

ПРИМЕНЕНИЕ СКВОЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ РЕАКТИВНОГО РАНЦА «JETPACKSSAU»

© 2015 М.Е. Кременецкая, С.А. Одинцова, А.А. Павлов, О.Е. Лукьянов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Статья поступила в редакцию 23.11.2015

В статье рассматривается проблема совместной работы нескольких пользователей в различных CAD-системах на этапе проектирования. В качестве связующего звена предлагается единая мастер-геометрия в нейтральном формате. Эффективность подхода демонстрируется на примере разработки проекта реактивного ранца с использованием сквозной технологии проектирования. **Ключевые слова:** реактивный ранец, сквозная технология проектирования, мастер-геометрия, взаимодействие пользователей различных CAD-систем.

1. ВВЕДЕНИЕ

В рамках II Национального чемпионата сквозных рабочих профессий высокотехнологичных отраслей промышленности WorldSkills Hi-Tech-2015 командам-участникам было предложено разработать проект, который может иметь коммерческие перспективы на реальном рынке.

Объектом проработки стал реактивный ранец (рис. 1) – персональный летательный аппарат, позволяющий человеку подниматься в воздух и передвигаться на внушительные расстояния посредством реактивной тяги.

Выбор организаторами реактивного ранца в качестве объекта проектирования обусловлен его

уникальностью. Для него не существует типовых решений как по конструкторско-технологической части, так и по описанию жизненного цикла. По условиям конкурса на проработку жизненного цикла и представление готового проекта выделялись сутри дня.

Концепция проекта «JetPackSSAU» построена на основных принципах управления жизненным циклом изделия. Этап проектирования является одним из наиболее сложных и наукоемких.

2 ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕАКТИВНОГО РАНЦА

С каждым годом все возрастающие требования к качеству летательных аппаратов способствуют разработке новых технологий их проектирования и производства для решения научных, технических и социальных задач.

На многих современных предприятиях авиационной отрасли активно используется технология нисходящего проектирования, которая реализует принцип «от общего к частному»[1]. Суть этой технологии заключается в следующем:

Проводится концептуальная проработка изделия, по результатам которой определяются основные аэродинамические, массовые и геометрические параметры проектируемого ранца. Определяется выбор конструктивно-силовой схемы (КСС), а также конструкционных материалов.

Осуществляется поиск оптимального сочетания геометрических характеристик для выбранной КСС. В результате формируется теоретический контур и внешний облик проектируемого изделия.

Проводится проработка КСС агрегатов и узлов. При необходимости вносятся уточнения в исходный вариант схемы изделия. На данном этапе происходит поиск оптимальных геометрических параметров элементов конструкции таким образом, чтобы она удовлетворяла условиям прочности и жесткости.

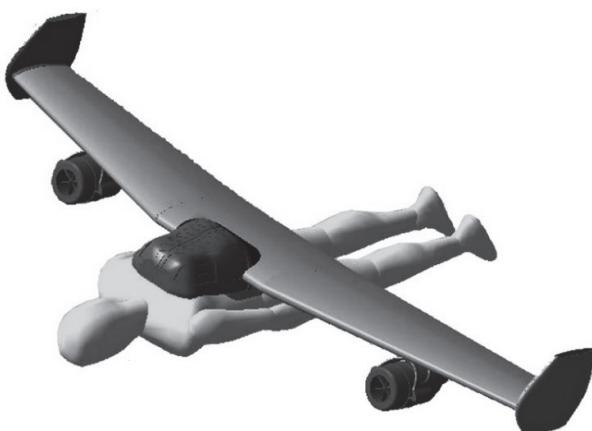


Рис. 1. Реактивный ранец

Кременецкая Марина Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов. E-mail: mte82@mail.ru

Одинцова Светлана Александровна, магистрант института авиационной техники. E-mail: sv-odincova@mail.ru

Павлов Александр Александрович, магистрант института авиационной техники. E-mail: iwelimorn@mail.ru

Лукьянов Олег Евгеньевич, аспирант кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов. E-mail: lukyanovoe@mail.ru

На основе полученных результатов проводится проработка отдельных деталей конструкции и подбор крепежных элементов.

На заключительном этапе формируется конструкторская документация.

Технология нисходящего проектирования представляет собой итерационный процесс. Результаты каждого отдельно взятого этапа влияют на эффективность выполнения работ на последующем этапе.

