

Новиков А.С., Белов А.Б., Андреев С.В., Фомичева И.В.

ОАО «Московское машиностроительное предприятие имени В.В. Чернышева». Россия, г. Москва

CALS-ТЕХНОЛОГИИ В ЦИКЛАХ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ



На выставке Двигатели-2010.

Профессоры Новиков А.С., Братухин А.Г. и Носков А.А.

Анотація

На сьогоднішній день для задоволення попиту замовника ДКР і підготовки виробництва стали практично невід'ємною частиною будь-якого контракту. Одночасно, не чекаючи повного закінчення розроблення нового виробу, реалізується технологічне підготування виробництва і навіть власне виробництво. Тому питання про скорочення термінів підготовки виробництва, що розглядається в статті «CALS-технології в циклах підготовки виробництва на двигунобудівному підприємстві», як ніколи актуальний.

Глобальною метою впровадження передових технологій проектування і підготовки виробництва на підприємстві має бути вихід на світовий рівень організації проектування і підготовки виробництва.

CALS-технології передбачають не автоматизацію існуючих процесів, а зміну самої технології проектування і підготовки виробництва. Стосовно створення складних виробів машинобудування, в основі організації комп'ютерної технології лежить створення повного електронного макету виробу. Саме створення трьохмірних електронних моделей, максимально адекватних реально створюваному виробу, відкриває великі можливості виробництва якіснішої продукції (особливо складної, наукоємної продукції) і в більш стислі терміни. В процесі проектування і підготовки виробництва складних і багатокомпонентних виробів, всі,

хто беруть участь в проектуванні, повинні, працюючи одночасно і знаючи роботу один одного, створювати відразу на комп'ютерах електронні макети деталей, вузлів, агрегатів, систем і всього виробу в цілому. Одночасно необхідно вирішувати задачі концептуального проектування, всіляких видів інженерного аналізу, моделювання ситуацій, а також комплектування виробу і формування зовнішніх обводів. При цьому важно, що всі створюють один спільний віртуальний цифровий макет проектного виробу, який в кожен теперішній момент часу актуальний, а, значить, в цьому випадку теоретично виключаються нестикування, оскільки вся інформація єдина.

Abstract

Up to date experimental development and pre-production became an integral part of any contract in order to satisfy customer demand. At the same time without waiting for completion of new-product development the process design and even the production are realized. Therefore the question about reduction of preproduction terms reviewed in article CALS-technologies in preproduction cycles at engine building enterprise is most relevant.

The global goal of introduction of advanced design technology and preproduction at the enterprise should be going up to the world standards of designing and preproduction organization.

CALS-technologies provide for not automatization of the current process but alteration of designing technology and preproduction. Themselves As applied to production of complex engineering /terns in the basis of computer technology organization there is a creation of complete electronic models of the item. Specifically the creation of 3-D electronic models, which are maximally equivalent to the real produced item, opens huge possibilities for manufacture of more quality products (especially complex, science-intensive products) and within more tight schedule. During the process of designing and preproduction of complicated multicomponent items all participants of the designing should create computer models of parts, assemblies, units, systems and the whole item working together and seeing each others work. At the same time it is necessary to solve problems of con-

ceptual design, ail kinds of engineering analysis, simulated events as well as item configuration and contour formation, In doing so it is important that everyone creates one mutual virtual digital mock-up of the projected item which is relevant in each current time and it means that in this case theoretically all discrepancies are excluded because all Information is common.

1. Общие принципы

Наиболее актуальной проблемой модернизации производства на предприятии авиационного моторостроения является проблема внедрения современных информационных технологий и их последовательная интеграция в производственный цикл, а также дальнейшее распространение на весь жизненный цикл производимой продукции.

Применение компьютерной технологии проектирования и технологической подготовки производства должно обеспечить:

- Интенсификацию проектных работ и сокращение срока проектирования изделий;
- Проведение одновременного проектирования различных процессов технологической подготовки производства;
- Сокращение объема доводок;
- Сокращение сроков проектирования и доводки оснастки;
- Минимизацию подгонки при сборке;
- Увеличение количества управляющих программ и сокращение сроков создания программ для станков с ЧПУ;
- Повышение качества проектных работ и документации;
- Упрощение процесса сертификации качества изделий;
- Повышение конкурентоспособности продукции;
- Систематизацию управления базами (архивами) данных (конструкция, технология).

Исходя из передовой мировой практики в этой области, с одной стороны, и практики имеющейся на ММП им. В. В. Чернышева, с другой, можно совершенно четко определить ряд основополагающих моментов внедрения современных технологий проектирования и подготовки производства на предприятии:

- Последовательная ориентация на самые передовые технологии;
- Необходимость работ одновременно по нескольким направлениям;
- Поэтапное внедрение в режиме «пилотный проект широкое — внедрение».

Современные передовые технологии реализуют несколько основополагающих идей:

- Мастер — модель (Master-Model);
- Параллельный инжиниринг (Concurrent Engineering);

- Расширенное предприятие (Extended Enterprise);
- Единая среда разработки изделия от идеи до реализации (CAPE: Concurrent Art-to product Environment);
- Сертификация качества производства (ISO 9000);
- Непрерывная информационная поддержка жизненного цикла (CALS: Continuous Acquisition and Life Cycle Support).

Эти идеи, дополняя друг друга в областях «ответственности», определяют целостную картину процесса. Их принятие требует отказа от сложившихся стереотипов. Так, например, концепции параллельного инжиниринга и расширенного предприятия в сумме определяют переход от понятия технологической подготовки производства к более широкому понятию подготовки производства. Это связано с тем, что в процессе подготовки производства на самых ранних стадиях разработки изделия привлекаются не только технологи предприятия, но и субподрядчики, проектирующие и/или изготавливающие комплектующие или оснастку; планово-экономические службы, определяющие целесообразные способы изготовления будущего изделия и/или его комплектующих, службы снабжения, определяющие доступность полуфабрикатов и покупных комплектующих, и другие службы, как самого предприятия, так и его субподрядчиков, а в ряде случаев и заказчика.

Глобальной целью внедрения передовых технологий проектирования и подготовки производства на предприятии должен являться выход на мировой уровень организации проектирования и подготовки производства.

Таким образом, внедрение современных технологий проектирования и подготовки производства должно идти по двум взаимосвязанным направлениям:

- Развертывание, изучение и адаптация соответствующих информационных систем;
- Организация компьютерной технологии проектирования и технологической подготовки производства.

Компьютерная технология предполагает не автоматизацию существующих процессов, а изменение самой технологии проектирования и подготовки производства. Применительно к созданию сложных изделий машиностроения в основе организации компьютерной технологии лежит создание полного электронного макета изделия. Именно создание трехмерных электронных моделей, максимально адекватных реально создаваемому изделию, открывает большие возможности производства более качественной продукции (особенно сложной, наукоемкой продукции) и в более сжатые сроки. В процессе проектирования и подготовки производства сложных и многокомпонент-

ных изделий все участвующие в проектировании должны, работая одновременно и видя работу друг друга, создавать сразу на компьютерах электронные макеты деталей, узлов, агрегатов, систем и всего изделия в целом. Одновременно необходимо решать задачи концептуального проектирования, всевозможных видов инженерного анализа, моделирования ситуаций, а также компоновки изделия и формирования внешних обводов. При этом важно, что все создают один общий виртуальный цифровой макет проектируемого изделия, который в каждый текущий момент времени актуален, а значит, в этом случае теоретически исключаются несвязки, так как вся информация едина.

Одновременно (не дожидаясь полного окончания разработки нового изделия), эта информация используется для технологической подготовки производства и даже собственно производства. Кроме того, необходимо управлять всеми создаваемыми данными электронного макета, в том числе структурой изделия, а также процессом создания изделия.

Для реализации именно компьютерной технологии проектирования и производства должны применяться системы автоматизированного проектирования, инженерного анализа и технологической подготовки производства (CAD/CAE/CAM) высшего уровня, а также системы управления проектом PDM (Product Data Management). Система высшего уровня, это система, во-первых, обеспечивающая весь цикл создания изделия от концептуальной идеи до реализации, и, во-вторых, что самое главное, создающая проектно-технологическую среду для одновременной работы всех участников создания изделия с единой виртуальной электронной моделью этого изделия в соответствии с концепцией CAPE (Concurrent Art-to Product Environment).

Для того, чтобы поддерживать такую концепцию, система должна быть определенным образом организована, и обладать многими специфическими, функциональными возможностями, среди которых например, управление ассоциативными связями, мощная и гибкая параметризация и ассоциативная связь как внутри самой модели и сборки, так и с приложениями, возможность создания и управления сборками неограниченных размеров, с управляемой параметризацией между компонентами сборки.

Системы управления инженерными данными PDM в последнее время, ввиду расширения функциональных возможностей таких систем, стали называться PKM (Product Knowledge Management).

