

## ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМНОГО СИНТЕЗА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Рассматриваются вопросы построения автоматизированных систем технологической подготовки производства для машиностроительных предприятий. Отмечаются проблемы ТПП и роль современных информационных и коммуникационных технологий в эффективной организации работ. Особое внимание уделяется методам и средствам создания единого информационного пространства с использованием PDM-системы SmarTeam. В качестве базовых систем для решения проектно-технологических задач предлагаются современные CAD/CAM/CAE-системы.

Проблема восстановления и развития отечественной промышленности является весьма острой. В настоящее время экономика страны базируется на сырьевой основе, т. е. представляет экономику колониального типа, и без возрождения отечественной промышленности будет оставаться таковой.

Однако негативные процессы в промышленности зашли так далеко, что традиционные, привычные методы ее возрождения уже не дадут должного эффекта или потребуют больших капиталовложений. Для оживления промышленности необходимы новые организационные решения, такие как аутсорсинг, виртуальные предприятия, кластеры.

Аутсорсинг – это передача стороннему подрядчику некоторых бизнес-функций или частей бизнес-процессов. Частный случай аутсорсинга – субконтракция. Субконтракция – это аутсорсинг, охватывающий только производственную сферу. Именно использование механизма субконтракции явилось причиной промышленного роста таких стран, как Япония, Франция, Италия, Турция.

Для обозначения нового механизма организации также часто используется термин «виртуальное» предприятие, которое определяется как «кооперирование юридически независимых предприятий или частных лиц для обеспечения услуг (производства) на основе общего понимания бизнеса (экономических целей)».

Кластер представляет собой группу географически локализованных взаимосвязанных промышленных предприятий, поставщиков оборудования и материалов, специализированных услуг, в том числе научных учреждений, других организаций, взаимодополняющих друг друга и усиливающих конкурентные преимущества отдельных компаний и кластера в целом.

Таким образом, в настоящее время во всем мире в разной форме реализуется концепция объединения предприятий как альтернатива обособленному их выживанию. Очевидно, что такие механизмы необходимо задействовать и в России.

Однако, как показывает опыт, попытка реализации механизма объединения предприятий без ко-

ренного изменения технологии принятия решения обречена на неудачу. Низкий уровень технологической культуры не позволяет добиваться конкурентоспособных цен на рынке, громоздкая система управления делает скорость прохождения решений совершенно неприемлемой. Поэтому говорить о новых организационных механизмах можно только на основе новых информационных технологий. В настоящей статье рассматриваются информационно-технологические аспекты обеспечения конкурентоспособности промышленных предприятий и возрождения отечественной промышленности

Одним из основных этапов создания промышленных изделий является технологическая подготовка производства (ТПП). Уровень ТПП сегодня определяет сроки выпуска новой продукции, ее качество и конкурентоспособность. Поэтому особую актуальность приобретают вопросы автоматизации ТПП.

В настоящее время ресурсы отечественных предприятий (парк оборудования, состав специалистов, организация работ, уровень автоматизации ТПП) не обеспечивают в должной мере выпуска продукции, отвечающей мировым стандартам, и в сроки, определяемые темпами мирового научно-технического развития. Основные сегодняшние проблемы ТПП в отечественной промышленности состоят в следующем:

- проектирование во многих случаях носит ручной характер, применяемые средства автоматизации используются для решения лишь отдельных (и далеко не всегда самых важных) задач, нет комплексного характера автоматизации;
- коммуникации между специалистами и службами ТПП осуществляются в основном на бумажных носителях, что приводит к общему замедлению всех процессов ТПП;
- решение задач обеспечения технологичности конструкции начинается на поздних стадиях проектирования изделия, что приводит к многочисленным изменениям в конструкторской документации;
- допускается большое число ошибок при проектировании, следствием чего являются значитель-

ные финансовые и временные затраты на проведение необходимых изменений;

- отсутствует эффективная специализация и кооперация с другими предприятиями при решении задач ТПП.

