

УДК 621.001.63:658.512.011.56

В. С. МУХИН, Л. А. АНТИПИНА

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ В АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Рассматриваются методы автоматизированного проектирования станочных приспособлений и их интеграция с САД/САМ/САЕ-системами и САПР технологических процессов изготовления деталей в авиадвигателестроении. Предложена концепция и разработан метод, основанный на интегрированных математических и информационных моделях элементов технологической системы, из которых в результате анализа межоперационного состояния объекта производства формируется концептуальная модель СП, уточняемая в процессе проектирования путем реализации программных комплексов экспертных, расчетных и компоновочных проектных процедур. *Станочные приспособления; автоматизированное проектирование; технологическая система*

ВВЕДЕНИЕ

Процессу проектирования станочных приспособлений (СП) свойственны слабая структурированность и значительная размерность проектной и справочной информации, многовариантность допустимых решений.

Развитие информационных технологий и программного обеспечения привело к созданию САД/САЕ/САМ-систем нового поколения, позволяющих автоматизировать решение разнородных задач, в том числе некоторых задач технологической подготовки производства.

Быстрая смена версий САД-систем усложняет процесс поддержки и сокращает жизненный цикл специализированных САПР на их основе. Современные САД/САМ/САЕ-системы только начинают надежно удовлетворять требованиям конструкторов, не имеют в достаточном объеме разработанных баз данных нормализованных деталей и конструкций, поставляемых и обновляемых преимущественно за отдельную плату, и не содержат расчетов на точность, увеличивая затраты на технологическую подготовку производства. Отсутствие связанных с БД СП расчетов не гарантирует требуемого качества изделий основного производства. Разрывается связь моделей технологического процесса объекта производства и конструирования станочных приспособлений.

Поэтому разработка метода автоматизированного проектирования СП, обеспечивающего использование математических моделей и передачу данных из среды конструи-

рования объекта производства (САД), среды технологического проектирования (САПР ТП) в среду проектирования СП, включив их в единое корпоративное информационное пространство в рамках тенденций внедрения CALS-технологий [1] и создания гибкого автоматизированного производства, является актуальной.

1. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Методы ручного проектирования во взаимосвязи с обеспечением точности обработки охватывают основные системы СП и типы элементов конструкций [2, 3]. Методы автоматизированного проектирования предлагают атрибутивное описание объекта производства и элементов технологической системы с последующим расчетом параметров и алгоритмическим синтезом несложных СП также из типовых конструктивных элементов [3, 4].

Появление нового поколения вычислительной техники, графических пакетов и универсальных САД/САМ/САЕ-систем в 1990-е годы (AutoCAD 2000–2002, Autodesk Inventor R3-5, Solid Edge v. 6–10, SolidWorks 2000, T-flex CAD 2D/3D v. 7, Pro/Engineer, Unigraphics v. 15, Euclid 3, и др.) привело, с одной стороны, к переходу на более высокий уровень автоматизированного конструирования СП (рис. 1), позволяющего реализовать методы синтеза СП и модельные представления в едином информационном пространстве, а с другой — к отказу от алгоритмических систем.

