

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НИСХОДЯЩЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ОСНОВАННОЙ НА РЕШЕНИЯХ WINDCHILL PDMLINK И САПР PRO/ENGINEER, ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

© 2011 Л.А. Комарова^{1,2}, А.Н. Филатов²

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет

² ФГУП ГНП РКЦ «ЦСКБ - Прогресс», г. Самара

Поступила в редакцию 20.03.2011

Рассмотрена методология нисходящего проектирования сложных промышленных изделий и принципы автоматизации отдельных этапов этого процесса на примере изделий ракетно-космической техники и интегрированных решений САПР Pro/ENGINEER вместе с системой управления инженерными данными Windchill PDMLink. Рассмотрены особенности и вытекающие из них преимущества методологии нисходящего проектирования, разработан уникальный программно-методический комплекс для проектирования изделий РКТ, применение которого проиллюстрировано примерами применения методологии нисходящего проектирования в ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс».

Ключевые слова: *мастер-геометрия, проектирование, ракетно-космическая техника, нисходящее проектирование, управление данными*

Сегодняшний этап развития различных отраслей промышленности, включая производство изделий ракетно-космической техники (РКТ), являющихся сложными наукоемкими объектами, требует широкого применения новейших информационных технологий. Это объясняется тем, что современный рынок изделий РКТ характеризуется высокой степенью конкуренции, а одним из наиболее действенных способов обеспечения конкурентоспособности является уменьшение времени проектно-производственного цикла. Решение этой задачи не мыслится без таких информационных технологий, как автоматизированное управление инженерными данными, управление и работа с большими сборками, параллельное проектирование при реализации комплексных проектов с участием большого количества исполнителей. Не менее важным является внедрение современных методов организации проектного процесса, которые должны обеспечивать быструю и качественную разработку изделий при условии обеспечения соответствующего качества и надежности инженерных и конструкторских решений.

Комарова Любовь Александровна, аспирантка, инженер-конструктор 3 категории. E-mail: lju.kot@mail.ru

Филатов Александр Николаевич, начальник управления информационных технологий

Как известно, процесс проектирования изделий с использованием САПР может быть реализован в виде двух возможных принципиально отличных друг от друга методов: восходящего (снизу - вверх) и нисходящего (сверху - вниз) проектирования [1]. Принципиальное отличие этих методов проиллюстрировано на рис. 1. При традиционном подходе к проектированию с использованием трехмерных САПР (Bottom-Up Design, проектирование «снизу – вверх») новые изделия проектируются так, что сначала разрабатывают, то есть создают электронные модели отдельных деталей, независимо друг от друга. Затем из них, как из составных частей, создают отдельные сборки, под сборки и уже завершающим этапом создается сборочная конструкция в целом, которая определяет в конце процесса состав изделия и, соответственно, его спецификацию. Важно отметить, что конструктор разрабатывает детали индивидуально и независимо от сборки.

Одним из неприятных для конструктора следствий этого метода проектирования является то, что после окончательной сборки выясняется, что модели деталей, будучи спроектированными независимо друг от друга, могут входить в сборку некорректно, например, они могут пересекаться друг с другом. Естественно эти коллизии должны затем исправляться, но это требует ручной корректировки каждой модели, входящей в некорректную сборку. С увеличением размера сборки эти исправления могут отнимать все больше и больше времени.



Рис. 1. Методы проектирования изделий

Еще один неприятный момент этого метода проектирования состоит в том, что, если параметры моделей зависят друг от друга, но их взаимосвязи не заданы, то внесение изменений в конструкцию становится трудоемким делом и занимает много времени. Конструктор вынужден изменять параметры каждой детали по отдельности, а затем проверять сборку на пересечение компонентов, механизм – на работоспособность и т.д. Наличие большого количества перекрестных ссылок затрудняет проведение конструктивных изменений в ходе проработки различных вариантов конструкции изделия. Однако, несмотря на указанные обстоятельства, метод восходящего проектирования достаточно широко применяется в проектировании изделий, спецификой которых является минимальное количество изменений и заранее полностью определенная конструкция всех компонентов.

