

УДК 004.94

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ОБОРУДОВАНИИ С ЧПУ В ЛОКАЛЬНОЙ СРЕДЕ И В ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ

© 2014 А.М. Ермолаев, М.В. Тарасов, И.Н. Копейкин

ООО «Клио-софт»

Поступила в редакцию 05.09.2014

Статья освещает проблемы и подход к имитационному моделированию процессов механической обработки деталей на оборудовании с ЧПУ, проблемы и подход к разработке управляющих программ в контексте идеологии PLM, общие проблемы и подход к разработке и внедрению PLM-решений в машиностроительной отрасли.

Ключевые слова: *имитационное моделирование, станок, управляющая программа, постпроцессор, модель, технологическая документация, механическая обработка, NX, Teamcenter, PLM*

Имитационное моделирование процесса механической обработки деталей на оборудовании с ЧПУ.

Предпосылки и эффективность применения имитационного моделирования. При оснащении производственных площадок предприятий современным высокотехнологичным оборудованием, таким, как многокоординатные фрезерные и токарно-фрезерные обрабатывающие центры с ЧПУ, возникает необходимость проведения имитационного моделирования процесса механической обработки деталей на этапе разработки управляющих программ (УП). Имитационное моделирование УП позволяет свести к нулю риски возникновения столкновений рабочих органов станка между собой, с заготовкой или технологической оснасткой, а также минимизировать вероятность поломки режущего инструмента в процессе освоения выпуска новой продукции на механообрабатывающем оборудовании с ЧПУ. Помимо вопросов, связанных с безопасностью процесса внедрения УП механической обработки деталей, проведение имитационного моделирования УП позволяет значительно сократить затраты на освоение новой продукции на оборудовании с ЧПУ за счет сокращения времени внедрения УП, минимизации количества заготовок, необходимых для отладки технологического процесса (ТП), а также экономии на

стоимости режущего инструмента и стоимости машинного времени, которое необходимо было бы затратить на отработку дополнительных технологических заготовок. При этом, как показывает многолетний опыт ООО «Клио-Софт» по внедрению современных технологий обработки и УП на оборудовании с ЧПУ, максимальный экономический эффект достигается для наиболее трудоемких авиационных деталей (например, для крупногабаритных деталей из титановых сплавов). Примеры сложных авиационных деталей приведены на рис. 1.

Современные системы имитационного моделирования и контроля УП позволяют проводить имитационное моделирование процесса механической обработки деталей для всего спектра оборудования с ЧПУ. Специалистами ООО «Клио-Софт» были разработаны и успешно внедрены в производство кинематические модели обрабатывающих центров с ЧПУ для различных систем имитационного моделирования и контроля УП более, чем на 150 единиц оборудования. Среди них многокоординатные фрезерные, токарно-фрезерные и фрезерно-токарные станки с ЧПУ с различными кинематическими схемами и опциями, а также с различными системами управления ЧПУ. Важным этапом работ по созданию кинематических моделей является их отладка на реальном оборудовании, так как только в этом случае можно гарантировать соответствие геометрических параметров и функциональных возможностей разработанной кинематической модели оборудования геометрическим параметрам и функциональным возможностям каждого конкретного станка.

*Ермолаев Андрей Михайлович, ведущий специалист.
E-mail: ermolaev@clio-soft.ru*

*Тарасов Марк Витальевич, инженер. E-mail:
mark@clio-soft.ru*

*Копейкин Иван Николаевич, архитектор систем
управления. E-mail: kopeikin@clio-soft.ru*

Примеры моделей оборудования приведены на рис. 2. Но не следует рассматривать имитационное моделирование процесса механической обработки деталей в отрыве от других этапов работ

по разработке и внедрению ТП и УП на оборудование с ЧПУ. Только комплексное решение позволит эффективно осваивать современное высокотехнологичное оборудование.