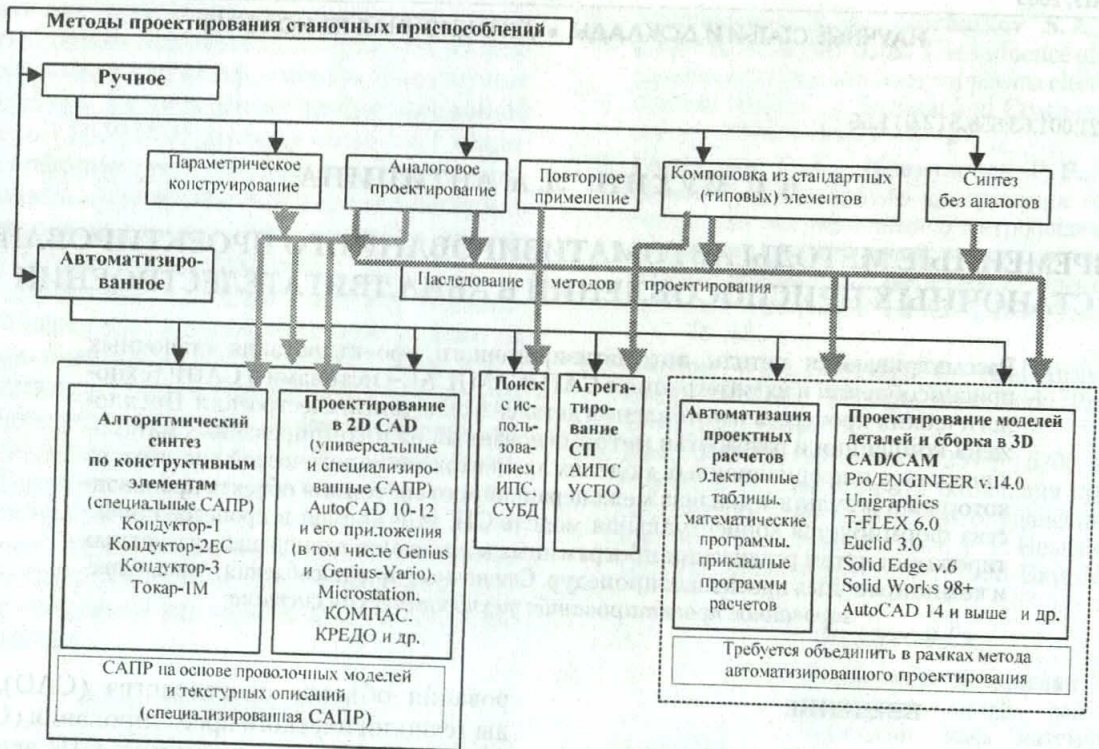


Рис. 1

Трудоемкость получения геометрических моделей путем разработки программ генерации параметрических конструкций, даже при использовании только нормализованных функциональных конструктивных элементов (ФЭК), значительно превышает экономически целесообразные сроки разработки и приводит к получению узкоспециализированных САПР СП, требующих постоянного сопровождения программ при добавлении вариантов конструктивных решений. Этим обстоятельством объясняется ограниченность ранее созданных САПР СП. Разработка сложного математического аппарата создания и поддержки ядра 2- и 3-мерного геометрического моделирования САПР под силу крупным компаниям, например, Unigraphics Solutions, Matra Datavision, стоимость программного обеспечения которых на 5–10 рабочих мест превышает для большинства отечественных предприятий разумные затраты на технологическую подготовку производства.

2. ПОСТРОЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ МЕТОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Данная работа является продолжением направления исследований в области разработки научных основ и методов создания систем автоматизированного проектирования

технологических процессов и технологической оснастки на основе информационных технологий, выполняемых коллективом лаборатории САПР ТП кафедры технологии машиностроения на протяжении более 15 лет [5, 6].

При разработке программного обеспечения расчета и оптимизации технологических размерных цепей и среды подготовки технологии ГрафиТ ТМ на базе AutoCAD [6] естественным было использовать и развивать предложенные атрибутивные модели свойств и связей для формирования модели электронного технического задания на проектирование СП.

Была предложена концепция нового метода проектирования СП, отличающаяся направленностью на автоматизированное конструирование СП в среде САД/САМ/САЕ-систем и проектирование с использованием банков данных. Наиболее понятной и привычной средой для автоматизированного выполнения конструкторских и технологических расчетов на сегодня являются электронные таблицы, представляющие достаточно широкие возможности для генерации вариантов решений, их модификации и оптимизации, будь то анализ точности или получение параметров основных элементов конструкции. Поэтому модель структуры баз данных (БД) разработана в Excel 97/2000.