Одним из недостатков данного метода является высокий уровень трудозатрат по внесению изменений в конструкторскую документацию и их согласованию на всех этапах разработки изделия. Кроме того, это приводит к увеличению срока реализации этапа проектирования.

Жесткие временные рамки конкурса не позволяют применить метод нисходящего проектирования в традиционной форме. Поэтому существует потребность во внедрении сквозной технологии проектирования.

Сквозная технология проектирования заключается в том, что выполняются все стадии проектирования и технологической подготовки инженерного проекта от концепции до станка (рис. 2).

Отношения между компонентами проекта в такой системе построены по законам объективно-ориентированного программирования. Это позволяет автоматически вносить изменения во

все зависимые модели деталей без выполнения дополнительного объема работ[2]. Характерной особенностью сквозного проектирования является использование единой параметризованной информационной модели изделия. За счет этого возможно осуществлять одновременную работу проектировщиков над одним и тем же изделием и существенно сократить сроки выполнения работы. В рамках рассматриваемого проекта эти факторы стали определяющими при выборе способа проектирования.

3. РЕАКТИВНЫЙ РАНЕЦ «JETPACKSSAU»

В процессе проектирования реактивного ранца «JetPackSSAU» были пройдены следующие этапы (рис. 3).

3.1. Разработка концепции реактивного ранца

Разрабатываемое изделие представляет собой многофункциональный персональный летательный аппарат, предназначенный для выполнения различных задач.

Запуск пилота вместе с реактивным ранцем осуществляется с вертолета или самолета с высоты 4 км. Скорость горизонтального полета составляет 250-300 км/ч. Управляемость летательным аппаратом осуществляется путем смещения

