

Елисеев Д.Н., Кузнецов И.И.

ФГУП «НПЦ газотурбостроения «САЛЮТ». РФ, г. Москва

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Технологическая подготовка производства (ТПП) — совокупность мероприятий, обеспечивающих наличие на предприятии полных комплектов конструкторской и технологической документации, а также средств технологического оснащения (СТО), необходимых для осуществления заданного объема выпуска продукции с установленными технико-экономическими показателями [1].

Трудоемкость ТПП обычно составляет более половины технической подготовки, в которую входят также конструкторская подготовка производства (разработка конструкции изделия, выпуск чертежей и т.п.) и календарное планирование производственного процесса [2].

Основными функциями ТПП являются: обеспечение технологичности конструкции изделия (ТКИ), разработка технологических процессов (ТП), выбор и заказ или проектирование и изготовление СТО, организация и управление процессом ТПП.

Достижение основной цели ТПП — обеспечение высокой эффективности производства — требует применения следующих принципов: стандартизации форм документов, унификации технико-экономической информации, автоматизации решения задач ТПП, моделирования системы ТПП.

На основе этих принципов разрабатываются государственные стандарты единой системы ТПП (ЕСТПП), единая система конструкторской документации (ЕСКД), единая система технологической документации (ЕСТД), отраслевые стандарты и стандарты предприятий (СТП).

На ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют» основные функции ТПП регламентируются следующими стандартами (табл. 1).

Для решения задач ТПП могут быть использованы программные модули систем Teamcenter Manufacturing, NX и Tecnomatix от компании Siemens plm Software [7, 8]. Применяемость модулей Teamcenter Manufacturing, NX и Tecnomatix для обеспечения функций ТПП показана в табл. 2.

### Модуль «Контекст взаимодействия»

Модуль «Контекст взаимодействия» (Collaboration Context) предназначен для выполнения следующих основных задач:

- разработка и совместное управление связанными структурами данных (конструкторский состав, технологический состав, дерево технологических процессов и т.п.) в рамках одного контекста конфигурации;
- объединение несвязанных структур данных в один информационный пакет с целью управления этими данными как единым целым;
- получение однозначного описания структур данных (составов изделия, технологических процессов и т.п.), определенных в рамках информационного пакета, при помощи наложения вариантных опций и правил модификации спецификаций;
- фиксация состояний любой структуры или части структуры для последующего использования и просмотра (например, фиксация структур данных под определенный заказ или выгрузки зафиксиро-

Таблица 1.

Стандарты ТПП на ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют»

Функция ТПП	ЕСТПП	ЕСКД	ЕСТД	СТП
1 Обеспечение ТКИ	ГОСТ 14.201-83 ГОСТ 14.205-83 ГОСТ 14.206-73	ГОСТ 2.121-73		СТП 778.04.624-2004, СТП 778.32.730
2 Разработка ТП	ГОСТ 14.301-83, ГОСТ 14.303-73, ГОСТ 14.316-75,	ГОСТ 2.201-80	ГОСТ 3.1119-83, ГОСТ 3.1121-84	СТП 778.03.698-2003, СТП 778.03.357-2003, СТП 778.03.621-94
3 Разработка и выбор СТО	ГОСТ 14.301-83, ГОСТ 14.304-73- ГОСТ 14.307-73, ГОСТ Р 50-54-11-87			СТП 778.02.582-2005, СТП 778.07.781-2003
4 Организация и управление процессом ТПП	ГОСТ 14.101-73			СТП 778.03.766-2003



Таблица 2.

Применяемость модулей Teamcenter Manufacturing, NX и Tecnomatix

	Функция ТПП:	Обеспечение ТКИ	Разработка ТП	Разработка и выбор СТО	Организация и управление процессом ТПП
1.	NX			+	
2.	NX CAM		+		
3.	Tecnomatix CMM Inspection Programming		+		
4.	Моделлер процессов Tecnomatix		+		
5.	Визуализатор Teamcenter	+			
6.	Контекст взаимодействия	+	+	+	+
7.	Менеджер расписания				+
8.	Менеджер ресурсов			+	
9.	Планировщик деталей		+		
10.	Редактор многовидовых составов изделия		+		+
11.	Редактор технологических процессов	+	+		+

ванной конфигурации информационного пакета во внешние системы – Tecnomatix, SAP и т.п.);

Функционал модуля позволяет:

- собрать несвязанные наборы данных в один информационный пакет;
- создать новые наборы данных в рамках текущего информационного пакета;
- назначить компоненты (например, детали или сборки) из базовых структур во вновь созданные альтернативные структуры (например, технологический состав) в виде расходуемых изделий или заготовок;
- поддерживать в базовой структуре ссылки на компоненты, помещенные в альтернативную структуру;
- отслеживать изменения в конфигурациях (модификации спецификаций или варианты правила) базовых структур и отражать их на альтернативных структурах;
- выполнять поиск компонентов в рамках информационного пакета, как по атрибутивной информации, так и при помощи графического поиска, позволяющего искать объекты, по параметрам, определенным в пространственном фильтре (например, поиск объектов попадающих в окружение какого либо компонента на определенном расстоянии);
- выполнять различного рода эксперименты над альтернативными структурами (пере упорядочивать иерархию продукта, использовать «фантомные» сборки, расщеплять количественные позиции в рамках одной спецификации, перемещать детали внутри альтернативной структуры, верифицировать альтернативные структуры на корректность назначения комплектующих изделий из базовых структур и т.п.);
- в автоматизированном режиме сконфигурировать взаимосвязанные структуры данных, определенные в Редакторе технологических процессов в

виде состава продукта, состава технологического процесса и состава структурных подразделений, для различных производственных ситуаций (заказ, дату, экземпляр изделия и т.п.), а при применении средств интеграции, выгружать сконфигурированные данные в ERP-системы или Tecnomatix;

- зафиксировать состояние структур данных информационного пакета для последующего использования, просмотра или экспорта во внешние системы.

