

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ WAVE-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ В АВИАЦИИ

© 2017 М.В. Гришин¹, А.В. Лебедев², П.Ю. Павлов³

¹ АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения»

² Институт Авиационных технологий и управления, г. Ульяновск

³ Ульяновский государственный университет

Статья поступила в редакцию 29.09.2017

В данной работе авторами предлагается методика создания 3-D моделей оснастки в САПР, основанная на «нисходящей стратегии» проектирования с применением WAVE-технологии. Данная методика позволяет распараллелить часть проектно-конструкторских работ в технологической подготовке производства (ТПП), что в целом, снижает себестоимость конечного изделия и сроки его изготовления.

Ключевые слова: технологическая оснастка, WAVE-технология, САПР, авиационная техника, производство, проектирование.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из задач инженера-конструктора является разработка геометрии будущего изделия. Длительное время эта задача решалась посредством создания плоского чертежа. Созданный по традиционной технологии чертеж является приближенным отображением геометрии, которая существует в воображении конструктора. Таким образом, задуманную форму геометрия обретает только в процессе изготовления готового изделия или его макета. До недавнего времени традиционная технология разработки геометрии развивалась практически на безальтернативной основе. В результате в конструкторских организациях сложилась устойчивая привычка к ограничениям, которые однажды были наложены процессом черчения на бумаге.

В настоящее время задача создания плоского чертежа в инженерно-конструкторской деятельности заменена на проектирование электронных моделей деталей (ЭМД) и сборочных единиц (ЭМСЕ) посредством различных систем автоматизации проектирования (САПР). Однако, если переход к бесплазовому методу производства деталей и сборочных единиц (СБЕ) в настоящее время практически завершен [1], то переход к бесчертежному производству находится на начальном этапе, поэтому в большинстве случаев свою реальную геометрическую форму изделие обретает только после изготовления его «в металле». В данном случае в це-

почке «ЭМ – чертеж – деталь» ЭМ является лишь первоисточником для создания бумажного чертежа, в результате чего на геометрию изделия накладывается ряд ограничений, пришедших из традиционного процесса воспроизведения графики изделия методом черчения на бумаге.

1. РАССМОТРЕНИЕ ПРОБЛЕМАТИКИ ЗАДАЧИ

Как уже было сказано выше, разработка чертежей накладывается ряд ограничений, рассмотрим их более подробно [2]:

- Неполнота графической информации.

Сложность исполнения форм и взаимного расположения элементов в СБЕ досконально могут быть описаны только определенным количеством видов и разрезов и, как факт, чем сложнее изделие, чем большее количество элементарных единиц в него входит, тем больше требуется «форматов» чертежа для полного представления инженерной мысли, а следствием становятся ошибки в последующих технологических процессах (ТП).

- Отсутствие ассоциативности.

Каждый элемент описывающий конструкцию и каждый чертежный лист независим сам по себе, поэтому внесение корректировок приводит к тому, что значительную часть графической информации приходится корректировать вручную заново.

- Отсутствие согласованности.

Сборочные чертежи (СБЧ), являющиеся концептуальной моделью информации о взаимном расположении и взаимодействии компонентов, сами по себе не могут оказать влияние на правильность детализировочных чертежей. Детали и узлы, находящиеся в геометрической связи, находятся в ней тогда и только тогда, когда связь правильно вручную нанесена на чертеж. Более

Гришин Максим Вячеславович, кандидат технических наук, инженер-конструктор, член РАИИ.

E-mail: likani7@mail.ru

Лебедев Анатолий Валерьевич, доцент кафедры «Самолетостроение». E-mail: aw_lebedev@mail.ru

Павлов Павел Юрьевич, ведущий программист НИЦ CALS-технологий УлГУ. E-mail: pavel.y.pavlov@mail.ru

того, понятие бесчертежных деталей осталось, что требует нанесение дополнительной графики и простановки размеров на СБЧ.

В тоже время, появление современных твердотельных САПР и внедрение их в процесс проектирования конструкторской документации (КД) в ряде фирм было осуществлено на уровне простого, заменяющего кульман и карандаш, инструмента, не раскрывшего свой потенциал до конца. Все это привело к тому, что ограничения, присущие традиционным методам проектирования отразились и на процессах проектировании трехмерных твердотельных ЭМ в среде САПР [2]:

- Неполнота графической информации.

ЭМ проектируются по схеме, когда на ней отсутствует часть геометрических построений (к примеру, без части радиусов, фасок, резьб и пр.) т.к. сохраняется тенденция и ориентированность от бумажных чертежей на упрощения, в результате чего ЭМ оказывается непригодна для различного рода расчётов (к примеру, прочностных) и контроля деталей на контрольно-измерительных машинах (КИМ), хотя все эти элементы присутствуют в чертеже.

- Отсутствие ассоциативности.

Низкий коэффициент параметризации, отсутствие прямой зависимости «геометрия ЭМ_1 – геометрия ЭМ_2 – геометрия ЭМ_N» приводит к тому, что при изменении одной из зависимых ЭМ в СБЕ, остальные приходится корректировать вручную, что в конечном итоге повышает трудоёмкость проектирования и не исключает вероятность возникновения новых ошибок, а также затрудняет поиск альтернативных решений по принципу «что-если?».

- Отсутствие согласованности.

СБЕ, разработанная на основе так называемой «восходящей» стратегии проектирования (от элементарных деталей к СБЕ), в которой все спроектированные ЭМ независимо друг от друга увязываются непосредственно в контексте сборки и в дополнении с низким уровнем параметризации ЭМ; все это приводит к тому, что при каком-либо изменении в структуре ЭМ СБЕ процесс увязки нужно повторять заново.

2. ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ. ОБЩАЯ СТРУКТУРА ФАЙЛОВ

Устранить указанные выше недостатки можно при помощи применения «нисходящей» стратегии проектирования «от строительной мастер-геометрии (СМГ) или концептуальных параметров – к отдельным узлам и входящим в них детальным ЭМ». В данном случае на каждом этапе проектирования сохраняются связи между отдельными СБЕ и ЭМ на всех уровнях конструктивной структуры изделия, а геометрия становится согласованной, что исключает этапы дополнительных проверок и увязок. Более того, такой подход позволяет более безопасно и менее трудоемко экспериментировать со структурой будущего изделия, подбирая из ряда творческих идей конструктора наиболее приемлемую, раскрывая потенциал так называемого концептуального эксперимента [3].

Ниже рассмотрим общую структуру файлов (рис. 1).