Эти объектно-ориентированные системы управляют всеми знаниями об изделии на протяжении всего жизненного цикла от проектирования и производства до снятия с эксплуатации. Это, прежде всего, спецификации, в которых на основе форми-

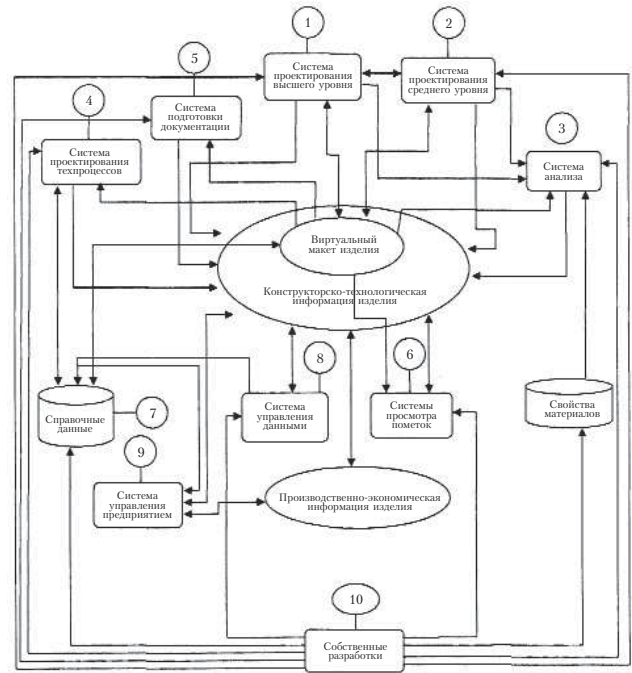


Рис. 1. Архитектура программно-информационного комплекса

руемых конфигурационных правил отслеживаются различные модификации и исполнения изделия, а также всякая другая информация (например: технические условия, данные по маркетингу и эксплуатации, руководства, отслеживание ресурса, ремонты и т. д.). Кроме того, с помощью этих систем осуществляется управление процессом проектирования (выдача заданий, создание процедур разработки, контроль текущего состояния, утверждение, электронные подписи и др.).

В качестве программных средств, поддерживающих современные технологии проектирования и подготовки производства, должны использоваться средства, максимально удовлетворяющие перечисленным выше требованиям. Программные средства совместно с информационными массивами образуют программно-информационный комплекс. Его архитектура изображена на рис. 1, в таблице 1 описаны соответствующие элементы комплекса.

Используемые аппаратные средства зависят в первую очередь от требований программных средств. Их также можно разделить на несколько категорий, описание которых приведено в таблице 2. рис. 2 иллюстрирует спектр используемых аппаратных средств.

Выбор адекватных задачам аппаратных средств в значительной степени определяет эффективность проектирования и подготовки производства. В определенной степени можно ориентироваться на зарубежные предприятия аналогичного

Таблица 1

Элементы программно-информационного комплекса

Категория	Назначение
1. Универсальная CAD/CAM система высшего уровня	Создание виртуального цифрового макета изделия в режиме параллельного проектирования. Проектирование ассоциативной оснастки. Подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ
2. Универсальная CAD система среднего уровня	Создание моделей деталей и сборок низкой и средней сложности как изделия, так и оснастки. Оформление чертежей. Для работы в соответствии с концепцией CAPE необходима 100% двунаправленная интеграция с системой высшего уровня
3. Специализированные CAE системы, либо модули в составе универсальных CAD/CAM систем	Проведение прочностного, теплового и других видов анализа. Крайне желательна возможность получения геометрических данных непосредственно из системы CAD/CAM. Необходимы библиотеки физических свойств используемых материалов
4. Системы проектирования ТП	Проектирование маршрутов и технологических процессов изготовления изделия
5. Системы подготовки документации	Подготовка различной иллюстрированной документации (конструкторской, эксплуатационной, рекламной и другой)
6. Системы визуализации и внесения пометок	Просмотр и анализ трехмерных электронных моделей, созданных в разных системах, графическое внесение пометок
7. Информационно-справочные БД	Аккумуляция различной справочной информации
8. PDM система	Аккумуляция, систематизация, предоставление и разграничение доступа к данным об изделии. Выдача задания, контроль исполнения, электронное утверждение, управление конфигурацией, изменениями. Управление всей конструкторско-технологической документацией, находящейся в системе
9. Система управления предприятием	Поддержка финансовой и производственно-экономической информации. Планирование и управление производством и снабжением на основе конструкторско-технологической информации. Предоставление данных о ситуациях, которые могут воздействовать на проектирование и подготовку производства
10. Оригинальные разработки предприятия	Базы данных, расчетные алгоритмы, интерфейсы и другие разработки, аккумулирующие ноу-хау предприятия. Необходимо максимально интегрировать со стандартными средствами или создавать на их основе (п.п. 1–9)

профиля, при этом, однако, надо учитывать, что они начали автоматизацию проектирования значительно раньше отечественных предприятий и имеют, как правило, определенные ноу-хау в области проектирования и подготовки производства, которые расцениваются как конкурентные преимущества.

По нашему убеждению, из имеющихся на сегодняшний день развивающихся универсальных систем высокого уровня (можно сказать, что их всего две: это система CATIA французской компании Dassault Systems и система Unigraphics американской компании EDS PLM Solutions) система Unigraphics (UG) в наибольшей степени реализует возможность создания полного цифрового представления сложного изделия.

Система Unigraphics хорошо сбалансированная система. Мощный удобный в пользовании моделлер с встроенной гибкой параметризацией и глубокой ассоциативностью. Она содержит все присущие универсальным системам средства инженерного анализа. Программное обеспечение Unigraphics в области программирования станков с ЧПУ обеспечивает функциональность на уровне недоступном для других систем. Позиции UG/ CAM оцениваются как мировой стандарт для всех других производителей NC программ. Система содержит специализированные технологические приложения, которые функционируют в единой базе данных Unigraphics, а значит, поддерживают ассоциативность и целостность данных.

Система Unigraphics в полной мере реализует концепцию Мастер-модели.

Есть еще одно ценное качество системы Unigraphics — это интеграция с системой среднего уровня SolidEdge (SE). SolidEdge сама имеет мощный моделинг, включающий: твердотельное и поверхностное моделирование, очень хорошие средства проектирования листовых деталей, проектирование трубопроводов, возможность создания сборок с ассоциативными связями геометрии одного компонента с геометрией другого. С системой SolidEdge поставляются библиотеки отечественных, стандартных элементов. Система SolidEdge позволяет создавать чертежи по ЕСКД, имеет полную русскую локализацию, описание на русском языке, а также совершенную обучающую программу на русском языке. При этом система SolidEdge имеет уникальную интеграцию с системой высшего уровня Unigraphics. В Unigraphics можно открыть файл SolidEdge и наоборот. Детали и сборки созданные в SolidEdge могут входить в сборку Unigraphics с сохранением ассоциативности и наоборот элементы созданные в Unigraphics, могут входить в сборку SolidEdge тоже с сохранением ассоциативности. Таким образом, помимо решения самостоятельных задач, SolidEdge может использоваться для расширения фронта моделирования относительно несложных изделий, проектируемых в Unigraphics. В SolidEdge можно оформлять чертеж на изделие созданное в Unigraphics, и при изменении этого изделия в Unigraphics, чертеж в SolidEdge обновится автоматически. На основе такого двухуровневого комплекса полностью обеспечивается концепция единой среды разработки изделия при существенном удешевлении всего комплекса.

И все же главное преимущество системы Unigraphics — это возможность в наибольшей степени, чем у любой другой системы высокого уровня, создания полного цифрового представления сложных многокомпонентных изделий и организации параллельного проектирования. Так как в процессе проектирования постоянно приходится проводить изменения, нужно чтобы система позволяла осуществлять изменения на всем дереве создаваемого цифрового макета многокомпонентного изделия. Эта задача очень сложная, здесь недостаточно только наличия параметризации. Для этого в Unigraphics существует инженерная технология WAVE (What if Alternative Value Engineering), предназначенная для целевого управления глобальными модификациями, проводимыми в больших сборках сложных изделий.

Выбор конкретных аппаратных средств не столь критичен, как программных. В тоже время, они должны обеспечивать комфортную и бесперебойную работу пользователей, т. е. обладать достаточной производительностью и надежностью. Для серверов дополнительным требованием является масштабируемость (см. табл. 1 и 2).

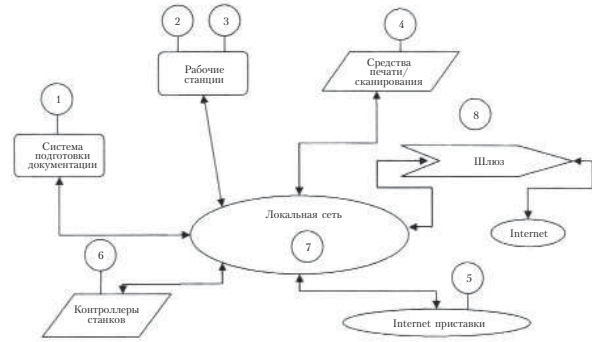


Рис. 2. Аппаратные средства

Учитывая высокую динамику рынка компьютерного оборудования, целесообразно изначально определиться с фирмой производителем, а решения по конкретным моделям принимать непосредственно перед реализацией очередного этапа.

В качестве примера можно представить следующую архитектуру программно-информационного комплекса рис. 1.

Использование аппаратных средств осуществляется по следующей схеме рис. 2.