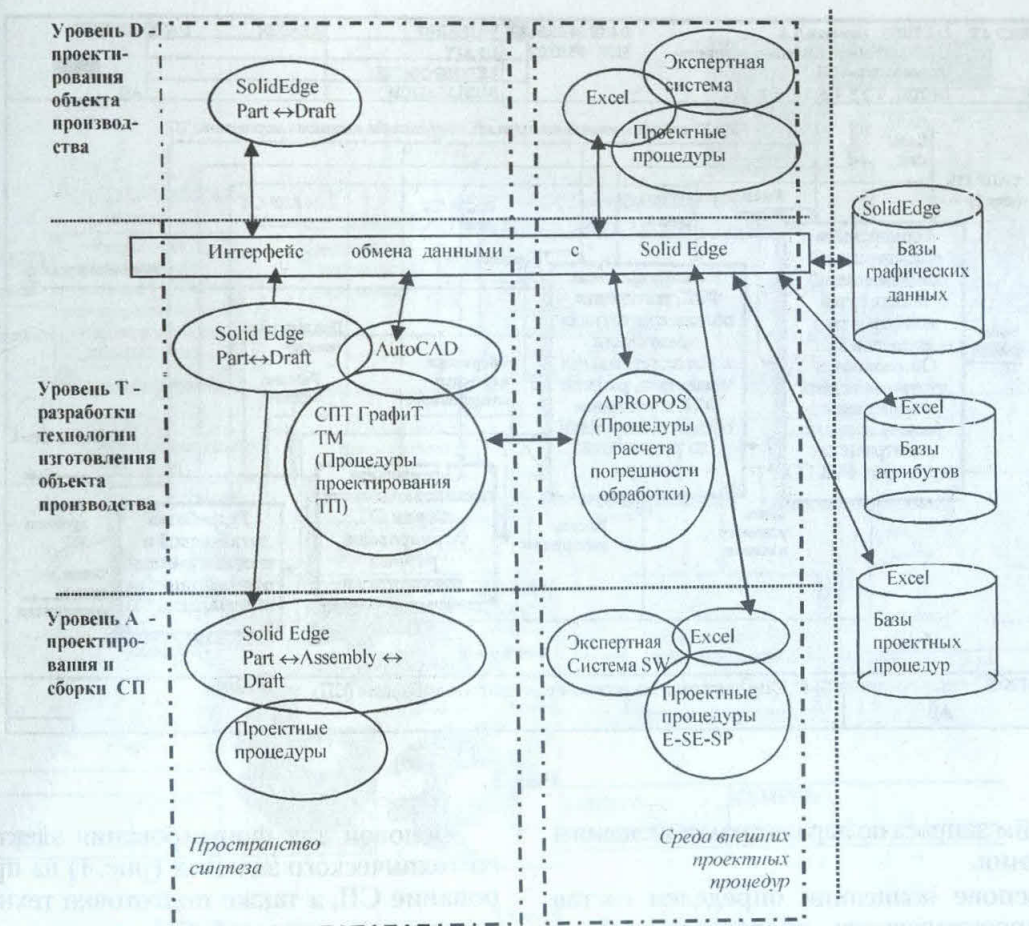


Рис. 2

Если при разработке операционного ТП в большинстве случаев достаточно плоских операционных эскизов, то при проектировании СП требуется, по крайней мере, разработка согласованных чертежных видов, получить которые легче генерацией по твердотельным моделям операционных чертежей. Кроме того, целесообразным для сокращения сроков проектирования представляется использование единой информационной модели при конструировании объекта производства, определении его межоперационных состояний и конструировании СП, обеспечивающей целостность и непротиворечивость проектной информации, двустороннюю ассоциативность. Поэтому при построении концепции метода проектирования СП было принято решение использовать CAD/CAM-системы твердотельного геометрического моделирования, большинство из которых имеют интерфейс к электронным таблицам и СУБД. Это позволило сосредоточиться в большей степени на разработке математических и информационных моделей СП как объектов технологической системы, основным назначением

которых является установка и закрепление заготовки в зоне обработки с обеспечением заданной точности. С этой целью были разработаны модели расчета исполнительных размеров установочных и направляющих элементов СП и ожидаемой точности обработки в СП на основе допусков расположения и отклонений технологических размеров, получаемых из модуля технологических размерных расчетов АПРОПОС в составе ГрафиТ ТМ.

