

УДК 658.512.4.011.56: 621.9.06 + 621.9.02

В.С. КРИВЦОВ, В.Е. ЗАЙЦЕВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ АВИАЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

Рассмотрены проблемы внедрения информационных технологий в современное авиационное производство, задачи, требующие решения при переводе авиационных предприятий на путь комплексной автоматизации. Предложено решение задач технологической подготовки производства на основе информационных знаниеориентированных технологий.

ИПИ-технологии, информационные технологии производства, единое информационное пространство, автоматизация технологической подготовки производства

Машиностроение, а тем более авиастроение, – ведущая отрасль Украины. В настоящее время машиностроение Украины находится в критическом положении, когда после распада СССР и последовавшего за этим резкого спада экономики в 90-х годах большинство предприятий потеряло экономические связи, создававшиеся десятилетиями, потеряло кадровый состав, приостановилась смена поколений на предприятиях и в научно-исследовательских организациях, остановилось обновление парка оборудования. На этапе перехода от резкого падения к стабилизации, подъему и развитию необходима обоснованная научно-техническая политика развития предприятий и оптимальное управление при ее реализации.

Научно-техническая политика в области авиастроения – это действия, направленные на реализацию поставленных целей в области производства современных конкурентоспособных самолетов на определенном, достаточно длительном интервале времени, при сложившихся на данный период экономических, социальных и политических условиях. Длительность периода зависит от устойчивости экономических условий.

Развитие современной экономики характеризуется высокой конкуренцией на рынке товаров и услуг. При решении задач, связанных с удержанием позиций предприятия на рынке, производители сталкиваются с необходимостью снижения себестоимости выпускаемой продукции.

В основном это связано с экономией ресурсов (научных, кадровых, финансовых, производственных технологий и технологических машин, информационных технологий инжиниринга, нормативных, организационных, информационных и временных), привлекаемых для реализации конкретного проекта или программы на всех стадиях жизненного цикла изделий, от разработки до утилизации. Это подразумевает также сокращение цикла изготовления продукции и создание условий для более тесной кооперации производителей.

Важную роль в решении проблем ресурсосбережения и кооперации производителей играют информационные технологии [1, 2].

Производство сложных наукоемких изделий авиастроения сегодня невозможно без обеспечения их информационной поддержкой на всех стадиях жизненного цикла. К информационной поддержке предприятия относится целый ряд вопросов, включающий создание баз знаний проекта; автоматизацию процессов проектирования и конструирования; технологической подготовки производства; автоматизацию управленческой деятельности предприятий; создание электронной проектной, производственной и эксплуатационной документации; внедрение автоматизированных систем заказа запасных частей и т.д., утилизацию отработавших свой срок изделий, т.е. весь комплекс задач, именуемый **Ин-**

формационной Поддержкой процессов жизненного цикла Изделия (ИПИИ или CALS-технологиями).

Основой ИПИИ является Единое Информационное Пространство (ЕИП), которое определяется как совокупность распределенных баз данных, в которых содержатся сведения об изготавливаемых изделиях, производственных и материальных ресурсах предприятий, технологических процессах, используемых при производстве изделий, данные по предприятиям-смежникам, участвующим в Жизненном Цикле (ЖЦ) изделия, и другие сведения.

В ЕИП реализуются все информационные процессы, которые сопровождают изделие на всем пути его ЖЦ. При этом любая информация, возникшая на каком-либо из этапов жизненного цикла изделия, сохраняется в ЕИП и становится доступной в рамках прав доступа любому из участников какого-либо этапа ЖЦ. Такое положение дел позволяет избежать дублирования информации, несанкционированного изменения документации, значительно сократить или полностью исключить ошибки при выполнении работ над изделием, сократить затраты финансовых, трудовых, временных и других ресурсов.

