

УДК 629.76/78.01

В.Н. Михалевский

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВИОНИКИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСНЫХ РЕШЕНИЙ ТЯЖЕЛОГО САПРА

В работе приведена методика, этапы проектирования и создание ракетной авионики с помощью идеологии, комплексных решений тяжелого САПРА, программного модуля CATIA.

Ключевые слова: баллистическая ракета, системное проектирование, ракетная авионика, модуль CATIA

У роботі приведено методику, етапи проектування та створення ракетної авіоніки за допомогою ідеології, комплексних рішень важкого САПР, програмного модуля CATIA.

Ключові слова: балістична ракета, системне проектування, ракетна авіоніка, модуль CATIA.

The paper describes a method, the steps of the design and production of missile

© В.Н. Михалевский, 2014

avionics using ideology, integrated solutions severe CAD software module CATIA.

Keywords: ballistic missile system design, rocket avionics module CATIA

Рыночная экономика, современные тенденции развития научно технического прогресса способствуют и позволяют в кратчайшее время обеспечить производителя продукции достаточным количеством технических и технологических средств, решений для работы в новых экономических условиях производства. Одним из наиболее динамичных, быстроразвивающихся и прогрессивных инновационных направлений современного бизнеса является применение IT технологий, которые составляют фундаментальную основу любого современного производства рыночной экономики. Однако приобретение новейшего оборудования, программных продуктов и их эксплуатация не дает полных гарантий и уверенности производителю на качественное и эффективное их использование. Причины малочисленности позитивных результатов – (особенно актуально для постсоветского экономического пространства) разнообразны, но в большинстве случаев они связаны с отсутствием у потребителя необходимых методик, знаний, понимания идеологии применения высокоэффективных технологий, квалифицированных предварительных экономических расчетов и экспертных заключений.

На примере создания нового приборного отсека КГЧ (космической головной части) РН «Днепр» программы «IRIDIUM» разберем главные моменты, этапы проведения основных и подготовительных конструкторских

работ для получения гарантируемого положительного результата с помощью базового программного комплекса САТІА.

Для начала отметим общеизвестный, но немаловажный факт, что работа любого узла, машины или системы, в первую очередь, определена и связана с его рабочим алгоритмом. Чем сложнее алгоритм работы будущей конструкции, тем больше масса и соответственно пространство, объем для функциональных узлов, агрегатов проектируемого изделия.

Как правило, преобладающая часть этого объема заполняют приборы, датчики, кабели, приборные блоки и узлы систем управления, измерений и контроля параметров ЛА (летательного аппарата). При этом первоочередная и главная задача конструкторского коллектива занимающихся авионикой заключается в нахождении наивыгоднейших решений по размещению и заполнению выделенного пространства (**оптимальная компоновка**) в ограниченный период времени. Неправильное или неудачное расположение бортовой аппаратуры на ЛА приводит к серьезным проблемам последующих этапов проектирования и изготовления всего изделия, что, в конечном счете, отрицательно сказывается на летных характеристиках и конкурентоспособности создаваемой техники.

Проблема получения оптимальной компоновки, размещения аппаратуры, прокладка кабельной сети в установленные сроки сегодня является невыполнимым заданием при традиционном проектировании и изготовлении ЛА. Многократные изменения КД, создание сложных, дорогостоящих полномасштабных макетов и испытательных стендов – типичный путь традиционных методов. Однако с появлением современных компьютерных технологий задачи по ускорению проектирования и удешевлению производства становятся реальными и вполне осуществимыми.

Начальный этап проектирования связан с нахождением места размещения бортовой авионики относительно главных частей, узлов, агрегатов ЛА. Как правило, традиционно, в большинстве случаев, независимо от типа и класса ЛА рациональное расположение аппаратуры приходится на верхнюю треть или головную часть изделия.

В качестве классического примера можно привести расположение систем авионики первой советской межконтинентальной баллистической ракеты Р-7, (См. рисунок 1) где под обозначением 2 и 6 конструктивно-компоновочной схемы обозначены приборные отсеки ракеты. А под позицией № 3 обозначены антенны для передачи телеметрической информации [1].

