

Данная система разрабатывается компанией «Спрут-Технология» с 1993 года. Продукты компании нацелены на комплексную автоматизацию проектной деятельности предприятия и включают модули проектирования промышленной продукции, управления производством, планирования работ, а также систему для компьютеризации инженерных знаний ExPro для непрограммирующих пользователей, которая позволяет использовать опыт, накопленный работниками на всех этапах проектирования.

Система Спрут-ТП позиционируется разработчиками как автоматизированная система с частично интеллектуальными модулями. Внедрение интеллектуальных элементов в процесс проектирования технологии, судя по циклу публикаций [8,9], начался в 1999 году. На текущий момент в программном комплексе в контексте автоматизации проектных работ реализованы следующие функции [10]:

- автоматического поиска и применение системой решений, полученных в ранее выполненных проектах;
- автоматизированного проектирования ТП на основе шаблонов с условиями и параметрами;
- автоматизированного проектирования широкого спектра операций с выбором оборудования, текста переходов, подбором инструмента, расчетом режимов обработки и норм времени на основе имеющихся технологических баз знаний;
- автоматического формирования сводных ведомостей и спецификаций на техпроцесс, изделие или заказ.

Вследствие интеграции с системой ExPro реализован процесс автоматизированного нормирования операций. Здесь, без участия инженера, выполняются такие задачи, как проектирование операций, выбор основного и вспомогательного оборудования, формирование текста переходов, расчёт припусков на обработку, подбор инструмента, расчёт режима обработки и определение подготовительно-заключительного, штучного, операционного, штучного, вспомогательного времен.

## **Система автоматизированного проектирования «ТехноПро»**

«ТехноПро» – универсальная система технологического проектирования и подготовки производства [11]. База данных «ТехноПро/Резание» содержит десятки блоков условий и таблиц с данными для формирования технологических процессов изготовления механообрабатываемых деталей, включая формирование маршрута изготовления, операций, выполнение расчетов размеров заготовок, режимов термической и механической обработки, норм расхода и др.

Система «ТехноПро» позволяет пользователям создавать специализированные базы данных для выполнения расчетов и формирования технологических процессов с различными видами заготовок, включая литье металла и пластмассы, ковку и штамповку из различных марок материалов. Для создания таких баз данных применяются единые программные средства системы «ТехноПро».

Вследствие универсальности системы «ТехноПро» в решении технологических и экономических задач на основе автоматического выбора значений из баз данных пользователи могут корректировать или вводить новые таблицы данных, условия и вычисления: расчет коэффициента раскроя материала; определение норм сдачи отходов на изделие по каждой детали; расчет нормы расхода СОЖ или других вспомогательных материалов.

Самостоятельно расширяя возможности системы, пользователи могут ввести следующие технико-экономические расчеты: расчет заработной платы рабочих и служащих по изделию в целом; расчет потребления электроэнергии оборудованием при производстве изделия и т.п.

Расчитанные значения могут передаваться в АСУП предприятия, однако можно передать лишь отдельные параметры: размеры, допуски, шероховатости, качества, но только в том случае, если чертеж детали параметризован. Поэтому в автоматическом режиме можно только дорабатывать заранее разработанные типовые техпроцессы. Область применения данного режима – простейшие детали.

### **Система автоматизированного проектирования САПР ТП «Вертикаль»**

«Вертикаль» [12-14] поддерживает режим автоматической доработки технологий в двух исполнениях: на основе информации, переданной с параметризованного чертежа КОМПАС-ГРАФИК, и на основе данных, извлеченных из таблицы типоразмеров деталей определенного типа. Однако в большинстве случаев технолог использует вариант диалоговой доработки техпроцесса-аналога в режиме доступа к справочным базам данных. Система не заменяет технолога, а лишь позволяет ему быстро и удобно оформить принятые им технологические решения, снимает рутинную часть работы, выполняет расчеты, систематизирует нормативно-справочную информацию, удобно сохраняет принятые технологические решения.

Принципы проектирования технологических процессов в системе «Вертикаль» универсальны и основаны на использовании часто повторяемых технологических решений, хранящихся на различных уровнях иерархии: архивы групповых, типовых технологий, библиотеки операций и переходов. С этой точки зрения САПР технологических процессов — это прежде всего система управления базами данных (СУБД). От того, как

реализованы функции обработки данных, от их логических взаимосвязей зависят остальные показатели системы.