Развитие изложенных в первой части идей можно проиллюстрировать на примерах взаимодействия в среде TeamCenter Engineering последовательных процессов формирования мастер модели двигателя, ее основных составляющих и реализацию процессов в системе. Также показаны основные бизнес процессы.

2. Среда Team Center Engineering

2.1 Использование среды Team Center Engineering позволяет реализовать следующие задачи:

- Оптимизацию труда и дисциплины работы;
- Возможность управлять информацией, процессами, людьми;
- Сокращается время на принятие решений;
- Сокращается время и трудоемкость проведения изменений по учетным точкам (это касается также ПИ);
- Повышается достоверность и актуальность данных на любой момент времени;
- Сокращается время и трудоемкость обмена информацией между подразделениями;
- Пользователь в минимальные сроки может получить весь объем интересующей его информации по создаваемому изделию (узлу);
- Возможность получения любых отчетов в самой удобной форме представления;
- Объединение разрозненных данных, находящихся на предприятии;
- Создание корректной электронной спецификации и ее сопровождение с отслеживанием всех изменений;
- Разрабатываемые технологические объекты (оснастка, тех. Процессы и т.д.) привязаны к кон-

Категории аппаратных средств

Категория	Назначение
1. UNIX-сервера, включая средства архивирования и восстановления	Сервера на которых установлена система PDM. Учитывая объемы обрабатываемой информации, требования к надежности и количество пользователей целесообразно изначально ориентироваться на UNIX-сервера, так как WINTEL-сервера не обеспечивают требуемых характеристик. Основное требование высокая пропускная способность всех магистралей. Таких серверов требуется несколько штук
2. UNIX -рабочие станции	Рабочие станции на которых выполняются особо сложные задачи. Например-виртуальная сборка изделия полностью, конечно-элементный анализ сложных объектов. Основное требование - высокая вычислительная мощность. Таких рабочих станций относительно общего количества рабочих станций требуется немного, практически единицы
3. WINTEL – рабочие станции	На них выполняется практически весь спектр задач, включая подготовку текстовых документов. Требования могут сильно отличаться в зависимости от конкретных решаемых задач. Основная платформа CAD/CAM/CAE
4. Средства вывода/ сканирования бумажных копий	Несмотря на внедрение безбумажных технологий использование бумажных документов по-прежнему актуально. Оптимальным решением является использование централизованных средств печати. Средства сканирования на промышленном предприятии могут рассматриваться как вспомогательные средства. Они могут подключаться как к рабочим станциям, так и входить в состав централизованных средств печати
5. Internet-приставки и другие средства доступа	Проектирование и подготовка производства в основном предполагают использование компьютеров традиционной архитектуры. Тем не менее, для задач представления информации (например - в цеху) использование других средств доступа к Internet может оказаться эффективным
6. Контроллеры станков с ЧПУ	Обмен управляющей информацией со станками с ЧПУ может быть существенно интенсифицирован при подключении их контроллеров к локальной сети (возможно через управляющие компьютеры). Особенно это актуально для координатно-измерительных машин, где такое соединение создает предпосылки для введения оцифровывающей информации непосредственно в систему проектирования с последующим ее преобразованием в математические модели
7. Локальная сеть (включая как пассивное, так и активное оборудование)	Современные технологии проектирования и подготовки производства предполагают очень интенсивный обмен большими объемами информации. Учитывая, что локальная сеть обслуживает все информационные системы предприятия, проект локальной сети должен быть выполнен отдельно. В тоже время, в подразделениях, использующих системы проектирования, пропускная способность каналов рабочая станция - сервер должна быть не менее 100 Мбит/с, а каналов между серверами - 1000 Мбит/с
8. Элементы глобальной сети	В настоящее время ключевым методом распределения информации за пределами локальной сети предприятия все более становится использование Web-технологий, в ближайшие годы это станет стандартной практикой. В эту категорию оборудования включаются средства подключения к Internet, сервера и шлюзы доступа и другое

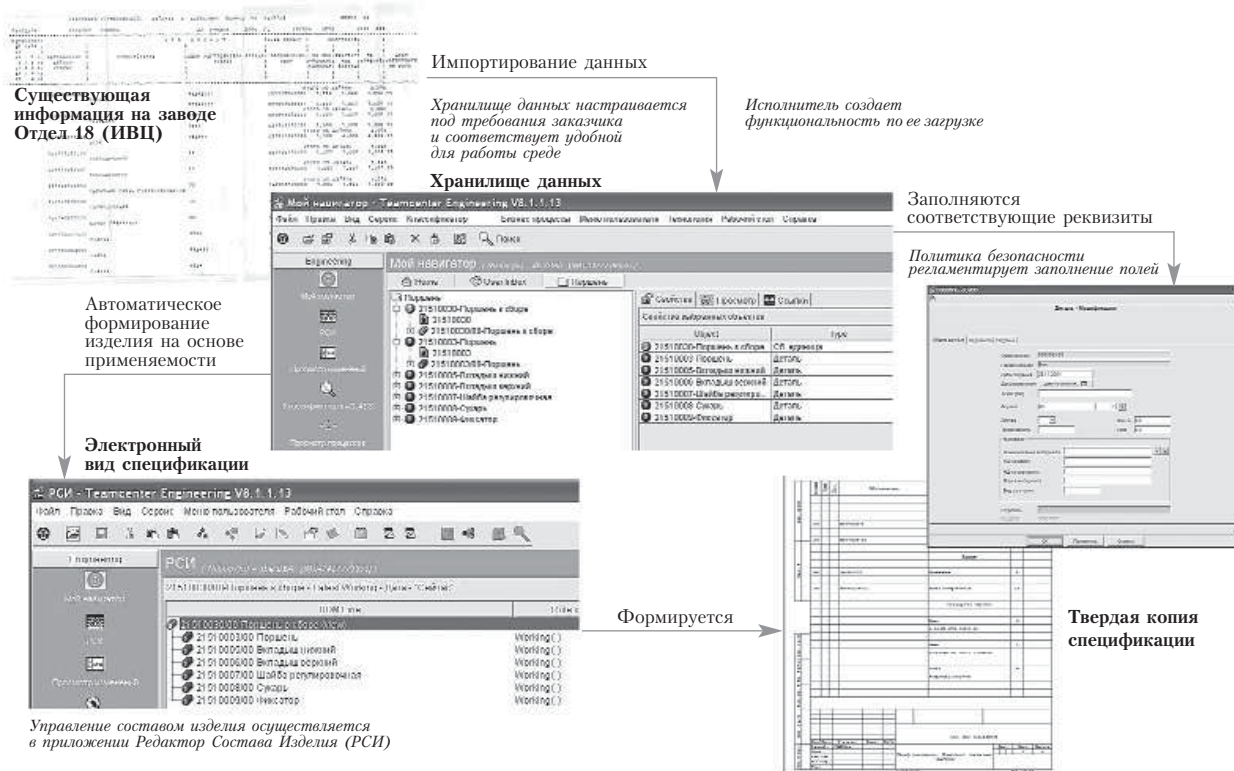


Рис. 3. Информационный поток данных (на этапе наполнения системы информацией)

кретной модификации ДСЕ, на которую они разрабатываются;

- Базу Знаний, которая в дальнейшем позволит ускорить процесс технологической проработки изделия;
- Минимизирует количество брака, связанного с недостоверностью документации (ошибки, несвоевременное изменение, несоответствие действующему подлиннику);
- Формирование и выпуск КД и ТД в соответствии с ГОСТ и действующими стандартами;
- Возможность отслеживания (в минимально возможные сроки) историю создания изделия и весь объем информации по нему;
- Уверенность в том, что все работают с единой версией документа (КД) и создаваемые работниками завода технологические данные увязаны с актуальной КД;
- Появляется возможность у руководства отслеживать ход выполнения работ над проектом;
- Учет и порядок КД и ТД, а также оптимизирует ее хранение;
- ОГК становится первоисточником электронных данных и может полностью нести за них ответственность;
- Технологии получают доступ к информации актуальной на текущий момент;
- Упрощается процедура проектирования оснастки при наличии созданной 3D модели;
- В силу того, что ОГТ становится ответственными за электронные данные и сопровождение тех-

нологического состава, выгоды от использования системы ТСЕ очевидны.

2.2 Преимущества для пользователя:

- Ясность задач;
- Отсутствие лишней информации;
- Интеграция инструментариев;
- Полная функциональность;
- Сложенность взаимодействия;
- Единое пространство проекта;
- Минимизация рутины;
- Творческий подход;
- Оптимизация труда и дисциплина;
- Оперативная связь с руководством.

2.3 Преимущества для руководства:

- Прозрачная, актуальная и оперативная картина предприятия;
- Любой масштаб информации от детали до всего проекта;
- Любые отчеты в самой удобной форме представления;
- Планирование ресурсов, ведение параллельных разработок;
- Контроль за выполнением, своевременные предупреждения;
- Уверенность в достоверности данных;
- Быстрое решение спорных вопросов.