Более подробно остановимся на современных методах проектирования приборных систем ЛА, а также дадим краткие оценочные характеристики каждого метода в отдельности. В настоящее время наиболее распространены и востребованы шесть направлений, шесть технических решений проектирования приборных систем:

1. аналитический метод;
2. графический метод (2D);
3. графоаналитический метод;

4. метод аппликаций;
5. метод объемного моделирования (3D);
6. комбинированный метод

Аналитический метод – метод для начальной, предварительной оценки возможности размещения устанавливаемых приборов в строго определенном, выделенном объеме. Суть метода заключается в подсчете и сравнении объемов пространства теоретического (максимального) к пространству занятого авионикой.

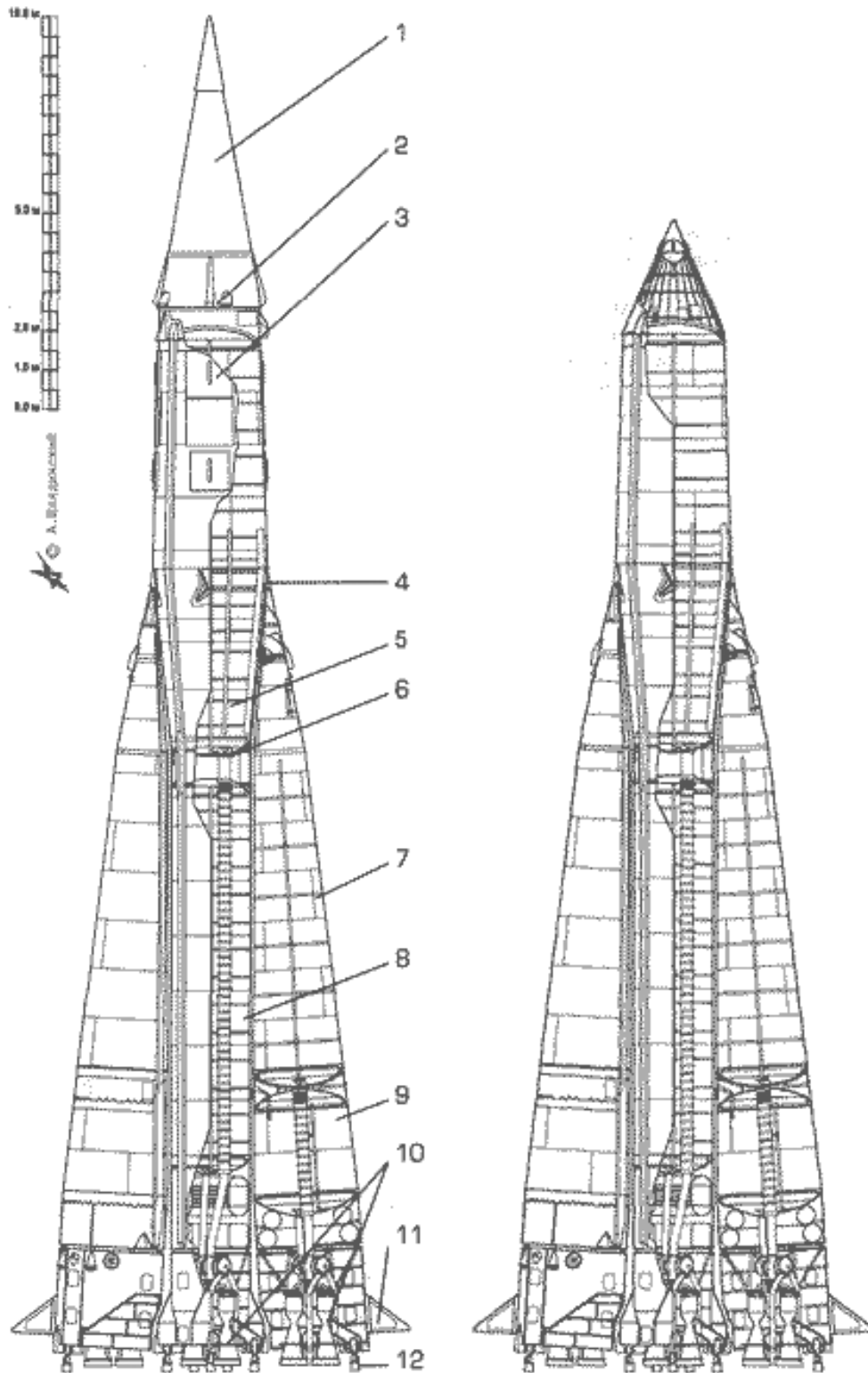


Рис. 1. Конструктивно-компоновочная схема первой советской межконтинентальной баллистической ракеты Р-7