Практически все ведущие предприятия видят решение большинства проблем ТПП во внедрении компьютерных технологий, создании автоматизированных систем ТПП (АСТПП). На многих из них существенно повышен уровень комплексного решения проектных задач. Информация о спроектированном изделии принимается в электронном виде и является исходными данными для развертывания процессов ТПП. Компьютеризировано решение комплекса задач по проектированию и изготовлению оснастки, выполняется компьютерное моделирование технологических процессов литья из пластмасс, штамповки, обработки на станках с ЧПУ и др. Некоторые предприятия вплотную подошли к решению задачи автоматизации управления процессами ТПП, то есть к построению АСТПП предприятия.

**Принципы построения АСТПП.** В нашей стране АСТПП начали создаваться еще в 60-х годах двадцатого века. Однако та вычислительная база, на которой строились АСТПП до начала 90-х годов, имела целый ряд ограничений. С появлением персональных компьютеров и рабочих станций стали возможными: обеспечение каждого пользователя индивидуальным автоматизированным рабочим местом; организация вычислительных сетей; работа в интерактивном графическом режиме; электронный обмен данными; организация единых централизованных и распределенных баз данных; решение задач, требующих больших вычислительных ресурсов. Все эти возможности существенно повлияли на методы создания АСТПП.

В своей работе АСТПП осуществляет хранение и обработку информации об изделии на протяжении всего времени его жизненного цикла, а также обеспечивает управление этой информацией. К видам информации, используемой в АСТПП, относятся: информация о деталях и сборочных единицах изделия; информация о технологических процессах изготовления изделия; информация об используемых средствах технологического оснащения; нормативно-справочная информация; планово-учетная информация.

Все эти виды информации должны быть организованы в виде единой структурированной информационной модели, доступной для работы всем специалистам ТПП. Иными словами, должно быть организовано *единое информационное пространство ТПП*, которое позволяет:

- принимать и хранить проект изделия в электронном виде;
- эффективно отслеживать текущее состояние ТПП изделия;
- организовывать быстрый авторизованный просмотр всех моделей и документов;
- обеспечивать оперативный обмен информацией между пользователями АСТПП;
- обеспечивать информационную согласованность работы всех подсистем АСТПП;
- поддерживать открытость АСТПП, удобство адаптации к меняющимся условиям производства;
- обеспечивать информационный обмен с автоматизированной системой управления производством (АСУП).

Очевидно, что эти требования к единому информационному пространству могут быть выполнены только в том случае, если процессы конструкторского и технологического проектирования в ТПП автоматизированы. При этом проектная информация поступает в информационное пространство автоматически и становится доступной всем пользователям АСТПП в соответствии с имеющимися у них правами доступа.

При построении АСТПП необходимо стремиться не к разработке собственных программных средств для автоматизации задач проектирования и управления, а к поиску уже готовых систем, которые, с одной стороны, отвечают необходимым функциональным требованиям, а с другой – уже доказали свою надежность и качество при их использовании на других предприятиях.

Такие «готовые» системы обычно являются универсальными, то есть обеспечивают решение достаточно широкого класса задач. Для предприятия они носят характер *базовых*, то есть могут быть приняты в качестве основы, но ряд из них нуждается в настройке (адаптации) к условиям конкретного производства. Настройка может заключаться в заполнении баз данных сведениями об имеющемся на предприятии оборудовании, описании форм конкретных документов, разработке алгоритмов (программ) проектирования конкретных видов инструмента или приспособлений и т. д.

Как правило, базовые системы являются разработками известных фирм, специализирующихся в данной области. Эти разработки, выполненные на высоком уровне, удовлетворяют принципам модульности, открытости, эргономичности, ориентации на новые достижения.

#### **Базовые системы автоматизации проектирования и управления в ТПП**

**1. CAD/CAM-системы.** Этот класс систем применяется для компьютерного проектирования,

под которым в общем случае понимается разработка проекта изделия на основе трехмерного геометрического моделирования деталей и сборочных единиц, с последующим формированием комплекта чертежно-конструкторской документации.