2.4 Возможные риски внедрения системы:

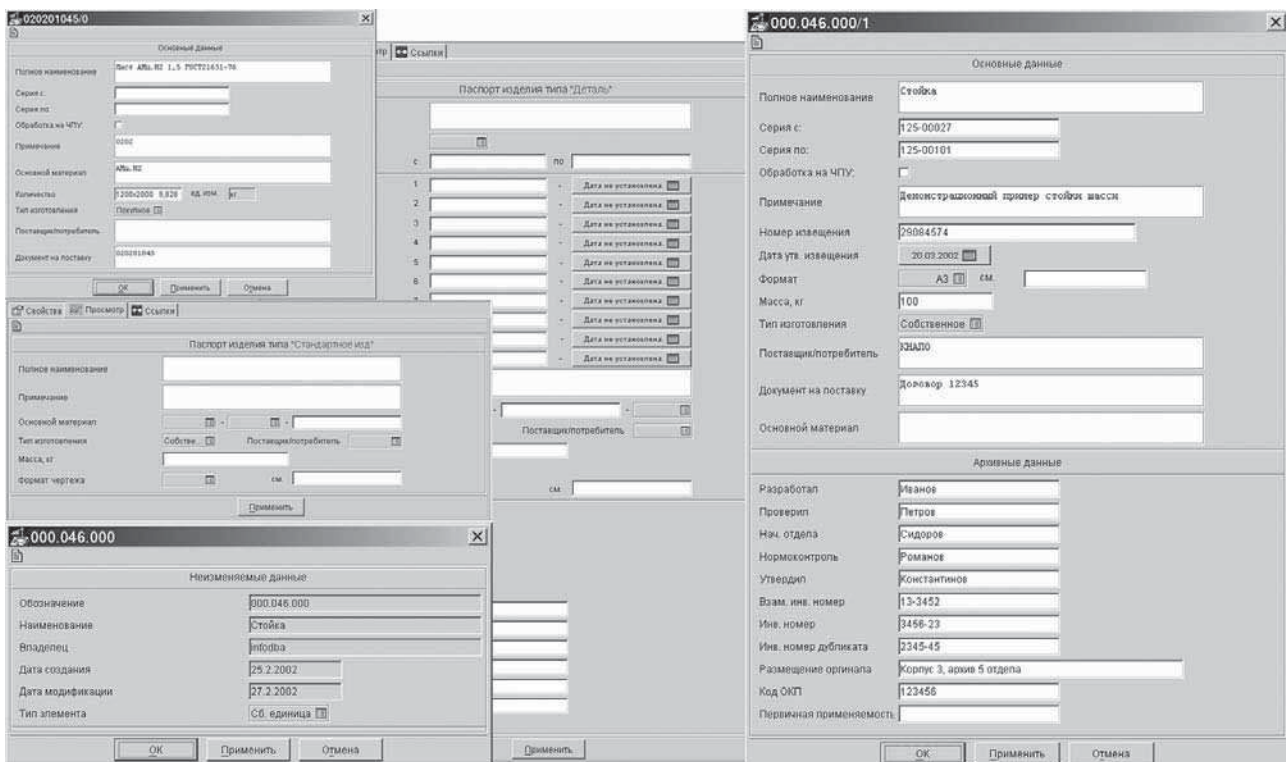


Рис. 4. Разнообразие форм TeamCenter Engineering

Сроки определяющие продолжительность этапов, указаны при некоторой идеализации ситуации и учитывают возможные риски:

- Недостаточно квалификации пользователей, для создания моделей и наполнения ими базы;
- Недостаточно пользователей способных работать по новой технологии с применением информационных систем;
- Нежелание людей заниматься дополнительной работой (электронный макет изделия должен быть предоставлен организацией разработчиком);
- Нежелание менять сложившиеся устои и принципы работы;
- Неучастие высшего руководства в процессе внедрения системы;
- Недостаточно ресурсов по обработке информации и вводе ее в систему TCE;
- Отсутствие цели и видимого эффекта в процессе внедрения системы.

2.5 Информационный поток данных (на этапе наполнения системы информацией) изображен на рис. 3.

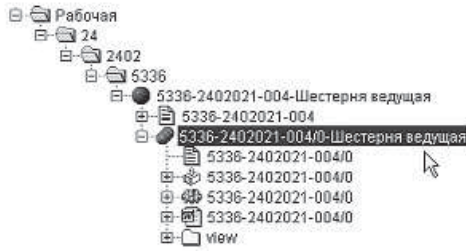
2.6 Разнообразие форм TeamCenter Engineering изображено на рис. 4

2.7 Ассоциативная связь между атрибутами детали в базе данных и элементами основной надписи электронного чертежа изображена на рис. 5.

2.8 Авторизация документа в системе TCE изображена на рис. 6.

2.9 Основные принципы наполнения информацией базы данных.

- Электронная спецификация изделия находится в системе в полном объеме и соответствует бумажному носителю;
- Информация по объектам вносится только по тем узлам по которым ведутся работы или проводятся изменения (сканируются чертежи, вносятся определенные реквизиты, добавляются файлы, необходимые для работы с данным объектом);
- Создание трех мерных моделей осуществляется только для сложных узлов изделия или по заказу подразделений предприятия;
- Создание извещений осуществляется в электронном виде, в согласовании участвуют твердые копии документов, после их согласования в системе проставляется соответствующий статус;
- При обработке наполненной базы информацией из отдела 18 (ИВЦ), в карточке ДСЕ фиксируется номер последнего извещения, на основе которого создана данная версия объекта;
- Для обеспечения достоверности и синхронизации данных вся информация должна проходить через проверку, после которой присваивается специальный статус;



Данные из карточки изделия автоматически передаются в основную надпись создаваемого электронного чертежа

Синхронизация атрибутов

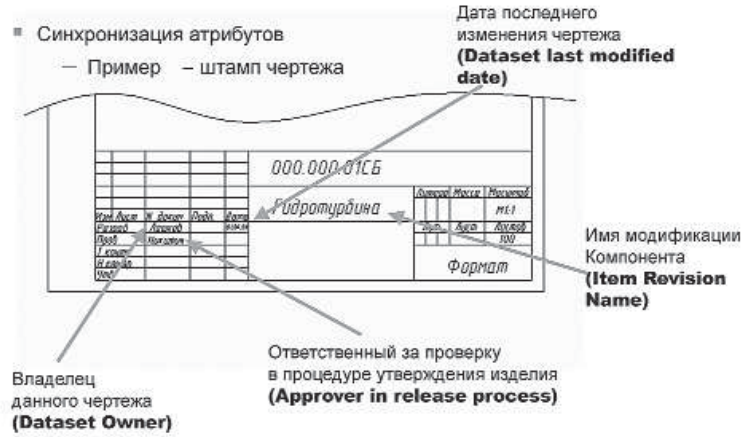


Рис. 5. Ассоциативная связь между атрибутами детали в базе данных и элементами основной надписи электронного чертежа

2.10 Основные принципы внедрения системы управления инженерными данными.

- Система ничего не сделает вместо людей.
- Люди являются основной движущей силой проекта.
- Слаженность взаимодействия участников процесса позволит создать систему, дальнейшее использование которой позволит достичь значительных результатов.
- Внедрение системы не несет революционный характер.
- Ознакомление с системой и изменение принципов работы будет носить этапный характер.
- После внедрения системы PDM она становится системой управления инженерными данными ММП им. В. В. Чернышева.
- Необходимо выпустить ряд распоряжений на первых порах заставляющих обычных пользователей работать в системе.
- Настроенная и адаптированная система является хранилищем знаний, которыми будут пользоваться следующие поколения работников предприятия.

3. Реализация процессов в системе PDM

Основой для любого высокотехнологичного производства является цифровая мастер-модель, так как именно 3D модель позволяет однозначно определить геометрию и обеспечить её точную реализацию на станках с ЧПУ. Это утверждение в настоящее время уже мало кто будет оспаривать. К тому

же ощутимый экономический эффект от применения 3D моделирования достигается уже просто за счёт сокращения количества ошибок. Однако, отметим, что максимальный эффект проявляется в том случае, если использовать его на всех стадиях производства. Здесь имеется в виду применение методики так называемого «сквозного» проектирования, которое в конечном итоге позволяет образовывать замкнутый технологический цикл. Особо следует отметить, что ещё одной немаловажной частью данной методологии сквозного 3D моделирования является PDM система, которая является связующим звеном между инженерными и производственными службами. Обеспечивая конструкторам и технологам возможность синхронизации данных по проекту и использование общих моделей и данных.