Другими словами должно соблюдаться простое математическое неравенство

$$V_{теор.} \geq V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + \dots V_n;$$

где $V_{теор.}$ - максимальное физическое пространство, выделенное под занимаемые приборы;

V_1 - суммарный объем устанавливаемых приборов;

V_2 - суммарный объем кабелей подсоединяемых к приборам;

V_3 - суммарный объем кронштейнов, фитингов, узлов и других деталей фиксирующие кабельную продукцию;

V_4 - суммарный объем металлизующих и крепежных элементов;

V_5 - суммарный объем ферм и кронштейнов на которых устанавливают приборы и датчики;

V_n - суммарный объем трудно рассчитываемых конструктивных узлов и других элементов (1,5% - 2% от $V_{теор.}$).

Графический метод (2D) – метод, использующий обычное машиностроительное черчение для формирования ИД, выпуска КД, анализа компоновки, проверочных работ связанных с размещением бортового оборудования и прочих систем. Задача метода заключается в нахождении наилучшего варианта увязки устанавливаемых приборов или приборных блоков к сопрягаемым конструкциям. Посредством начертания проекций, сечений или видов конструктор определяет взаимное расположение интересующих элементов (рис.2). Метод прост в исполнении, затраты на его техническую реализацию минимальны. Но он достаточно трудоемок и длителен по времени своего выполнения и проведения последующего анализа. Метод не дает пользователю полных гарантий исключая грубые ошибки и неточности.

Графоаналитический метод – представляет гибрид из двух предыдущих методов, применяется тогда, когда каждый в отдельности не дает достаточной и полной информации, уверенности проведения проектно-конструкторских работ. Также как и предшествующий метод, имеет значительные трудозатраты и соответственно низкую скорость получения результатов. Независимо от технологических способов применения (кульман, компьютер, графическая станция) данный метод, во многих случаях, не является технологически современным, полным и универсальным.

Метод аппликаций – разновидность графического двухмерного (2D) моделирования. Модель в виде плоского, например, бумажного силуэта (сечение прибора с максимальными габаритами) помещают на заранее подготовленное плоское пространство (чертеж) и методом перемещения добиваются наилучшего взаимного расположения исследуемых конструкций. Этот способ более продуктивен, динамичней предыдущих, но требует предварительной подготовки и время на создание аппликаций. Также как и

графический (2D) метод не обладает полнотой и доступностью информации трехмерного пространства, не гарантирует пользователю от возникновения грубых просчетов и ошибок.

Метод объемного моделирования (3D) – один из самых прогрессивных, универсальных, наиболее эффективных и востребованных современных методов разработки, изготовления систем авионики в аэрокосмической промышленности. Уникальность метода заключается в скорости и качестве проектирования, а также возможности получения интеграционных, комплексных решений технического и технологического характера совместно с производством.

К недостаткам метода можно отнести следующие факторы:

1. большие материальные затраты на технологическое оснащение;
2. необходимость в подготовке и переподготовке специалистов;
3. длительный период окупаемости вложенных средств.

Комбинированный метод – метод, включающий в себя все технологии и приемы, описанные выше, позволяет рационально использовать ресурсы, время для решения конкретно поставленных задач. В определенных случаях является оптимальным и единственным средством, не отягощающим предприятие сверхдорогими технологиями.

К недостаткам комбинированных решений можно отнести отсутствие интеграционной составляющей и совместных перспектив развития разноуровневых технологий.