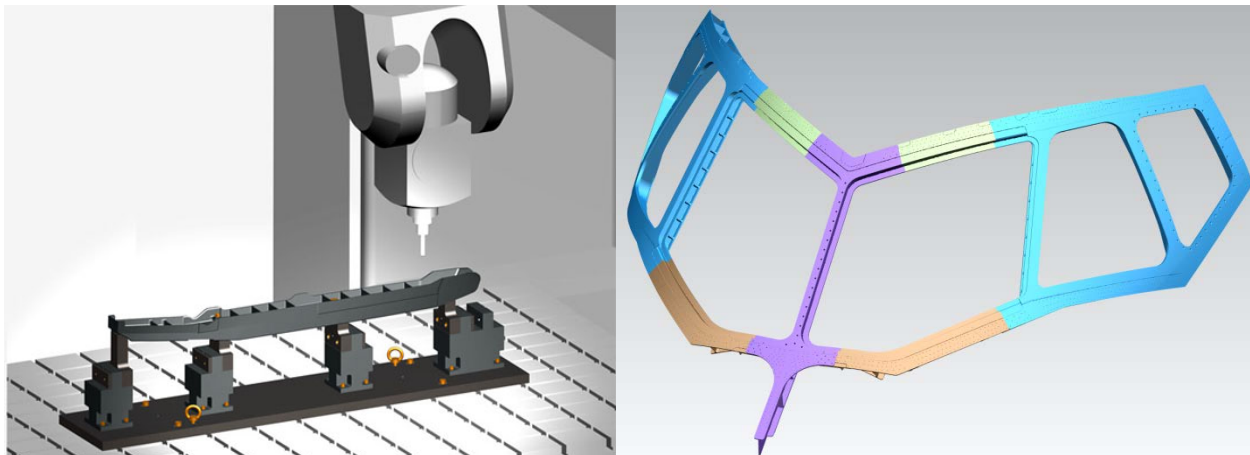


Рис. 1. Примеры 3D моделей авиационных деталей

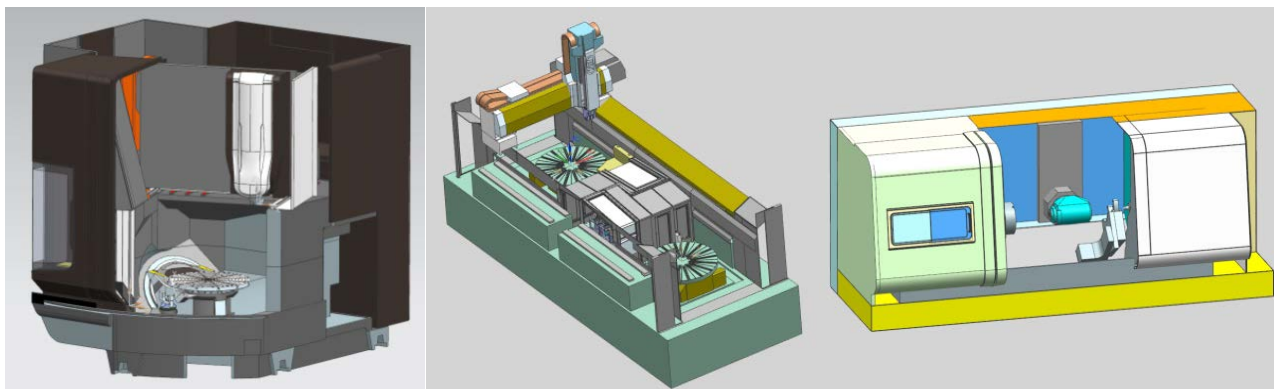


Рис. 2. Примеры кинематических 3D моделей оборудования

Комплексный подход к выполнению работ по разработке и внедрению ТП и УП для оборудования с ЧПУ на базе NX. Специалистами ООО «Клио-Софт» был разработан комплексный подход к выполнению работ по разработке и внедрению ТП и УП в едином программном комплексе на базе NX CAD/CAM, дополненной собственными разработками компании. Данный подход включает административные, организационные и технические мероприятия, направленные на повышение эффективности и качества выполнения работ технологами по всем этапам. Начиная от проработки исходных данных, построения 3D-моделей деталей и заготовок, проектирования специальной технологической оснастки для крепления заготовок в рабочей зоне оборудования и разработки УП, и заканчивая получением отработанного серийного технологического процесса механической обработки детали на оборудовании с ЧПУ и оформлением на него технологической документации

в соответствии с нормами ЕСТД. Схематично комплексный подход приведен на рис. 3.