Альтернативой рассмотренному методу является метод нисходящего проектирования (Top Down Design, проектирование «сверху – вниз»), когда изделие разрабатывается сначала как концептуальная модель, а затем, в процессе проектирования, постепенно развивается в полноценную модель с деталями и подбороками. Конструктор с самого начала работает с деталью, создавая ее электронную модель, как с частью одного большого изделия, имея при этом возможность отслеживать связи между компонентами. Главной особенностью нисходящего проектирования является то, что концептуальная информация об изделии помещается на более высокий уровень, а затем распределяется на более низкие уровни структуры проекта. При такой схеме большая часть концептуальной информации становится

доступной для любого конструктора, входящего в проектную команду, и может быть использована или включена в конструкцию входящих деталей и подборок. Ключевое преимущество метода заключается в том, что, фиксируя всю концептуальную информацию в одном источнике, мы существенно облегчаем ее изменение в случае необходимости. Отметим еще один немаловажный факт: так как на эту информацию ссылаются проектируемые компоненты, то после изменения концептуальной модели система автоматически изменит компоненты, которые имеют ссылки на эту модель.

При нисходящем проектировании основная информация о геометрии изделия содержится в модели каркаса или мастер-геометрии S. Все компоненты спроектированы с привязками к мастер-геометрии. Изменение геометрии каркаса управляет геометрией всей сборки. На базе одного каркаса может быть проработано несколько вариантов комплектации изделия. Использование нисходящего проектирования предусматривает создание многоуровневой Управляющей структуры, содержащей всю основную геометрию и базовые параметры проектируемого изделия. В основе Управляющей структуры лежат модели мастер-геометрии. Применительно к системе автоматизированного проектирования Pro/ENGINEER модели мастер-геометрии представляют собой скелетоны. Данные из мастер-геометрии верхнего уровня передаются на нижестоящий уровень и дополняются уточняющей геометрией, позволяя, таким образом, сформировать полную концептуальную схему проектируемого изделия. Разветвленная схема Управляющей структуры дает возможность организовать параллельную работу разных подразделений проектантов и конструкторов. Заключительным этапом является создание реальных конструкторских моделей деталей и узлов со ссылками на мастер-геометрию и выпуск комплекта конструкторской документации на изделие.

Разработка нового изделия методом нисходящего проектирования позволяет в полной мере обеспечить поддержку следующих сторон реального процесса проектирования:

- предварительная разработка структуры изделия;
- проработка концепции на стадии трехмерного эскизного проекта;
- детальная проработка конструкции изделия на стадии рабочего проекта;
- возможность организации параллельной работы групп проектировщиков и конструкторов за счет использования в качестве исходной

информации общей геометрии, распределяемой через структуру каркасных моделей (скелетонов);

- возможность осуществления контроля над привязками и управления потоком информации в рамках проекта;
- возможность быстрого обновления состояния общей геометрии в рабочих группах при изменении начальных условий проекта;
- возможность исключения циклических ссылок.

Использование метода нисходящего проектирования дает возможность не только разработки и выпуска конструкторской документации на базе моделей сборок и деталей изделия, но выполнения других работ по подготовке производства, включая:

- подготовку и запуск КД в производство;
- разработку моделей и КД сборочной оснастки на основе конструкторских данных в качестве входящей информации; разработку рабочей и контрольной оснастки, а также разработку управляющих программ для станков с ЧПУ на базе моделей деталей.

Следует отметить, что разработка и внедрение этого метода для проектирования изделий РКТ в ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» позволило создать уникальный программно-методический комплекс, который на основе творческого подхода к концепции нисходящего проектирования развил эту концепцию. Результатом явилось ее новое наполнение, которое с полным правом можно отнести к новому типу методологии нисходящего проектирования, а именно, к подходу, известному, как Enterprise Top Down Design (ETDD). Подход ETDD включает в себя следующие ключевые моменты:

- создание концептуальной архитектуры изделия;
- разработка детализированной проектной структуры изделия;
- проектирование и конструирование деталей и компонентов;
- ведение интегрированной базы данных об изделии.