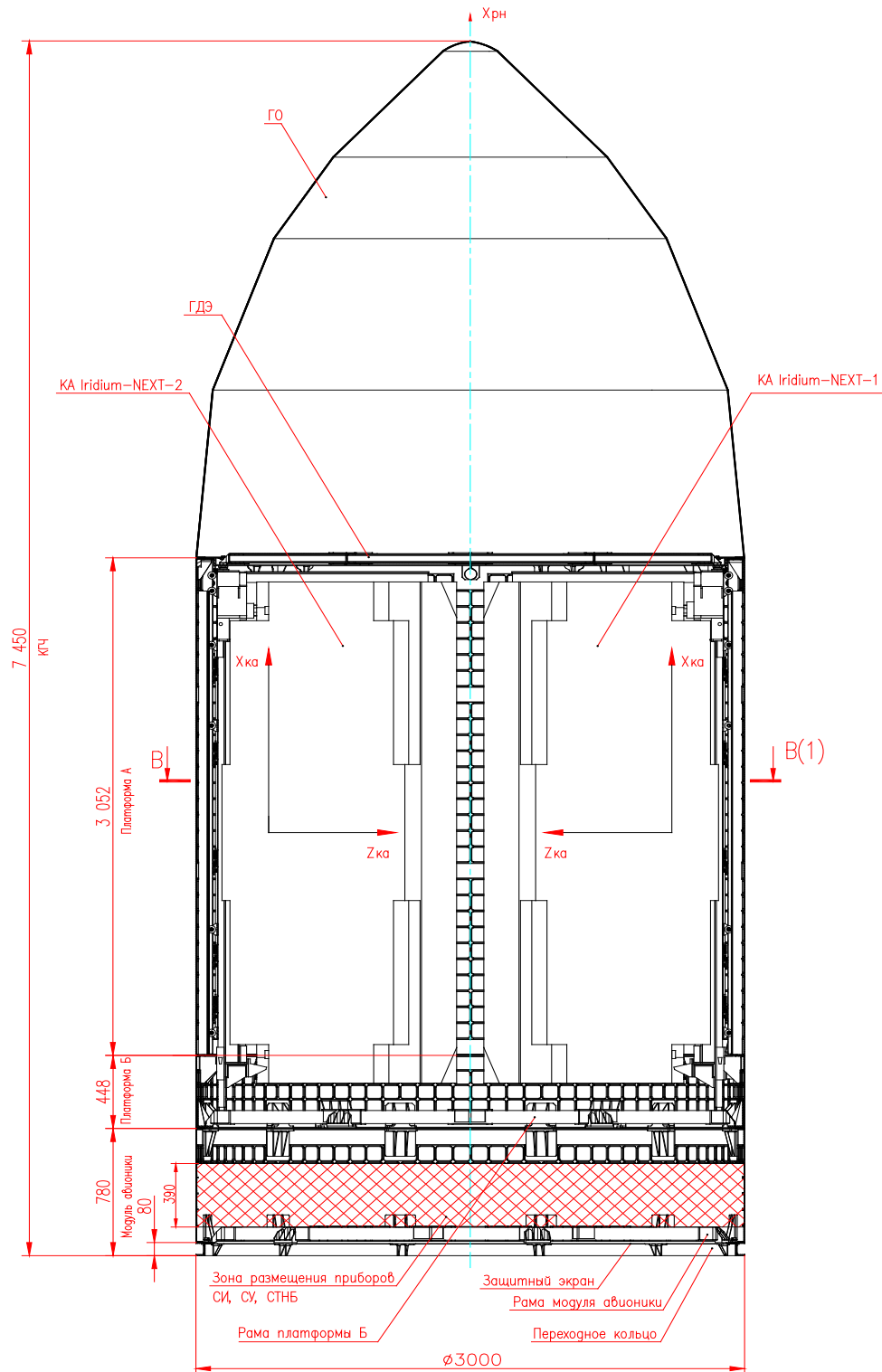


Рис. 2. Графический (2D) метод отображения приборной зоны проектируемого изделия для ИД

Учитывая, что за последнее десятилетие значительно возросло внимание и интерес товаропроизводителя к эффективным в эксплуатации, сделанным под «ключ» ИТ технологиям, вопрос проектирования и создание ракетной авионики

все больше акцентируется с выбором и приобретением новых технологических, информационных средств, инструментов производства.

Поэтому метод **объемного компьютерного 3D моделирования** будет рассмотрен в статье как один из современных, приоритетных и безальтернативных методов проведения работ.

Вернемся к началу технологической цепочки построения систем авионики ЛА. Проектные департаменты (отделы, комплексы или КБ) получают от Заказчика пакет необходимой информации для предварительного анализа, формирования перечня организационных документов и средств на текущие, долгосрочные контрактные работы. Заказчик и Подрядчик работают в одном и том же информационном поле, (пространстве) способствующее максимальной интеграции своих технологических средств и возможностей с технологическими возможностями и условиями своих партнеров. Такая постановка задачи в значительной мере способствует минимизации производственных потерь, исключая какую либо адаптацию, выполнения дополнительных работ с «чужими» информационными системами, уменьшая и удешевляя технологический цикл выпускаемого изделия. Этим объясняется факт, что среди всего привлекательного многообразия и множества технических и технологических рыночных предложений, в аэрокосмической индустрии сформировался свой особый, специфический, рабочий стандарт, максимально отвечающий технико-экономическим соотношениям **цена – качество**. Проектирование, изготовление продукции иными, в принципе сходными, похожими технологиями, как показывает многолетний опыт, и практика родственных производственных коллективов приводит к дополнительным материальным и финансовым потерям. Лидером программных средств **мировой аэрокосмической индустрии** заслужено и по праву считается программный комплекс **CATIA**, обеспечивающий идеологию управления жизненного цикла изделия **PLM** (Product Lifecycle Management) с совместной координирующей, управляющей системой проектных работ и документооборота – **ENOVIA, SmarTeam** [2].