Как пример одной из первых реализаций указанного принципа на предприятиях авиационного комплекса Украины можно привести внедрение на АНТК «Антонов» технологии «Полного электронного определения изделия» (ПЭОИ или EPD – «Electronic Product Definition») фирмы Computer Vision. Ключевая идея ПЭОИ – создание единой математической модели разрабатываемого изделия. С этой моделью взаимодействует каждый участник всего ЖЦ изделия, начиная с момента исследования потребности рынка в изделии с конкретными потребительскими свойствами и кончая его утилизацией по истечении срока эксплуатации. При этом работа каждого отдельного участника исключает помехи действиям других участников, исключается неоднозначность определения изделия, т.к. имеется только одна актуальная копия данных, представляющих отдельную деталь, подборку, шаг анализа и расчета технических параметров или траекторию режущего инструмента для обработки на станках с ЧПУ.

Созданные в ПЭОИ данные используются в различных формах для построения виртуальной версии изделия:

- сборка на экране сложных узлов и агрегатов, включая электрические и гидравлические магистрали и соединения;
- проверка на конфликты и структурную целостность изделия;
- проверка основных механических, электрических, гидравлических и других параметров изделия;
- моделирование процессов установки изделия у заказчика;
- данные для обучения пользователей;
- данные для технического обслуживания;
- данные по утилизации отслужившего срок службы изделия.

Организация работ с ПЭОИ в режиме виртуального предприятия дает возможность ему концентрироваться на главных задачах своей профессиональной ориентации, передавая проектирование и изготовление комплектующих на другие предприятия. Кроме того, такая организация снимает множество конфликтных ситуаций среди участников процесса (специалистов по маркетингу, дизайнеров, конструкторов-проектировщиков изделия, подготовки производства, производства, сервиса, снабжения, сбыта, экономистов, финансистов) и дает неограниченные возможности по расширению полномочий всем участникам.

Информация в ЕИП формируется, преобразуется, хранится и передается при помощи технических средств и специализированного программного обеспечения. К техническим средствам относятся персональные ЭВМ, специализированные графические станции, периферийные устройства, серверное оборудование, локальные и глобальные компьютерные сети и т.п. К программным средствам относятся:

- инструментальный комплекс технических и программных средств автоматизированного проектирования и конструирования изделий (CAD);
- системы инженерного анализа (CAE);

- системы автоматизации технологической подготовки производства (CAM);
- система управления проектными и инженерными данными (PDM);
- системы автоматизации процессов планирования и управления (MRP/ERP);
- методики анализа процессов проектно-технологической, производственной и управленческой деятельности и экспертные системы, предназначенные для помощи в принятии решений и др.

Так как в ЕИП первичной является техническая информация в электронном виде, то действующая сегодня нормативная база вступает в противоречие с требуемыми электронным представлением изделия данными. Поэтому для устранения разночтений между бумажным и электронным представлением изделия, однозначности определения электронной технической документации на изделие необходимо привести старую нормативную базу к современным требованиям представления информации. В первую очередь это касается таких систем стандартов, как ЕСКД, ЕСТД, ЕСТПП, и многих других. Причем изменения в существующую нормативную базу необходимо вносить уже сейчас – нововведения уже вступают с существующими стандартами в противоречие.

На сегодняшний день цель, к которой стремятся предприятия машиностроительной отрасли, – создание компьютерного интегрированного производства. Под компьютерным интегрированным производством понимается производственная система, в которой все операции с информационными потоками на всех этапах ЖЦ, от идеи до реализации продукции потребителю, автоматизированы на основе компьютерных технологий.

Осуществление информационной связи между подразделениями и предприятиями-партнерами в рамках виртуального предприятия осуществляется на основе корпоративных и глобальных информационных сетей в единых принятых форматах передачи данных.

Для реализации всех преимуществ от применения современных информационных технологий на

современном авиационном производстве недостаточно простое наличие на предприятии перечисленных выше компонентов.