Как видно из рис. 1, структура состоит из таких файлов, как:

CS_ (control structure) – файл контрольной структуры, в который помещаются все необходимые для проектирования и увязки файлы, являющийся концептуальной моделью и обладающей общей геометрией и параметрами, относящимися ко всему изделию.

WP_ (work part) – файл рабочей области в котором создаются все необходимые геометрические построения для данной детали, ассоциативно связанные с зависимыми элементами в СБЕ, узле, агрегате и т. д.

Part_number – файл детали, включающий в себя ассоциативную копию ЭМ из WP_. При изменении WP_ ЭМ, расположенная в part_number, корректируется автоматически.

AP_ (Assembly part) – файл, представляющий собой ЭМ СБЕ с включенными в его структуру и увязанными между файлами Part_number. В силу того, что проработка геометрии производится в WP_, и там же находится основная часть ссылок на геометрию, AP_ разгружается от из-

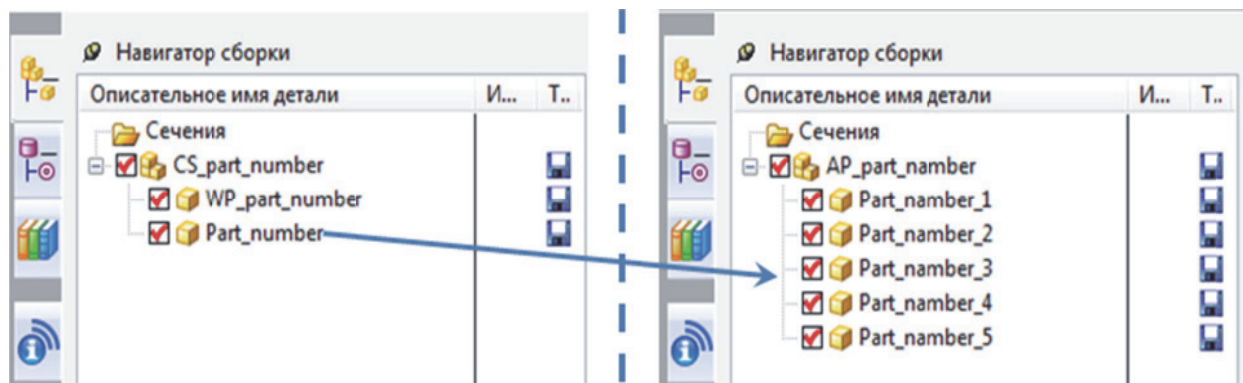


Рис. 1. Общая структура файлов

лишней информации и обладает корректными физическими характеристиками.

Part_number_DR – файл, включающий в себя ассоциативный чертеж, созданный из детали или сборочной единицы.

Для осуществления зависимой геометрии в CAD-системе Simens NX реализована так называемая WAVE-технология. WAVE – это инструмент, позволяющий ассоциативно копировать геометрию из одного файла модели в другой. Копировать можно любые геометрические объекты – твердые и листовые тела, системы координат, вспомогательные оси и плоскости, эскизы, кривые и точки, а также числовые параметры. Все изменения в исходной геометрии по умолчанию отслеживаются во всех ее WAVE-копиях [2]. Создание ассоциативной копии объектов осуществляется при помощи WAVE-линк. WAVE-линк – это операция создания в рабочей детали сборки ассоциативных геометрических объектов, связанных с другими деталями этой же сборки. В зависимости от установленной опции эта операция позволяет создавать также и неассоциативные объекты [4].

Далее в статье будет рассмотрено использование WAVE-технологии на примерах проектирования технологической оснастки, применяемой для изготовления и сборки деталей и узлов авиационной техники (АТ).

3. ФОРМООБРАЗУЮЩАЯ ОСНАСТКА

Формообразующая оснастка предназначена для изготовления деталей из листовых заготовок с помощью штамповки, формовки, обтяжки и т. д. [5].

Конструктивно формообразующая оснастка представляет собой металлическую или балинитовую болванку, повторяющую внешний или внутренний контур детали.

К самым основным видам формообразующей оснастки, применяемой в авиастроении, можно отнести формблоки и обтяжные пуансоны (рис. 2).

Одной из особенностей проектирования ТО для изготовления деталей сложной геометрической формы из листового материала является то, что оснастка должна повторять внутренний или внешний контур детали, а также должны быть учтены углы пружинения материала для уменьшения ручных доработок после формообразования [5].

Рассмотрим подробнее процесс проектирования формообразующей оснастки с помощью WAVE-технологий. Сначала инженер-конструктор создает структуру файлов, описанную ранее (ШАГ 1 рис. 3) и помещает в рабочий файл оснастки – WP_Part_number всю необходимую для проектирования геометрию при помощи редак-