Каждая предметная область имеет свою специфику организации баз данных. В основе системы лежит огромный объем разнородной информации. Базовая поставка «Вертикаль» включает более 700 информационных массивов. Число подключаемых новых баз данных (БД) также не ограничено, и на структуру имеющихся БД не наложено никаких ограничений. Общая схема разработки ТП выглядит как процесс слияния различных технологических компонентов, типовых решений, НСИ в некоторую центральную область (текущая технология), способную принимать информацию из различных источников.

В САПР «Вертикаль» реализован механизм, позволяющий отобразить структуру изделия, детали, взаимосвязи между оборудованием, технологической оснасткой и методами обработки. Модель технологического процесса в САПР ТП занимает центральное место. В системе «Вертикаль» — это трехуровневая цепочка связанных реляционных таблиц, записи которых имеют различную логическую структуру. Такая модель является универсальной и настраиваемой. Она позволяет создавать технологии различных переделов и включать в них любые средства технологического оснащения, в том числе и принципиально новые.

### **Зарубежные системы САПР**

В отдельную категорию программ необходимо выделить зарубежные программы класса САПР, к которым относятся Metalink, Technomatix, Solumina (IBaseT), Notixia, Metamatrix, Proplanner. Несмотря на то, что общая цель, решаемая программными комплексами САПР и САПР ТП, заключается в автоматизированной технологической подготовке производства и схожести задач, решаемых для реализации этой цели, направление работ существенно отличается.

Уровень автоматизации решения задач в этих программных комплексах находится на промежуточной стадии между полностью диалоговым и частично автоматизированным. Задачи, решаемые в комплексах САПР:

- автоматизированный анализ входных данных (как правило, трехмерная модель детали или эквивалентное буквенно-числовое описание) [15,16];
- проектирование участков или цехов для получения планировки размещения основного и вспомогательного оборудования;
- расчет потребления материала и расходных единиц (инструмент, тара, упаковка);
- планирование поставок материала и расходных единиц;

- написание или автоматизированное составление управляющих программ для станков с числовым программным управлением и роботизированных систем транспорта и складирования;

- диспетчеризация движения объекта производства по производству.

Одним из вариантов создания САПР ТП является разработка собственного прикладного программного обеспечения, автоматизирующего различные этапы технологического проектирования на основе САПР SolidWorks [17, 18]. Для этого используется интерфейс прикладного программирования, встроенного в эту систему, а именно: SolidWorks API интерфейс, позволяющий разрабатывать пользовательские приложения для системы SolidWorks. API-интерфейс содержит сотни функций, которые можно вызывать из программ Microsoft Visual Basic, VBA (Microsoft Excel, Word, Access и т.д.), Microsoft Visual C++ или из файлов-макросов SolidWorks. Эти функции предоставляют программисту прямой доступ к функциональным возможностям SolidWorks. Пакет SolidWorks предоставляет пользователю широкий спектр функциональных возможностей, позволяющих создавать и модифицировать как 2D-, так и 3D-геометрию. Поэтому в настоящий момент он является одной из самых популярных систем проектирования. Однако при всем богатстве функций SolidWorks работа по созданию системы для проектирования ТП лежит на самом инженере-технологе и строится таким образом на существующих методиках, а именно: при проектировании технологических процессов используются базы типовых ТП и типовых технологических переходов. База типовых ТП и переходов пополняется по ходу проектирования, а также редактируется менеджером баз данных. Система построена на принципе "Что ты видишь, то ты и получаешь" (What You See Is What You Get - WYSIWYG), весь цикл проектирования ТП, составления сводных ведомостей и т.д. осуществляется в системе "активного документа".

Анализ решаемых задач показывает, что системы САПР, используемые за рубежом, решают задачи автоматизированной подготовки производства более поверхностно, не углубляясь в детали. Отсутствие стандартных бумажных форм для выполнения описания технологии изготовления избавляет от необходимости реализации в программном комплексе модулей, отвечающих за выполнение этой задачи. Однако стоит отметить внедренную функцию распознавания конструкторско-технологических элементов (используется обозначение features), с помощью которой анализируется деталь, на основании этого генерируется программа для станков с числовым программным управлением. В современных САПР ТП, производимых на территории стран СНГ, эта функция только планируется к внедрению.