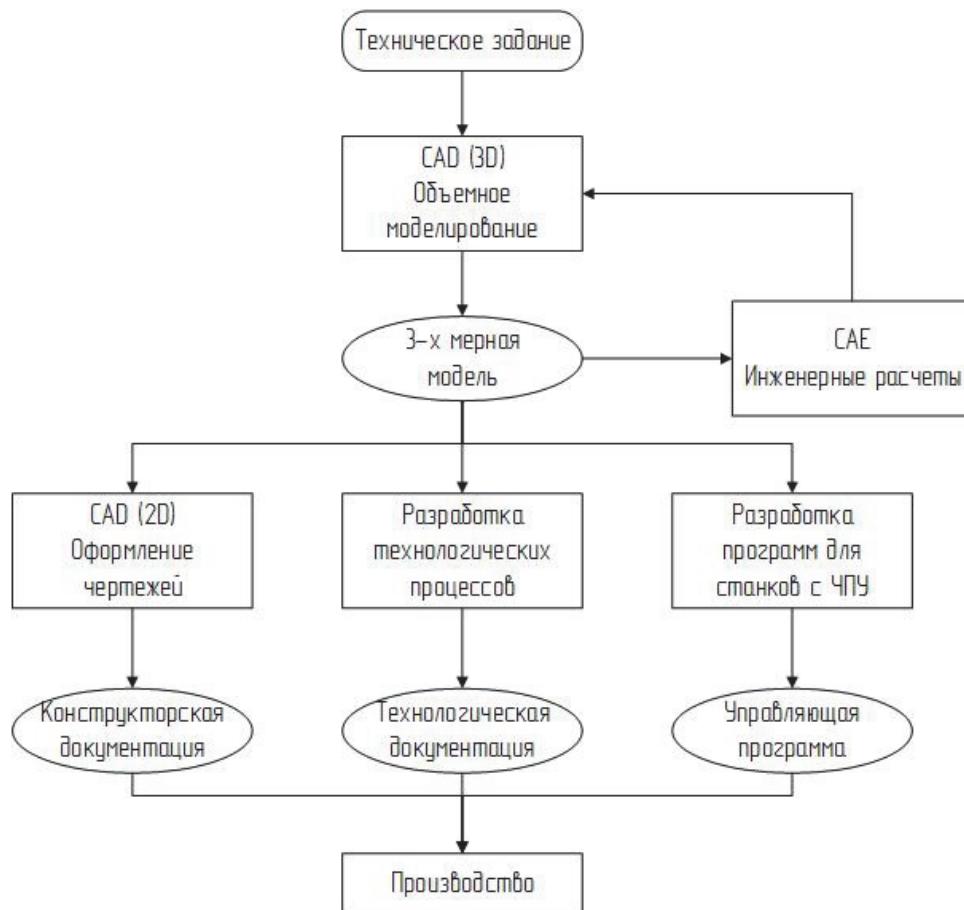


Рис. 2. Схема сквозного проектирования

Проектирование

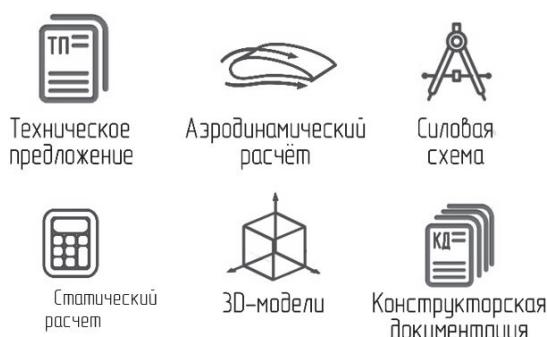


Рис. 3. Этапы процесса проектирования

центра масс пилота. По истечении 20-25 минут осуществляется снижение с дальнейшей посадкой путем парашютирования.

Конструкция реактивного ранца представляет собой несущую поверхность, которая объединяет в силовом отношении в единое целое все его части. Конструкция крыла состоит из трех частей – центроплана и двух отъемных консолей. Отъемная часть крыла служит для размещения силовой установки, вертикального оперения, кислородной и топливной систем. На центроплане размещается крепежная система пилота. Кроме того, центроплан обеспечивает передачу и уравновешивание нагрузок от отъемной части.

3.2. Проработка аэродинамической схемы

Принятая конструктивно-силовая схема в совокупности с предварительно выбранными геометрическими параметрами конструкции позволяет провести подбор геометрических характеристик крыла летательного аппарата на основе его аэродинамической оптимизации. Она подразумевает максимизацию аэродинамического качества при обеспечении потребной подъемной силы.

Теоретический обвод крыла образован линейчатыми поверхностями, которые были получены

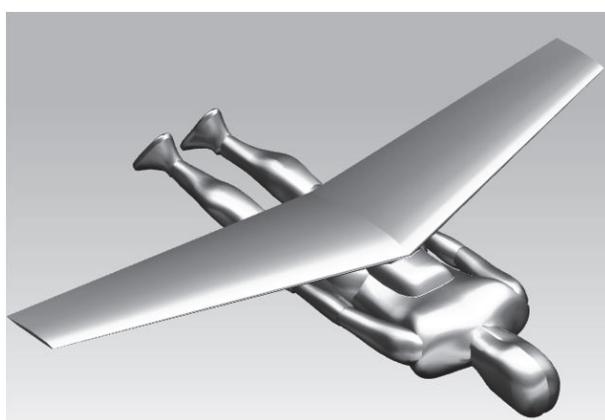


Рис. 4. Трехмерная геометрическая модель ЛА

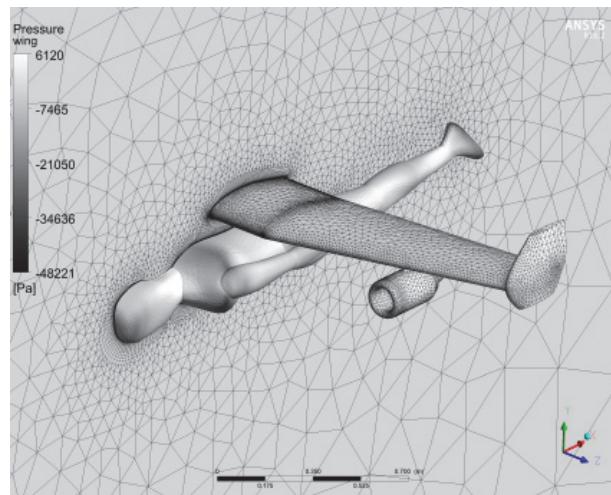


Рис. 5. Расчетная сетка модели ЛА

протяжкой по направляющим кривым (теоретические контуры корневой и концевой нервюр) образующей прямой (процентные линии крыла).

Для моделирования процесса обтекания ЛА методом конечных объёмов была построена его геометрическая трёхмерная модель (рисунок 4).

На основе трёхмерной геометрической модели ЛА был создан объём расчётной области, который путем разбиения на конечные элементарные объёмы образует рабочую область, представляющую собой расчётную сетку (рис. 5).