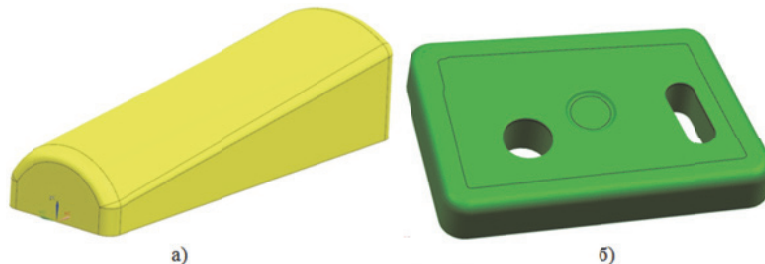


Рис. 2. а – формблок; б – обтяжной пуансон

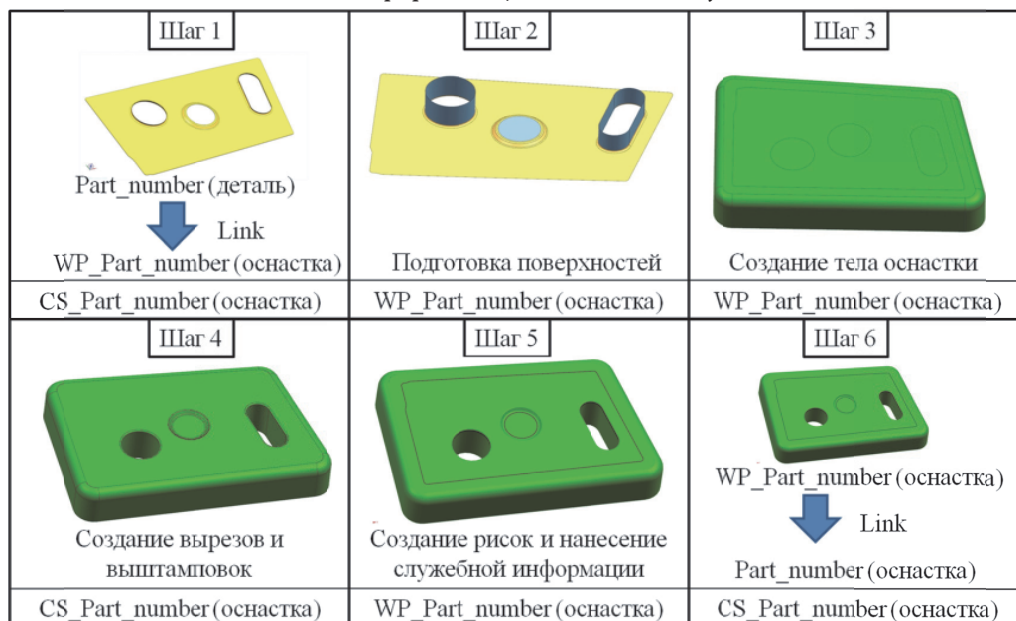


Рис. 3. Процесс проектирования формблока в САПР

тора WAVE-связей. Затем при помощи операций копирования и расширения граней создается поверхность-инструмент для создания различных выштамповок, отбортовок,гиба детали и т. д. (ШАГ 2 рис. 3). После чего создается твердое тело-заготовка, которое будет служить основой для построения формблока (ШАГ 3 рис. 3). Из тела-заготовки поверхностью-инструментом при помощи операции «Обрезка тела» создаются вырезы и выштамповка (ШАГ 4 рис. 3), а также шпилечные отверстия. На полученную твердотельную модель проецируются риски контура детали, риски тех. припуска, риски начала и концагиба и т.д. (ШАГ 5 рис. 3). Готовое твердое тело и все риски при помощи редактора WAVE-связей помещаются в файл детали оснастки – Part_number (ШАГ 6 рис. 3)

Описанная выше методика применима к проектированию обтяжных пуансонов, штампов, а также для станочных приспособлений для обработки детали сложной геометрической формы с необходимостью установки на ложементы и т.д.

Далее рассмотрим проектирование сборочного технологического оснащения

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАПЕЛЬНО-СБОРОЧНОЙ ОСНАСТКИ (ССО) С ПРИМЕНЕНИЕМ WAVE-ТЕХНОЛОГИИ

В авиастроительной области в условиях внеконвейерного производства для сборки узлов и агрегатов ВС в единое целое применяется ССО. ССО представляет собой раму (каркас) с установ-

ленными на ней рубильниками, ложементами, различными фиксаторами и прижимами для точного позиционирования объекта сборки и выполнения необходимых технологических операций [6]. Как правило, данный вид оснастки является наиболее трудоемким, ответственным, сложным в проектировании и дорогим в изготовлении, поэтому авиастроительные предприятия прикладывают немало усилий для снижения издержек на каждом из этапов жизненного цикла (ЖЦ) ССО.

Как видно из рис. 4, в процессе согласования и отработки конструкции в эксплуатации [7] на каждом из этапов может, а как показывает практика в большинстве случаев и возникает, необходимость перепроектирования исходной ЭМ СБЕ на основании различного рода замечаний и предложений.

В целях сокращения времени и повышения производительности труда инженера-конструктора на перепроектирование ЭМ СБЕ (особенно крупных, включающих несколько десятков элементарных деталей), целесообразно использовать WAVE-технологии. В части проектирования ССО множество элементов стапеля напрямую зависят как от геометрии обводообразующих элементов конструкции агрегата ВС, так и их расположения относительно основных плоскостей самолета. Как следствие, даже незначительное изменение, к примеру, кривизны обшивки, повлечет за собой серьезные изменения в геометрии оснастки, которые править «в ручном» режиме крайне трудоемко, и такая правка может привести из-за невнимательности к грубейшим ошибкам. Подобное положение

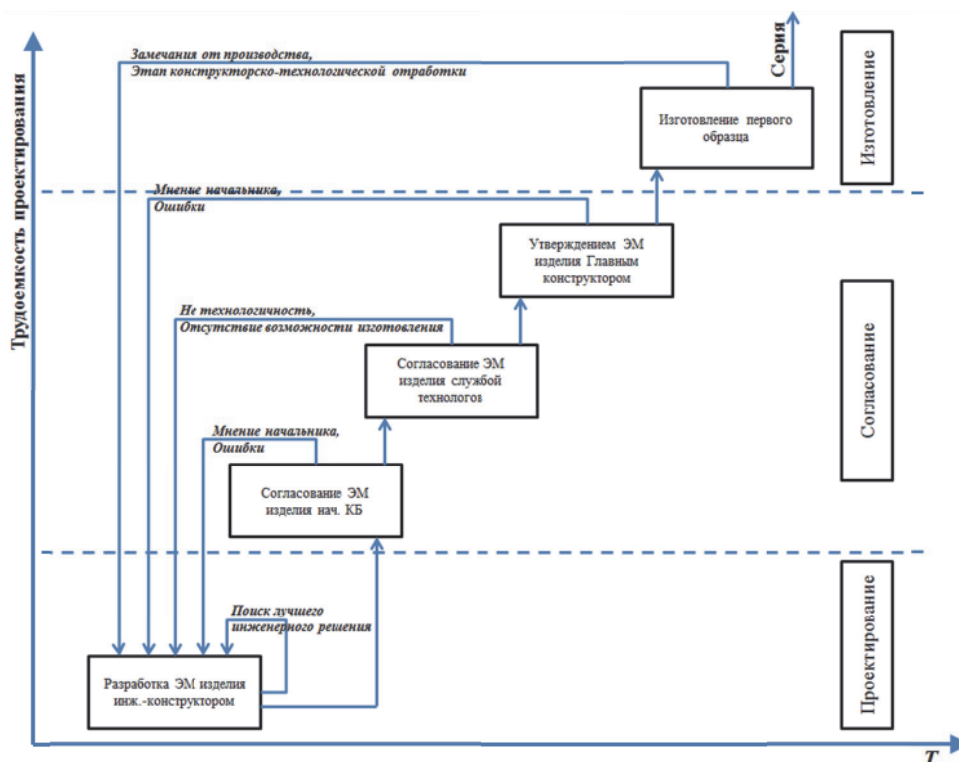


Рис. 4. Этапы разработки, согласования ЭМ и изготовления изделия «в металле»