Теперь немного подробнее о том, как выстраивается техническая часть процесса разработки и внедрения УП. После проработки исходных данных начинается этап построения математических моделей (ММ) деталей и заготовок. Работы выполняются в среде «Моделирование» NX в соответствии с полученной технической документацией. Затем разрабатывается концепция технологического процесса механической обработки деталей на оборудовании с ЧПУ. Как правило, в основу разрабатываемого ТП закладывается опыт, накопленный компанией ООО «Клио-Софт» за годы работы в области разработки и внедрения ТП и УП. На основании разработанной концепции технологического процесса выполняются работы по проектированию специальной технологической оснастки для крепления заготовок в рабочей зоне оборудования с ЧПУ. Работы выполняются в среде «Моделирование» и «Сборки» NX. При построении

математических моделей оснастки используются базы данных стандартных крепежных элементов, разработанные специалистами нашей компании. После построения математических моделей на технологическую оснастку оформляется

конструкторская документация в среде «Черчение» NX с использованием настроек, разработанных ООО «Клио-Софт», позволяющими оформлять конструкторскую документацию в соответствии с нормами ЕСКД.



Рис. 3. Задачи комплексного подхода разработки ТП и УП на оборудование с ЧПУ

После оформления конструкторская документация передается в производство для изготовления технологической оснастки, а технолог приступает к выполнению работ по следующему этапу – разработке УП. Этап начинается с подбора режущего инструмента и инструментальной оснастки из соответствующих баз данных NX и генерации траекторий движения инструмента в модуле «Обработка» NX. Разработанные траектории выводятся через постпроцессор – генерируются файлы УП. Для вывода УП используются постпроцессоры собственной разработки нашей компании. Основными критериями качества постпроцессоров являются: эффективность, удобство и безопасность их использования. Выполнение этих критериев достигается решением целого ряда задач. Например, это реализация в постпроцессоре полного набора функций и опций, имеющихся у конкретного оборудования с ЧПУ и в САМ-системе; максимальная степень автоматизации работы постпроцессора; анализ выводимого кода УП на предмет ошибок и вывод соответствующих предупреждений; реализация алгоритмов безопасного маневрирования при изменении положения поворотных осей станка. После вывода через постпроцессор файлы УП проходят внестаночный контроль в модуле ISV непосредственно в среде NX в файле обработки.

Применение встроенной системы внестаночного контроля УП – это гарантия того, что все изменения, внесенные технологом в проект обработки детали, будут учтены при имитационном моделировании процесса механической обработки, а это, в свою очередь, гарантия качества проверки УП. Так как все УП проходят

внестаночный контроль, то задачами этапа внедрения являются оптимизация режимов резания и отработка технологического процесса механической обработки детали. Результатом этапа внедрения является отлаженный технологический процесс механической обработки детали на оборудовании с ЧПУ. Оформление технологической документации на операции механической обработки деталей на оборудовании с ЧПУ осуществляется непосредственно в файле обработки в среде NX с использованием программного обеспечения собственной разработки компании, которое позволяет оформлять технологическую документацию в соответствии с требованиями ЕСТД и СТП, при этом вся информация по параметрам режущего инструмента и инструментальной оснастки, режимам резания наследуется из траекторий, все эскизы оформляются в модуле «Черчение» непосредственно в файле обработки. Полученные данные дополняются необходимой текстовой информацией. Таким образом, на выходе получается комплект технологической документации, ассоциативно связанный с данными обработки NX. То есть при внесении изменений в проект обработки, после вывода технологической документации все внесенные изменения будут отражены в комплекте документации.