По результатам проведения аэродинамического расчета получено оптимальное сочетание геометрических характеристик (рис. 6).

Оптимизация проводилась методом сканирования по сетке [3]. При этом варьировались следующие параметры: удлинение, угол стреловидности по передней кромке крыла, угол установки концевого профиля, угол атаки (табл. 1).

Критерием эффективности аэродинамической схемы летательного аппарата являлось максимальное значение аэродинамического качества. Для разрабатываемого реактивного ранца

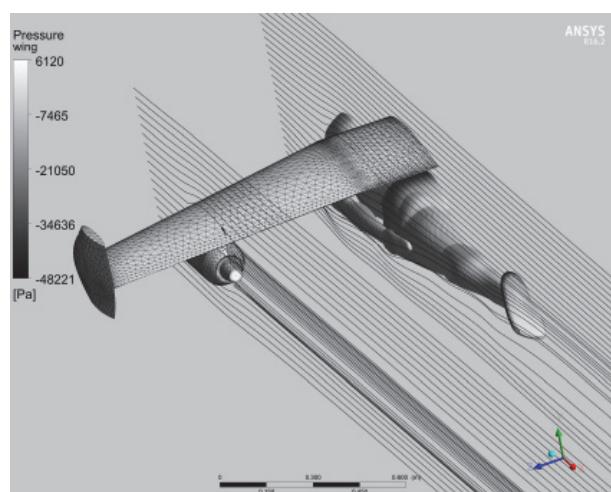


Рис. 6. Оптимальные геометрические характеристики реактивного ранца по результатам аэродинамического расчета

Таблица 1. Результаты аэродинамических расчетов

Параметр	Значение
Удлинение λ	10,019
Угол установки концевого профиля φ	-1,356°
Угол стреловидности χ	19,63°
Удельная нагрузка P , кг/м ²	254
Наивыгоднейший угол атаки $\alpha_{\text{н.в.}}$	5°
Максимальное аэродинамическое качество K_{\max}	5,1

оно составило 15,6 без учета пилота. Наличие пилота также влияет на общую аэродинамику разрабатываемого аппарата. При этом максимальное аэродинамическое качество составило 5,1. Применительно к рассматриваемой задаче данное значение является приемлемым и обеспечивает создание потребной подъемной силы. Аэродинамическое проектирование заканчивается формированием теоретического контура модели в виде поверхностной геометрии.

3.3. Проработка конструктивно-силовой схемы

Силовая схема конструкции определяется типом конструктивных элементов, их числом, способом соединения между собой и расположением в пространстве [1]. Конструктивно-силовая схема (КСС) реактивного ранца определяет пути и способы передачи и уравновешивания действующих на него усилий.

Для проектируемого изделия была принята кессонная КСС с двумя лонжеронами. Лонжероны располагаются в зоне больших строительных высот профиля: передний лонжерон размещается на 20% хорды, а задний – на 70%. Также важно учитывать компоновочные требования: в носке отъемной части крыла располагается топливный бак, поэтому важно обеспечить достаточный внутренний объем конструкции в этой зоне.

Изгибная прочность конструкции обеспечивается за счет использования силовых панелей

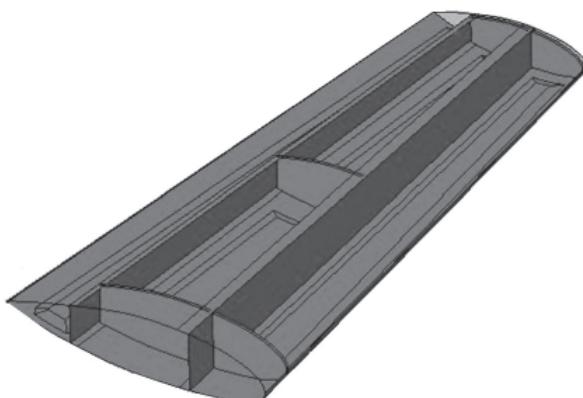


Рис. 7. Мастер-геометрия реактивного ранца

обшивки. Кроме того, замкнутый контур обшивки обеспечивает крутильную прочность и жесткость.

На основе поверхностной модели теоретического контура изделия формируется мастер-геометрия (рис. 7). Она имеет внутреннюю параметризацию, которая определяет положение и геометрию элементов конструкции относительно единой системы координат.