В результате предложена концепция метода автоматизированного проектирования СП, заключающаяся в геометрическом моделировании объекта производства, определении его межоперационного состояния с расчетом точности геометрических параметров, анализе элементов технологической системы, обеспечивающих качество объекта производства, и конструировании СП в среде CAD/CAM/CAE с использованием интегрированных моделей, сочетающих в себе для каждого функционального элемента конструкции СП компоновочную твердотельную модель, модель расчета основных парамет-

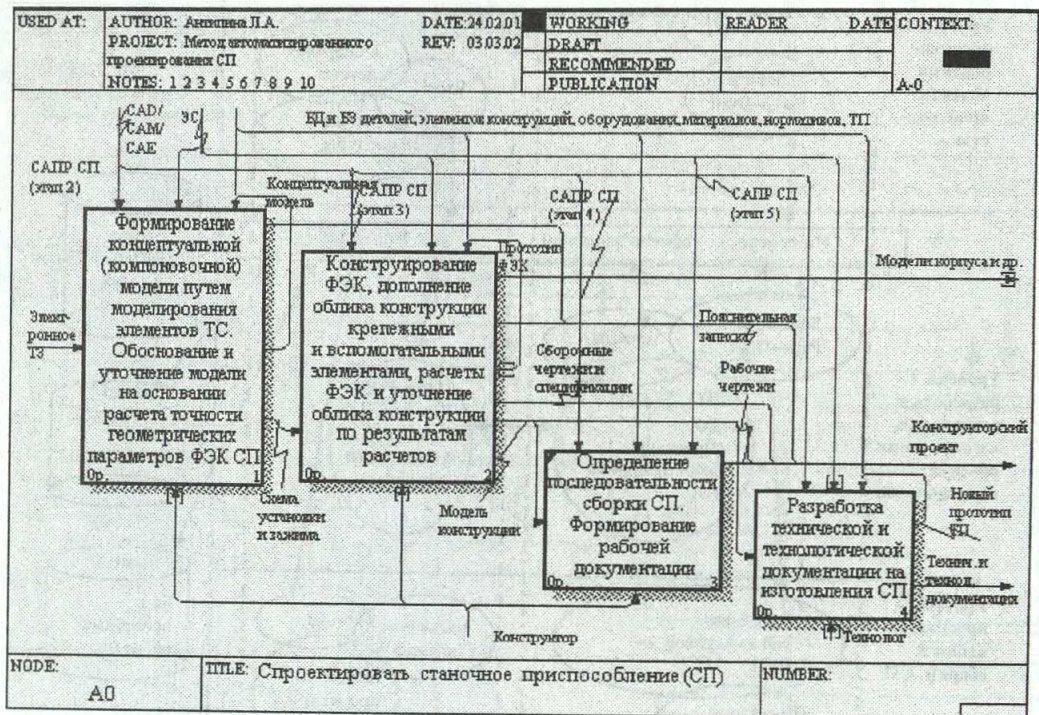


Рис. 3

ров, фрейм запроса по параметрам и условиям применения.

На основе концепции определен состав среды проектирования, представленный на рис. 2.

Среда состоит из трех уровней:

- 1) проектирования объекта производства;
- 2) разработки технологии изготовления объекта производства;
- 3) проектирования и сборки СП.

В качестве базовой CAD/CAM/CAE-системы при разработке метода выбрана Solid Edge v. 7, с которой связываются через электронные таблицы БД интегрированных моделей, а на уровне разработки технологии — AutoCAD со встроенной средой подготовки технологии (СПТ) ГрафиТ М — АПРОПОС.