Применение данной методики дает существенный экономический эффект: сокращаются сроки создания за счёт распараллеливания работ новых изделий, оснастки для их изготовления, достигается гарантированное качество, повышается качество конструкторской и технологической документации, существенно уменьшается время подготовки программ для станков с ЧПУ, и пр. Эти можно сказать «прописные» истины давно уже являются «нормой жизни» конструкторских, технологических и производственных служб ОАО ММП им. В.В. Чернышёва. На предприятии в течение последних лет проводится внедрение систе-

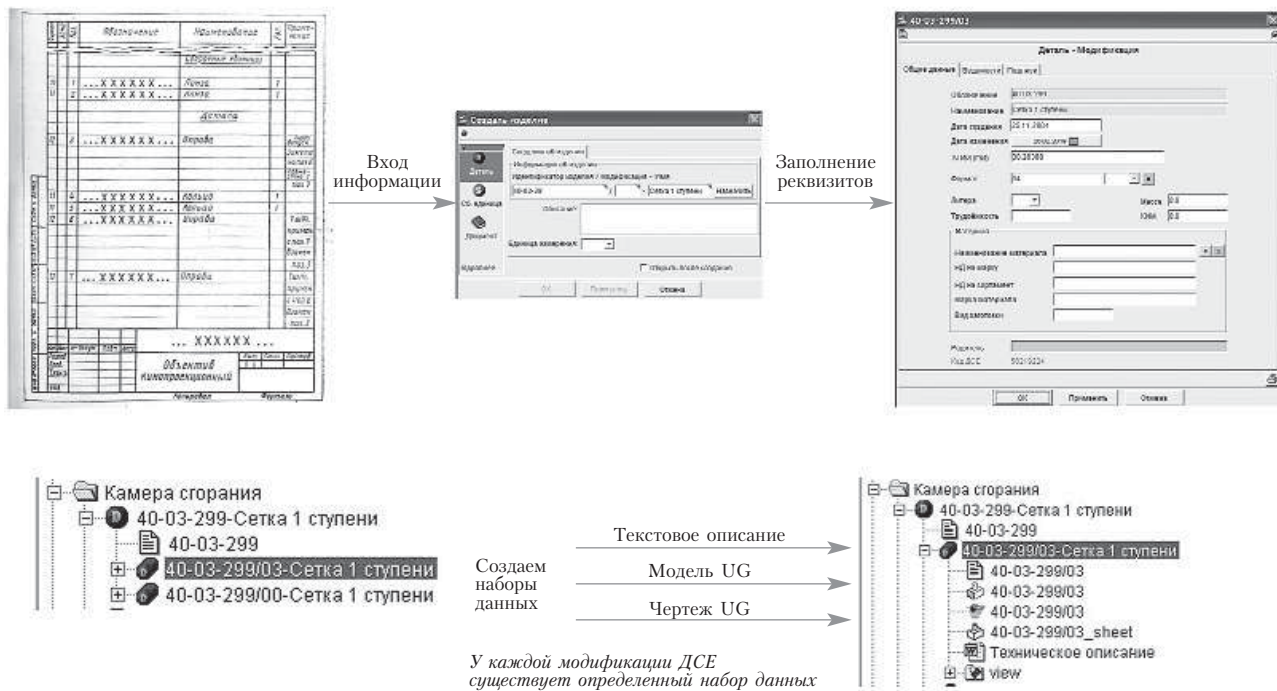


Рис. 6. Авторизация документа в системе TCE

мы автоматизированного документа технической документации, в связи с чем руководство предприятия поставило перед конструкторскими и технологическими подразделениями задачу реализации принципиально нового подхода к процессу проектирования нового изделия.

Для решения поставленной задачи было выбрано на тот момент внедряемое в производство изделие — двигатель РД 33-МК, мастер-модель представлена на рис. 7.

На предприятии уже был накоплен определенный опыт по моделированию и сборке подобного 3D макета, то данная работа послужила своего рода «продолжением» и развитием методологии сквозного моделирования. Развитие заключается как в применении новых усовершенствованных методик моделирования отдельных деталей двигателя, так и в «переосмыслении» методов создания сборок.

Хотелось бы подробнее остановиться на одном из примеров применения новых методик моделирования отдельных деталей двигателя, а именно на методике «разделённой» геометрии. Данная методика применима к такому классу сложно-поверхностных деталей как сектора сопловых лопаток и охлаждаемые рабочие лопатки.

Обычная методика моделирования заключается в создании модели сектора сопловых лопаток или рабочей лопатки с «деревом» построения обычно от 600 до более 1000 операций построения (рис. 8).

Это значит, что внести какие-либо коррективы в модель обычно очень проблематично, даже при максимальной педантичности конструктора поименовавшего каждую операцию, аккуратно организовавшего данные по слоям всё равно модель будет весьма «тяжела» для восприятия.

И как решение проблемы упрощения внесения изменений и восприятия модели в целом была применена методика «разделения» геометрии.

Кратко идея данной методике заключается в следующем: условно геометрию лопатки / сектора лопаток делят на «составляющие», каждую из которых моделируют отдельно. Затем в файле мастер-модели, куда передаётся необходимая геометрия из «составляющих», происходит своеобразная «общая сборка» модели.

Более подробно процесс применения методике на примере моделирования охлаждаемого сектора сопловых лопаток II ступени турбины проиллюстрирован на рис. 9

Помимо упрощения восприятия / модификации модели, дополнительно положительный эффект от применения данной методике был получен в конструкторско-технологическом подразделении: при проектировании оснастки для изготовления сектора, так как преобразовывать модель «моторной» детали в технологическую оказалось гораздо проще «по частям», «собирая» затем «технологические» модели сектора.

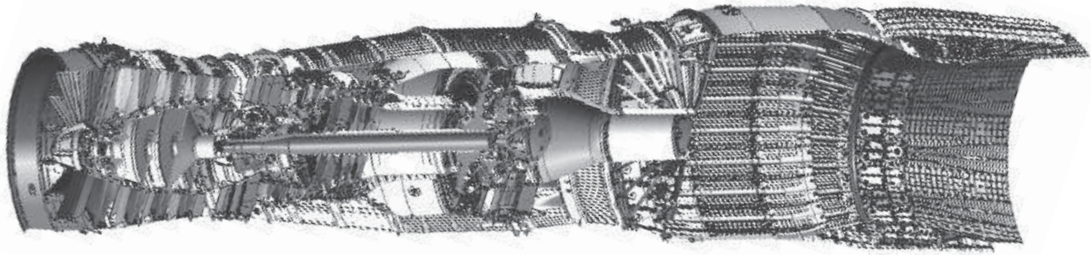


Рис. 7. Мастер-модель двигателя РД 33-МК

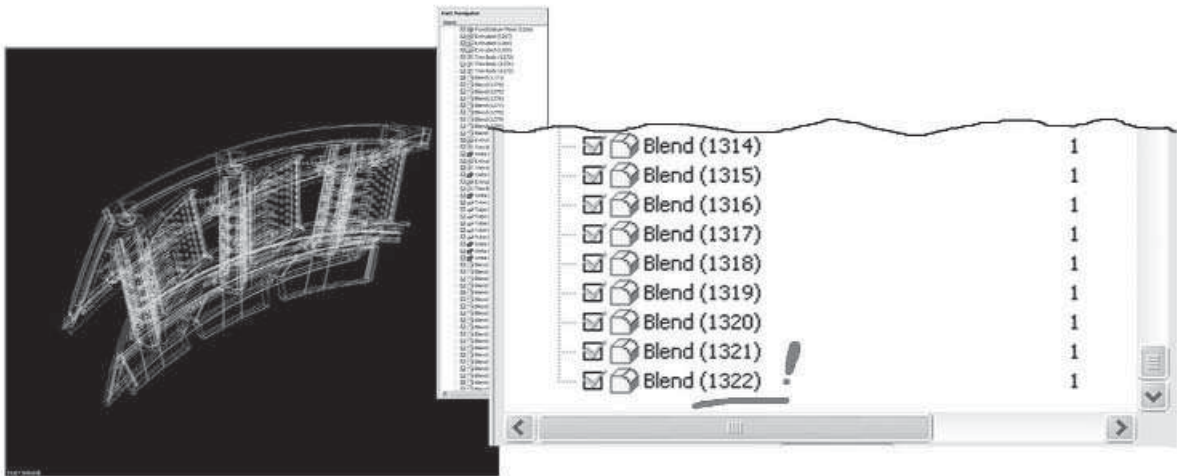


Рис. 8. «Дерево» построения модели сектора сопловых лопаток при обычной методике моделирования

Далее по технологическим моделям была получена необходимая оснастка (пресс-формы) и программы для станков с ЧПУ (рис. 10–31).

Следующие примеры применения новых методик моделирования касаются методики «сквозного» моделирования технологической оснастки, а именно – пресс-форм.

3.1 Применение методик сквозного 3D моделирования на примере рабочей лопатки 1-й ступени турбины высокого давления.

Первым примером послужит методика проектирования стержневой и модельной пресс-форм для рабочей лопатки 1-й ступени турбины высокого давления. Отметим, что и здесь также реализована сквозная цепочка: «электронная модель детали двигателя – технология изготовления технологическая оснастка для изготовления детали двигателя – программы для станков с ЧПУ – контроль на координатно-измерительной машине» (рис. 10–31).

Лопатки газовой турбины (рис. 10) являются одними из самых нагруженных деталей в двигателе. Они испытывают большие динамические и вибрационные нагрузки в условиях высоких температур в среде газового потока, имеющего высокую скорость течения. Рабочая часть лопатки

(рис. 11) имеет сложный пустотелый аэродинамический профиль со стенками переменной толщины, с внутренним оребрением и перемычками, связывающими стенки пера. Это сделано для улучшения условий охлаждения, проходящей струей воздуха, отбираемой из более холодных зон двигателя. От точности изготовления всех элементов лопатки зависит надежность и эффективная работа двигателя.

Ранее изготовление стержней и точных моделей строилось на методах лекальной технологии с применением ручного труда слесарей-лекальщиков высокой квалификации. Расчеты и проектирование чертежей производились с помощью чертежных средств (кульманов и калькуляторов).