Изменение основных параметров в определенных диапазонах приводит к перестроению всей мастер-геометрии. Эта модель является основой для детальной проработки элементов конструкции.

3.4. Выбор конструкционного материала

Одним из определяющих факторов, влияющих на совершенство разрабатываемой конструкции, является правильный выбор конструкционного материала [4, 5, 6, 7]. Применение композиционных материалов конструкции обусловлено их высокими прочностными характеристиками, а также возможностью проектирования самого материала. Кроме того, важными аспектами при выборе материала являются не только прочность, но и его легкость, дешевизна и технологичность. Поэтому в качестве основного конструкционного материала принят композиционный материал, представляющий из себя трехслойные панели.

Узлы навески двигателей и кронштейны на-вески отъемной части крыла выполняются из алюминиевого сплава АК6Т1, который хорошо деформируется при изготовлении деталей горячей штамповкой. Кроме того, к числу преимуществ данного конструкционного материала относятся легкая обрабатываемость, повышенная прочность при сравнительной дешевизне.

3.5. Проектировочный расчет

Проведение статического расчета позволяет подобрать оптимальные параметры элементов конструкции таким образом, чтобы она соответствовала требованиям прочности и жесткости [5,6]. Конечно-элементная модель конструкции формируется на основе поверхностной модели, полученной на предыдущем этапе.

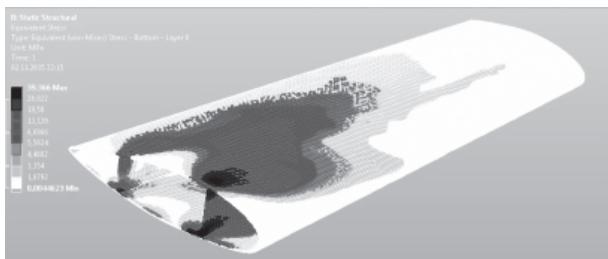


Рис. 8. Расчет композиционного каркаса реактивного ранца в ANSYS Composite PrePost, эквивалентные напряжения (МПа)