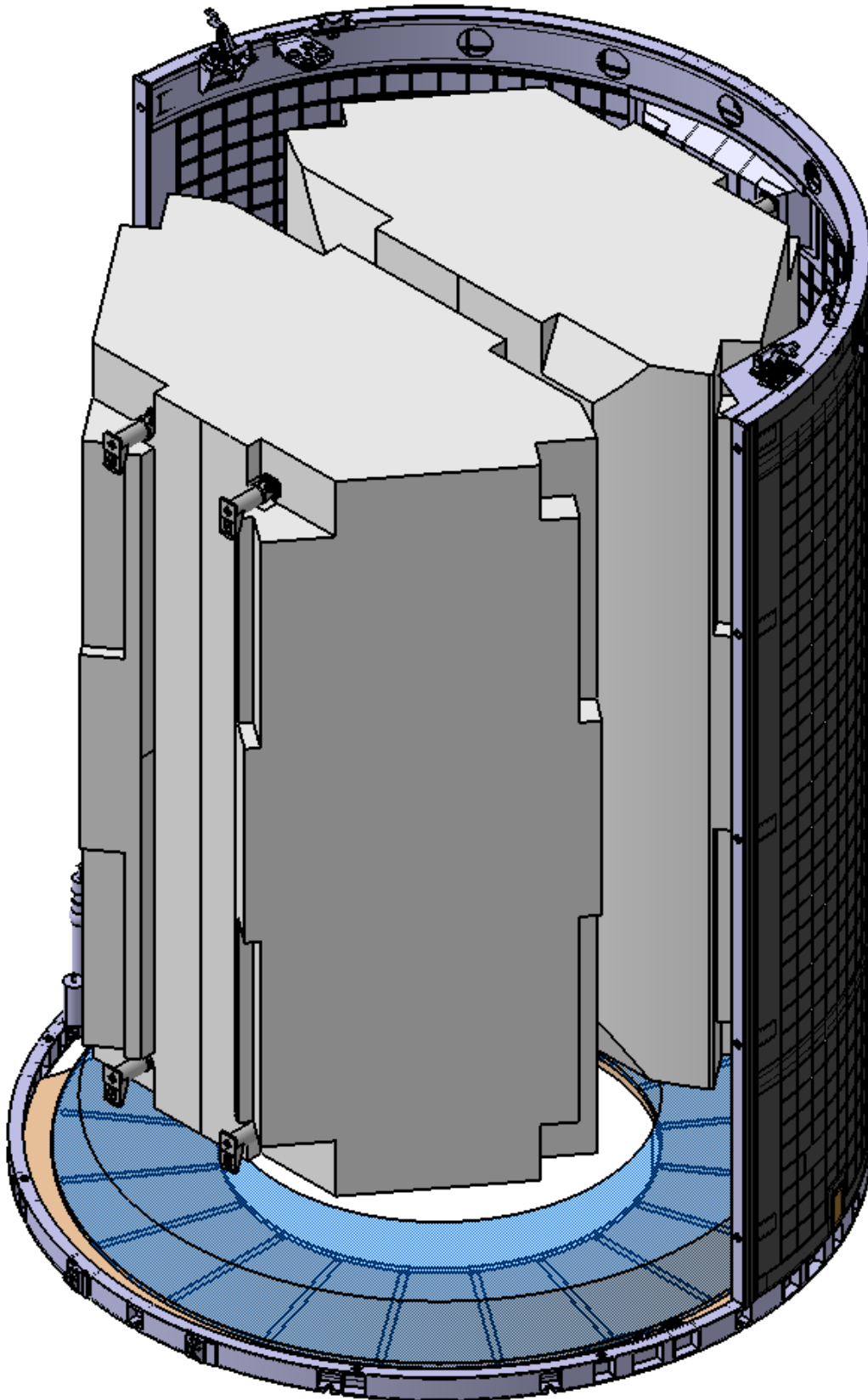


Рис. 3. 3D модель предварительных ИД проекта «Днепр - IRIDIUM»