Отличительной особенностью этого подхода является использование системы PDM (Product Data Management – управление инженерными данными) для организации и ведения электронного хранилища всей информации о создаваемом изделии на всем протяжении его жизненного цикла. По сути, в этой базе данных создается полный электронный макет изделия со всей сопутствующей информацией, включая электронные модели

деталей и сборок, конструкторскую, технологическую и эксплуатационную документацию, результаты инженерных расчетов, документацию по испытаниям и т.д. Кроме того, система PDM используется для управления и мониторинга проекта, обеспечивая планирование и актуальный и достоверный контроль выполнения работ всеми исполнителями.

В качестве основных инструментальных средств для реализации в ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» концепции ETDD были использованы системы Pro/ENGINEER и Windchill PDMLink, разработанные компанией PTC (США). Методология нисходящего проектирования используется на предприятии для вновь создаваемых изделий в ходе проведения проектно-конструкторских работ.

Схема организации нового проекта. Существуют различные типовые схемы организации проекта разработки изделия. Выбор схемы основан на сложности конструкции и количественном составе группы разработчиков. Мы остановимся на кратком описании схемы, предназначенной для разработки крупного изделия, такого как изделие РКТ, над которым работает большая команда разработчиков. Данная схема легла в основу настоящей методики нисходящего проектирования, применяемой в ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс». При разработке проекта по данной схеме весь проект разбивается на две отдельные части (см. рис. 2):

- управляющая структура;
- конструкторская сборка изделия (КС).

Отметим, что разработкой Управляющей структуры и Конструкторской сборки занимаются различные подразделения или группы специалистов в силу разного функционального назначения этих элементов. В основе схемы на этапе разработки и проектирования конструкции изделия заложен последовательный переход от Управляющей структуры к Конструкторской сборке изделия. Это позволяет в одни и те же модели Управляющей структуры заложить разные варианты или модификации изделия. Также это разделение позволяет сделать Управляющую структуру полностью независимой от схемы узлового изделия. Управляющая структура является местом упрощенных конструкторских проработок и схема её деления на под сборки может значительно отличаться от финальной схемы узлового изделия. Напротив, Конструкторская сборка изделия полностью отвечает планируемой структуре изделия.