#### Редактор многовидовых составов изделия

Редактор многовидовых составов изделия (Multiple View Editor) предназначен для разработки альтернативных представлений одного и того же состава изделия (технологический состав, функциональный состав и т.п.), в рамках его разработки и изготовления.

Функционал Редактора многовидовых составов изделия позволяет:

- переупорядочивать иерархию структуры продукта;
- использовать «фантомные» сборки;
- расщеплять количественные позиции в рамках одной спецификации;
- перемещать детали внутри представления;
- назначать компоненты из базового представления в виде расходуемых изделий или заготовок;
- верифицировать альтернативные составы на корректность назначения комплектующих изделий из базового представления (анализ неиспользованных компонентов, многократно использованных, полностью использованных);
- генерировать представления состава изделия на основе циклограмм процессов агрегатной и окончательной сборки, созданных в Редакторе технологических процессов.

Ассоциативная связь между представлениями позволяет при применении вариантных опций и правил модификации спецификаций к базовому представлению автоматически кон- фигурировать все связанные представления с целью получения однозначного их описания для различных производственных ситуаций (заказ, дату, экземпляр изделия и т.п.), а при применении средств интеграции, выгружать сконфигурированные данные в ERP-системы или Tecnomatix.

### Редактор технологических процессов

Редактор технологических процессов (Manufacturing Structure Editor) предназначен для выполнения следующих задач:

- разработка циклограмм процессов агрегатной и окончательной сборки;
- назначение межцеховых маршрутов;
- разработка технологических процессов агрегатной и окончательной сборки;
- верификация технологических процессов на корректность назначения комплектующих изделий из конструкторского или технологического состава изделия.

Циклограмма процессов агрегатной и окончательной сборки, представляет собой иерархическое описание последовательности выполнения процессов сборки (BOP — Bill of Process) с назначенными для выполнения этих процессов комплектующими.

Каждый процесс, входящий в циклограмму помимо подпроцессов сборки узлов и агрегатов включает технологический маршрут, являющийся хранилищем всей производственной информации о текущем процессе изготовления или ремонта, в том числе:

- варианты межцеховых маршрутов, включающие в себя иерархическое описание после довательности подразделений и выполняемых в этих подразделениях видов работ в процессе изготовления или ремонта элемента состава изделия;
- основанные на последовательности видов работ межцехового маршрута технологические процессы, представляющие собой иерархическую последовательность операций, рабочих действий (переходов), необходимых для их выполнения ресурсов (оборудование, оснастка, материалы, инструмент и т.п.) и комплектующих;
- различного рода структуры данных, формирующиеся в процессе согласования компонента состава изделия, например план-графики подготовки производства, предварительный перечень материалов, средств технологического оснащения и т.п.

Благодаря единой платформе управления данными, функционал, относящийся к задачам управления составами изделия (BOM Management — Bill of Material Management) в части управления вари-

антными опциями и правилами модификации спецификаций, применим и для управления структурами данных, относящихся к технологической подготовке производства. Так, например, при применении правил конфигурирования конструкторского состава изделия (EBOM — Engineering Bill of Material), редактор технологических процессов автоматически конфигурирует взаимосвязанные структуры данных в виде:

- технологических составов (MBOM — Manufacturing Bill of Material);
- циклограмм процессов сборки;
- технологических процессов (MP — Manufacturing Process), — позволяя «на лету» генерировать представления взаимосвязанных структур данных для различных производственных ситуаций (заказ, дату, экземпляр изделия и т.п.), а при применении средств интеграции, выгружать сконфигурированные данные в ERP-системы или Tecnomatix.

### Менеджер расписания

Менеджер расписания (Schedule Manager) предназначен для выполнения следующих основных задач:

- разработку расписания исполнения проекта без учета ограниченности ресурсов;
- разработку расписания исполнения проекта с учетом ограниченности ресурсов;
- определение критического пути и резервов времени исполнения операций проекта;
- определение распределения во времени загрузки возобновляемых ресурсов;
- анализ рисков и планирование расписания с учетом рисков;
- учет исполнения проекта;
- анализ отклонений хода работ от запланированного и прогнозирование основных параметров проекта.

Функционал Менеджера расписания позволяет:

- определить план работ проекта и его временные характеристики;
- назначить ресурсы на каждый пункт плана работ;
- распределить права доступа на элементы проекта с целью обеспечения коллективной работы над проектом;
- создать шаблоны минипроектов для повторного использования в других проектах;
- связать пункты плана работ проекта с элементами состава изделия, функциональными блоками, технологическими процессами и прочими объектами конструкторско-технологической подготовки производства, требующими контроля их выполнения;
- связать пункты плана работ с бизнес-процессами Workflow и определить критерии их запуска;



- объединить отдельные проекты в программы с целью анализа загрузки ресурсов и сроков выполнения как в разрезе проектов, так и в разрезе программ;
- Двусторонняя интеграция с системой Microsoft Project позволяет обеспечить обмен информацией по проекту между различными предприятиями.