Подводя итог анализа существующих на рынке систем автоматизированного проектирования технологических процессов, можно сделать выводы, представленные ниже. В системах с диалоговым режимом

работы подразумевается составление планов обработки поверхностей на основе корректировки существующего технологического процесса ТП, типового технологического процесса ТТП, группового технологического процесса ГТП [19]. Для таких систем разработана и реализована методика [20] проектирования технологических процессов изготовления деталей, основанная на сочетании унифицированных и синтезированных технологических решений. Методика предполагает наличие информационных массивов по типовым последовательностям и траекториям обработки унифицированных элементов деталей. При отсутствии таковых предложен подход к их созданию, включающий предварительное группирование деталей, анализ чертежей и формирование унифицированных конструктивно-технологических элементов деталей и технологических решений по их обработке. Также предложена методика формирования многономенклатурных ТП из унифицированных технологических элементов, предусматривает создание базиса унифицированных элементов ТП, каждый из которых содержит полную информацию об используемых технологических базах, оборудовании, инструменте, соответствующую часть управляющей программы для станка с ЧПУ и математическую модель для оптимизации режима обработки и процедуры нормирования.

Для работы в таких системах предлагается метод неслучайного систематического определения новых эффективных способов механической обработки. Метод предопределяет использование ЭВМ на одной из стадий проектирования – при поиске наиболее производительных вариантов формообразования из числа теоретически возможных. В основу автоматизированного поиска вариантов формообразования положен алгоритм, использование которого требует от проектировщика, работающего с ЭВМ в диалоговом режиме, необходимой для математического преобразования исходной информации и расшифровки получаемой в конкретный способ механической обработки (особенно при определении типа и конструкции инструмента).

Основной недостаток таких САПР состоит в том, что при их работе приходится анализировать и корректировать результаты проектирования ТП в соответствии с конкретным масштабом производства. Кроме того, из-за разомкнутого алгоритма принятия проектных решений они не позволяют проектировать сквозную технологию изготовления изделия, включающую заготовительные, контрольные операции, механическую обработку, термообработку и т.д.

В развитии систем, в которых составление планов и операций обработки происходит в автоматизированном или автоматическом режиме, наметилась тенденция в совершенствовании алгоритмов синтеза методов обработки. При этом проектирование может рассматриваться не с позиций различий, вытекающих из разнообразия проектируемых объектов, а с позиций их

общности. В таких системах предполагается проектирование на основе базы технологических знаний. При этом метод [21], реализуемый в системе, предполагает формирование базы технологических знаний (БТЗ) в виде фреймов (упорядоченных наборов данных) и «ноу-хау» технолога-проектировщика. БТЗ содержит текущую информацию о состоянии ГПС и изготавливаемой номенклатуры изделий, а «ноу-хау» технолога-проектировщика представляет собой комбинационную систему, определенную над БТЗ. При этом уровень автоматизации проектирования ТП и оптимизации технологических решений определяется достигнутым уровнем формализации проектных процедур.

С целью повышения адаптивности и мобильности системы, а также для реализации комплексного подхода в решении задач ТПП построена система [22] на основе инвариантных инструментальных подсистем. Практически вся система представляет собой инструмент для создания САПР, решающего конкретные технологические задачи. Технологические знания представлены в виде таблиц и графов, корректировка которых не затрагивает программного обеспечения. Основой инструментального подхода является единый и независимый информационный поток.

Решены вопросы автоматизации синтеза операционных линейных размеров [16], которые основываются на заданной системе базирования заготовки на каждой операции технологического процесса (ТП) изготовления детали. Методика реализует зависимость структуры постановки операционных линейных размеров от конструктивно-технологических свойств плоскостных элементов и технологических баз. Приведены формализованные модели конструктивно-технологических свойств элементов и технологических баз.

Рассмотрены логические функции выбора характеристик элемента и правила назначения технологического размера, координирующего этот элемент на операции ТП. Методика предназначена для реализации в САПР ТП ГПС и обеспечивает минимальное колебание величин и ужесточение допусков технологических размеров, т.е. повышает надежность ТП, функционирующего в ГПС.

Для обеспечения автоматизации требований взаимного расположения поверхностей заготовки создан алгоритм [11], который позволяет оценить на стадии проектирования возможность обеспечения ТВР принятыми методами обработки и оборудованием, что повышает надежность технологических процессов, функционирующих в ГПС, по параметрам точности.