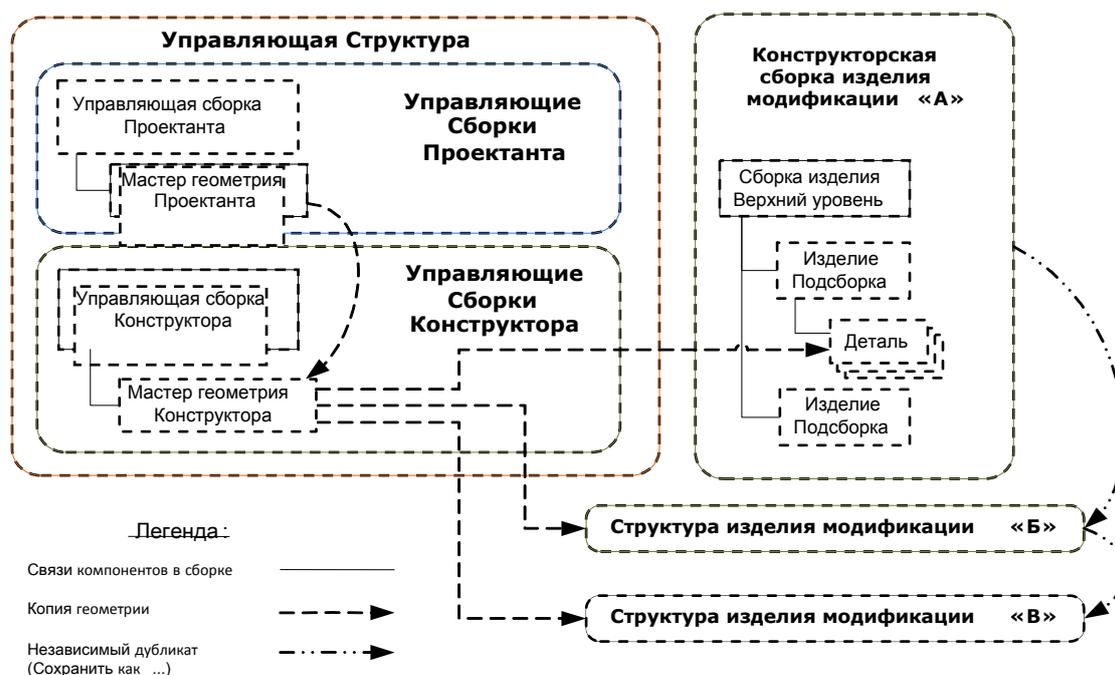


Рис. 2. Схема проекта

Управляющая структура, в свою очередь, состоит из Управляющей сборки проектанта (УСП) и Управляющей сборки конструктора (УСК). Эти три основные сборки – УСП, УСК и КС – не являются подсборками друг друга. УСП и УСК состоят из файлов мастер-геометрии, в которых разработчики создают контрольную геометрию. КС собрана из компонентов согласно структуре состава изделия и содержит модели реальных деталей. Для простоты на схеме, представленной на рисунке, показаны одноуровневые сборки. Реальный проект, разумеется, имеет существенно больше разветвлений, чем это показано на схеме.

Разработка проекта начинается с того, что соответствующие специалисты – проектанты создают Управляющую сборку проектанта. В файлы мастер-геометрии УСП заносятся основные параметры изделия согласно ТЗ на его разработку. Создаются теоретические обводы всего изделия, и разрабатывается компоновка основных узлов и агрегатов. Отметим, что на данном этапе делаются достаточно простые геометрические построения, так как важно эти построения сделать в единой, удобной и понятной всем разработчикам форме для дальнейшего использования. Результатом работы проектантов является мастер-геометрия проектанта (МГП) и модель распределения пространства (МРП), которые содержат информацию для проведения работ конкретными конструкторскими подразделениями. МГП и

МРП доступны конструкторам только в режиме чтения. Ведущие конструктора, занимающиеся разработкой конструкции изделия по направлениям, используют МГП и МРП в качестве основополагающей информации. Они копируют геометрические данные из МГП и МРП в файл мастер-геометрии конструктора УСК, затем разрабатывают мастер-геометрию на узел и в контексте УСК передают информацию в рабочие мастер-геометрии УСК. В рабочих мастер-геометриях УСК подготавливается информация в виде «Общей геометрии» для эскизных моделей. Эскизная модель содержит только «Внешнюю геометрию» в дереве построений и является источником информации для разработки конструктором модели детали. На основании Эскизной модели конструктор создает модель детали и разрабатывает на нее КД. Конструкторы создают и Управляющую сборку конструктора и Конструкторскую сборку изделия. В Управляющей сборке они прорабатывают конструкцию, размечают места крепежа, прорисовывают места стыковки деталей (модели границ). В Конструкторской сборке они создают твердотельную модель детали и располагают её на правильное место в структуре сборки, в соответствии со схемой узлового изделия. В данном процессе реализуется самый главный принцип нисходящего проектирования – геометрическая информация постоянно передается сверху вниз, от общей компоновки изделия до модели детали. Этим

исключается вероятность нестыковки или неоднозначного понимания геометрии между разработчиками разных уровней. В файлах мастер-геометрии проектантов и конструкторов можно заложить данные для разных модификаций изделия. Так как большая часть элементов и компонентов изделия будет одинаковой в разных модификациях, то работа по созданию новой модификации значительно упростится.