### Моделлер процессов Tecnomatix

Моделлер процессов Tecnomatix (Process Simulate) — полностью интегрированное с системой Teamcenter приложение, предназначенное для выполнения следующих основных задач:

- оптимизация сборочных операций — управление порядком, в котором изделие или агрегат собирается и разбирается на основе информации о продукте, технологическом процессе, ресурсах и т.п., переданной из системы Teamcenter;
- моделирование и динамическое 3D-воспроизведение процесса сборки, сварки, ручных операций и прочих процессов;
- автоматизированный расчет траектории съема или установки детали при условии несоударения с другими деталями;
- Off-line программирование роботов и манипуляторов для сварки, лазерной резки, окраски, сверления, клепки, снятия облоя, галтовки и т. п.
- разработка и проверка кинематики движения инструмента, программного кода для оборудования;
- динамический анализ рабочих операций и проверка пересечения рабочих областей оборудования;
- моделирование действий человека, имитационное моделирование, эргономика и анализ времени выполнения операций.

В рамках интеграции с системой Teamcenter обеспечивается возможность двустороннего обмена информацией об изделии, его геометрии, технологических процессах, операциях, переходах, атрибутах времени и т.п., порождающейся в тех или иных приложениях Teamcenter или Tecnomatix Process Simulate.

### Визуализатор Teamcenter

В области информационной поддержки работы с изменениями, функционал Визуализатора Teamcenter (Teamcenter Visualization) позволяет:

- предоставить визуальную информацию всем участникам инженерных процессов о каждой модели цифрового макета изделия без необходимости использования специализированных инструментов (например CAD/CAM/CAE-системы);
- визуализировать результаты расчетов на прочность, кинематику, динамику;
- производить манипуляции над объектами состава изделия, изменяя их положение в пространстве по матрице относительного преобразования для

визуального описания предметной области (в том числе и изменения);

- в случае разработки технологических процессов выстраивать визуальные схемы выполнения той или иной операции с использованием геометрии технологической оснастки и моделей цифрового макета изделия;
- наносить на подготовленные 3D-представления и 2D-чертежи различного рода аннотации в виде текстовой и графической информации;
- создавать виды, разрезы, сечения моделей цифрового макета;
- производить измерения;
- представлять данные 3D-моделей в виде 2D-графиков;
- фиксировать состояния представления в виде снимков для возможности обращения к ним в любой момент времени участников инженерного процесса, в том числе, в процессе согласования изменения;
- переносить зафиксированное 2D или 3D-представление на формы технических пояснений, в том числе и на формы пояснений извещений об изменении;
- визуализировать процессы Workflow.

### Менеджер ресурсов

Менеджер ресурсов (Resource Manager) предназначен для определения и управления взаимосвязями между объектами нормативно-справочной информации, неклассифицированными объектами Teamcenter и дополнительными данными в виде связанных импортированных файлов и ссылок на другую контекстную информацию.

Под ресурсами в системе Teamcenter понимаются объекты, позволяющие обеспечить выполнение процессов технологической подготовки производства — оборудование, оснастка, инструмент, приспособления, трудовые ресурсы, управляющие программы для ЧПУ, наладки и т.п.

Функционал Менеджера ресурсов позволяет:

- создавать и управлять структурами ресурсов (например, структурой рабочего места под определенную операцию, включающую в себя оборудование, оснастку и инструмент, или структурой сборного инструмента, включающего в себя информацию об оправке, хвостовике, режущей части и т.п.);
- выполнять поиск объектов нормативно-справочной информации в Классификаторе, в том числе осуществлять подбор объектов, соответствующих предварительно выбранному компоненту (например, можно найти все гайки, подходящие по диаметру к выбранному болту), для описания структуры ресурса;
- классифицировать ресурс, делая его объектом нормативно справочной информации;

- создавать, просматривать или изменять документацию, связанную с ресурсом, в том числе инструкции по эксплуатации, чертежи или 3D-модели, спецификации, описания и т.п.;

### Планировщик деталей (Part Planner)

Планировщик деталей (Part Planner) предназначен для выполнения следующих основных задач:

- назначение межцеховых маршрутов;
- разработка технологических процессов изготовления (механообработка, штамповка, ковка, гальваника, литье и т.п.).

Как и в случае со сборочными единицами, узлами, установками и агрегатами, номенклатура состава изделия, относящаяся к деталям и стандартным изделиям, включает технологический маршрут, являющийся хранилищем всей производственной информации о процессе изготовления или ремонта текущей номенклатуры, в том числе:

- варианты межцеховых маршрутов, включающие в себя иерархическое описание последовательности подразделений и выполняемых в этих подразделениях видов работ в процессе изготовления или ремонта текущей номенклатуры;

- основанные на последовательности видов работ межцехового маршрута технологические процессы, представляющие собой иерархическую последовательность операций, рабочих действий (переходов) и необходимых для их выполнения ресурсов (оборудование, оснастка, материалы, инструмент и т.п.);

- различного рода структуры данных, формирующиеся в процессе согласования компонента состава изделия, например план-графики подготовки производства, предварительный перечень материалов, средств технологического оснащения и т.п.