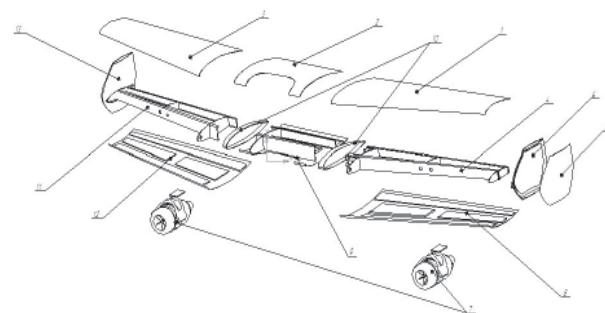


Рис. 9. Сборочная модель реактивного ранца

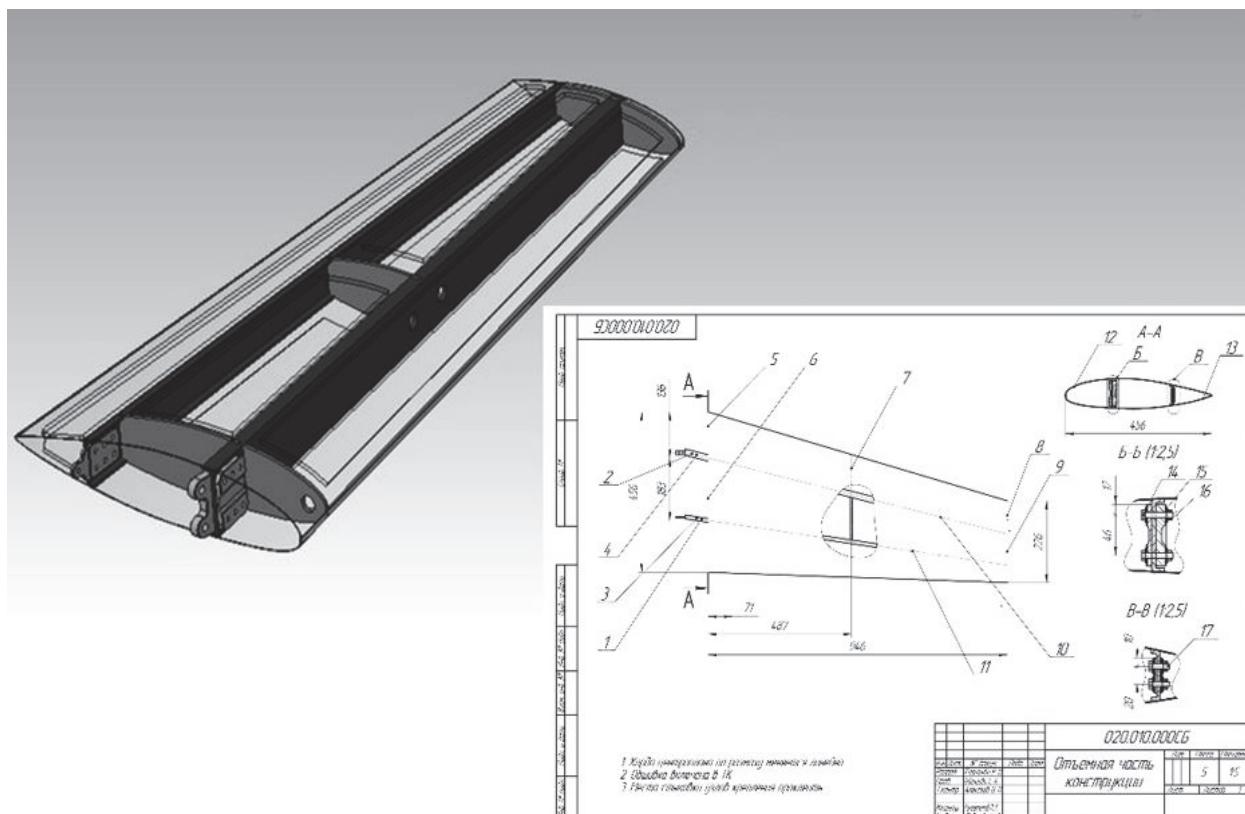


Рис. 10. Сборочный чертеж и 3D-модель отъемной части крыла

Специфика использования композиционных материалов подразумевает моделирование каждого слоя [8], проводимые в программе ANSYS Composite PrePost (рис. 8).

В результате подбираются оптимальные параметры укладки наполнителя и его раскрой.

3.6. Проработка деталей конструкции и формирование сборочной модели

На основе расчета геометрических параметров элементов конструкции по условиям прочности и жесткости производится проработка деталей реактивного ранца. Детали строятся с привязкой к поверхностной модели.

При вовлечении в процесс проектирования нескольких участников применение единой поверхностной модели позволяет предотвратить массу ошибок при формировании сборочной модели (рис. 9).

Кроме того, это позволяет сформировать

сборочную модель без наложения специальных ограничений на каждую деталь сборки.

3.7. Проработка конструкторской документации

На основе полученных 3D-моделей формируется целый комплекс конструкторской документации в соответствии со стандартом организации. Она включает в себя сборочные чертежи (рис. 10), чертежи агрегатов, узлов и деталей.

Помимо этого, разработанная модель позволяет сформировать технологическую и эксплуатационную документацию на последующих этапах жизненного цикла.

В рамках проекта сборочная модель изделия послужила основой для разработки презентационной модели реактивного ранца (рис. 11), которая далее была изготовлена методом 3D-печати (рис. 12).

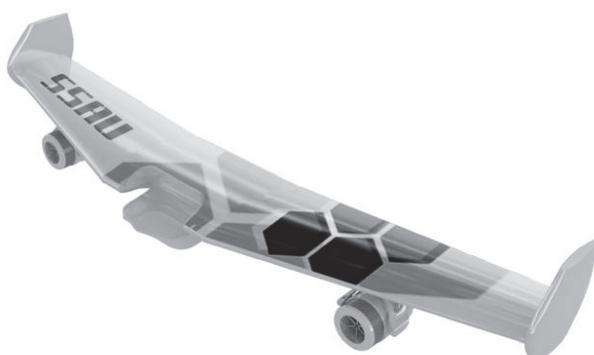


Рис. 11. Презентационная модель реактивного ранца «JetPackSSAU»

4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УЧАСТИКОВ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В процессе проектирования неизбежно возникает проблема взаимодействия участников, связанная с их специализацией в различных CAD/CAM/CAE-системах.