При организации работы в едином решении для ЧПУ происходит сокращение времени, затрачиваемого на разработку проекта и повышение качества выполняемых работ за счет исключения необходимости дублирования информации в различных программных продуктах. Кроме того, при выполнении всего комплекса работ одним человеком исключается

необходимость передачи информации между соисполнителями, что также приводит к сокращению времени разработки проекта и повышает уровень ответственности технолога, что, соответственно, приводит к повышению качества выполнения работ.

Уже более пяти лет комплексный подход успешно применяется технологами нашей компании при выполнении работ по разработке и внедрению ТП и УП для оборудования с ЧПУ на производственных площадках предприятий, работающих в различных сферах промышленности, том числе и авиационной отрасли. При этом происходит непрерывное совершенствование применяемых методик и используемого инструментария. Более того, данный подход был взят за основу при реализации части ЧПУ в сквозном решении на базе PLM.

Решение и методология разработки ТП для станков с ЧПУ как элемент PLM решения.

Разработка УП для оборудования с ЧПУ на предприятиях. Разработкой управляющих программ, а иногда и технологических процессов для оборудования с ЧПУ на производственных предприятиях обычно занимаются отдельные подразделения, нередко

обособленные даже от того цеха, в котором будет производиться обработка. Кроме того, специфика работы технологов-программистов требует применения специализированного программного обеспечения для разработки и верификации управляющих программ. Это приводит к тому, что такие подразделения, зачастую, оказываются в обособленной информационной среде, используя средства автоматизации, не связанные с общезаводскими базами данных. Но в современных условиях информационная обособленность отдельных подразделений является значительным препятствием на пути повышения эффективности работы предприятия в целом. В связи с этим идеология PLM представляется наиболее эффективной. Для определения ключевых задач при построении автоматизированного PLM-решения, рассмотрим работу технологов-программистов как этап сквозного процесса ТПП.

Бизнес-процесс технологической подготовки производства. Рассмотрим схему с этапами бизнес-процесса технологической подготовки производства, непосредственно связанными с разработкой и внедрением УП на оборудование с ЧПУ (рис. 4).

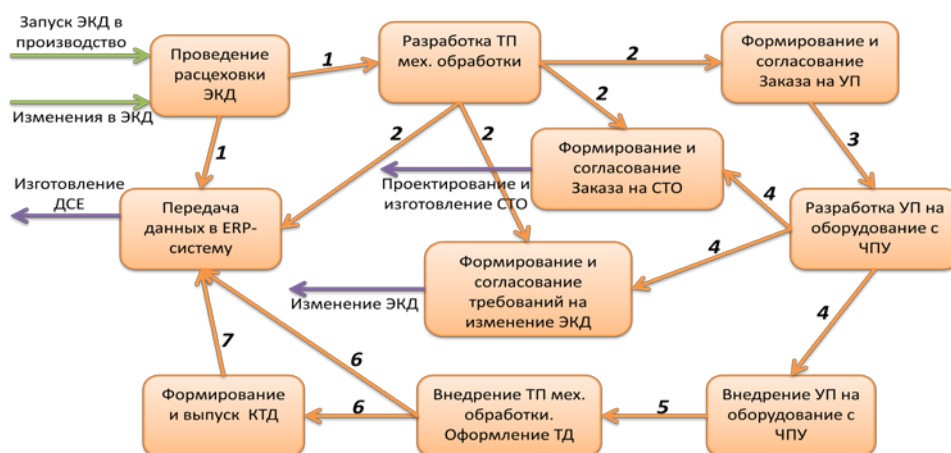


Рис. 4. Часть бизнес-процесса ТПП, связанного с разработкой и внедрением ТП и УП

Начнем обзор бизнес-процесса с этапа расцеховки изделия. На этом этапе определяется выпускающий цех и цех-потребитель, а также другие цеха, участвующие в обработке. Этап важен тем, что на нем определяется объем работы цехов по изделию, т.е. фактически, формируются данные по приоритету той или иной работы.