Работа в ЕИП на предприятии подразумевает:

- системную реализацию принципов ИПИ-технологий;
- применение программных продуктов, изначально ориентированных на взаимодействие через ЕИП;
- использование безбумажных технологий при обмене информацией в пределах отдельных этапов ЖЦ изделия и между этапами ЖЦ;
- создание электронных технических руководств и прочей электронной эксплуатационной документации, которая будет сопровождать изделие в течение всего ЖЦ;
- и главное – реализацию принципов и процессов ИПИ-технологий на основе международных и национальных стандартов.

Системы, не отвечающие хотя бы одному из перечисленных критериев, могут обеспечить лишь частичную автоматизацию, с вытекающими отсюда последствиями.

В связи с тем, что на практике на предприятиях на первых этапах внедрения компьютерных технологий не существовало единой скоординированной политики, в отделах и цехах авиационных предприятий, на предприятиях-партнерах и предприятиях-смежниках применяется разнообразное программное обеспечение. К сегодняшнему дню сделаны большие наработки, и отказываться от использования существующих систем предприятия не собираются. Поэтому остро стоит проблема совместимости протоколов обмена между программными продуктами различных фирм-производителей.

Кроме того, при использовании многих существующих форматов обмена между разными CAD/CAM/CAE-системами происходит потеря информации об объекте производства или ее искажение.

В настоящее время разрабатываются стандарты обмена информацией между системами, которые обеспечили бы полноту и корректность при обмене. К таким стандартам относится стандарт STEP (ISO

10303). STEP (STandard for the Exchange of Product model data) – неофициальное название стандарта ISO 10303. ISO 10303 – международный стандарт для компьютерного представления и обмена данными о продукте. Цель стандарта – дать нейтральный механизм описания данных о продукте на всех стадиях его ЖЦ, не зависящий от конкретной системы. Природа такого описания делает его подходящим не только для нейтрального файла обмена, но и в качестве базиса для реализации и распространения баз данных о продукте, а также для архивирования.

Современное авиационное производство – довольно сложное объединение территориально разрозненных предприятий различного профиля, объединенных общей целью создания самолета определенного типа. Каждое из предприятий, входящих в производство, – сложный объект. Поэтому проведение комплексной автоматизации сразу по всем направлениям – проектирование, конструирование, производство, управление и т.д. – чрезвычайно затруднено и экономически, и организационно, и технически.

На практике для перевода таких сложных производственных комплексов, как авиационные, применяются только поэтапная автоматизация: сначала оснащение рабочих мест проектировщиков и производственников системами автоматизированного проектирования, анализа и технологической подготовки производства (CAE/CAD/CAM), затем внедрение систем управления проектными и инженерными данными (PDM) и, наконец, внедрение систем автоматизации процессов планирования и управления (MRP/ERP). Такая схема поэтапной автоматизации позволит сохранить все лучшее, что было наработано на производстве годами, и перенести существующие наработки на новые инструментальные средства. При этом необходимо иметь четкий план автоматизации производства, не забывая про программную совместимость устанавливаемых систем и совместимость по форматам обмена между системами.

Основной трудностью, связанной с комплексной автоматизацией современного предприятия, является

автоматизация технологической подготовки производства, в частности, этапов, связанных с интеллектуализацией процессов принятия решений. Как правило, большинство действий технологов основано на эмпирических данных, неформализованных знаниях, личном опыте работы на конкретном производстве.

Актуальность создания для производственной сферы информационной знаниеориентированной технологии, позволяющей осуществить комплексный подход при проектировании технологических процессов, и применение которой не ограничивалось бы конкретным предприятием и конкретным типом производства, неоспорима. Задача состоит в построении комплексного метода, состоящего из следующих компонентов: информационное поле технологических цепочек частных технологических процессов, его структурная схема; объединенная структура частных технологических процессов; алгоритм выбора структурных схем технологических процессов изготовления деталей; функциональная схема интеллектуальной знаниеориентированной системы поддержки принятия технологических решений.

Для решения этой задачи специалистами Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» предлагается схема интеллектуальной знаниеориентированной системы поддержки принятия технологических решений – «Интеллектуальная система поддержки принятия решений (ИСППР) «КВАНТ» для технологической подготовки авиационного производства» [3 - 13] (рис. 1).