CAD/CAM-система обеспечивает интегрированное решение задач разработки конструкторского проекта изделия и формирования управляющих программ для обработки деталей изделия на оборудовании с ЧПУ. Объединение этих достаточно различных классов задач в рамках одной системы обусловлено тем, что их решение базируется на использовании единой трехмерной геометрической модели изделия. Общность модели позволяет избежать всех проблем, связанных с передачей данных из одной системы в другую, обеспечивает интегрированное решение проектных задач.

Построение пространственной геометрической модели изделия является центральной задачей компьютерного проектирования. Именно эта модель используется в CAD/CAM-системе для дальнейшего решения задач формирования чертежно-конструкторской документации, проектирования средств технологического оснащения, разработки управляющих программ для станков с ЧПУ. Кроме того, эта модель передается в CAE-системы и используется там для проведения инженерных исследований. По компьютерной модели с помощью методов и средств быстрого прототипирования может быть получен физический образец изделия,

Созданные модели могут передаваться из одной CAD/CAM-системы в другую через специальные интерфейсы – согласованные форматы данных для обмена информацией.

Сегодня в мире предлагается большое число различных CAD-, CAM- и CAD/CAM-систем, отличающихся по функциональной мощности, области применения, степени сложности освоения системы пользователем, стоимости. Из наиболее распространенных в мире CAD-, CAM- и CAD/CAM-систем в России хорошо известны Catia, Unigraphics, Pro/Engineer, Cimatron, PowerShape/PowerMill, SolidWorks, AutoCAD. Значительных успехов достигли также отечественные разработки – системы Компас, T-Flex, Спрут и др.

Возвращаясь к проблеме выбора CAD/CAM-систем, отметим возможность принятия следующих решений:

- Использование единой интегрированной CAD/CAM-системы для решения задач проектирования и подготовки производства. В этом случае достигается наибольший уровень унификации, устраняется проблема интерфейсов, быстрее повышается общее качество работ. Однако приобрете-

ние необходимого числа рабочих мест для проектирования может потребовать существенных затрат, так как стоимость интегрированных CAD/CAM-систем относительно высока.

- Использование в конструкторских подразделениях двухуровневых комплексов: 3D CAD-системы для построения объемных моделей и 2D или 3D CAD-системы для автоматизации чертежных работ. В этом случае можно снизить затраты за счет оснащения большого числа рабочих мест относительно дешевыми системами для автоматизации чертежных работ.

- Приобретение CAD- и CAM-систем у разных поставщиков (в этом случае системы обычно имеют прямые интерфейсы). Это решение также позволяет снизить общие затраты.

Выбор того или иного решения зависит от многих факторов: требуемого числа автоматизированных рабочих мест, распределения функций между ними, планируемой организации работ в АСТПП, финансовых ограничений и др.

**2. CAE-системы и моделирование технологических процессов.** Инженерные исследования являются неотъемлемой частью процесса конструкторского проектирования, если понимать проектирование в широком смысле этого слова. В отличие от CAD-систем, решающих преимущественно геометрические задачи, CAE-системы моделируют *физические процессы поведения* проектируемого объекта – например, поведение изделия при различных механических нагрузках, ударах, различных температурных режимах и др. В результате исследований оптимизируются соответствующие прочностные или тепловые характеристики, повышается ресурс и долговечность объекта. Исследоваться могут не только проектируемые изделия или детали, но и проектируемые технологические процессы – например, процесс горячей штамповки, гибки, прокатки или литья из пластмасс.

Совместное использование CAD- и CAE-систем применительно к задаче проектирования средств технологического оснащения состоит в том, что разрабатываемые в CAD-системе конструкторские решения подвергаются исследованиям с помощью CAE-системы. По результатам исследований выполняются соответствующие изменения конструкции или параметров проектируемого объекта. При необходимости выполняются повторные исследования и т. д., до получения оптимального (или просто приемлемого) результата.