Далее следует этап разработки технологического процесса механической обработки. Это укрупненный этап, на котором формируется маршрут изготовления изделия в технологической последовательности по цехам, разрабатывается операционная технология отдельных цехов. На этом же этапе формируются директивные нормы расхода основного и вспомогательных

материалов, а также укрупненные трудовые нормы работ.

В ходе разработки технологического маршрута и техпроцесса на изделие проводится более тщательный анализ технологичности КД, что вызывает формирование требований на ее изменение и проведения ряда изменений в ней по ИИ или ПИ. Определяется, какие операции будут выполняться на оборудовании с ЧПУ, требования к этим операциям, которые вносятся в заказы на разработку управляющих программ. На этом же этапе формируются заказы на изготовление средств технологического оснащения (СТО).

Этапы разработки и внедрения управляющих программ находятся в середине рассматриваемого бизнес-процесса, подробно о них поговорим ниже.

После завершения работы технолога-программиста, технолог цеха механической обработки проводит уточнение техпроцесса и выпуск технологической документации. Работа над техпроцессом завершается с выпуском первой партии – внедрением ТП на производстве.

Важнейшим этапом, завершающим рассматриваемый бизнес-процесс, является передача данных в систему ERP. Правильно построенное решение обеспечивает наличие надежных данных по срокам, материальным и трудовым затратам и потребностям производства изделия, необходимых для планирования и управления использованием ресурсов на предприятии.

Разработка УП в контексте идеологии PLM. Теперь, очертив контуры смежных этапов, вернемся к рассмотрению разработки и внедрения управляющих программ для оборудования с ЧПУ, изучая задачи технолога-программиста в контексте сквозного процесса. Работа программиста ЧПУ начинается с получения задания. В соответствии с ГОСТ 3.1404-86 на карте заказа на разработку управляющей программы (КЗ/П) указываются следующие данные: наименование и обозначение изделия, технологическая операция, оборудование, технические требования. Зачастую этих данных недостаточно и на предприятиях вводится собственная форма заказа. В любом случае, оформление КЗ/П в бумажном виде допускает занесение неправильной или недостаточной информации, что влечет за собой значительное увеличение времени согласования требований заказа между подразделениями.

В единой информационной среде заказ на УП может быть представлен в виде отдельного информационного объекта, в который нет необходимости вносить данные вручную, а достаточно лишь связать его с другими объектами системы. Так, вместо наименования и обозначения детали, заказ будет содержать ссылку на соответствующий электронный конструкторский документ. Это позволит технологу всегда видеть актуальную версию КД, с учетом всех выпущенных ИИ и ПИ, видеть выпущенные требования на изменение КД и их состояние. Указание в объекте «Заказ» ссылки на технологическую операцию, а не только ее обозначения на карте, позволит технологу-программисту четко понять место и роль выполняемой обработки в общем маршруте, что значительно ускорит согласование состояния детали до и после операции ЧПУ. С такой структурой заказа технологу цехового бюро будет проще перенаправить технологу-

программисту требования трудовых и материальных норм, назначенных ОГТ. В свою очередь технолог-программист, имея возможность изучить структуру техпроцесса и связанных с ним данных на ранних стадиях ТПП, сможет узнать, какие специальные средства технологического оснащения уже были заказаны для детали отдела главного технолога, состояние этих заказов, а также принять решение о заказе дополнительных СТО и/или специального инструмента.

Для эффективного внесения информации по оборудованию в заказ целесообразно в автоматизированной системе вести справочник оборудования по цехам или даже производственную структуру предприятия. В этом случае и технолог цеха, и технолог-программист будут пользоваться общим справочником, а ссылка на оборудование в заказе будет указывать на модель станка, реально присутствующую на определенном участке.