Для того чтобы сократить сроки проектирования и изготовления было принято решение о внедрении метода сквозного проектирования и соответствующей ему технологии производства.

Первоначально на основе 3D моделей и чертежей готовой лопатки был проведен анализ поверхностей лопатки. С помощью этого анализа была определена геометрия модели рабочей лопатки и внутренней полости (стержня), так же согласованы базы для механической обработки. Затем были смоделированы объемные 3-х мерные модели стерж-

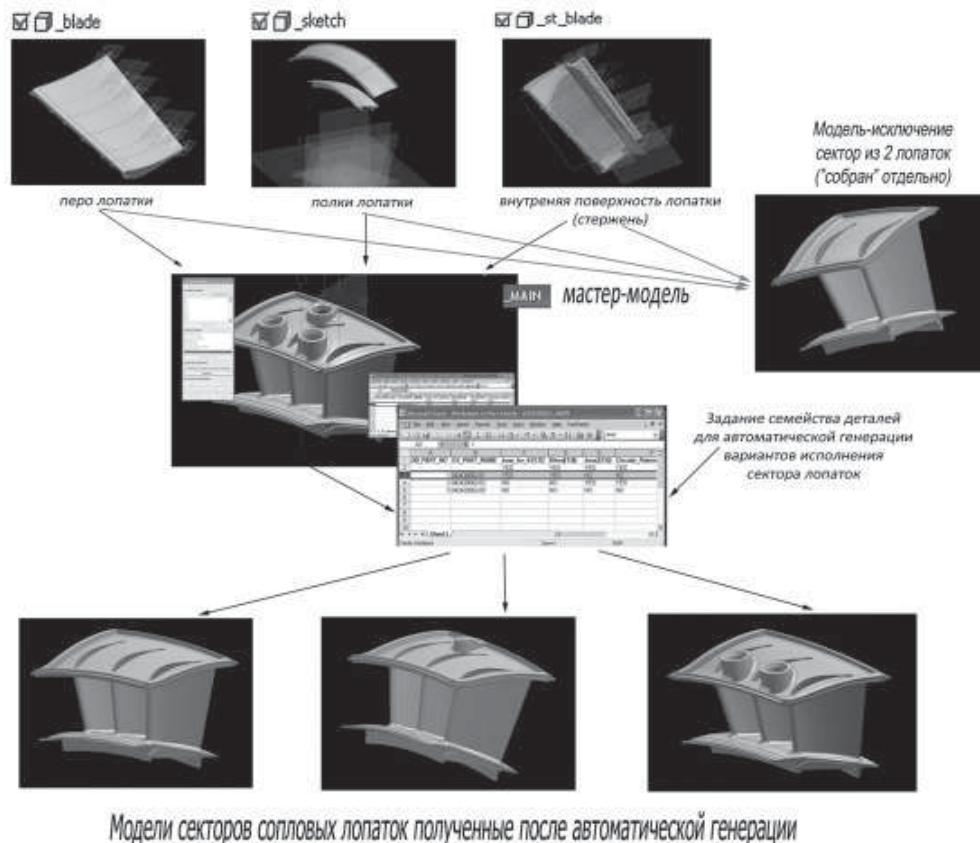


Рис. 9. Процесс моделирования сектора сопловых лопаток с использованием методики "раздельной" геометрии

жня и модели лопатки. После этого были разработаны 3-D конструкции пресс-форм. На основе объемных моделей были созданы рабочие чертежи, с учетом требований стандартов предприятия, и программы для станков с ЧПУ, что значительно ускорило работу цеховых технологов.

Применение трехмерного моделирования на этапе проектирования и выполнения конструкторской документации пресс-форм позволило избежать ошибок, которые возможны при создании таких сложных конструкций.

Пресс-форма является высокотехнологическим продуктом и требует для своего изготовления не только высокий профессионализм рабочих, но и широкое применение современных средств механообработки и контроля.

В настоящее время, изготовленные пресс-формы запущены в производство. Из изготовленных моделей получены готовые рабочие лопатки 1-й ступени.

Применение технологии получения готового изделия от 3D-модели до готовой детали в металле позволило существенно сократить сроки проектирования и изготовления пресс-формы. Значительно уменьшилось количество вспомогательной

оснастки, что существенно сократило затраты на производство.

3.2 Применение методик сквозного 3D моделирования на примере сектора сопловых лопаток 1-ой ступени турбины высокого давления.

Следующим примером применения новых методик сквозного 3D моделирования послужит сектор сопловых лопаток 1-ой ступени турбины высокого давления. Отметим, что и здесь также реализована сквозная цепочка: «электронная модель детали двигателя — технология изготовления — технологическая оснастка для изготовления детали двигателя — программы для станков с ЧПУ» (рис. 32–37).

Хотелось бы сделать небольшое отступление, в котором более подробно описать технологию изготовления сектора сопловых лопаток. Это поможет лучше понять суть применяемой нами методики проектирования данных пресс-форм.

Конструкция сектора сопловых лопаток это сложная сборка, состоящая из ряда деталей, собираемых в узел с применением сварки и запрессовки входящих деталей. Основой конструкции сектора служит отливка из жаростойкой стали. Для изготовления отливки получают восковые модели отдельных лопаток, из которых собирается