Для организации эффективного взаимодействия разработчиков группы была создана система хранения файлов, которая представляет собой древовидную структуру. Ее основой является сборочная модель конечного изделия. Имена папок соответствуют обозначению и наименованию моделей. Кроме того, была создана локальная сеть, и каждый из участников процесса проектирования имел доступ к «командному центру», где хранилась полная информация о

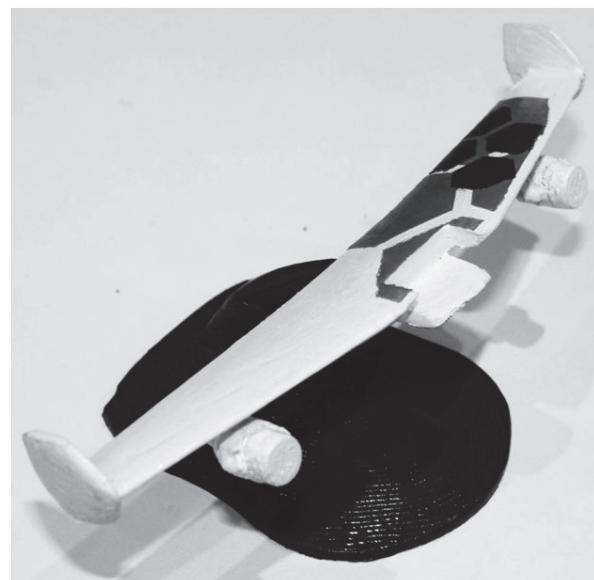


Рис. 12. Модель реактивного ранца, выполненная 3D-печатью

разрабатываемом изделии. По мере внесения дополнений и изменений в модели конструкции, каждый из участников мог отследить их и в случае необходимости внести свои корректизы.

Использование единой мастер-геометрии в нейтральном формате позволило организовать слаженную работу конструкторов и применить на практике сквозную технологию проектирования.

Ход выполнения работ на этапе проектирования представлен на следующей диаграмме (рис. 13).