Необходимые для предприятия инженерные исследования на базе CAE-систем могут быть либо выполнены силами собственных специалистов,

либо «заказаны» в специальных сервисных центрах фирм-поставщиков или у фирм, которые выполняют подобные работы. Если объем исследований на предприятии ограничен, то использование сторонних услуг для компьютеризации решения инженерных задач (на определенном этапе развития АСТПП) является оправданным. Это позволит снять вопросы с подготовкой соответствующих специалистов и снизить затраты на приобретение программно-технических средств АСТПП.

**3. PDM-системы для управления ТПП.** Выше уже отмечалась важность автоматизации решения задач управления подготовкой производства в АСТПП. Управление ТПП строится на основе хранения и использования информации об изделии на определенных стадиях его жизненного цикла.

В соответствии со стандартами ISO 9000: 2000 *Жизненный цикл изделия (ЖЦИ)* охватывает все стадии жизни изделия – от изучения рынка перед проектированием до утилизации изделия после использования. Компьютерная поддержка этапов ЖЦИ строится на основе применения CALS-технологий (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукта). В качестве одного из базовых инструментов реализации CALS-технологий выступают системы класса PDM (Product Data Management).

Главная цель современной PDM – поддержка электронного описания продукта (изделия) на всех стадиях его жизненного цикла. В силу ее использования большим числом специалистов, PDM является многопользовательской системой, которая работает в компьютерной сети. Она организует единое информационное пространство предприятия, обеспечивая создание, хранение и обработку информации в единой базе данных с помощью системы управления базами данных (СУБД).

По сравнению с CAD/CAM-системами внедрение PDM-системы на предприятии является более сложным и длительным процессом. Это связано с необходимостью значительных организационных изменений как в коллективе в целом, так и на каждом рабочем месте руководителя, конструктора и технолога. Более конкретно, сложности могут быть обусловлены следующими причинами:

1. Нечетко сформулированы цели, которых хочет достичь предприятие путем внедрения системы. Вместо этого существует перечень локальных проблем конкретных подразделений, решение которых не может решить проблем предприятия в целом.

2. Руководство предприятия не до конца понимает важность личного участия в проекте внедрения.

3. Существует внутренняя оппозиция ряда сотрудников предприятия тем изменениям, которые неизбежны в результате внедрения системы.

4. Сотрудники предприятия не владеют навыками работы на компьютере и не готовы к внедрению системы.

5. Отсутствуют квалифицированные специалисты, способные сопровождать систему.

6. На предприятии отсутствует необходимая техническая инфраструктура.

7. Проект рассчитан на длительный срок, что приводит к «недоверию» в достижении конечного результата.

Один из способов поэтапного внедрения PDM состоит в следующем. В первую очередь на основе результатов предпроектного обследования предприятия создается (возможно, частично) структура единой базы данных. Далее к работе в среде PDM-системы последовательно подключаются такие рабочие места, где специалисты наиболее подготовлены к внедрению и где внедрение поэтому может быть выполнено наиболее быстро.

Другой способ поэтапного внедрения PDM заключается в выполнении сначала так называемого «пилотного проекта» в небольшой группе или в конкретном специальном проекте. После успешного внедрения PDM-системы на одном из небольших производственных участков предприятия можно продолжить ее внедрение (масштабировать систему) на всем предприятии. Такой подход также помогает решить многие проблемы, неизбежно возникающие при внедрении, на начальном этапе.

Среди используемых в мире PDM-систем, отвечающих современным требованиям, одно из ведущих мест занимает **PDM SmarTeam**. Она обеспечивает прием информации, создаваемой на различных этапах ЖЦИ, причем ввод информации может выполняться либо в системах проектирования, либо в самой PDM. Хранение информации осуществляется в базе данных известных СУБД – например, Oracle, InterBase, MS SQL-Server.