После получения задания и проведения анализа, технолог-программист приступает к разработке управляющей программы. Разработка ведется в среде специализированного САМ-приложения. На этом этапе крайне важно, чтобы PLM-решение обеспечивало интеграцию САМ-системы со справочниками и ограничительными перечнями. В этом случае технолог программист будет использовать именно те СТО, которые имеются в наличии в соответствующем цехе. Данное решение может сократить этап внедрения УП на оборудовании на несколько месяцев.

Для формирования проекта обработки в САМ программист ЧПУ создает геометрию обрабатываемого тела в соответствии с требованиями заказа. Работая обособленно от других подразделений, технологи-программисты вынуждены во многом повторять работу конструктора по созданию модели детали. Сквозное решение на базе PLM могло бы позволить использовать геометрию конструкторской модели для создания целевой геометрии путем внесения лишь необходимых отличий от КД и сохраняя с ним ассоциативную связь. Работа в общей информационной среде подразумевает и хранение результатов работы технолога-программиста в общем централизованном хранилище, причем речь должна идти не просто о хранении файлов управляющих программ на общем сервере, но об автоматическом наполнении структуры операций с ЧПУ в дереве общего технологического процесса по аналогии с операциями общего назначения (пример приведен на рис. 5).

Для целей контроля и проверки работы в едином информационном пространстве должны быть общие средства для исполнителей и руководителей – контроль полноты введенной

информации (например, по структуре техпроцесса), контроль выполнения обязательных этапов (например, проведения верификации УП в специализированных приложениях) и т.п. Представление информации в едином виде позволит

автоматизировать процесс формирования технологической документации так, чтобы раз введенные данные в одной системе (например, в САМ-среде) не приходилось дублировать повторно вручную (например, в среде PDM).

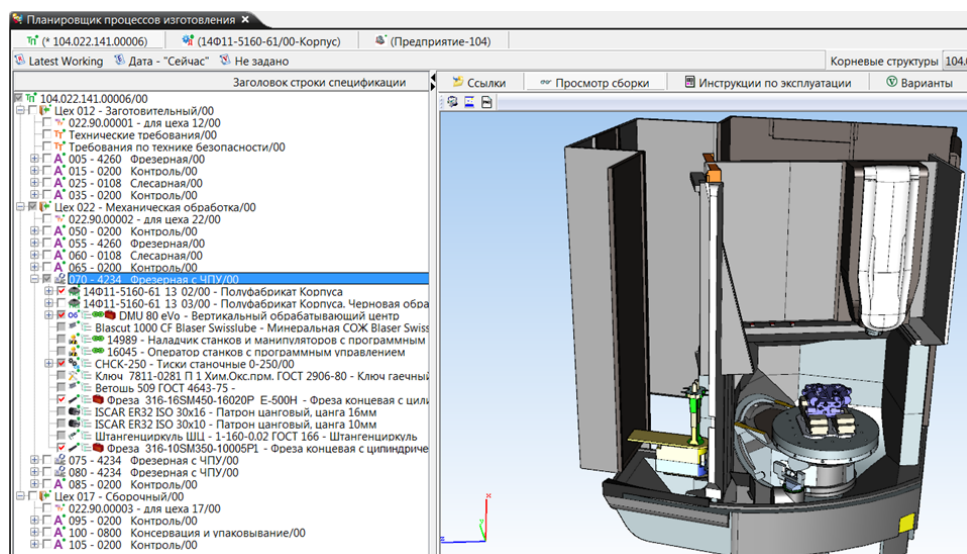


Рис. 5. Пример технологического процесса в Teamcenter с операциями ЧПУ

Рассмотрев работу технолога программиста в интегрированной среде, можно сформулировать основные требования к построению сквозного PLM-решения:

- выпуск заказов на УП и заказов на СТО в электронном виде;
- формирование целевой обрабатываемой геометрии на основе конструкторской, с сохранением ассоциативной связи;
- интеграция САМ-приложений с общими справочниками ресурсов;
- ведение производственной структуры предприятия;
- представление структуры операций с ЧПУ и операций общего назначения единообразно;
- исключение двойного ввода данных;
- автоматическое формирование технологических документов, исключая ручную корректировку.