Система использует мультиагентную технологию, интеграцию с базами данных и базами знаний существующих систем ИПИ-технологий.

Выбор оптимального решения достигается за счет интегрированного информационно-технологического взаимодействия с непрерывным определением экономической эффективности технологии и технико-экономическим анализом рисков и затрат. Применение мультиагентной технологии позволяет максимально интегрировать систему принятия ре-



Рис. 1. Архитектура ИСППР «КВАНТ» для технологической подготовки авиационного производства

шений и существующие базы знаний различных систем. При этом отдельный уровень агента позволяет учитывать особенности реального производства и реального процесса в условиях реального времени (on-line).

Учитывая сложность проектируемого объекта и принципиальную неустранимость неопределенности и нечеткости информации, имеющих в распоряжении технолога на этапе технологической подготовки производства, необходимым является анализ возможностей новых информационных технологий и реализация на их основе новых методов и средств, обеспечивающих направленный поиск оптимальных вариантов и обоснование принимаемых проектных решений. Система позволяет формализовать знания, опыт и интуицию экспертов, использующих традиционные технологии, и, учитывая возможности новых информационных технологий, помочь принять наиболее приемлемое и рациональное технологическое решение, которое отвечало бы необходимым производственным ограничениям и требованиям.

Входной информацией системы являются сообщения экспертов данной предметной области,

показания датчиков и различных измерений, которые представляют исходные знания. Сообщения экспертов базируются на их знаниях и опыте, которые используются при формировании базы знаний. Совместно с технологом-экспертом для облегчения формирования сценарных примеров обучающих знаний может работать специалист по инженерии знаний. Сценарные примеры причинно-следственных связей в цепочках логического вывода следствий из посылок, а также известные закономерности данной предметной области также являются исходными знаниями. Накопление исходных знаний осуществляется подсистемой обучения, связанной с экспертами-производственниками посредством многофункционального интерфейса. На основе полученной базы знаний подсистема логического вывода, используя сформированную базу знаний, осуществляет этот процесс при помощи соответствующих алгоритмов. Подсистема объяснения позволяет вывести на экран обоснование действий, раскрывая цепочку смоделированных причинно-следственных рассуждений, приведшую к данному целевому решению.

Процесс функционирования ИСППР является итерационным и включает следующие шаги: обобщение и анализ знаний; настройка на решаемую задачу; генерация проектного решения; анализ и оценка альтернативы; оптимизация и выбор приемлемого решения; сравнение с техническим заданием, экспертная и вероятностная оценка и принятие окончательного решения; генерация комплекта выходной технологической документации.

Использование данного подхода позволит предприятиям унифицировать процессы проектирования технологической подготовки производства и технологических процессов изготовления продукции; стандартизировать документооборот как внутри предприятия, так и между предприятиями; охватить все подразделения и службы единой системой управления технологической подготовкой производства; создать конкурентоспособное изделие наивысшего качества с минимальными затратами времени и ресурсов; уникальной гибкости, которая обеспечит настройку на проектирование техпроцессов различных технологических переделов, в том числе и принципиально новых; создать единую информационную модель системы конструкторско-технологической подготовки производства с дальнейшей интеграцией в систему высшего ранга – виртуальное предприятие.

Необходимо отметить, что любая комплексная автоматизация производства в целом или каждого входящего в него предприятия в отдельности невозможна без обучения персонала новым методам работы [14, 15].

Опыт развития автоматизированных систем показывает, что экономичная автоматизация может быть только комплексной автоматизацией. Частичная автоматизация может быть лишь этапом. Более того, всякая частичная автоматизация на предприятии должна вписываться в концепцию комплексной автоматизации. Поскольку современное предприятие осуществляет деятельность по всем этапам ЖЦ изделия, то и комплексная автоматизация в перспективе должна охватывать все этапы ЖЦ изделия.