Единая база данных и средства настройки SmarTeam дают возможность организовать работу технологов, конструкторов и других специалистов предприятия в едином информационном пространстве. Это, в частности, позволяет конструкторам, расчетчикам, расчетчикам норм расхода материалов и другим специалистам заимствовать и использовать введенную ранее технологами (при проектировании технологических процессов) информацию о выполняемых операциях, необходимом инструменте, оснастке и др.

Результатом внедрения PDM-системы должна стать согласованная коллективная работа конструкторов

торских бюро, технологических отделов, службы технической документации (СТД), других подразделений предприятия.

**Построение функциональных моделей ТПП.** Синтез автоматизированной системы включает в себя как составную часть *анализ объекта автоматизации*. При создании АСТПП в роли объекта автоматизации выступают процессы ТПП.

Чтобы начать выполнять работы, необходимо иметь описание (модель) объекта автоматизации, то есть *модель ТПП*. Следует различать две модели:

- модель ТПП, существующей на предприятии в данный момент;
- модель ТПП, которая будет функционировать после внедрения АСТПП.

В первую очередь необходимо получить модель существующей ТПП. Для этого выполняется предпроектный анализ предприятия, который позволяет определить степень готовности предприятия к разработке и внедрению АСТПП, оценить сроки и предполагаемые затраты. Здесь следует получить ответы на вопросы:

- какие имеются задачи ТПП и как они решаются в настоящее время;
- какова организационная структура служб ТПП и организация работ;
- какие информационные взаимосвязи существуют между задачами ТПП;
- какие виды и формы документов используются;
- каков общий уровень квалификации персонала, каков уровень компьютерной грамотности и т. д.

Модель ТПП, которая формируется в результате предпроектного анализа предприятия, представляет собой совокупность функциональной, организационной и информационной моделей:

- **функциональная модель** описывает совокупность функциональных подсистем и связей, отражающих порядок взаимодействия подсистем при общем функционировании ТПП;
- **организационная модель** описывает состав и структуру подразделений и служб ТПП;
- **информационная модель** описывает потоки информации, существующие в функциональной и организационной моделях.

Для построения *функциональных моделей* сложных систем существует специальная методология IDEFO. Существуют также методологии для построения *информационных моделей*, описывающих потоки информации (IDEFIX), и *динамических моделей*, отображающих причинно-следственные связи между объектами системы (IDEF/CPN).

Использование этих методологий при построении моделей ТПП является крайне желательным, так как позволит повысить качество и глубину проработки, систематизировать информацию, уменьшить число ошибок, улучшить проектную документацию и т. д.

**Организация единого информационного пространства.** Функционирование АСТПП как единой, целостной системы предполагает функционирование всех ее компонент в едином информационном пространстве (ЕИП) ТПП. Под ЕИП понимается единая компьютерная информационная среда, реализуемая средствами PDM-системы и обеспечивающая совместную согласованную работу конструкторов, технологов и других специалистов предприятия на протяжении всего времени жизненного цикла изделия.

Большое число различных видов данных, используемых в АСТПП, требует определения некоторых общих критериев, которым должны удовлетворять все эти данные. Иными словами, необходимо определить *базовую модель данных*. Только в этом случае можно будет построить унифицированные и эффективные механизмы хранения и обработки информации. При выборе базовой модели данных необходимо учитывать следующее.

1. АСТПП создается и используется большим числом специалистов, решающих различные задачи. Поэтому модель данных должна быть организована так, чтобы все специалисты могли эффективно использовать результаты работы друг друга и, при необходимости, вносить в модель свои изменения.

2. Процесс создания АСТПП является итеративным, поэтому модель должна, с одной стороны, допускать последовательные уточнения, а с другой – быть устойчивой к изменениям предметной области. Это означает, что при модификациях предметной области должен изменяться только некоторый минимальный необходимый набор элементов модели.

Таким требованиям отвечает объектноориентированный подход. Объектноориентированная модель данных содержит следующие основные понятия: объект; характеристики объекта; связь между объектами; характеристики связи. При этом характеристики связей не зависят от характеристик связываемых объектов.