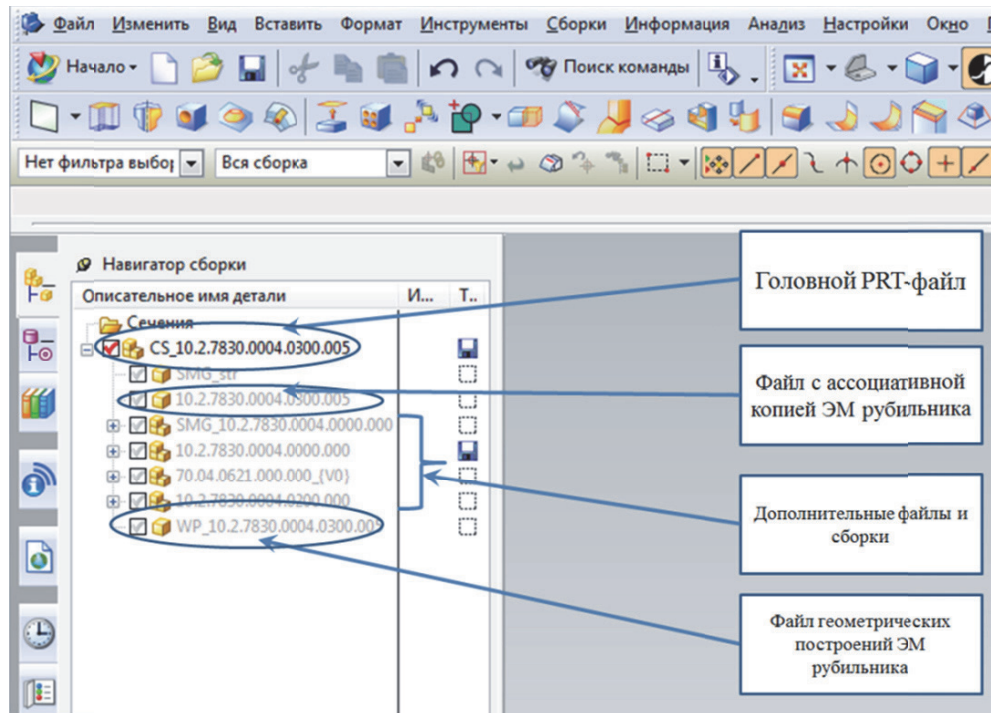


Рис. 5. Структура файла детали «Рубильник»

ние дел говорит только в пользу использования WAVE-технологий, т.к. чем больше зависимых элементов между собой, тем проще, быстрее и безопаснее перепроектировать ЭМ ССО.

Ниже авторами рассматривается процесс проектирования детали типа «Рубильник», входящей в ЭМ ССО, предназначенной для сборки нижней панели грузового ВС.

Как видно из рис. 5, структура ЭМ идентична рассмотренной ранее в п. 2. Здесь присутствуют два

основных файла CS и WP и дополнительные файлы, из которых частично заимствуется геометрия.

Авторы отмечают, что количество дополнительных файлов, необходимых для построения ЭМ, зависит от множества различных факторов (подходов к проектированию, сложности изделия и т.д.), поэтому представленная здесь структура является весьма специфичной. На рис. 6 представлено раскрытие подгруженных в CS файлов и сборок.

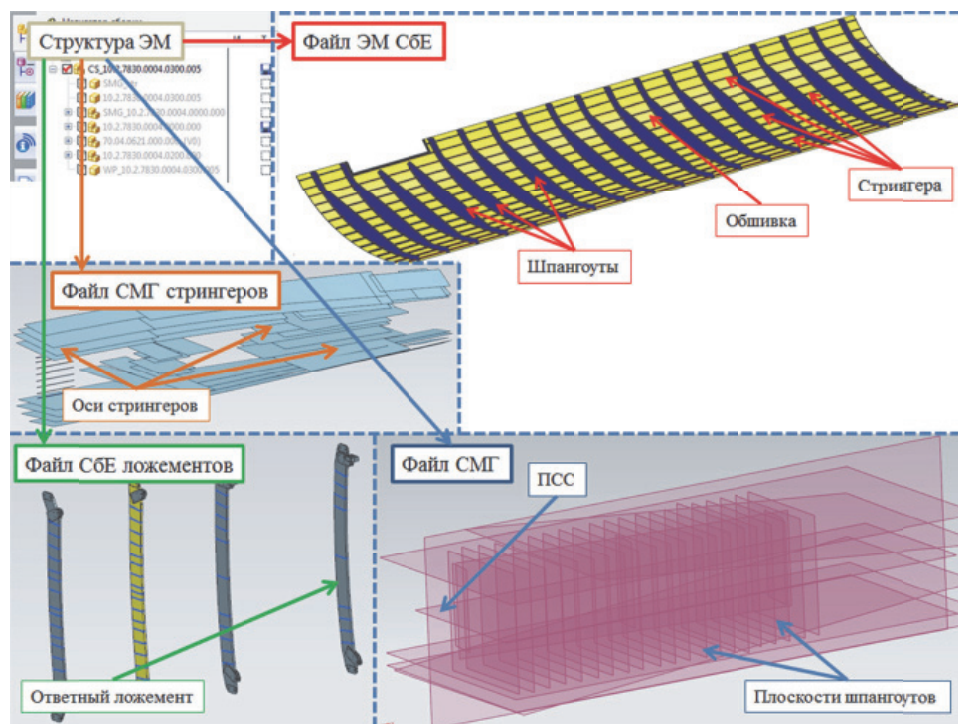


Рис. 6. Раскрытие дополнительных файлов

Прокомментируем эти файлы:

- Файл ЭМ СБЕ представляет собой модель нижней панели грузового ВС, на которую проектируется оснастка;

- Файл СМГ стрингеров – файл, включающий в себя линкованные поверхности, «снятые» с полок стрингеров, необходимые для нанесения рисок осей на рубильники и ложементы;

- Файл СБЕ ложементов – сборка, включающая в себя ЭМ ложементов, необходимых для стыковки крепежных отверстий и проверки геометрии рубильника, без его подгрузки в основную СБЕ;

- Файл СМГ – файл, включающий в себя плоскости шпангоутов, плоскость симметрии самолета и иные плоскости, необходимые в проектировании ЭМ;

После того как все необходимые файлы подгружены в CS, конструктор переходит в файл WP и посредством WAVE-линки создает необходимые ему в проектировании ассоциативные копии элементов. В нашем случае это внешняя поверхность обшивки, плоскость шпангоута (ШП) от которой будет строиться тело рубильника, ПСС, и тело ответного ложемента. Для взаимовязки рубильника и ложемента также можно прилинковать тело накладки. Обобщенно описанные выше элементы представлены на рис. 7.