Выделены следующие этапы процесса проектирования СП (рис. 3):

- 1) Формирование электронного технического задания.
- 2) Формирование на основе технического задания концептуальной компоновочной модели.
- 3) Конструирование узлов функциональных элементов конструкции.
- 4) Определение последовательности сборки СП. Формирование рабочей документации на СП.
- 5) Формирование технологической документации на изготовление СП.

Основой для формирования электронного технического задания (рис. 4) на проектирование СП, а также подготовки технологии изготовления деталей СП является интегрированная математическая модель детали как объекта производства.

Для обеспечения итеративного процесса проектирования предложена методика получения межоперационных состояний объекта производства в CAD/CAM-системе твердотельного параметрического моделирования. Данные состояния передаются в систему подготовки чертежей для формирования модели плана обработки, генерации модели расчета операционных размеров и допусков и генерации документов операционного технологического процесса. Сохранение ассоциативных параметрических связей позволяет генерировать параллельно электронные технические задания на проектирование СП в виде компоновочных твердотельных моделей межоперационных заготовок и ассоциативно связанных с ними операционных чертежей, включающих все необходимые контрольные и справочные размеры и допуски.

Моделирование при автоматизированном расчете операционных размерных цепей не только технологических размеров, но и координирующих и установочных размеров СП позволяет обеспечить ожидаемую точность размерных параметров объекта производства и уточнить схему установки объекта произ-



Рис. 6. Структура интегрированной модели элемента конструкции

водства в СП еще на стадии технического задания.

Концептуальная модель (рис. 5) формируется путем последовательного размещения в пространстве синтеза САД-системы и увязки параметров моделей: 1) элементов станка; 2) обрабатываемой заготовки; 3) корпуса и базовых элементов СП; 4) остальных функциональных элементов конструкций (ФЭК) СП относительно его корпуса и базовых элементов.

Этап конструирования обеспечивает получение технического проекта, тогда как концептуальная модель представляет собой техническое предложение в виде прототипа конструкции, который может быть общим для ряда стандартизованных систем СП.

3. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Метод основан на интегрированных моделях элементов технологической системы и СП, посредством которых организуется доступ к базам знаний (БЗ) проектных процедур и базам данных (БД) элементов конструкций. Основные компоненты интегрированной модели, представленные на рис. 6, — это повторяющиеся входные, выходные и управля-

ющие связи, т.е. БД, БЗ и модели компоновки. Модели компоновки являются изменяемой частью интегрированной модели. БЗ хранит прототипы конструкций объекта, который на выходе каждого блока может быть зарегистрирован в системе в качестве нового прототипа.

Для уточнения состава интегрированных моделей в целях порождения САПР СП предложена классификация моделей (рис. 7), входящих в интегрированные модели этапов проектирования СП, и рассмотрено их взаимодействие при проектировании СП. Особенно-стью классификации является выделение 4-х классов моделей конструкций:

- 1) по функциональному назначению на уровне конструкции в целом;
- 2) по степени расчленения на составляющие элементы;
- 3) по функциональному назначению деталей и сборок;
- 4) по типу среды проектирования.

Каждому этапу проектирования СП соответствуют свой состав интегрированных моделей и определенные типы проектных процедур. Процесс проектирования каждого этапа завершается построением всей цепочки компоновочных моделей рассматриваемого этапа. В частности, интегрированная модель концептуального прототипа кон-