Планировщик деталей позволяет разрабатывать технологические процессы изготовления, начиная от определения параметров заготовки, заканчивая операциями упаковки и перемещения готового изделия, включая операции точения, сверления, фрезерования, контроля и т.п. Процесс разработки основан на применении диалогового режима и режима работы на основе аналога.

Опыт применения CALS-технологий в ТПП на ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют» представлен в публикациях [3–6]. Ниже рассмотрены основные результаты.

В отделе **Главного технолога и технологических бюро цехов** организовано автоматизированное решение следующих основных задач: получение полного комплекта технологической документации — операционных карт с эскизами; проектирование оснастки и выпуск чертежей. Для решения этих задач в технологических подразделениях применяются такие пакеты, как ТехноПро, Ситеп и TECHCARD.

Значительный опыт применения современных информационных технологий накоплен при использовании программного комплекса КИМОС в процессе подготовки серийного производства конических зубчатых передач с круговой формой зубьев двигателя АЛ 31Ф.

В настоящее время на ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют» действует технологическая система при финишном зубошлифовании конических зубчатых колес с круговыми зубьями, базирующаяся на использовании программного продукта КИМОС и следующего комплекта технологического оборудования: пятикоординатного зубошлифовального станка с ЧПУ модели WNC 30 CNC фирмы «Клингелльберг»; четырехкоординатного зубоизмерительного центра модели Р 100 фирмы «Клингелльберг»; прибора для комплексного однопрофильного контроля зубчатых колес модели PSKE 900 фирмы «Клингелльберг»; персонального компьютера IBM PC Pentium.

Внедрение на ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют» технологической системы финишного зубошлифования конических зубчатых колес с круговой формой зубьев для двигателя АЛ31Ф в серийное производство позволило не только обеспечить стабильное качество их изготовления, но и высвободить шесть механических зубошлифовальных станков модели № 463 фирмы «Глисон».

Разработана компьютерная технология обработки информации завершающего цикла жизни зубчатых передач. В основе этой технологии лежит система компьютерного моделирования «Полигон», охватывающая самые разные фазы: расчет, проектирование, черчение, наладку станков, подготовку программ для станков с ЧПУ, проектирование сложного зуборезного инструмента, частично термообработку, испытание и исследование.

Система компьютерного моделирования «Полигон» позволила найти причины дефекта на профилях зубьев и повысить надежность двигателя.

В цикле производства зубчатых передач особенно важное место занимает термообработка. На ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют» применяются новые методы поверхностного упрочнения: ионное азотирование и ионная цементация. Новые методы требуют контроля распределения напряжений по глубине. Для решения этих задач также используется система «Полигон». Важно отметить, что моделирование полей напряжений (рис. 1) базируется на более эффективной и точной теории, чем известные методы конечных или граничных элементов. Эта теория позволяет наблюдать глубины залегания опасных напряжений и решать технологические задачи термообработки.

При разработке этой теории впервые удалось аналитически точно разделить контактные и изгибные деформации (рис. 2). Это дало возможность

построить алгоритмы сверхбыстрого динамического расчета. Погрешность расчета этим новым методом не превышает 0.2%, что почти на два порядка выше, чем можно получить методом конечных элементов. Этим методом впервые получены графики коэффициентов формы зубьев для 25-градусных авиационных зубчатых передач (рис. 3).

В систему ПОЛИГОН включен блок проектирования многозвонного инструмента — червячных фрез (рис. 4). В системе предусмотрена передача данных в AUTOCAD (рис. 5).

В отделе **Главного металлурга** был разработан и внедрен автоматизированный процесс подготовки производства изготовления сложнофасонных деталей (лопатки турбины и компрессора, крыльчатки, траверсы и створки, завихрители и диски турбостартера и прочее).

Конструкторские подразделения предприятия, в соответствии с требованиями CALS-технологий, выпускают свои проекты, сопровождая электронными моделями детали, входящие в конструкцию. Таким образом, предприятие встало на путь перехода к более совершенной, автоматизированной подготовке производства. Комплексная автоматизированная подготовка производства позволила анализировать технологичность литых лопаток по их трехмерной математической модели, проектировать отливки и рассчитывать литниково-питающие системы, автоматизировать проектирование и изготовление технологической формообразующей оснастки, автоматизировать контроль геометрии, как оснастки, так и отливок с использованием измерительных машин контактного действия типа LK (рис. 6) и бесконтактных типа Optel (рис. 7), принцип измерения которых основан на сканировании заданных сечений изделия лучом оптоэлектронной головки (ОЭГ), автоматизировать изготовление восковых и выжигаемых моделей для точного литья без формообразующей оснастки по математическим моделям.