Рис. 10. Рабочая лопатка 1-ой ступени

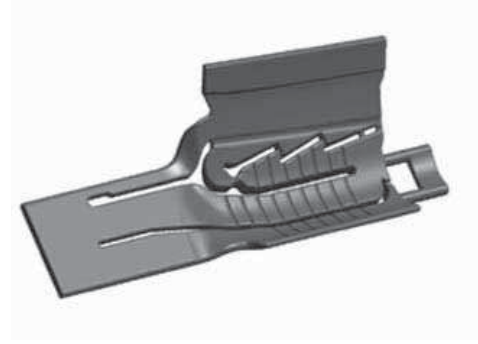


Рис. 14. Объемная 3D-модель стержня



Рис. 11. Условно прозрачная модель лопатки

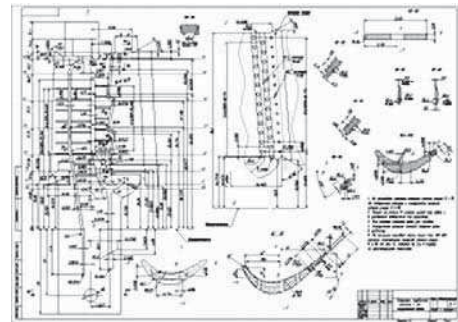


Рис. 15. Теоретический чертеж термостойкого стержня



Рис. 12. Оболочка для отливки лопаток

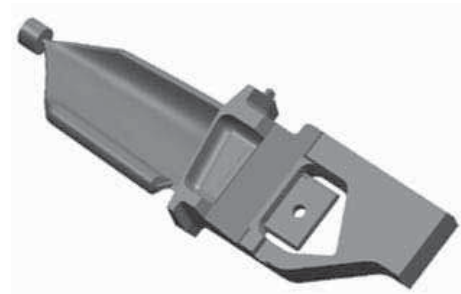


Рис. 16. Объемная 3D-модель лопатки

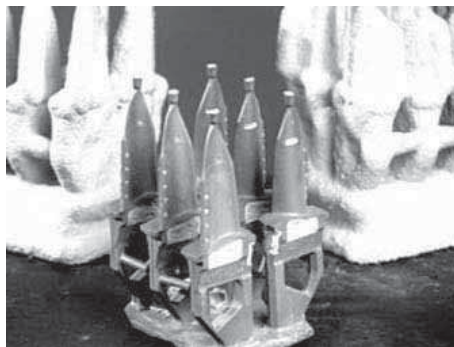


Рис. 13. Блок отлитых лопаток

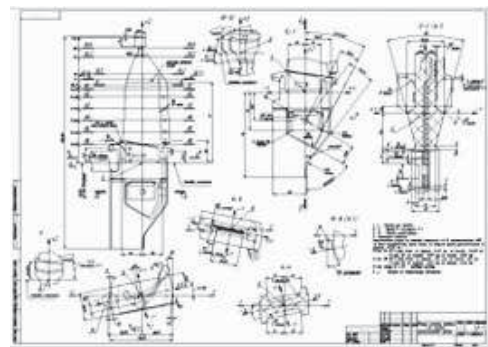


Рис. 17. Теоретический чертеж модели

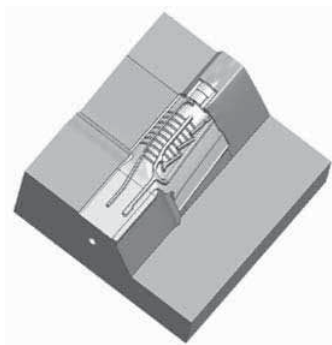


Рис. 18. 3-D модель матрицы пресс-формы

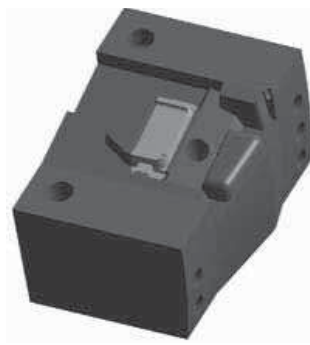


Рис. 22. 3-D модель ложеента замка

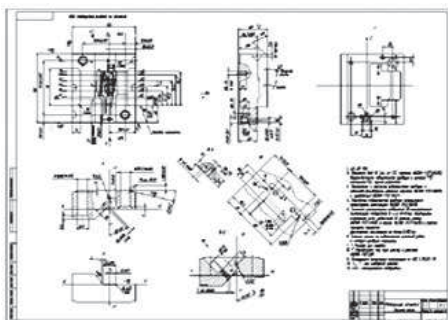


Рис. 19. Чертеж матрицы

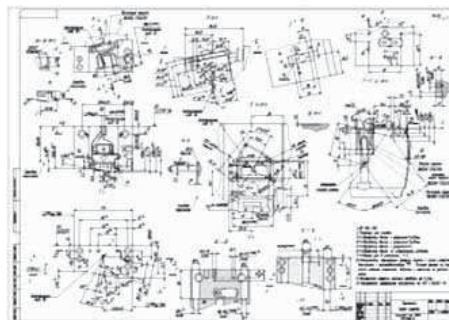


Рис. 23. Чертеж ложеента замка

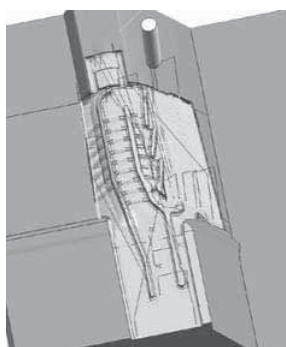


Рис. 20. Обработка на станке с ЧПУ

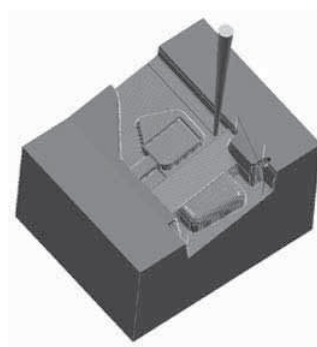


Рис. 24. Обработка на станке с ЧПУ

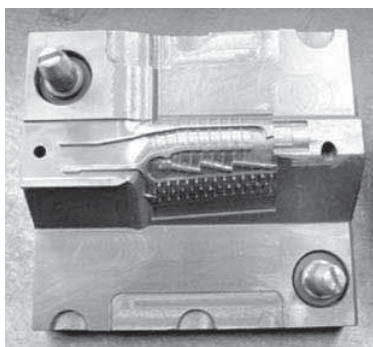


Рис. 21. Деталь в металле

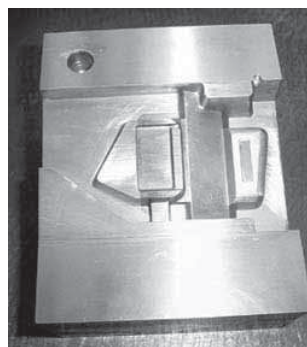


Рис. 25. Деталь в металле

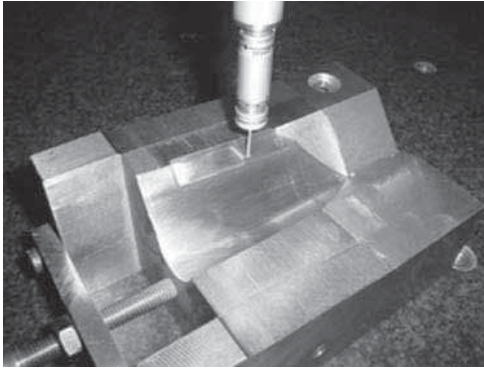
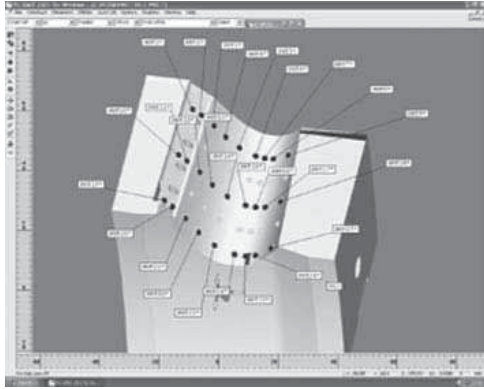


Рис. 26. Проверка матрицы модельной пресс-формы на мерительной машине

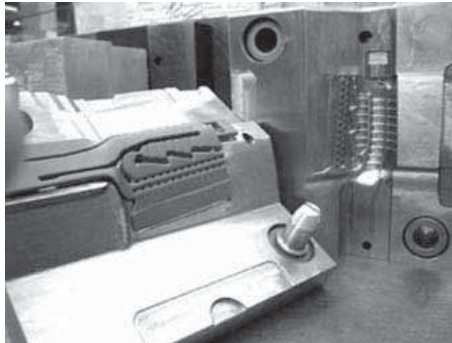


Рис. 27. Стержневая пресс-форма

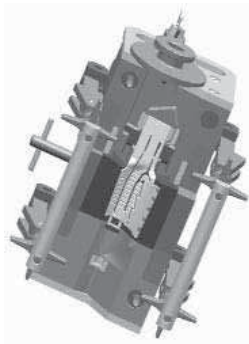


Рис. 28. Модельная пресс-форма в сборе со стержнем

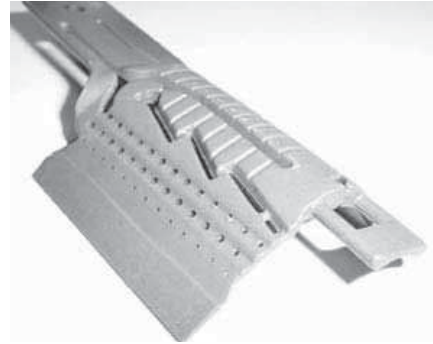


Рис. 29. Стержень, формирующий внутреннюю полость



Рис. 30. Модель лопатки

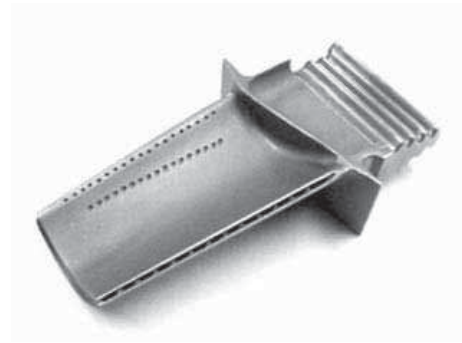


Рис. 31. Окончательная лопатка перед установкой на двигатель

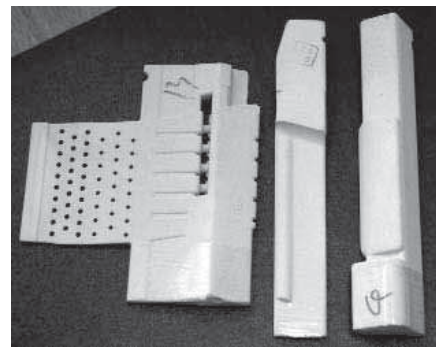


Рис. 32. Керамические стержни

целиковая модель сектора. Вся технология изготовления сектора построена на методах точного литья по выплавляемым моделям в вакуумных печах. Для получения точных моделей применяют термостойкие стержни, оформляющие внутренние поверхности отливки. Все используемые для отливки элементы учитывают необходимые усадки и припуска, технологические базы для механической обработки и последующего контроля.

Сектор сопловых лопаток 1-ой ступени турбины высокого давления один из самых термически нагруженных узлов в двигателе. Он работает в среде газового потока высокой скорости течения и температуры, истекающего из камеры сгорания и испытывает большие динамические и вибрационные нагрузки. Рабочая часть сектора это решётка из 3-х пустотелых лопаток определенного аэродинамического профиля, со стенками переменной толщины, внутренним оребрением и перемычками, разделяющих внутреннюю полость на три части. Для улучшения охлаждения стенки пера имеют многочисленные ряды мелких отверстий, обеспечивающих конвективно-плёночное охлаждение наружных и внутренних зон пера от перегрева струёй воздуха, отбираемой из холодных областей двигателя и проходящих через перо для его охлаждения. Всё это повышает надёжность и эффективность работы двигателя.

Ранее применяемая технология изготовления оснастки для стержней и точных литейных моделей, как и в выше описанном случае, строилась на обработке по лекалам с применением ручного труда слесарей высокой квалификации. Расчёты и проектирование также выполнялись с помощью чертёжных средств и компьютеров, использовавшихся, как правило, для графических построений. Трудоёмким был и контроль чертежей выпущенной оснастки. Возникали определённые трудности при изменении чертежей и увязке размеров входящих узлов и инструмента.

На основе анализа конструкции сектора сопловых лопаток и технологической оснастки для его производства (пресс-формы), разработана структура и выбраны методы решения задачи по «завязке» электронных моделей технологической оснастки с электронной моделью детали в макете двигателя.

Также был сделан вывод, что все варианты пресс-форм для моделей лопаток сектора могут быть получены на основе «дерева моделей», где «корнем» является головной файл сектора лопаток, содержащий общие для всех лопаток сектора эскизы и элементы геометрии. Далее от «корня» были созданы связанные с ним файлы моделей лопаток сектора.