В нашем примере Заказчик и Подрядчик, исключив все экзотические, нетрадиционные и надуманные инновационные решения, в качестве основного

интегрирующего, рабочего инструмента выбрали программный комплекс - **САТІА**. По предварительной договоренности с Заказчиком необходимый информационный пакет был передан Подрядчику в виде цифровых 3D моделей, что значительно облегчило и упростило последующие этапы выполнения, согласования совместных проектных действий и решений см. рис. 3.

Объем проектно-конструкторских работ был спланирован и распределен между участниками проекта согласно ниже приведенным пунктам:

1. Создание и монтаж рабочей зоны внутри КГЧ;
2. Наполнение рабочей зоны приборным оборудованием;
3. Функциональное распределение и установка приборного оборудования;
4. Построение (3D) каркаса приборной фермы с установленным (3D) оборудованием;
5. Получение чертежной (2D) документации по (3D) моделям.

Как известно любые построения и начало всех предстоящих работ связаны и всегда сопровождаются подготовительными операциями, расчётами, какими либо процессами, действиями, так иногда называемым **нулевым циклом**. В нашем случае в качестве отправной точки для всех текущих и предстоящих работ было принято решение о создании базы данных объемных (3D) моделей приборов. Регулярные и планомерные наполнения этой базы создали уникальный банк знаний, который позволил конструкторскому коллективу без дополнительных временных и материальных затрат многократно использовать наработанную интеллектуальную собственность предприятия.

Начальным пунктом проекта построения модуля авионики стало создание **рабочей зоны** приборного отсека. Ее габариты, размещение были определены из присланных, обновленных и доработанных ИД см. рис.2. Конструктивно рабочая зона представлена в виде полупрозрачного тела вращения трапецеидального

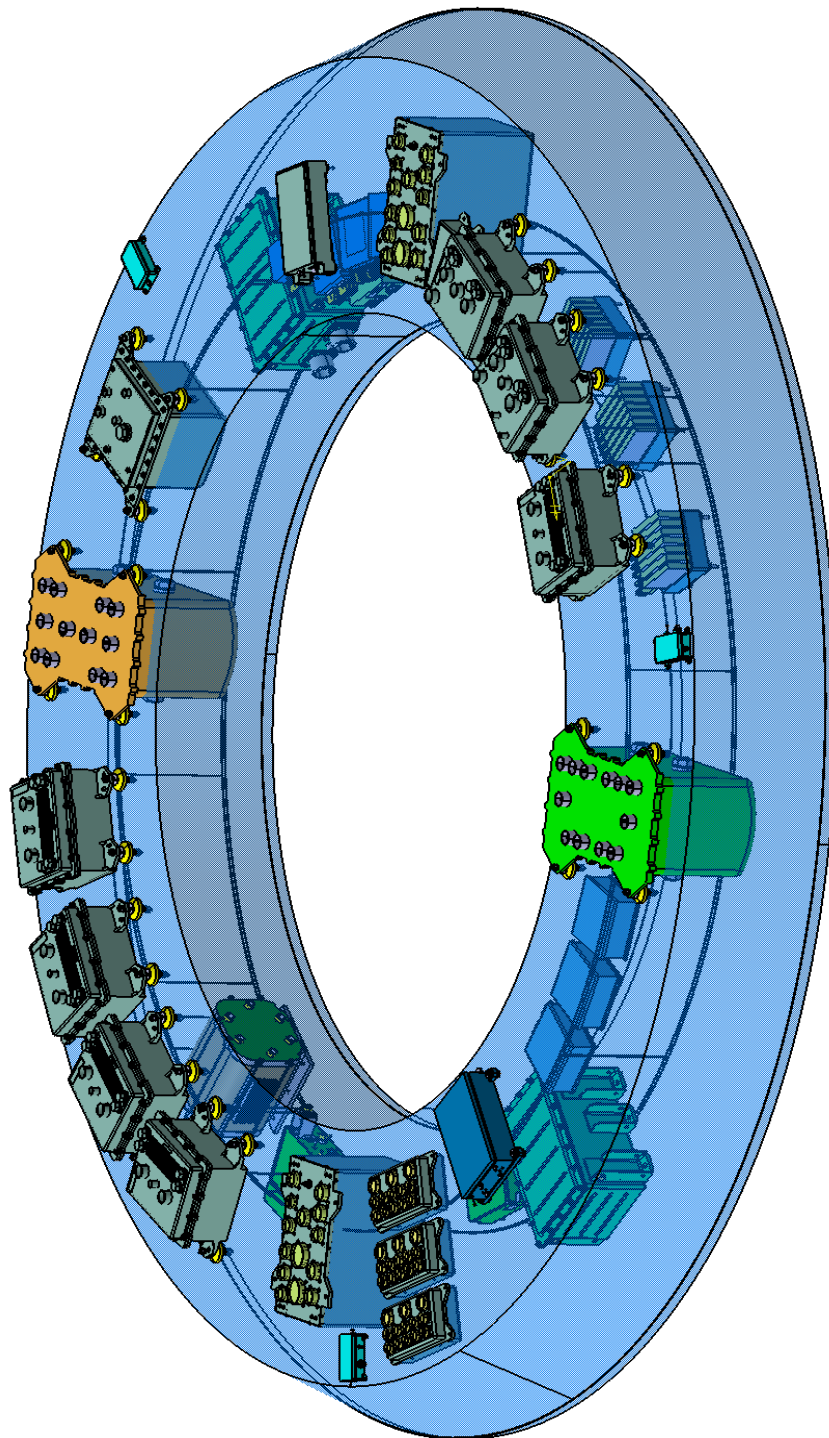
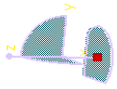