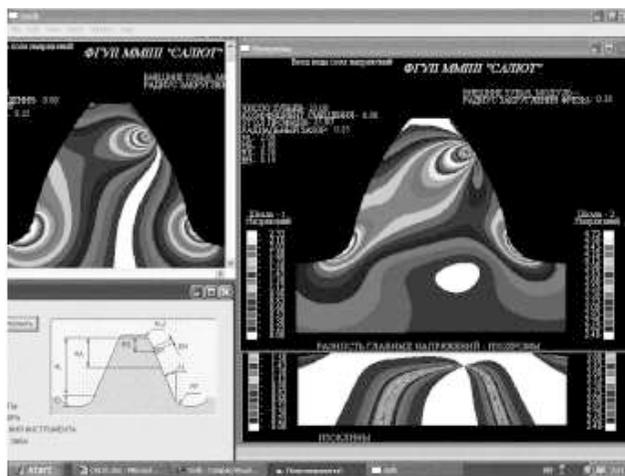


Рис. 1. Моделирование полей напряжений

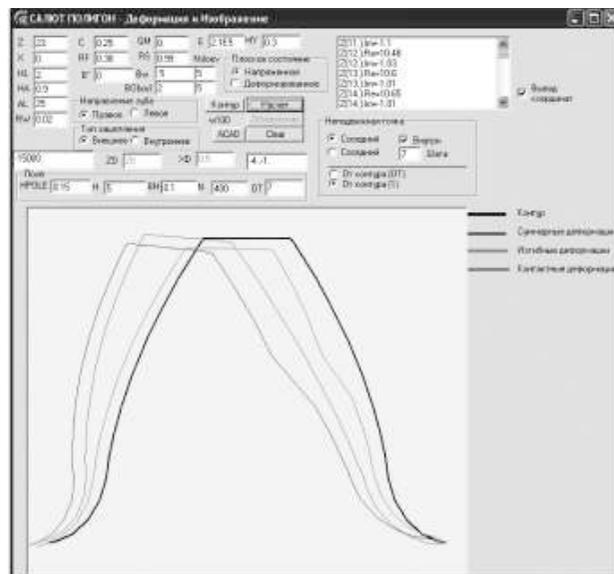


Рис. 2. Контактные и изгибные деформации

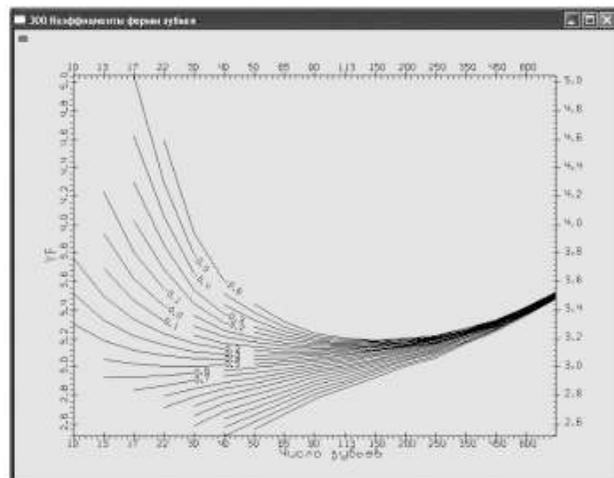


Рис. 3. Графики коэффициентов формы зубьев

Важным направлением в технологическом процессе для быстрого освоения литья деталей различной сложности является возможность получения восковых или выжигаемых моделей без необходимости проектирования и изготовления металлических пресс-форм. Для достижения этих целей приобретено специальное оборудование: установка ThermoJet (рис. 8) для формирования восковых моделей будущей отливки и стереолитографическая установка серии SLA-7000 (рис. 9), позволяющая изготавливать сложные крупногабаритные модели (до 700 мм). Благодаря высокой точности и скорости построения деталей, они применяются при разработке новых изделий и используются для быстрого изготовления оснастки, сокращения сроков и затрат на подготовку серийного производства.

Принципиальным для пуска в эксплуатацию вышеуказанных установок ThermoJet и стереолитографической установки SLA-7000 явилась необхо-