Все эти требования компанией учтены ООО «Клио-софт» при построении Унифицированного решения.

Унифицированное PLM-решение ООО «Клио-софт» для КТПП предприятия.

Предпосылки создания Унифицированного решения. На сегодняшний день в машиностроительной отрасли сложилась следующая ситуация и соответствующие проблемы по направлению PLM:

- всего лишь несколько предприятий отрасли имеют сквозные PLM-решения для информационного сопровождения в большей части

конструкторских и в меньшей части технологических задач;

- на многих предприятиях PLM-система носит справочный характер, а основной документацией является «бумага»;
- на многих предприятиях интеграция PLM-системы с ERP, MES, MDM-системами отсутствует;
- интеграторы предлагают к внедрению конструкторское решение, которое создавалось и обкатывалось более 10 лет, однако делают это в основном без учета требований технологической подготовки, требований производства и планирования;
- присутствующие интеграторы на рынке не имеют сквозного конструкторско-технологического PLM-решения;
- доработка конструкторского решения с учетом требований технологической подготовки, требований производства и планирования приведет к его значительной переработке, а также актуализации всех ранее разработанных конструкторских данных;
- полнофункциональное технологическое решение отсутствует, предлагаемые к внедрению технологические решения на базе Teamcenter, содержат только укрупненные цели, требующие детализации, концептуальной проработки и разработки решений в соответствии с ЕСКД, ЕСТД и ЕСТПП, а это на практике выливается в значительные финансовые затраты и длительные сроки построения и внедрения (от 2 до 5 лет).

Для сокращения сроков внедрения, а также возможности проведения демонстрации и тестирования системы еще на этапе определения Поставщика и/или Интегратора PLM-решения под задачи сквозной конструкторско-технологической подготовки производства было разработано Унифицированное решение.

Описание Унифицированного решения.
Унифицированное решение от ООО «Клио-Софт» на базе систем Teamcenter, NX, Cortona 3D это:

- комплект настроек и дополнительных приложений для серверной и клиентской части системы Teamcenter;
- комплект дополнительных приложений для NX;
- комплект инструкций, технических описаний;
- методика внедрения.

Унифицированное решение позволяет вести в электронном виде конструкторско-технологическую подготовку производства в соответствии с государственными стандартами РФ (ЕСКД, ЕСТД, ЕСТПП) и позволяет решать в единой информационной среде следующие задачи:

- проектирование изделия в едином информационном пространстве Teamcenter с использованием 3D моделирования в NX. Создание чертежей в электронном виде в соответствии с ЕСКД на основе электронной модели с использованием ассоциативных связей. Согласно ГОСТ 2.051-2006, ГОСТ 2.052-2006, ГОСТ 2.053-2006, ГОСТ 2.301-68...ГОСТ 2.321-84;
- автоматизированное создание спецификаций и ведомостей спецификаций в соответствии с ЕСКД на основе электронного состава изделия согласно ГОСТ 2.503-90, ГОСТ 2.051-2006;
- управление и использование единой базы нормативно-справочной информации в Teamcenter® при формировании электронного макета изделия;
- выпуск и внесение изменений в электронную документацию на изделие с формированием электронных директивных документов (Извещение об изменении, Удостоверяющий лист) в соответствии с ЕСКД согласно ГОСТ 2.503-90, ГОСТ 2.051-2006;
- конфигурирование изделия по серии и дате;
- управление архивом электронной документации согласно ГОСТ 2.501-88;
- разработка, выпуск и проведение изменений в эксплуатационной документации (Интерактивные каталоги деталей, интерактивные руководства по обслуживанию и ремонту) в системах Teamcenter/Cortona 3D в соответствии с ГОСТ 2.601-2006, ГОСТ 2.602-2006, ГОСТ 2.610-2006, S1000D IPC, S1000D IPD и др.;