Одной из главных задач комплексной автоматизации

является задача уменьшения длительности производственного цикла изготовления изделия [16 - 19]. Этого можно добиться путем сокращения длительности выполнения каждого этапа, уменьшения времени согласования между этапами, уменьшения количества возвратов полученных решений для дополнительной коррекции и, наконец, переходом от последовательного метода выполнения этапов к параллельному (т.н. *concurrent engineering*).

При последовательном методе выполнения этапов все этапы производственного цикла изделия выполняются последовательно (рис. 2, а). И время выполнения заказа определяется суммой времени выполнения каждого этапа.

Идеология *concurrent engineering* предполагает не только совмещение выполнения этапов изготовления изделия, но и участие всей «команды» проектантов в решении функциональных задач каждого этапа, сокращение или отсутствие межэтапных итераций (рис. 2, б). Программно-технической поддержкой методики является локальная сеть (Intranet) виртуального предприятия с общим доступом к базам данных и знаний.

Компьютерная сеть современного предприятия может быть достаточно сложной из-за целого комплекса решаемых задач. Современное оборудование и технологии позволяют за относительно невысокую стоимость создать надежную, скоростную и эффективную компьютерную сеть предприятия, способную обрабатывать большие объемы информации.

Традиционно считается, что слабым местом любой компьютерной сети является пропускная способность каналов связи. Однако это не совсем верно. Эффективность работы компьютерной сети напрямую зависит от эффективности работы ее пользователей.

Оптоволоконная технология остается единственной альтернативой при построении магистральных каналов связи, объединяющих территориально разделенные корпуса (объекты) предприятия. Она позволяет при больших материальных затратах на установку значительно сократить затраты на будущую

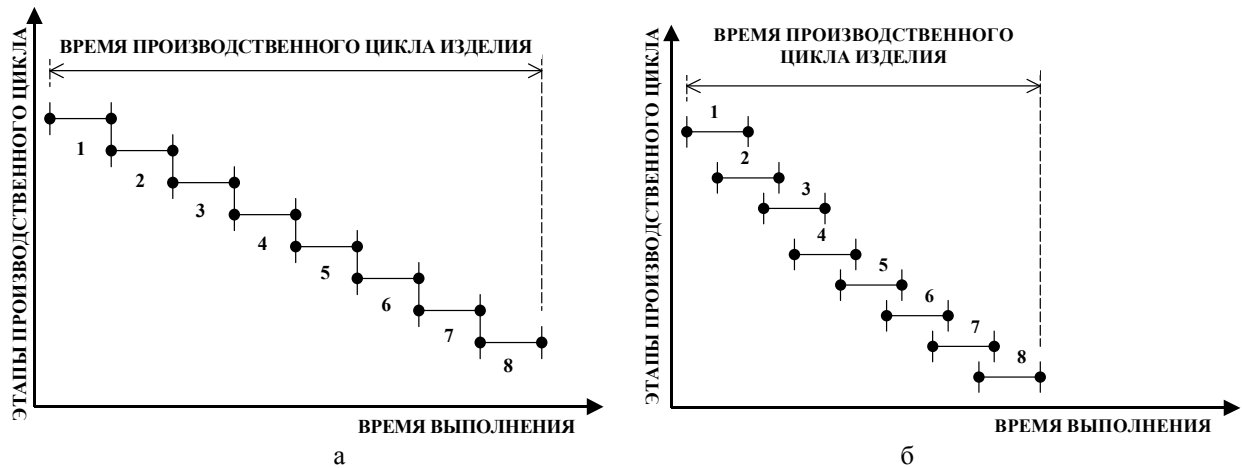


Рис. 2. Время производственного цикла изделия при последовательной реализации этапов (а) и совмещенном проектировании (б) :

1 – маркетинг; 2 – проектирование изделия; 3 – проектирование технологических процессов; 4 – материально-техническое обеспечение; 5 – производство; 6 – контроль и испытания; 7 – хранение; 8 – сбыт

эксплуатацию, поскольку не требует дополнительных ресурсов предприятия в виде электрической энергии на питание усилителей. Оптоволоконная линия связи позволяет передавать информацию со скоростью 100 Мбит/с и выше. Существенным преимуществом оптоволоконной линии является ее дальнейшая расширяемость.