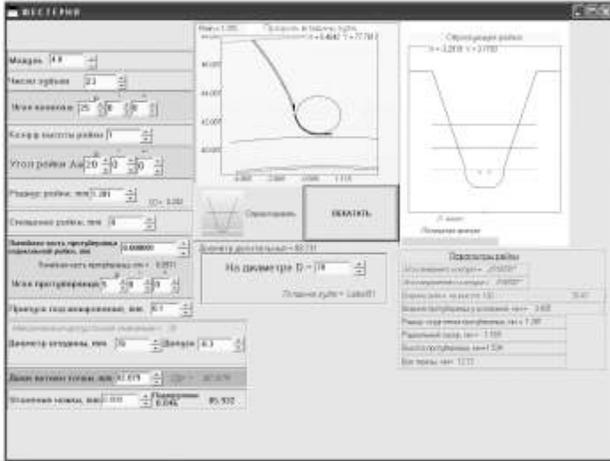


Рис. 4. Проектирование червячных фрез

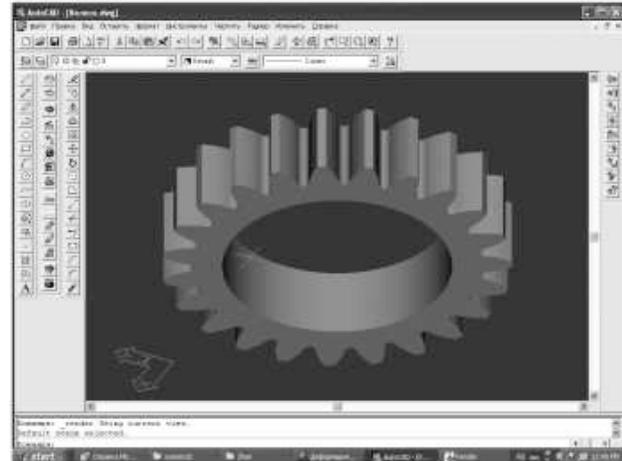


Рис. 5. Передача данных в AUTOCAD



Рис. 6. Измерительная машина контактного действия

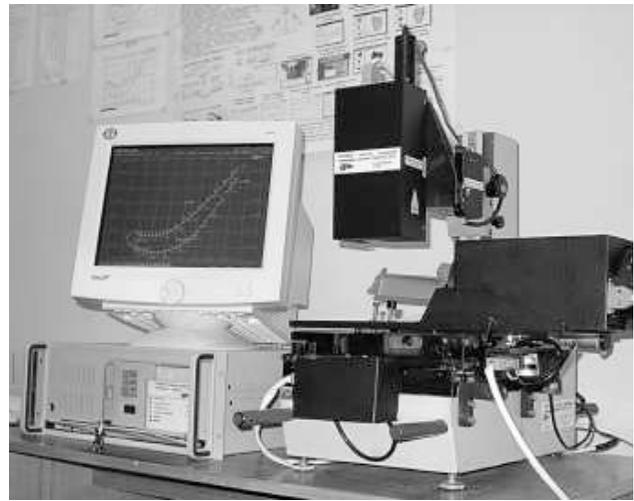


Рис. 7. Измерительная машина бесконтактного действия

димось разработки электронных математических моделей в системах 3D-моделирования на детали, подлежащие литью.

На заводе благодаря внедрению установки ThermoJet, там, где формировались восковые модели, удалось, без потери времени и средств на изготовление металлических пресс-форм обеспечить литьем производство сопла с управляемым вектором тяги в намеченные жесткие сроки.

В отделе **Главного сварщика** CALS-технологии реализуются по двум направлениям: внедрение современного высокопроизводительного оборудования, способного обмениваться производственной информацией в среде заводской локальной сети, и создание базы данных техно логических, конструкторских и организационных документов.

В рамках первого направления запущены в производство две современные высокопроизводительные установки: лазерный комплекс Bystronic (рис. 10) и установка для плазменного напыления фирмы Sulzer metco (рис. 11). По полученной двумерной

модели на лазерном комплексе Bystronic проводится раскрой листа с использованием программы собственной разработки по минимизации отходов. На установке Sulzer metco по трехмерной модели роботом с шестью степенями свободы обрабатывается программа нанесения защитных покрытий.



Рис. 8. Установка ThermoJet



Рис. 9. Установка серии SLA-7000



Рис. 11. Установка для плазменного напыления фирмы Sulzer metco



Рис. 10. Лазерный комплекс Bystronic

Встроенное в установки математическое обеспечение позволяет включить их в локальную сеть предприятия с целью отслеживания производственной информации о продукции. Загрузка указанных установок управляющими программами осуществляется из локальной сети.

Рассмотрим в качестве примера сквозную компьютерную технологию изготовления моноколеса (рис. 12).

Трехмерная электронная модель колеса вентилятора 1-ой ступени (рис. 13) от разработчика передается на сервер предприятия.

Служба главного технолога определяет маршрут обработки и рассылает в электронном виде по цехам изготовителям. Технологическое бюро цеха, используя за основу электронный чертёж, разрабатывает план обработки и технологический процесс, используя заводскую сеть, открывает заказы на проектирование оснастки. На каждом этапе проектирования технологическое бюро отслеживает процесс проектирования оснастки.

**Отдел станков с программным управлением**, получив модель, осуществляет разработку технологических карт и управляющих программ.

Контроль качества и визуализация процесса обработки выполняется в пакете Vericut, позволяю-

щем не только отслеживать различия между исходной трехмерной моделью и той, что получена после обработки, но и полностью моделировать процесс обработки (рис. 14).

Технологические карты и управляющие программы по сети передаются на участок пяти координатных станков и, используя систему DNC программы передаются в управляющую стойку станка, а технологические карты распечатываются на принтере.

Промежуточный контроль обработки выполняется на станке, используя контрольно-измерительную систему RENISHAW. После разработки УП и определения необходимой конфигурации режущего инструмента через заводскую сеть открывается заказ в цех изготовления режущего инструмента.

На пятикоординатном заточном шлифовальном станке наладчик-оператор разрабатывает программу и изготавливает режущий инструмент необходимой конфигурации (рис. 15).

В связи с высокими точностными требованиями контроль инструмента осуществляется на специализированной автоматической цифровой контрольной машине Гениус-2 с выдачей протокола обмера (рис. 16).

После механической обработки моноколеса производится окончательный контроль профиля пера лопаток на контрольно-измерительной машине LK (рис. 17). Используя трехмерную электронную модель моноколеса, выводится протокол измерения в электронном виде с передачей на сервер предприятия (рис. 18).

В **сборочном производстве** применяется АСУ «РАПОРТ СБ», разработанная на основе анализа ряда ведущих предприятий отрасли, в том числе и ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют».