Как только все необходимые ассоциативные копии включены в рабочий файл, конструктор приступает к построению рубильника [8, 9]. Ис-

ходя из того, что искомая поверхность обшивки имеет различного рода вырезы, рационально создать ее копию и расширить на определенную длину, для того чтобы обшивка гарантированно соприкасалась с рабочей поверхностью рубильника (ШАГ 1, рис. 8) или имела гарантированный зазор для установки резиновой прокладки или прижимов. После этого полученная поверхность смещается относительно ложемента на эквидистанту, указанную в ТЗ на проектирование оснастки (ШАГ 2, рис. 8). Используя линкованную плоскость ШП, конструктор вначале находит пересечение смещенной поверхности и плоскости, после чего эквидистантами влево и вправо смещает кривую и достраивает контур рубильника (ШАГ 3, рис. 8). Следующим шагом является создание тела рубильника, и (ШАГ 5, рис. 8) полученной на ШАГе 2 смещенной поверхностью обрезаает тело рубильника, получая его рабочую зону, причем расстояние от рабочей зоны ложемента до рубильника получается точным. На ШАГе 6 рисунка 8 представлены спроектированные эскизы верха и низа рубильника (вырез под крепление к раме стапеля через ответный компенсатор и отверстие под крепление к ложемента посредством фиксатора).

Далее конструктором проектируются вырезы под стрингера. Для этого (ШАГ 7, рис. 9) вначале находятся пересечение тел стрингеров с плоскостью ШП, в результате чего мы получаем профили сечения, а уже относительно них (ШАГ 8, рис.