Любая работающая система строится по иерархическому признаку. Компьютерная сеть не является исключением, поэтому проблема объединения производственных комплексов между собой всегда стоит остро. Главной сложностью является расстояние, которое может разделять филиалы между собой. Стандартным и оптимальным решением является использование Internet для связи филиалов между собой. Фирмы – поставщики услуг Internet имеют хорошие высокоскоростные каналы связи. Однако всегда остается проблема «последнего километра». Перед обычным пользователем Internet всегда стоит задача получения максимально производительного канала связи с Internet. А поскольку в данном случае предприятие является пользователем Internet, то перед ним стоят те же задачи и нельзя рассчитывать на высокоскоростную связь между филиалами. Следовательно, компьютерная сеть должна учитывать эту особенность в своих правилах организации. Вложив это требование в техническое

задание на проектирование информационной системы, можно частично решить эту проблему. Вторым решением задачи получения надежной и высокоскоростной связи филиалов является использование соответствующего оборудования связи между филиалом и поставщиком услуг Internet.

Рассмотренные выше средства позволяют решить проблему связи филиалов между собой. В данном случае при использовании Radio-Ethernet предприятие является клиентом фирмы – поставщика услуг Internet и платит только за услуги, снимая с себя все трудности, связанные с обеспечением надежного и высокоскоростного доступа. Однако зависимость Radio-Ethernet от погодных условий может быть причиной поиска альтернативных решений проблемы связи с поставщиком услуг Internet.

Вторым выходом из создавшегося положения является использование модемов, работа которых основывается на технологии DSL. Такие модемы, стоимость которых соизмерима с аппаратным комплексом Radio-Ethernet, позволяют организовать довольно надежный и быстрый канал между филиалом и поставщиком услуг Internet. Главной трудностью в данном случае является качество линии связи.

Таким образом, суммируя все вышесказанное, можно выделить следующие основные технологии

построения единой информационно-вычислительной сети крупного предприятия, включающего производственные комплексы и ряд филиалов различного размера:

- объединение локальных вычислительных сетей производственных комплексов, которые занимают значительную по площади территорию, производится с помощью магистральных оптоволоконных линий связи;
- объединение производственных комплексов между собой производится с помощью технологий Radio-Ethernet или DSL с использованием Internet;
- подключение небольших филиалов или пользователей сети предприятия осуществляется с помощью обычного конечного оборудования для подключения к глобальной компьютерной сети Internet и зависит от условий данной точки подключения.

Кабельная система позволяет только связать между собой технику. Компьютерная сеть работает по определенным правилам, которые реализуются специалистами, обслуживающими эту сеть, с помощью программного обеспечения. Задачи, решаемые этим программным обеспечением, можно разделить на две большие группы: специализированные и общие. К общим задачам можно отнести работу Internet технологий в рамках компьютерной сети предприятия. К таким технологиям относятся: электронная почта, Web, видео- и аудио-конференции, доступ к ресурсам глобальной компьютерной сети Internet, организация файловых архивов, работа сетевых принтеров. Эти задачи являются стандартными, и существуют методы и программное обеспечение, которые позволяют решить их. Но, несмотря на то, что методы существуют, требуется некоторая их адаптация к условиям функционирования в компьютерной сети предприятия с централизованным управлением.

К специализированным задачам можно отнести эксплуатацию специализированного программного обеспечения, решающего круг задач промышленной отрасли, в которой работает данное предприятие,

например, специализированные комплексы САПР, позволяющие управлять станками с числовым программным управлением, но использующие для передачи команд все ту же компьютерную сеть.