«РАПОРТ СБ» — это специализированная компьютерная автоматизированная система управле-

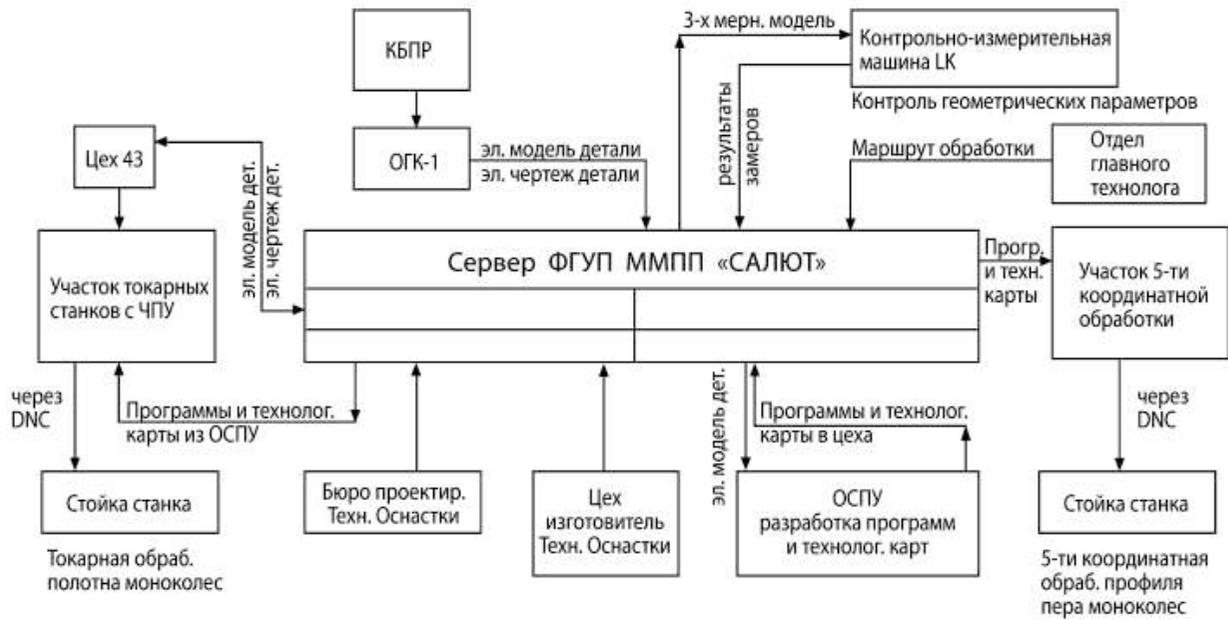


Рис. 12. Сквозная компьютерная технология изготовления моноколес

ния сборкой сложных изделий. Она включает следующие функциональные модули: НЕЙТРАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ — проектирование и планирование технологии сборки, ОПЕРАТИВНЫЙ УЧЕТ хода производства в режиме реального времени, УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СБОРКИ, ЛОГИСТИКА — управление поставками комплектующих.

В АСУ «РАПОРТ СБ» модуль НЕЙТРАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ является базовым. Модули ОПЕРАТИВНЫЙ УЧЕТ и др. являются в информационном плане производными конструкциями модуля НЕЙТРАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ.

Теоретическую основу АСУ «РАПОРТ СБ» составляют следующие положения: 1. «РАПОРТ СБ» должен отвечать правилам и требованиям действующих стандартов ЕСТД и ЕСКД; 2. Фундаментом

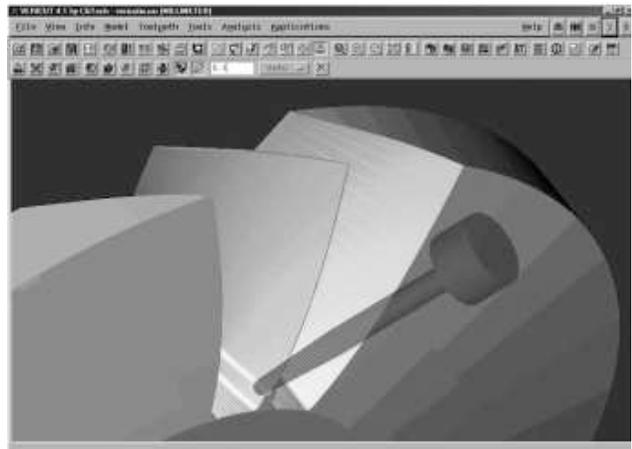


Рис. 14. Контроль качества и визуализация процесса обработки выполняется в пакете Vericut