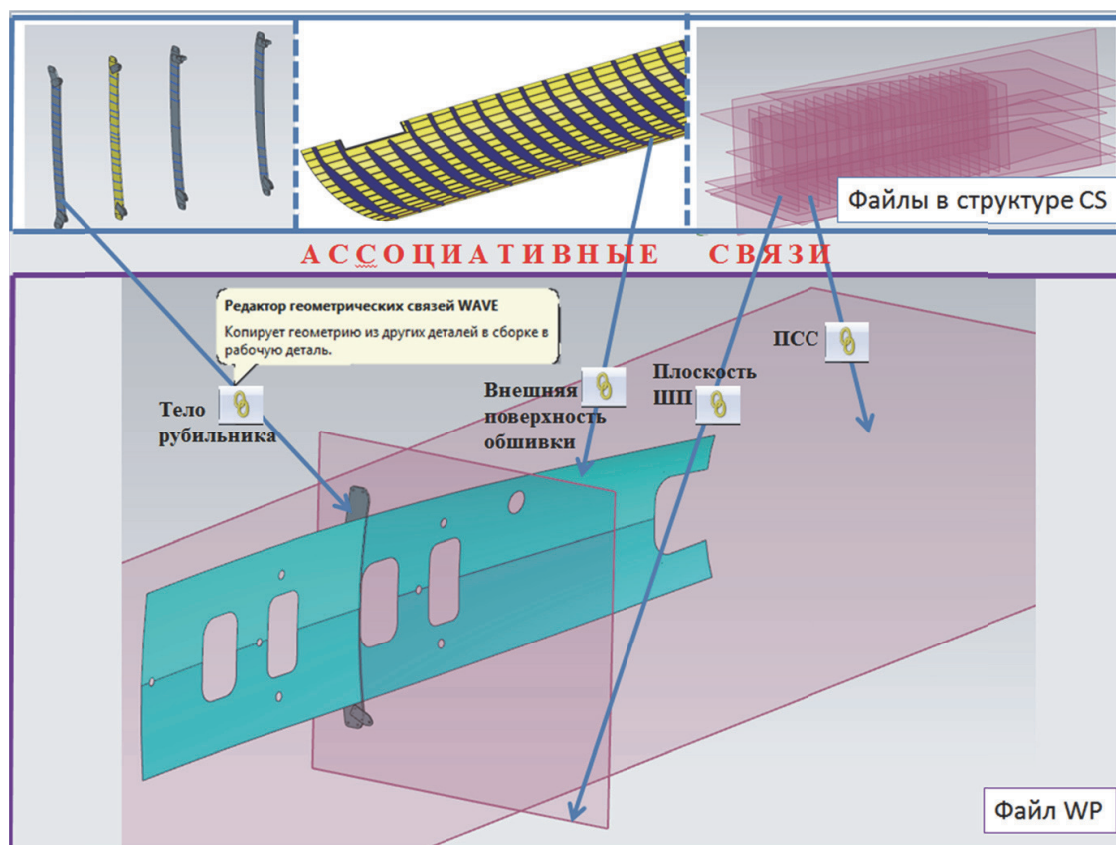


Рис. 7. Пример заимствования геометрии из структуры в рабочий файл WP

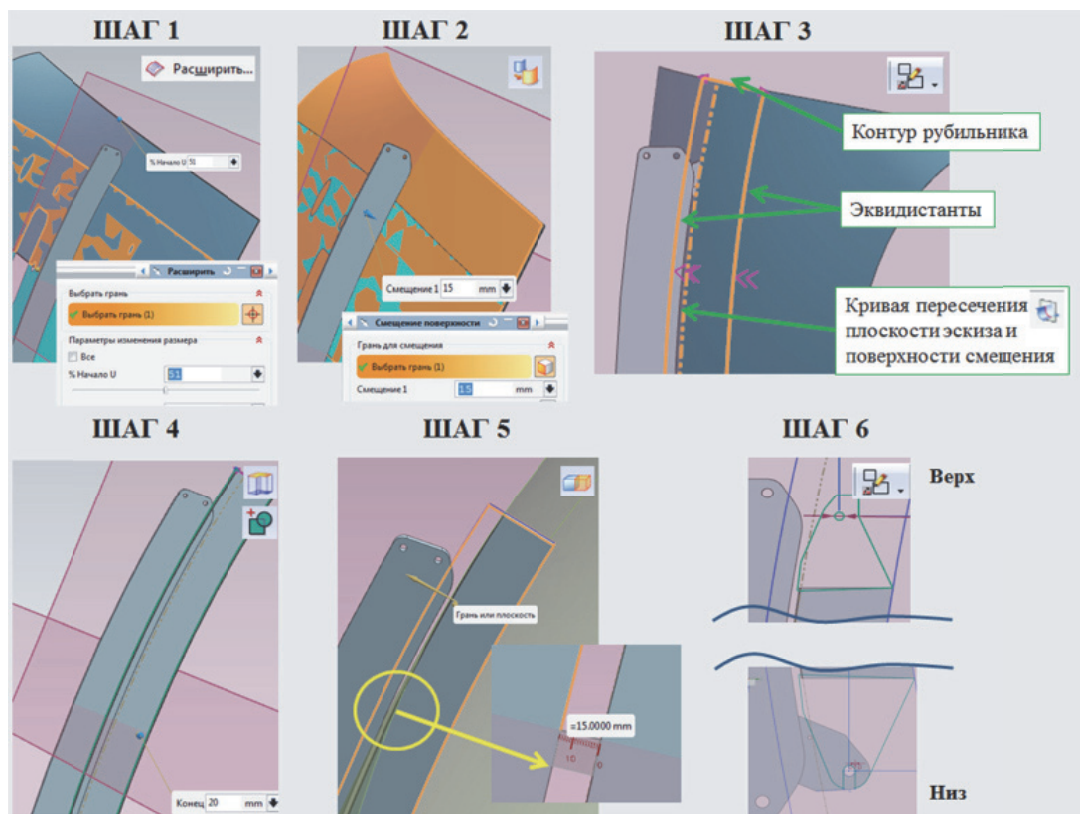


Рис. 8. Процесс проектирование рубильника в Simens NX 7.5

9) чертится эскиз вырезов. Завершающим этапом является построение выреза булевой операцией вычитания (ШАГ 9, рис. 9). На Шаге 10 обычно достраиваются последние элементы геометрии рубильника, такие как вырезы под крепежные

шайбы, наносятся радиусы скругления и т.п. Завершающим этапом построения полноценной модели является нанесение рисок осей стрингеров. Для этого в рабочей среде активизируется файл с СМГ стрингеров (ШАГ 11, рис 9) и мето-

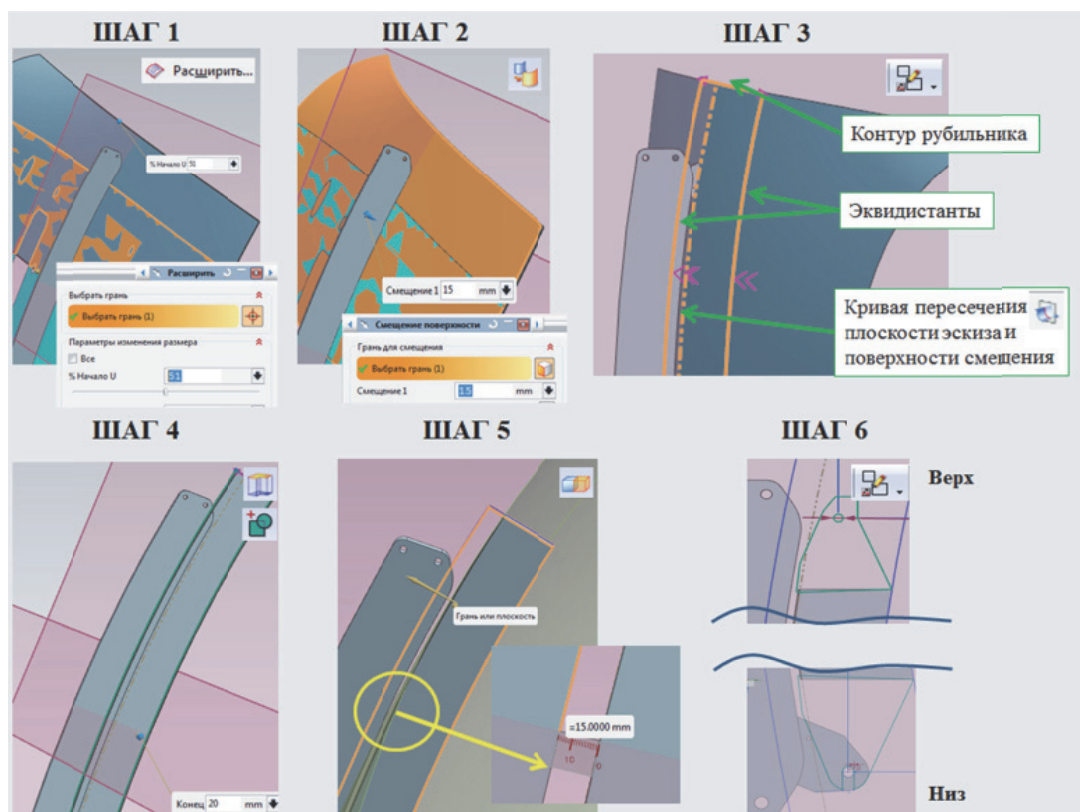


Рис. 9. Процесс проектирование рубильника в Simens NX 7.5 (продолжение)