Первым и одним из наиболее важных и ответственных шагов при построении ЕИП является разработка *системы классификации информационных объектов*. Основным требованием к системе классификации является соответствие целевым функциям ТПП предприятия. Определение клас-

сов объектов и их характеристик формируется последовательно по мере создания АСТПП.

Классификация информационных объектов может быть выполнена разными способами. При построении системы классов необходимо стремиться к тому, чтобы:

- по возможности избежать дублирования информации;
- упростить работу пользователя с данными;
- учесть распределение прав доступа;
- ускорить поиск данных при выполнении запросов.

Размещение конкретных данных в ЕИП и их обработка осуществляются в процессе непосредственного функционирования подсистем АСТПП. Создаваемые для АСТПП прикладные программы должны решать самые разнообразные задачи проектирования, управления и документирования (проектирование технологических процессов; разузлование изделий; расчет потребности в материалах и стандартных изделиях; формирование циклограмм сборки; получение сводных конструкторско-технологических документов и др.).

Важное значение имеет создание САПР для проектирования технологических процессов (ТП). Основное ограничение используемых сегодня САПР ТП состоит в том, что они *не интегрированы в единое информационное пространство* ТПП предприятия. Вследствие этого их использование при комплексной автоматизации либо крайне затруднено, либо невозможно. Решение этой проблемы заключается в том, что *САПР ТП должна разрабатываться в среде PDM-системы*, что обеспечит интеграцию результатов проектирования в единое информационное пространство. Выполненная разработка такой системы в среде PDM SmartTeam базируется на использовании метода индивидуального проектирования ТП на основе ТП-аналога.

ЕИП, построенное на базе PDM StarTeam, создает основу для успешного функционирования АСТПП, для эффективной совместной, согласован-

ной работы конструкторов, технологов и других специалистов предприятия. В результате обеспечиваются:

- ускорение процессов ТПП за счет параллельного выполнения работ и электронного обмена данными между специалистами;
- повышение качества и достоверности информации за счет прозрачности системы и взаимоконтроля участников процессов проектирования;
- накопление и сохранение информации в электронном виде;
- отсутствие ненужного дублирования информации;
- гибкость создаваемой АСТПП, удобство ее развития и адаптации к меняющимся условиям производства.

**Виртуальные предприятия.** Полномасштабное использование компьютерных технологий приводит к тому, что *все проектные и организационные решения на предприятиях принимаются сначала на уровне моделей*. При этом реальные объекты и процессы становятся своего рода отображением «виртуальных» объектов и процессов во внешнюю среду. Это позволяет говорить о *виртуализации современного производства*. Понятие «виртуальный» распространилось также на организационные структуры промышленных предприятий.

Виртуальные предприятия могут постоянно перестраивать свою конфигурацию и структуру производственных процессов так, чтобы сохранять максимальную эффективность. Создание и функционирование виртуальных предприятий как организационных структур возможно только при условии использования современных информационных технологий, методов компьютерного проектирования и изготовления, компьютерной поддержке всех этапов жизненного цикла производимых изделий. Естественно, создание виртуального предприятия (аутосерсинга) должно базироваться на современных представлениях и инструментальных средствах системного проектирования, в частности идеях реинжиниринга бизнес-процессов.

#### Список использованной литературы:

1. Марка Д., Мак-Гоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования: Пер. с англ. – М.: «Метатехнология», 1993. – 240 с.
2. Яблочников Е.И. Автоматизация технологической подготовки производства в приборостроении / С.-Петербург: СПбГИТМО (ТУ), 2002. – 92 с.
3. John MacKrell. Supporting Collaborative Product Definition via Scaleable, Web-Based PDM. – Prepared by CIMdataJnc – 2000. – p. 16. Problems of Computer Aided Process Planning systems for machine-building enterprises are being viewed. Technological Preparation of Production problems as well as a role of modern information and communication technologies in effective organizing of work are being mentioned. Special attention is being focused to methods and tools for common information space creating using PDM SmartTeam. Modern CAD/CAM/CAE systems are being offered as base systems for design and technological tasks solving.