Рис. 13. Трехмерная электронная модель колеса вентилятора

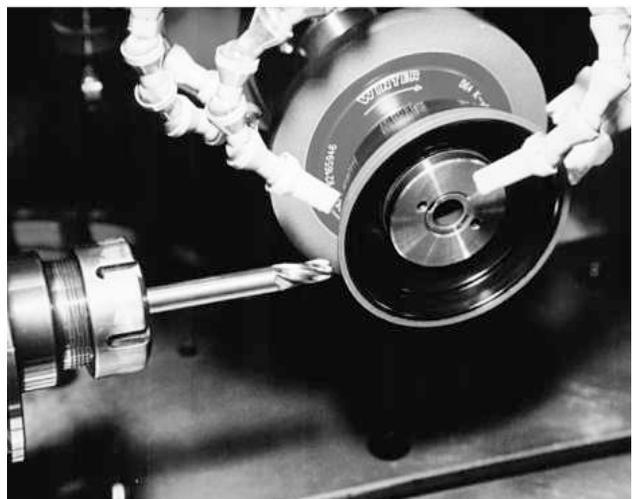


Рис. 15. Изготовление режущего инструмента



Рис. 16. Контроль режущего инструмента

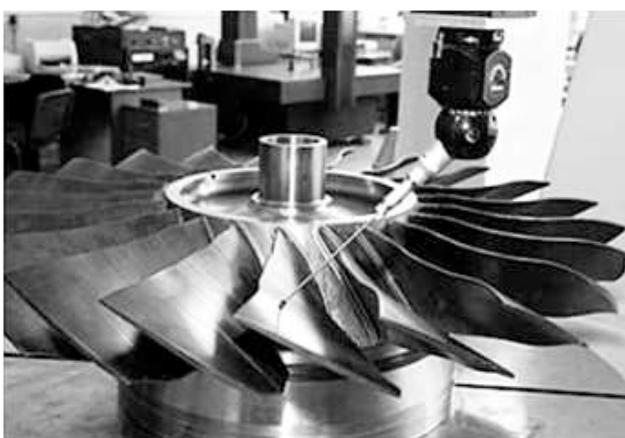


Рис. 17. Контроль профиля пера лопаток на контрольно-измерительной машине ЛК

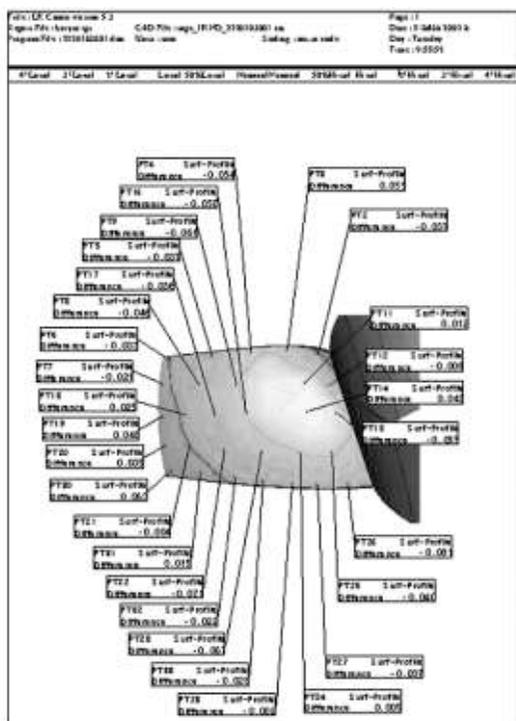


Рис. 18. Протокол измерения моноколеса

АСУ «РАПОРТ СБ» является электронная технологическая база данных; 3. «РАПОРТ СБ» ориентирован на применение информационных эталонов, которые могут быть либо корпоративными, либо собственными; 4. Информация системы достоверна и актуальна.

Использование АСУ «РАПОРТ СБ» в цехах сборочного производства обеспечивает переход от субъективного управления сборочным производством к системному на основе применения актуальной и достоверной информации, отслеживание средствами оперативного учета момента выполнения каждой технологической операции отдельно по каждому собираемому изделию в темпе хода производства, автоматическую выдачу комплектов документов на проектируемые технологические процессы в соответствии с требованиями действующих стандартов ЕСТД и ЕСКД: автоматическую выдачу технологических паспортов, сокращение сроков проектирования, оформления и утверждения технологических процессов за счет применения набора инструментальных средств, заложенных в АСУ, а при запуске в производство модификаций изделий — многократное сокращение.

Интегральным показателем эффективности применения АСУ «РАПОРТ СБ» является сокращение цикла сборки изделий в цехах сборочного производства, в частности за счет оптимизации динамических производственных графиков, оперативного анализа причин отклонений от заданного ритма сборки.

### Литература

1. Система технологической подготовки производства. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 32 с.
2. Диланян Р.З. Технологическая подготовка производства (ТПП). Раздел 2 в книге Технологическая подготовка производства. Проектирование и обеспечение деятельности предприятия. Т. III-1 / А.В. Мухин и др.; Под общ. ред. А.В. Мухина. 2005. 576 с.: ил. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред) др. М.: Машиностроение.
3. Елисеев Ю.С. Интегрированные информационные технологии на принципах CALS-технологий на ФГУП при проектировании, производстве, эксплуатации газотурбинных двигателей. Глава 2 в книге CALS — непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделий в авиастроении. / Науч. ред. Братухин А.Г. / М.: МАИ, 2002. 676 с.
4. Елисеев Ю.С., Поклад В.А., Кузнецов И.И. Анализ применения и перспективы развития CALS-технологий на ФГУП ММП «САЛЮТ». В книге CALS — непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделий в авиастроении. / Науч. ред. Братухин А.Г. М.: МАИ, 2002. 676 с.
5. Елисеев Ю.С., Крымов В.В., Малиновский К.А. и др. Испытания, обеспечение надежности и ремонт

авиационных двигателей и энергетических установок. М.: МАИ, 2005. 540 с.

6. *Поклад В.А., Кузнецов И.И.* Автоматизированная система технологической подготовки производства газотурбинных двигателей. Статья в книге Российская энциклопедия CALS. Авиационно-кос-

мическое машиностроение / Гл. ред. А.Г. Братухин. М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008. 608 с.

7. *Данилов Ю., Артамонов И.* Практическое использование NX. ДМК Пресс, 2011. 332 с.

8. *Торон Д.Н., Терликов В.В.* Teamcenter. Начало работы. ДМК Пресс, 2011. 280 с.