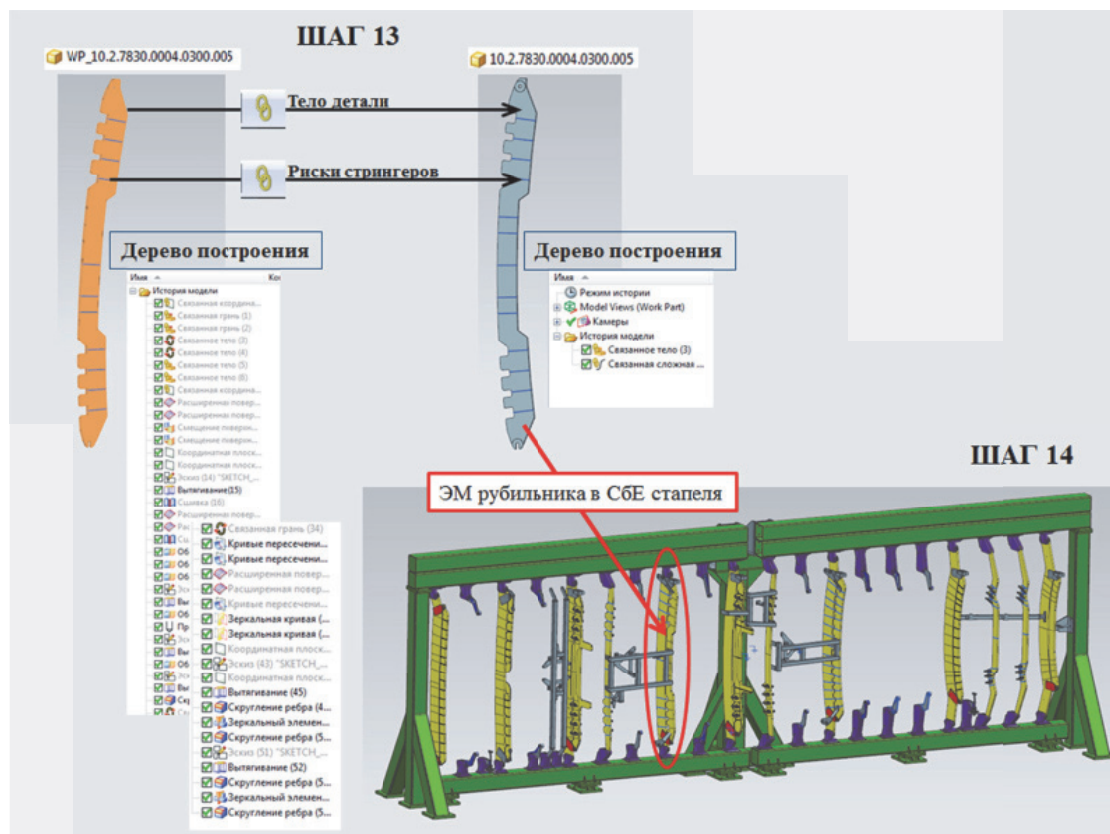


Рис. 10. Процесс проектирование рубильника в Siemens NX 7.5 (окончание)

дом пересечения необходимых поверхностей и тела рубильника строятся риски осей. На ШАГе 12 представлена готовая ЭМ рубильника.

Завершающим этапом (ШАГ 13, рис. 10) является установление WAVE-линка между WP файлом и файлом, в котором будет храниться копия ЭМ рубильника. Для этого конструктор активизирует файл и прилинковывает в него тело и риски осей стрингера. Как видно по дереву построения (рис. 10), все операции остаются в файле WP, а рабочем файле имеются только ассоциативные копии, которые при изменении

файла WP перестраиваются автоматически. Более того, оперируя такими ЭМ, можно значительно облегчить большую по весу СБЕ. Теперь файл рубильника можно подгрузить в общую сборку ССО (ШАГ 14, рис. 10). Аналогичным методом проектируются остальные рубильники (с учетом требований ТЗ) и ложементы.

Количество зависимых элементов и WAVE-линков всегда можно через «Браузер отображения» [8, 9]. Пример рубильника и количество связей в нем, а также виды соотношений между деталями представлены на рис. 11.

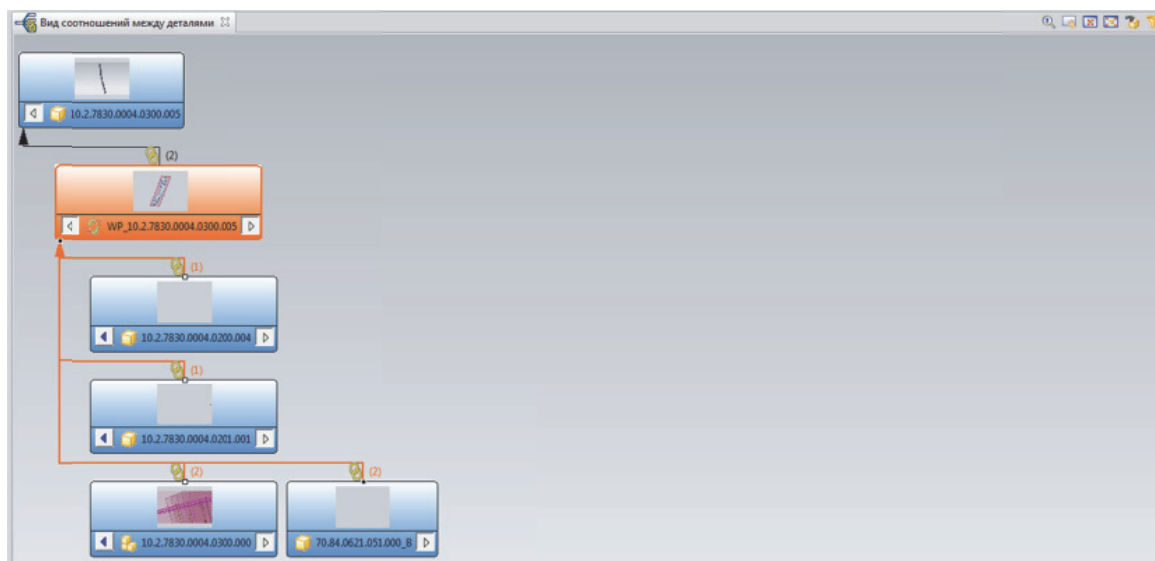


Рис. 11. Представление видов соотношений между деталями на примере спроектированной ЭМ рубильника

5. ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ РАБОТЫ. ОНТОЛОГИЯ И WAVE

В плане дальнейшего развития работы, авторы ставят целью повышение уровня автоматизации и возможности концептуального экспериментирования с конструкцией ТО. Для реализации данной идеи успешным можно считать применение взаимной интеграции инструментов онтологии проектирования и WAVE-технологии. Как видно из рис. 12, между элементами ТО и деталями ЛА существуют прямые связи по типу «род-вид», «часть-целое» и пр. [10]

Создание подобных связей в рамках тезауруса предметной области, определение и комментирование понятий в будущем позволит создать гибкую модель онтологии, благодаря которой будет возможно не только структурировать виды ТО применительно к ТП предприятия, но и с успешно экспериментировать с конструкций оснастки, подбирая наиболее рациональный тип с точки зрения изготовления деталей и СБЕ в авиационном производстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный в статье подход применения «нисходящей» стратегии проектирования и применение WAVE-технологии на базе Siemens NX 7.5 позволяет эффективно устранить все описанные выше ограничения, накладываемые на процесс проектирования. Так, в плане неполноты графической информации, стоит отметить, что ЭМ становится ключевым источником геометрических параметров, она создается в кон-

тексте обстановки, и сама служит обстановкой для других, взаимосвязанных с ней ЭМ. Спроектированная таким образом ЭМ успешно может быть применена для любых нужд в смежных структурах предприятия.

Следствием также является повышение уровня ассоциативности элементов, ведь как уже было доказано, в процессе проектирования ЭМ и СБЕ применяется большое количество связей, заимствований, параметризации и повторного использования. В качестве положительного эффекта можно говорить о том, что ассоциативные модели обновляются автоматически при изменении числовых параметров или геометрических ссылок, положенных в их основу, а необходимость ручного внесения изменений в ЭМ или КД сводится к минимуму.

По третьему ограничению авторы отмечают, что согласованность ЭМ и СБЕ спроектированных по «нисходящей» стратегии является достоверной, т.к. все элементы разрабатываются в условиях соответствующей обстановки. Все изменения, вносимые в какую-либо часть конструкции изделия, управляемо распространяются на все прочие зависящие от нее части и результатом является устранение разрыва между параметрами верхнего уровня и элементарными деталями.