Примеры применения методологии нисходящего проектирования в ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс». Внедрение технологии нисходящего проектирования на предприятии проходило последовательно по мере ее создания, отработки и дальнейшего совершенствования. Первый опыт ведения проекта с использованием методик проектирования на основе системы Pro/ENGINEER был получен при разработке двухмоторного самолета легкого класса «Рысачок» для летных училищ. В ходе выполнения этого проекта в практику работы конструкторов были внедрены такие элементы методологии, как «мастер-геометрия», «управляющая структура», «ссылка на модель верхнего уровня», «следы силовой конструкции» и др. Были сделаны электронные трехмерные модели обшивок самолета, опирающиеся на мастер-геометрию, модели рубильников, прижимающих обшивку, и др. Этот проект был своего рода пилотным проектом, позволившим увидеть на конкретных практических результатах выгоды и преимущества новых подходов к организации проектного процесса. Следует отметить, что на проекте легкомоторного самолета применялись и нисходящее, и восходящее проектирование. Была разработана мастер-геометрия самолета и созданы необходимые условия для работы «сверху – вниз», однако, в силу разных причин, модели отдельных деталей и сборок выполнялись в технологии «снизу – вверх». Но когда трехмерные модели этих деталей, разработанные разными конструкторами, не стали совмещаться в единые сборки, то пришлось выполнять много лишней работы по увязке сборок. Это послужило хорошим подтверждением преимуществ технологии нисходящего проектирования [2]. Однако технология восходящего проектирования тоже имеет право на жизнь. Например, если проектируется агрегат с высокой степенью заимствования или же вообще ведется оцифровка ранее созданного изделия, то здесь уместна технология восходящего проектирования.

Несмотря на некоторые сложности, связанные с освоением новой для предприятия

САПР Pro/ENGINEER, проект оказался успешным. Реальные разработки узлов начались в I квартале 2008 г., и фактически за полтора года вся КД была подготовлена для передачи на производство. На рис. 3 представлен электронный макет самолета.

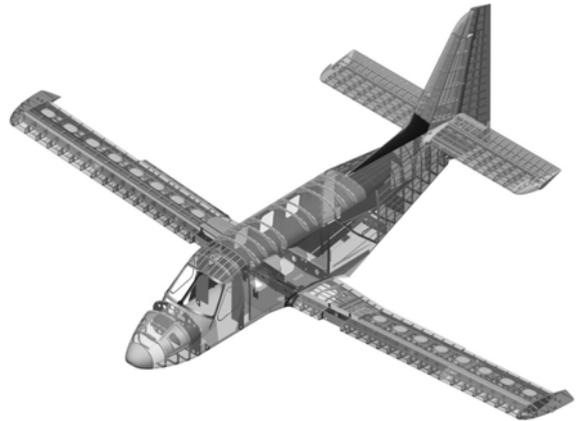


Рис. 3. Электронный макет самолета «Рысачок»

Следующим стал проект создания ракеты-носителя (РН) легкого класса на базе РН «Союз». Этот проект ведется в настоящее время по всем правилам технологии нисходящего проектирования, которая была адаптирована к условиям нашего предприятия и принята в качестве методического материала.

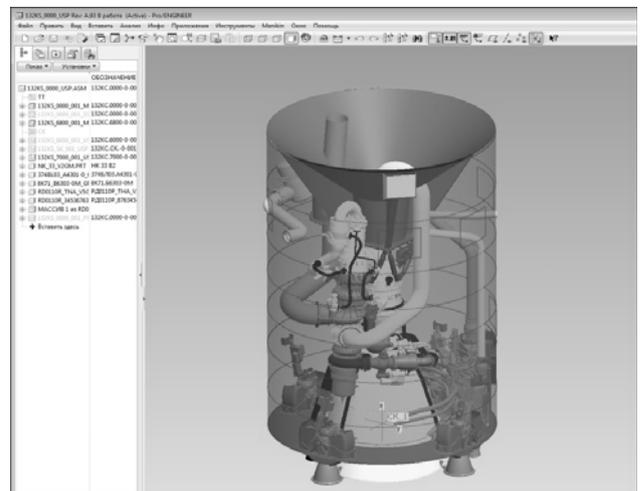


Рис. 4. Компоновка трубопровода в хвостовом отсеке ракетносителя легкого класса на базе РН «Союз»