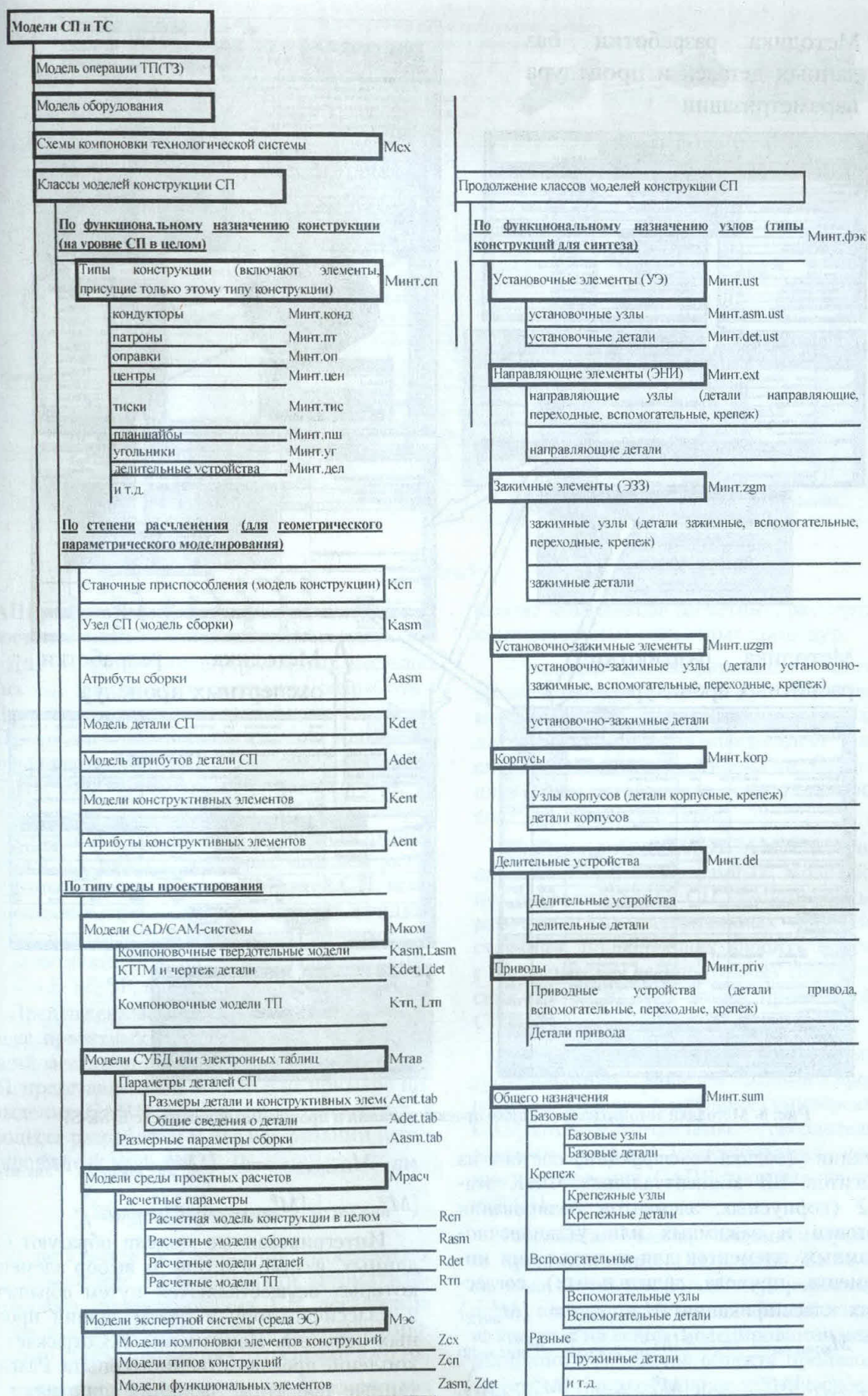


Рис. 7. Классификация моделей для автоматизированного проектирования СП

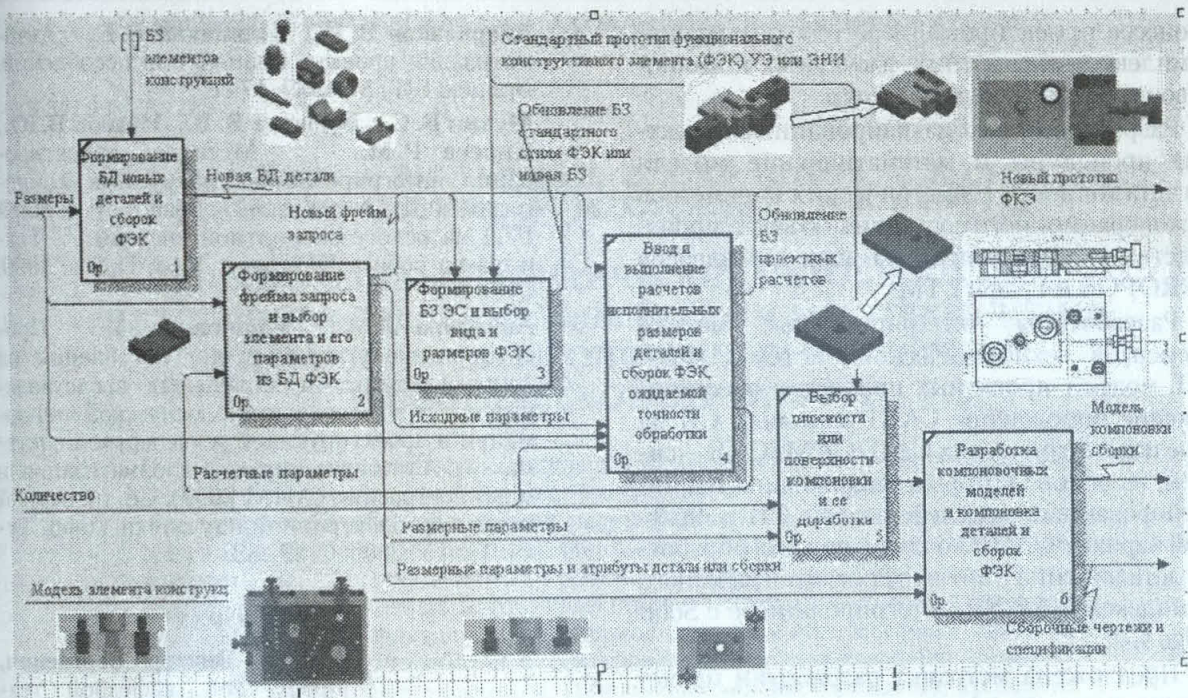


Рис. 9

САПР, стремясь к полной автоматизации проектирования.

Для генерации интегрированных моделей и их БД предложены методики разработки БД интегрированных моделей деталей ФЭК СП, процедур обновления параметров ФЭК, пригодные для ряда САД-систем (Solid Edge v. 7–10, SolidWorks 98–2000, Inventor 3–5, T-Flex 7), расчетных процедур, экспертных процедур (рис. 8). По данным методикам разработаны БД интегрированных моделей установочных и направляющих деталей СП, компоновочные твердотельные модели кондукторов, ряд расчетных процедур, которые составили опытный вариант программного комплекса E-SE-SP, внедряемого на КумАПП.

Предложенные методики составляют комплекс проектных процедур метода, реализующий механизм порождения САПР типовых СП, представленный на рис. 9 на примере порождения САПР кондукторов типа плит в процессе разработки и параметризации интегрированных моделей ФЭК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований установлено, что повышение эффективности автоматизированного проектирования СП достигнимо путем предложенного метода автоматизированного проектирования СП, основанного на:

– интегрированных моделях из элементов технологической системы и СП с точками

вызова комплексов расчетных, экспертных и компоновочных проектных процедур;

– моделях межоперационных состояний объекта производства по его твердотельной модели в САД/CAM/CAE-системе, позволяющих генерировать электронные технические задания на проектирование СП и уточнять схемы установки на основе технологических размерных расчетов;

– генерации в САД/CAM/CAE-системе на основе интегрированных моделей этапов проектирования СП компоновочных параметрических твердотельных моделей конструкций, позволяющих вносить изменения с обеспечением ассоциативных параметрических связей на всех этапах проектирования СП, включая оформление чертежей;

– реализации на основе баз данных интегрированных моделей этапов проектирования СП на платформе универсальной САД/CAM/CAE-системы твердотельного параметрического моделирования концепции порождения САПР типовых конструкций СП.