Главной трудностью такой сети является создание и внедрение правил, по которым она будет функционировать и развиваться. Очень сложно дать прогнозы к требованиям аппаратных комплексов, формирующих сеть, другими словами, если на предприятии работает несколько тысяч сотрудников, то каким должна быть организация сети, чтобы сотрудник без особого для себя труда мог воспользоваться ресурсами этой сети тогда, когда это ему необходимо.

Итак, с точки зрения программного обеспечения в компьютерной сети предприятия существуют следующие группы:

- программное обеспечение, решающее стандартные задачи;
- специализированное программное обеспечение;
- служебное программное обеспечение.

Следует отметить, что роль последнего особенно важна. Именно служебное программное обеспечение формирует правила и законы функционирования компьютерной сети и поэтому требует особенно тщательной настройки и дополнительного внимания со стороны обслуживающего персонала. Типовые задачи, решаемые этим программным обеспечением следующие:

- хранение информации о пользователях сети;
- хранение информации о структуре самой сети;
- взаимодействие с программным обеспечением пользователей для предоставления необходимой им информации о структуре сети;
- обеспечение безопасности компьютерной сети;
- устойчивость к аппаратно-программным сбоям.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать следующие выводы. При переходе предприятий авиационного производства на рельсы полной автоматизации необходимо решить следующие проблемы:

- разработка единой политики комплексной автоматизации производства;

- выбор программного обеспечения для реализации политики в целом по производству и отдельно по подразделению (если это необходимо), изначально ориентированного на взаимодействие через ЕИП;
- реализация поэтапного перехода от частичной к комплексной автоматизации;
- подготовка кадров, способных решать задачи в новых условиях на основе безбумажных технологий при обмене информацией в пределах отдельных этапов ЖЦ изделия и между этапами ЖЦ;
- создание электронной технической и эксплуатационной документации на изделие, которая будет сопровождать его в течение всего ЖЦ;
- разработка единого плана технического перевооружения предприятия (модернизация и покупка компьютерного оборудования и программного обеспечения к нему, прокладка компьютерных сетей и линий связи, модернизация станочного парка предприятий, входящих в виртуальное авиационное производство, и др.);
- разработка изменений для существующих стандартов и внесение новой нормативной базы, учитывающих потребности и реалии современного производства и рынка, реализация принципов проектирования и процессов производства на основе международных и национальных стандартов;
- работа с предприятиями-партнерами и предприятиями-смежниками по переводу их на путь комплексной автоматизации и др.

В рамках научных исследований и разработок, проводимых в Национальном аэрокосмическом университете им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», решаются задачи выбора и разработки программного обеспечения для реализации политики комплексной автоматизации производства на основе ИСППР «Квант», разработки единой политики комплексной автоматизации производства и плана технического перевооружения предприятия. Ведется комплексная подготовка кадров для предприятий, способных решать задачи в новых условиях. Ведутся работы по

внедрению автоматизированных систем на предприятиях авиационной отрасли Украины. Продолжения работ требуют задачи перевода в электронный вид документации на изготавливаемые на предприятии изделия, разработки изменений для существующих стандартов и внесение новой нормативной базы.

Все вышеизложенное позволит предприятиям авиационной отрасли Украины с минимальными потерями материальных, финансовых и людских ресурсов совершить переход к современным технологиям проектирования и производства изделий, требованиям рынка.

Литература

1. CALS в авиастроении // Братухин А.Г., Давыдов Ю.В., Елисеев Ю.С., Павлов Ю.Б., Сувор В.И.; Под. ред. Братухина А.Г. – М.: Изд-во МАИ, 2000. – 304 с.
2. Судов Е.В., Левин А.И. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России // НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика». – М., 2002. – 139 с.
3. Кривцов В.С., Зайцев В.Е., Воронько В.В. Использование автоматизированных систем при технологической подготовке производства // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2002.- Вип. 27. – С. 43-48.
4. Кривцов В.С., Зайцев В.Е. Создание автоматизированной системы для проектирования технологических процессов изготовления деталей на заготовительно-штамповочном производстве // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2002.- Вип. 32. – С. 3 – 7.
5. Кривцов В.С., Зайцев В.Е., Шостак И.В. Интеллектуализация процессов технологической подготовки заготовительно-штамповочного производства на основе динамической экспертной модели // Труды Десятой международной конференции «Новые технологии в машиностроении». – Х., 2001. – 58 с.