Уже на этом начальном этапе проектирования применяемый нами метод позволил распараллелить работу над проектом, что существенно сократило общие сроки. На этом же этапе были получе-

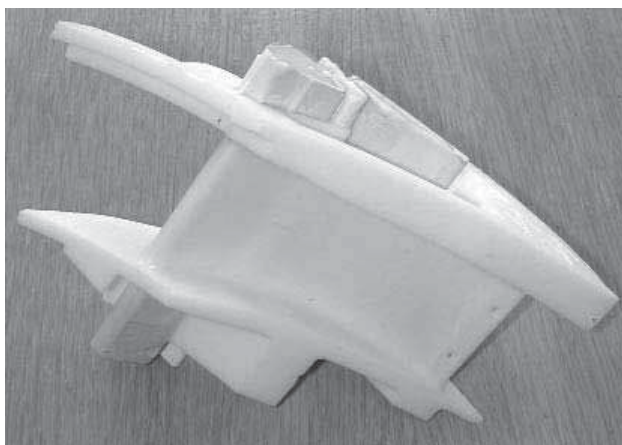


Рис. 33. Восковая модель лопатки сектора со стержнями

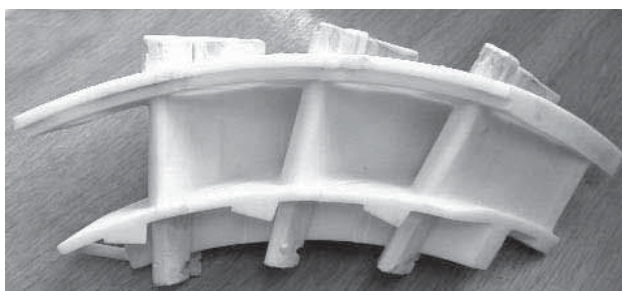


Рис. 34. Восковая модель сектора со стержнями

ны первые результаты от применения выбранной нами методики: при изменении какого — либо размера в эскизах головного файла проходило автоматическое изменение геометрии во всех трех файлах моделей лопаток сектора, это сократило как время проведения изменений, так и практически исключило возможность «пропуска» изменений.

По такой же методике были созданы и связаны все файлы технологической оснастки — наборов вкладышей и ложементов, матриц спинки и крыта. Для них «корнем» являются файлы, содержащие общие эскизы для каждого типа оснастки. На основе этих файлов также были созданы связанные с ними и файлом определённой модели лопатки сектора файлы оснастки. Это привело к расширению своеобразной «древовидной» структуры (рис. 36).

Одним из основных достоинств выработанного нами метода проектирования и разработки является то, что проектируемая геометрия может быть передана другому элементу оснастки независимо от места детали в сборке, т. е. может быть реализована и стратегия «от частного к общему» (передачи геометрии между сборочными единицами), и стратегия «от общего к частному» (возможна передача геометрии в сборочную единицу непосредственно со сборки).

Выработанная нами связанная (древовидная) структура и связь её через «корневой» файл с

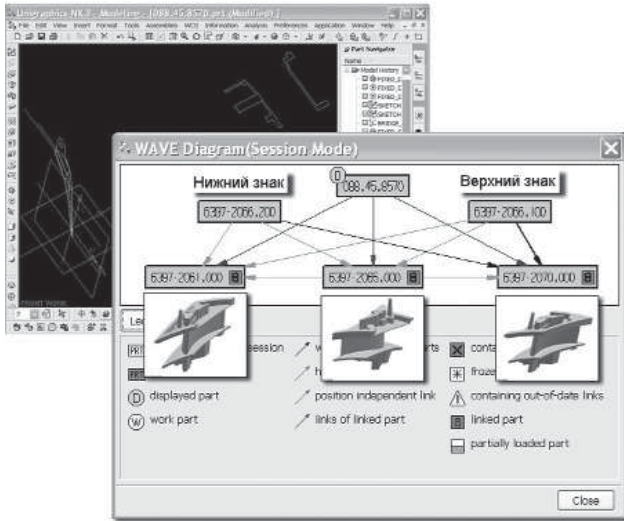


Рис. 35. «Корневой» файл и полученное на его основе «дерево» моделей лопатки сектора

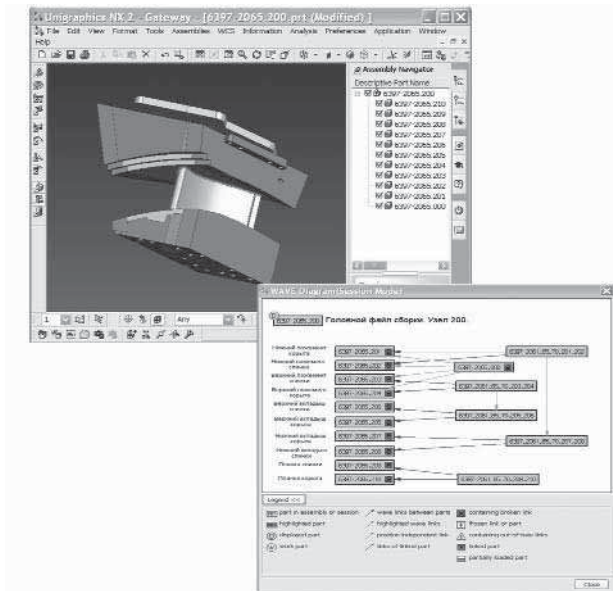


Рис. 36. Структура связей и сборка одного из сборочных узлов пресс-формы модели лопатки сектора

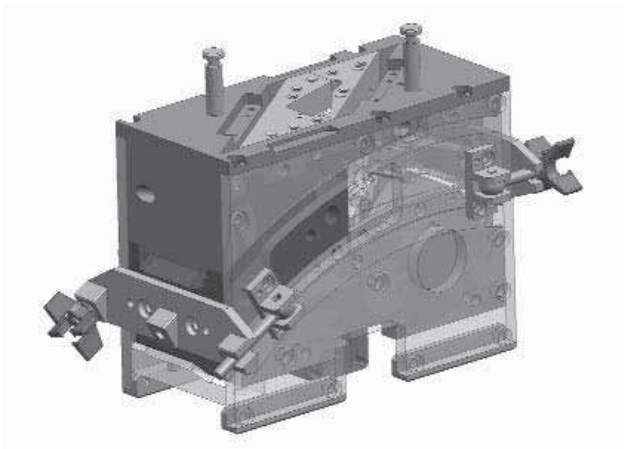


Рис. 37. 3D сборка модельной пресс-формы

файлом сектора сопловых лопаток в электронном макете двигателя позволит в дальнейшем существенно сократить время внесения изменений в оснастку и уменьшить процент возможных ошибок в оснастке при изменении сектора лопаток в электронном макете двигателя. Данная структура также легко была внесена в систему автоматизированного документооборота технической документации внедряемой на предприятии.

Следует особо отметить, что благодаря единой среде ведения проекта — ТСЕ, своевременно отслеживались все изменения в данных по всей цепочке любого из представленных проектов: от конструктора к технологу и далее на расчёте управляющих программ на станки с ЧПУ. В конечном итоге это привело к существенному снижению затрат средств и времени на проект в целом.

Литература

1. Зрелов В.А. Отечественные газотурбинные двигатели. Основные параметры и конструктивные схемы: Учебное пособие. — М.: Машиностроение, 2005. — 336 с.
2. Братухин А.Г., Язов Г.К., Карасев Б. Е. и др.; Современные технологии в производстве газотурбинных двигателей. — М.: Машиностроение, 1997. — 416 с
3. Демин Ф. И., Проничев Н.Д., Шитарев И.Л. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей: Учебное пособие. — М.: Машиностроение, 2002. — 328 с.
4. Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели. — М.: ООО Издательский дом «МВМ», 2003. — 264 с.
5. Судов Е.В., Левин А.И., Барабанов В.В., Давыдов А.Н. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России — М.: ВИМИ, 2002, 127 с.
6. P50.1.031-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции. Госстандарт РФ 2001 г.
7. ГОСТ 2.102. — 68. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов.
8. P50.1.028-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. Госстандарт РФ, 2001 г.
9. P50-601-35-93. Рекомендации. Проектирование и разработка продукции с учетом требований стандартов ИСО 9000. ВНИИС, Москва, 1995 г.
10. ГОСТ Р ИСО 10303-1-99. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными

ми. Часть 1. Общие представления и основополагающие принципы.

11. *ГОСТ Р ИСО 10303-41-99*. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 41. Интегрированные обобщенные ресурсы. Основы описания и поддержки изделий.

ГОСТ Р ИСО 10303-43-2002. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 43. Интегрированные обобщенные ресурсы. Представление структур.

ГОСТ Р ИСО 10303-44-2002. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 44. Интегрированные обобщенные ресурсы. Конфигурация структуры изделия.

ГОСТ Р ИСО 10303-45-2000. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представ-

ление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 45. Интегрированные обобщенные ресурсы. Материалы.

ГОСТ Р ИСО 10303-46-2002. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 46. Интегрированные обобщенные ресурсы. Визуальное представление.

ГОСТ Р ИСО 10303-49-2002. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 49. Интегрированные обобщенные ресурсы. Структура и свойства процесса.

ГОСТ Р ИСО 10303-203-2002. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 203. Протокол применения. Проект изделия с управляемой конфигурацией.