В качестве практических результатов можно отметить следующее. Если на создание документации по данному РН обычными методами потребовалось бы не менее 4-5 лет (а часто и больше), то благодаря новым методам на запуск документации в производство понадобился немногим более года, причем в ходе

проектирования был сделан ряд серьезных принципиальных доработок изделия. На рис. 4 и 5 представлены элементы электронного макета РН, разработанного в технологии нисходящего проектирования.

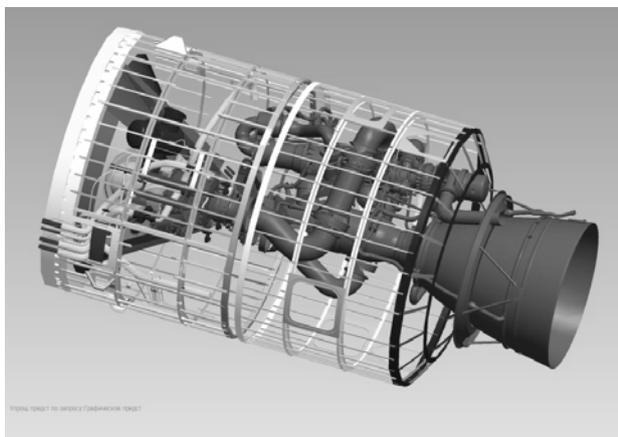


Рис. 5. Конструкторская сборка хвостового отсека ракетносителя легкого класса на базе РН «Союз»

В настоящее время запущены еще проекты, которые выполняются в технологии нисходящего проектирования. Речь идет о разработке блока выведения «Волга» и РН для космодрома «Восточный». Предварительные результаты работ по этим проектам подтверждают выгоды применения внедряемых на предприятии технологий. Например, за четыре месяца конструирования разгонного блока «Волга», начатого на основе созданной мастер-геометрии, конструкторы сумели почти завершить электронное моделирование отсека (см. рис. 6), а технологи уже приступили к работе по проектированию стапельной оснастки. Это, на наш взгляд, очень значимый результат по ускорению процесса разработки изделия. По оценкам экспертов, основная экономия времени разработки достигнута за счет сокращения количества доработок. Заслуживает внимания и еще одно обстоятельство. Прежде предприятие тратило огромные средства на отработку физических макетов. Сейчас, когда проектирование ориентируется на создание электронных моделей компонентов и электронного макета изделия в целом, в значительной степени отпадает необходимость макетирования «в железе», что ведет к существенной экономии ресурсов.

Еще один аспект современного подхода к проектированию – это взаимоотношения с партнерами по кооперации. Известно, что это является «узким местом» практически во всех отраслях промышленности. Традиционный обмен бумажными документами должен заменяться

передачей электронных данных по сетям коммуникаций или поставкой на электронных носителях. Например, конструкция РН для космодрома «Восточный» разрабатывается совместно с ОАО «ГРЦ Макеева». В ходе этого проекта были разработаны и внедряются некоторые механизмы взаимодействия, из которых следует упомянуть обмен габаритно-установочными моделями (ГУМ). В обычном режиме достаточно получить от партнера по кооперации ГУМ, выполненную в системе Pro/ENGINEER, чтобы использовать ее для дальнейшей разработки конструкции блоков и узлов РН. В случае более активной совместной проработки узлов применяются модели границ. Двухлетний опыт создания и использования этой методологии показывает, что основным положительным моментом использования нисходящего проектирования является возможность централизованно проводить изменения по всему изделию [2].