Вопросы формирования эскизов обработки решены либо на основе типовых изображений [20], либо на основе работы графических редакторов [22], в которых формирование изображения происходит при взаимодействии с данной системой, при этом создание изображения не зависит от вида детали. Система позволяет работать с параметрически заданными вариантами

конструкции, а также ассоциативно сопрягать профили, поверхности и объемы. Из отдельных профилей в системе образуется проектируемая деталь, в которой элементы могут проецироваться и вращаться, а также осуществляется генерация полых объемов. Упрощенно встраиваются такие элементы, как отверстия, призматические шпонки и закругления. Каждый из элементов может изменяться. Все двух- и трехкоординатные элементы динамически сопрягаются друг с другом. Изменение одного размера на плоском изображении приводит к новой генерации всей трехкоординатной детали.

Разработанные методики [13] оценки вариантов ТП на этапе размерного анализа позволяют, с одной стороны, последовательно отбирать наиболее эффективные варианты из числа альтернативных, с другой стороны, – оценить качество спроектированного ТП по геометрическим показателям (точность размеров, геометрической формы, расположения и шероховатость поверхностей), вести направленный поиск путей совершенствования ТП с точки зрения обеспечения точностных параметров детали при наименьших затратах. Кроме этого, появляется возможность уже на этапе проектирования иметь информацию о технико-экономических показателях ТП, которая может быть использована для плановых расчетов всех видов ресурсов, для организации производственного процесса и др. А все это определяет минимально необходимые сроки и затраты на подготовку, производства и эксплуатацию изделия.

Вопрос о необходимости совершенствования САПР ТП поднимается в [21]. Объективный ход развития техники, технологии и средств автоматизации делает решение поставленных проблем автоматизации проектирования исключительно актуальным, что и определяет основные направления совершенствования САПР ТП. Несмотря на большой выбор систем САПР ТП, представленных на рынке, они все равно нуждаются в значительной доработке и совершенствовании, в первую очередь, связанным с повышением уровня автоматизации. Можно выделить следующие направления совершенствования перечисленных САПР ТП:

1. Совершенствование процесса формирования технологических решений. Проектное технологическое решение-это описание технологических объектов и их взаимодействий, обеспечивающих достижение заданного множества результатов и их значений, соответствующих фиксированному множеству условий функционирования технологического объекта.

2. Автоматизация выбора технологических баз. Выбор технологических баз – важнейший этап проектирования ТП. В современных САПР ТП он практически не автоматизирован – принятие необходимого решения полностью возлагается на пользователя.

3. Прогнозирование качества изделия. Основной целью проектирования ТП является гарантированное при его реализации достижение заданного качества изделия. Ни одна из существующих САПР ТП не обладает возможностью прогнозирования ожидаемого качества изделия при реализации проектных решений, сформированных с ее помощью. Прогнозирование качества не выполняют и при не автоматизированном проектировании ТП.

4. Направленное формирование свойств изделий. Автоматизация синтеза структур маршрутных ТП, например изготовления деталей машин, позволит полноценно реализовать концепцию направленного формирования свойств изделий.

5. Интеграция САПР ТП в системы поддержки и управления ЖЦИ. Проблема объединения автоматизированных систем, обеспечивающих поддержку отдельных этапов ЖЦИ, в интегрированную систему поддержки и управления ЖЦИ исключительно актуальна. Основным инструментом ее реализации являются CALS-технологии.

6. Внедрение новых методологий проектирования. Необходимость обеспечения высокого качества конструкторско-технологического проектирования сложных изделий при сокращении времени проектирования привела к разработке новых методологий проектирования.

Из проведенного анализа существующих систем видно, что решение большинства задач технологического проектирования базируется на использовании профессиональных знаний и опыта проектировщика, т.е. обучаемого и постоянно совершенствуемого специализированного интеллекта человека. Это в значительной мере объясняется тем, что подавляющее большинство задач проектирования являются трудно- или неформализуемыми в их современных постановках.

#### Список литературы

1. *Швоев, В.Ф.* Анализ и перспективы развития САПР технологического процесса / В.Ф. Швоев, В.В. Юрченко // Труды Университета. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2001. – Вып.2 – С. 26-27.

2. *Беляков, М.И.* Автопроект / М.И. Беляков // САПР и графика. – 2000. – № 6. – С. 38-43.

3. *Талдыкин, В.* T-FLEX Технология – современная система автоматизации технологической подготовки / В. Талдыкин // САПР и графика. – 2006. – №3. – С. 46-50.

4. *Ковалев, А.* T-FLEX Технология 10 - ваша профессиональная система проектирования технологических процессов / А. Ковалев // САПР и графика. - 2006. - №9. -С. 6-15.

5. *Ковалев, А.* Тест драйв T-FLEX технологии, или мнение независимого пользователя / А. Ковалев // САПР и графика. - 2005. - №7. - С. 78-82.