В качестве общего итога по работе можно с уверенностью говорить, что потенциал параметрического трехмерного моделирования и набора инструментов WAVE-технологии наиболее полно задействуется при реализации «нисходящей» стратегии. Предложенная методика позволяет значительно сократить время и трудоем-

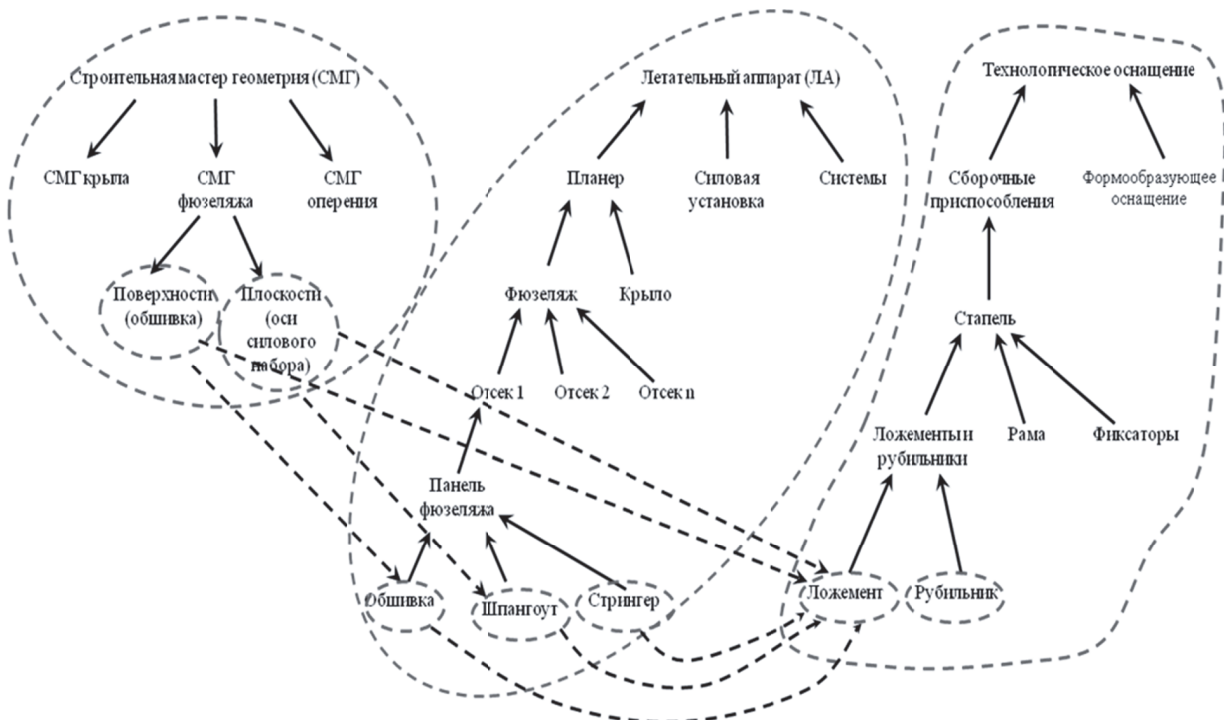


Рис. 12. Онтологическая связь между СМГ, ЛА и ТО

кость разработки изделия, а также уменьшить число проектных ошибок на стадиях разработки и изготовления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самсонов О.В., Тарасов Ю.Е. Бесплазовое производство авиационной техники: проблемы и перспективы // САПР и Графика. 2000. № 9. С. 33–38.
2. Моделирование сверху-вниз — как задействовать главные преимущества NX CAD. URL: <http://cadroad.com/nx-cad-top-down-russian/> (дата обращения 10.05.2017).
3. Гришин М.В., Лебедев А.В., Соснин П.И. Онтологическая поддержка конструкторской деятельности в условиях технологической подготовки производства на основе концептуальных экспериментов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 4(3). С. 451–458.
4. NX. Глава 3. Моделирование. URL: http://media.plm.automation.siemens.com/ru_ru/nx/book/chapter-3.pdf (дата обращения 10.05.2017).
5. СТП 687.06.0302-04 Система менеджмента качества. Технологическая подготовка производства. Формблочные. Типовые конструкции и рекомендации по изготовлению. Ульяновск: ЗАО «Авиастар-СП», 2004. 56 с.
6. СТП 687.10.0036-02 Система менеджмента качества. Оснастка стапельно-сборочная. Управление качеством стапельно-сборочной оснастки в процессе проектирования, изготовления, эксплуатации и обслуживания. Ульяновск: ЗАО «Авиастар-СП», 2002. 25 с.
7. СТП 687.10.0744-06. Система менеджмента качества. Конструктивно-технологическая отработка изделий. Основные положения. Порядок организации и проведения. Ульяновск: ЗАО «Авиастар-СП», 2006. 53 с.
8. Данилов Ю., Артамонов И. Практическое использование NX. М.: ДМК Пресс, 2011. 332 с.
9. Проектирование в NX под управлением Teamcenter. Учебное пособие / М.Ю. Ельцов, А.А. Козлов, А.В. Седойкин, Л.Ю. Широкова. Белгород, 2010. 784 с.
10. Павлов П.Ю., Соснин П.И., Лебедев А.В. Онтологическая структуризация в параллельном инжиниринге проектирования сборочных приспособлений для летательных аппаратов // Известия Самарского научного центра РАН. Самара. 2016. Т. 18. № 1(2). С. 373–377.

USE OF WAVE TECHNOLOGIES FOR DESIGNING TECHNOLOGICAL EQUIPMENT IN AVIATION

© 2017 M.V. Grishin¹, A.V. Lebedev², P.Yu. Pavlov³

¹JSC “Ulyanovsk Instrument Manufacturing Design Bureau”

²Institute of Aviation Technology and Management, Ulyanovsk

³Ulyanovsk State University

In this paper, the authors propose a technique for creating 3D hardware models in CAD, based on a “top-down” design strategy using WAVE-technology. This technique allows you to parallelize the part of design and engineering work in the technological preparation of production, which, in general, reduces the cost of the final product and the timing of its manufacture.

Keywords: technique, WAVE-technology, CAD, aviation, manufacturing, design.

Maxim Grishin, Candidate of Technics, Design Engineer, Member of RAAI. E-mail: likani7@mail.ru

Anatoly Lebedev, Associate Professor at the Aircraft Building Department. E-mail: aw_lebedev@mail.ru

Pavel Pavlov, Lead Coder RC-CALS Technology, UISU. E-mail: pavel.y.pavlov@mail.ru