- разработка, выпуск и проведение изменений межцеховых маршрутов изготовления в системе Teamcenter. Формирование ведомости технологических маршрутов по ГОСТ 3.1123-84;
- разработка, выпуск и проведение изменений маршрутно-операционных технологических процессов сборки в системе PLM Teamcenter в соответствии с ЕСТД согласно ГОСТ 3.1105-84, ГОСТ 3.1118-82, ГОСТ 3.1105-84, ГОСТ Р 50-67-88, ГОСТ 2.503-90, ГОСТ 2.051-2006;
- разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ в Teamcenter/NX CAM;
- разработка, выпуск и проведение изменений маршрутных и операционных технологических процессов механической обработки в системе Teamcenter® в соответствии с ЕСТД согласно ГОСТ 3.1105-84, ГОСТ 3.1118-82, ГОСТ 3.1404-86, ГОСТ 3.1502-85, ГОСТ 3.1404-86, ГОСТ Р 50-67-88, ГОСТ 2.503-90, ГОСТ 2.051-2006;
- конфигурирование технологических процессов по серии и дате;
- разработка, выпуск и проведение изменений средств технологического оснащения в Teamcenter/NX, аналогично разработке электронной КД на основное изделие;
- управление заказами (заявками) на проектирование/изготовление средств технологического оснащения в соответствии с ЕСТД, ЕСТПП согласно ГОСТ Р 50-67-88, ГОСТ 3.1404-86;
- управление и использование единой базы нормативно-справочной информации в Teamcenter® при решении задач технологической подготовки производства;
- автоматизированное нормирование трудозатрат и расхода материалов.

Сроки внедрения Унифицированного решения составляют от 4 до 10 месяцев (в зависимости от выбранных модулей Унифицированного решения). Традиционное внедрение Teamcenter составляют от 12 до 24 месяца (для аналогичного перечня решаемых задач).

Выводы: решение любых инженерных задач должно происходить в PLM-системе, это необходимо для корректного анализа этих данных, для своевременного принятия обоснованных организационно-административных и технических решений, для уверенности в актуальности данных, для уверенности в защищенности и сохранности этих данных, для использования этих данных в других системах (ERP, MES).

Правильная организация работ в PLM-системе значительно сокращает время на взаимодействие специалистов и подразделений, на поиск и проверку актуальности информации, исключает повторный ввод данных, упрощает и многократно увеличивает повторное использование данных, формализует

форматы данных, выходных документов и бизнес-процессов.

Унифицированное решение позволяет еще на этапе выбора PLM-решения оценить его функциональность и возможность его

внедрения на предприятии, а также быстро перейти к работе в единой информационной среде, за счет методологии быстрого внедрения ООО «Клио-Софт».

IMITATING MODELING OF PROCESS OF DETAILS MACHINING ON THE EQUIPMENT WITH NUMERICAL PROGRAM CONTROL IN THE LOCAL MEDIUM AND IN THE UNIFORM INFORMATION MEDIUM

© 2014 A.M. Ermolaev, M.V. Tarasov, I.N. Kopeikin

JSC "Clio-soft"

Article covers problems and approach to imitating modeling of processes of details machining on the equipment with numerical program control, problems and approach to development the operating programs in a context of PLM ideology, general problems and approach to development and deployment of PLM-solutions in machine-building branch.

Key words: *imitating modeling, machine, operating program, post-processor, model, technological documentation, machining, NX, Teamcenter, PLM*

Andrey Ermolaev, Leading Specialist. E-mail: ermolaev@clio-soft.ru

Mark Tarasov, Engineer. E-mail: mark@clio-soft.ru

Ivan Kopeykin, Control Systems Architect. E-mail: kopeikin@clio-soft.ru