6. Сироджа И.Б. Метод вероятных алгоритмических квантов знаний для принятия решений и создания технологий искусственного интеллекта // Інформаційні технології і системи. – Х., 2000. – № 4. – С. 58-79.
7. Сироджа И.Б., Петренко Т.Ю. Метод разноразмерных алгоритмических квантов знаний для принятия производственных решений при недостатке и нечеткости данных. - К.: Наук. думка, 2000. – 246 с.
8. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. - К.: Наук. думка, 2002. – 126 с.
9. Гордиенко Л.А., Киричук Е.П., Заславский В.А. Интеллектуальная система поддержки принятия технологических решений в заготовительно-штамповочном производстве // Тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф. “Інтегровані комп’ютерні технології в машинобудуванні – ІКТМ’2002”. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харьк. авіац. ін-т». - 2002. - С. 169.
10. Гордиенко Л.А. Интеллектуальная подсистема поддержки принятия технологических решений при проектировании оснастки в заготовительно-штамповочном производстве // Міжнар. конф. з індуктивного моделювання “МКІТ-2002”. - Л.: Державний НДІ інформаційної інфраструктури. - 2002. – Т. 3. – С. 43 - 48.
11. Киричук Е.П. Индуктивный подход к построению квантовой базы знаний для поддержки принятия технологических решений // Міжнар. конф. з індуктивного моделювання “МКІТ-2002”. - Л.: Державний НДІ інформаційної інфраструктури. – 2002. – Т. 3. - С. 55 - 59.
12. Пьянков А.В., Воронько В.В. Особенности применения современных компьютерных технологий при подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ // Авиационно–космическая техника и технология: Труды Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ". – 2001. – Вып. 18. – С. 102–118.
13. Пьянков А.В., Шостак И.В. Особенности применения интеллектуальных систем в едином информационном пространстве автоматизации производственных процессов // Авиационно–космическая техника и технология: Труды Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ". – 2001. – Вып. 19. – С. 92–110.
14. Кривцов В.С., Федорович О.Е., Зайцев В.Е. Использование современных информационных технологий при подготовке высококвалифицированных специалистов для аэрокосмической отрасли Украины // Матеріали Міжнар. конф. ректорів технічних університетів країн Центральної і Східної Європи та країн СНД «Вища технічна освіта на зламі століть», Київ, 21–23 травня 2001 р. – К., 2001. – С. 171 – 173.
15. Кривцов В.С., Карпов Я.С., Зайцев В.Е. Проблема подготовки кадров для современных машиностроительных производств // Міжнар. наук.-техн. конф. “Інтегровані комп’ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ–2001”. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т “Харк. авіац. ін-т”. – 2001. – С. 192.
16. Горнев В.Ф., Ковалевский В.Б. Компьютерная интеграция и интеллектуализация производств на основе их унифицированных моделей // Программные продукты и системы. – 1998. – № 3. – С. 12 - 19.
17. Горнев В.Ф. Унификация построения математических моделей КИП // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. – 1995. – № 3. – С. 4 - 11.
18. Горнев В.Ф. Проблемы и технология комплексной автоматизации // Автоматизация проектирования. – 1998. – № 4; 1999. – № 1.
19. Кривцов В.С., Федорович О.Е., Зайцев В.Е. Интегрированные компьютерные технологии и сквозной электронный тракт при проектировании и производстве сложных изделий машиностроения // Вісті Академії інженерних наук України. – 2000. – № 4. - С. 11 - 17.

Поступила в редакцію 22.01.2004 г.

Рецензент: канд. техн. наук, проф. Кушнарченко С.Г., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.