6. *Кочан, И.* T-FLEX CAD и T-FLEX ТХК's- новый уровень автоматизации управления проектами / И. Кочан // САПР и графика. - 2004. - №5. - С. 20-22.

7. *Чилингаров, К.* TechnologiCS v4. Специализированная информационная система для машиностроительного предприятия / К. Чилингаров // САПР и графика. - 2006. - №1. - С. 10-16.

8. *Евгеньев, Г.* САПР XXI века: персональному компьютеру персональное программное обеспечение / Г. Евгеньев // САПР и графика. 2000. – №2. – С. 61-66.

9. *Евгеньев, Г.* САПР XXI века: интеллектуальная автоматизация проектирования технологических процессов / Г. Евгеньев // САПР и графика. - 2000. - №4. - С. 59-64.

10. *Шередеко, О.П.* Характерные особенности САПР СПРУТ/ О.П. Шередеко, С.Н. Щеглов, В.В. Янушко // Известия Южного федерального университета. Технические науки. - 2003. – №2. - С. 150-155.

11. *Андрейченко, А.Р.* «Вертикаль» – новое поколение технологических САПР: объектный подход/ А.Р. Андрейченко // САПР и графика. - 2005. - №6. - С. 8-10.

12. *Сироткина, Н.Р.* Типовые решения для ускоренного проектирования технологических процессов в САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ/ Н.Р. Сироткина // САПР и графика. -2010. - №12. - С. 14-15.

13. *Андрейченко, А.Р.* «Технологию Проектировать Просто» САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ/ А.Р. Андрейченко // САПР и графика. - 2015. - №8. - С. 29–33.

14. *Seytarth, U.* PolyCAD – modulares CAD-Entwicklungssystem für Maschinenbau/Elektrotechnik/ U. Seytarth, G. Ohme, P. Guhr // Feingeratetechnik. – 1990. – № 12. – P. 562-569.

15. Пат. 5070534 США, МКИ 5G06F15/00. Simplified CAD parametric macroinstruction capability including variation geometries feature / *Lascelles M.C., Wong M.*. – № 258965; заявл. 17.10.88; опубл. 03.12.91.

16. *Самодоицкий, Н.К.* SolidWorks: проектирование на основе баз знаний/ Н.К. Самодоицкий // САПР и графика. - 2014. - №5. - С. 34-38.

17. *Аведьян, А.Б.* SolidWorks API — универсальная платформа для интеграции инженерных и бизнес-приложений/ А.Б. Аведьян, Е.Е. Викентьев // САПР и графика. - 2006. - №6. - С. 32-40.

18. *Руденко, П.А.* Проектирование технологии механической обработки сложных корпусных деталей на основе унифицированных конструктивно-технологических решений/ П.А. Руденко, П.Н. Павленко, Н.М. Беляев // Респ. науч.-практ. конф. «САПР конструкт. и технол. подгот, автоматизир. пр-ва в машиностр.»: тез. докл. - Харьков, 1990. – С. 33–34.

19. *Королев, А.В.* Система автоматизированного планирования технологических процессов механообработки с использованием, альтернативных решений/ А.В. Королев, В.В. Болкунов, И.А. Шампанский // Респ. науч.-практ. конф. «САПР конструкт. и технол. подгот. автоматизир. пр-ва в машиностр.»: тез. докл. – Харьков, 1990. – С. 118 -215.

20. *Диланян, Р.З.* Гибкая автоматизируемая технология проектирования процессов механообработывающего производства/ Р.З. Диланян, В.Л. Киселев, И.И. Кравченко // Технол. обесп. качества машиностроит. изделий: тез. докл. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию В. М. Кована. – М., 1990. – С. 9–12.

21. *Королев, А.В.* Система автоматизированного динамического проектирования технологических процессов на основе базы технологических знаний и «ноу-хау» технолога-проектировщика/ А.В. Королев, В.В. Болкунов, И.А. Шампанский // Опыт применения прогрес. технол. механообаб. и сборки в машиностр.: матер. краткосрочн. науч.-техн. семин. – Л.: Знание, 1990. – С. 52–53.

22. *Крок, О.Н.* Система автоматизированного аналогового проектирования технологических процессов – «Аналог» / О.Н. Крок // Всесоюзн. науч.-техн. семин. «Применение САПР в хим. и нефт. машиностр.»: тез. докл. - М., 1990. – С. 33-34.

*Материал поступил в редколлегию 13.10.18.*