Разработан метод автоматизированного проектирования СП в САД/CAM/CAE-системе, основанный на интегрированных моделях элементов технологической системы, из которых на основе моделирования межоперационного состояния объекта производства формируются электронное техническое задание и концептуальная модель, уточняемая в

процессе проектирования путем реализации комплексов экспертных, расчетных и компоновочных проектных процедур.

Разработаны автоматизированные проектные процедуры и математические модели расчета точности геометрических параметров межоперационного состояния объекта производства в составе программных комплексов APROPOS и ГрафиТ ТМ.

Разработаны интегрированные модели элементов технологической системы, ФЭК СП, модели проектных процедур, обеспечивающие порождение САПР типовых СП на базе параметрических САД/САМ/САЕ – систем, на основе которых реализованы БД интегрированных моделей деталей СП и опытный вариант САПР кондукторов для обработки деталей типа плит в составе программного комплекса E-SE-SP, интегрированные с Solid Edge v. 7.

Предложена методика разработки процедур автоматизированных проектных расчетов в процессе проектирования, по которой реализованы в составе программного комплекса E-SE-SP проектные процедуры определения исполнительных и координирующих размеров установочных и направляющих элементов, усилий зажима в СП, обеспечивающие заданную точность геометрических параметров объекта производства. Программный комплекс E-SE-SP частично внедрен на ФГУП КумАПП.

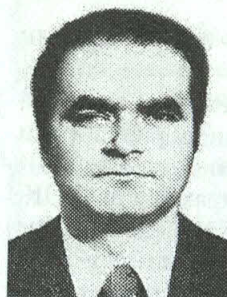
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алексеева Н. И., Гайлит Ю. Т., Кузнецов И. И.** Анализ программного обеспечения поддержки этапов конструкторской и технологической подготовки производства в рамках CALS-ориентированной инфраструктуры ФНПЦ «Салют» // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2000. № 2. С. 38–45.
2. **Ансеров М. А.** Приспособления для металлорезающих станков. Л.: Машиностроение, 1975. 656 с.
3. **Станочные приспособления:** Справочник. В 2-х т. / Ред. совет: Б. Н. Вардашкин (предс.) и др. М.: Машиностроение, 1984.

4. **Аверченков В. И., Ильицкий В. Б.** Автоматизация проектирования приспособлений. Брянск: БИТМ, 1989. 174 с.
5. **Мухин В. С., Будилов В. В., Иванов В. Ю., Киреев Р. М.** Методика проектирования интегрированных вакуумных ионно-плазменных технологий обработки деталей ГТД на основе экспертной системы // Техника на пороге XXI века. Уфа: Гилем, 1999. С. 204–212.
6. **Антипина Л. А., Иванов В. Ю.** Проектирование станочных приспособлений на основе интеграции модельных представлений конструкторско-технологической информации в проектирующей и экспертной системах // Автоматизация и информатизация в машиностроении (АИМ 2000): Сб. тр. первой междунар. электронной науч.-техн. конф. Тула: ТулГУ, 2000. С. 82–83.

ОБ АВТОРАХ

Мухин Виктор Сергеевич, проф., зав. кафедрой технологии машиностроения УГАТУ. Засл. деятель науки и техники РБ и РФ. Чл.-кор. АН РБ, и. о. акад.-секр. отделения техн. наук. Дипл. инж.-механик (УАИ, 1962). Д-р техн. наук (защ. в МАИ, 1975). Исследования в области повышения прочности, надежности и долговечности деталей технологическими методами; разработки новых технологий.



Антипина Лидия Анатольевна, вед. программист МУП «Уфаводоканал», науч. сотр. НИЧ УГАТУ. Дипл. инж.-механик (УАИ, 1982). Канд. техн. наук по технологии и оборудованию механической и физико-технической обработки и системам автоматизации проектирования (УГАТУ, 2002). Исследования в области автоматизации технологической подготовки производства и проектирования станочных приспособлений.