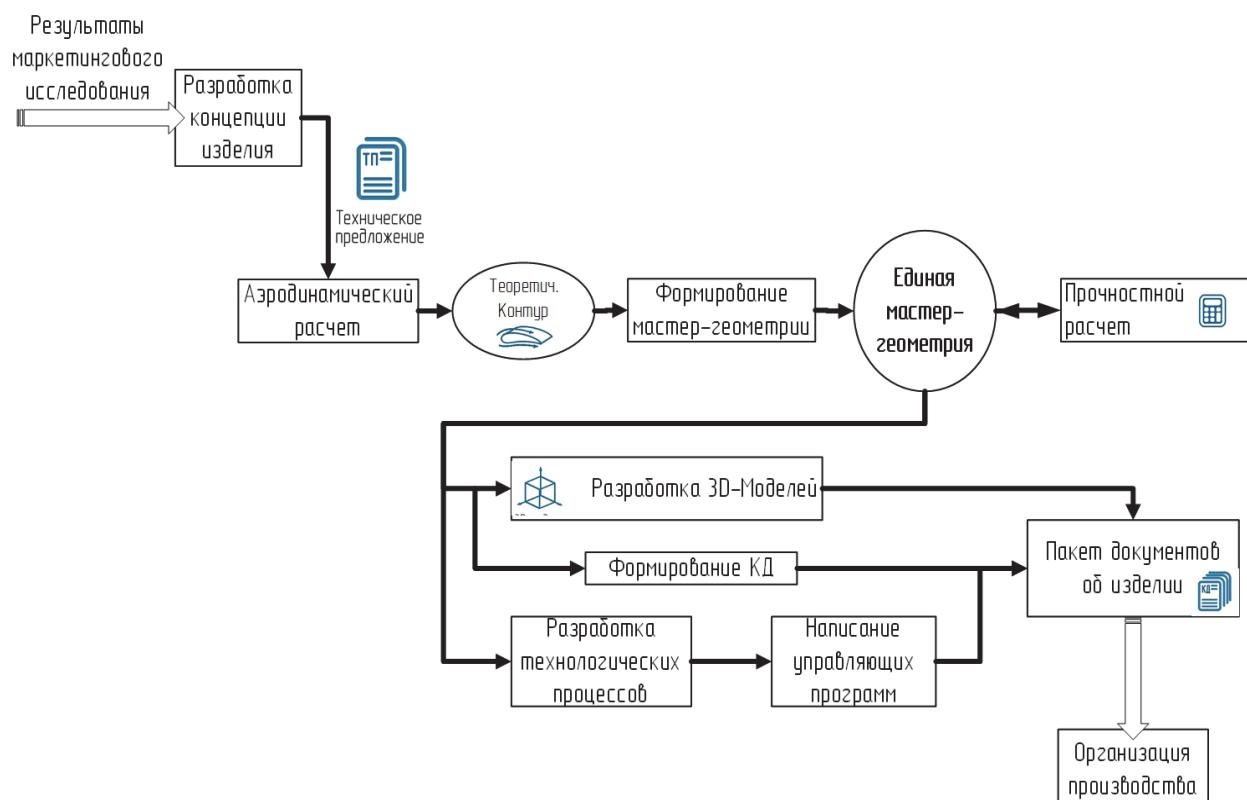


Рис. 13. Взаимодействие участников на этапе проектирования

Использованный подход к проектированию позволил в сжатые сроки осуществить качественную проработку изделия. Кроме того, число возвратов и исправлений было сведено к минимуму. Методика сквозного проектирования показала свою эффективность в рамках решаемой задачи.

5. ВЫВОДЫ

Выбор сквозной технологии проектирования с привязкой к единой мастер-геометрии позволило выполнить проектирование реактивного ранца группой специалистов из 10 человек в сжатые сроки в соответствии с поставленным заданием.

Рассмотренная единая модель изделия в нейтральном формате позволила организовать совместную работу участников, специализирующихся в различных CAD-системах, на этапе проектирования.

На основе проработанных моделей сформирован полный комплекс конструкторской документации по реактивному ранцу «JetPackSSAU».

Для представленной практической задачи получены модели деталей, которые в дальнейшем могут быть использованы для проработки технологии и проектирования оснастки на этапе материально-технического снабжения в рамках жизненного цикла изделия.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят профессора В.А.Комарова за консультации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филатов, А.Н. Электронный технический документооборот конструкторской документации как основа единого информационного пространства предприятия аэрокосмической отрасли / А.Н. Филатов, И.В. Никашина, В.А. Комаров // Известия Самарского центра РАН. – 2003. – Т.15 №6(4). – С.4-16.
2. Российская энциклопедия CALS/Авиационно-космическое машиностроение / Гл. ред. А.Г. Братухин. М: ОАО «НИЦ АСК», 2008. 608 с.
3. Жиглявский, А.А. Методы поиска глобального экстремума / А.А Жиглявский., А.Г Жилинкас // М.: Наука, 1991. – 248 с.
4. Комаров, В. А. Проектирование силовых схем авиационных конструкций/В.А. Комаров//Актуальные проблемы авиационной науки и техники.– М.: Машиностроение, 1984. – С. 114-129.
5. Житомирский, Г.И. Конструкция самолетов / Г.И. Житомирский. М.: Машиностроение, 2005. – 406 с.
6. Ендогур, А.И. Проектирование авиационных конструкций/А.И.Ендогур. М.: МАИ-ПРИНТ, 2009.-540с
7. Niu, Michael C. Y. Airframe structural design/Michael C. Y. Niu Hong Kong : CONMILIT PRESS LTD.,1988.- 612 р.
8. Васильев, В.В. Композиционные материалы: Справочник / В.В. Васильев, В.В. Болотин, Н.А. Алфутов - М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

APPLICATION OF PASS-THROUGH DESIGN TECHNOLOGY ON THE EXAMPLE «JETPACKSSAU»

© 2015 M.E. Kremenetskaya, S.A.Odintsova, A.A.Pavlov, O.E. Lukyanov

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

An issue of collaborative work of several users in different CAD-systems during design process is proposed in this article. The single master geometry in a neutral format is offered as a connecting link. The efficiency of the approach is demonstrated by the development of jetpack using pass-through design technology.
Key words: jetpack, pass-through design technology, master geometry, collaboration of several users in different CAD-systems.

*Marina Kremenetskaya, Candidate of Technics,
Candidate of Technics, Associate Professor at the
Aircraft Construction and Design Department.*

E-mail: mme82@mail.ru

*Svetlana Odintsova, Master Student of the Institute of
Aircraft Engineering. E-mail: sv-odincova@mail.ru*

*Alexander Pavlov, Master Student of the Institute of
Aircraft Engineering. E-mail: iweлимorn@mail.ru*

*Oleg Lukyanov, at the Aircraft Construction and Design
Department. E-mail: lukyanovoe@mail.ru*