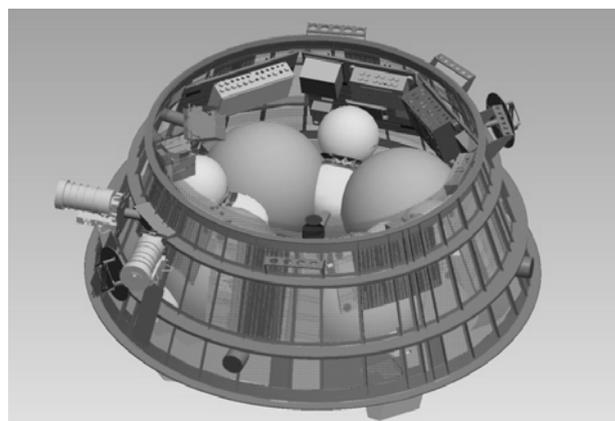


Рис. 6. Электронная сборка блока выведения «Волга»

Изменения инициализируются на уровне проектантов и последовательно спускаются вниз – на уровень конструкторов. Конструктора, в свою очередь, переносят эти изменения на модели деталей. Также важный аспект состоит в том, что все участники проекта работают по единой методике, понятной и прозрачной для всех, что и позволяет организовать параллельную разработку узлов, основанных на одних и тех же исходных данных. При этом на любом этапе разработки можно безболезненно передать проектные работы от одного специалиста к другому.

Отдельный вопрос при организации нисходящего проектирования в крупном проекте – это жесткое требование к централизованному управлению всеми файлами проекта. Множество моделей имеют копии данных с моделей разных уровней. Необходимо обес-

печивать постоянный доступ ко всем файлам проекта всем задействованным в проекте специалистам. Такую роль может выполнять только PDM-система, в данном случае система WINDCHILL PDMLink.

Не секрет, что главной целью ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» является достижение конкурентного преимущества. Основными факторами достижения этой цели являются сокращение сроков разработки изделий и уменьшение стоимости разработки. Известно, что практически все отечественные проекты отличаются долгосрочностью в силу различных причин. Если говорить о крупных проектах, таких как космический аппарат (КА) или РН, то они в основном реализуются в срок не менее 3-5 лет. В ракетно-космической отрасли нередки примеры проектов, которые тянутся 10 и более лет. Задачей предприятия является доведение сроков разработки космического аппарата до 2 – 2,5 с половиной лет, что является нормальным временным циклом для

европейских компаний, занятых в аналогичной сфере. Немаловажный вклад в решение этой задачи должны внести технологии нисходящего и параллельного проектирования, основанные на идее работы в контексте единой сборки.

Выполнено в рамках реализации ФЦП "Научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гаршин, О.* Преимущества нисходящего проектирования на примере использования Pro/ENGINEER WILDFIRE» / *О. Гаршин, А. Московченко* // САПР и графика. 2004. № 11. С. 4. <http://www.sapr.ru/article.aspx?id=14915&iid=707>
2. *Суханова, А.* Мы владеем уникальной методологией нисходящего проектирования. Интервью А.Н. Филатова, директора по ИТ ФГУП ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» // CAD/CAM/CAE Observer. 2010. № 5(57). С. 10-23.

APPLICATION OF DESCENDING DESIGNING TECHNOLOGY BASED ON DECISIONS WINDCHILL PDMLINK AND SAPR PRO/ENGINEER, FOR WORKING OUT PRODUCTS OF SPACE-ROCKET TECHNICS

© 2011 L.A. Komarova^{1,2}, A.N. Filatov²

¹ Samara State Aerospace University

² «CSCB - Progress», Samara

The methodology of descending designing the difficult industrial products and principles of automation of separate stages of this process on an example of space-rocket technics products and integrated solutions SAPR Pro/ENGINEER together with control system of engineering data Windchill PDMLink is considered. Features and advantages of descending designing methodology following from them are considered, the unique program-methodical complex is developed for designing of RST products which application is illustrated by examples of descending designing methodology application in «CSCB-Progress».

Key words: master geometry, designing, space-rocket technics, descending designing, data control