Рис. 4. Рабочая зона приборного отсека с установленными приборами

контура, установленного в нижней трети КГЧ (космической головной части) см. рис. 3, 4. Для начального этапа работ – это главный элемент конструкторских построений. Фактически являющейся технологической

основой (стапелем) виртуальной среды, на которой устанавливаются проектируемые приборные фермы (рамы, каркасы) и 3D модели приборов. Последующая операция обеспечивает увязку **рабочей зоны** с главным и определяющим сборочным компонентом изделия – корпусом КГЧ. Этот технологический прием позволяет дать заключение о пригодности (непригодности) новой сборочной единицы относительно всех входящих компонентов присутствующих в сборке. После предварительного анализа (отсутствие пересечений, наложений, наличия приемлемых конструктивных зазоров в сопрягаемых узлах) и решения специалистов о работоспособности созданной конструкции, исполнитель приступает к заполнению **рабочей зоны** оборудованием. Цель операции заключается в визуализации компоновочных работ с располагаемыми конструкционными объемами изделия (соизмеримость объема рабочего пространства с объемом приборов). А также возможность определения наилучшего позиционного расположения каждой сборочной единицы относительно друг друга. Для начала в свободной форме, без всякой последовательности и предварительной ориентации, главный сборочный узел наполняется приборным и другим сопутствующим оборудованием. После предварительного, произвольного заполнения рабочей среды, конструктор методом перемещения устанавливает приборы на новые координаты рабочего пространства, ориентируя и располагая их в соответствии с габаритными размерами и функциональным назначением. Количество и тип приборного оборудования определяется полетным заданием и целями проектируемого изделия.

Последующий этап работ связан с формированием облика силового каркаса несущей фермы. Для этого в посадочных местах закрепления приборов, с помощью **маркеров** (особые пространственные точки, отрезки, дуги или другие примитивы) помечаются, координируются и фиксируются места будущих построений, позволяющие обеспечить визуализацию предстоящих проектных конструкторских работ. Количество маркеров в зависимости от сложности и наименования оборудования может быть различным, оно определяется потребностью пользователя (пользователей) проекта. После визуализации мест крепления приборов, конструктор приступает к построению проволочного каркаса, прообраза будущего силового набора фермы. И только затем, после многих предварительных проработок, начинаются построения с реальным, гостированным профилем. Как правило, конструкция выполняется из минимального количества и доступного для изготовления сортамента предприятия. В качестве примера может служить один из сборочных узлов проектируемой фермы, состоящий из распространенного уголкового профиля. См. рис. 5. По возможности, с целью обеспечения наилучших прочностных характеристик, собранный узел должен обладать симметрией относительно главных строительных (полетных) плоскостей изделия.

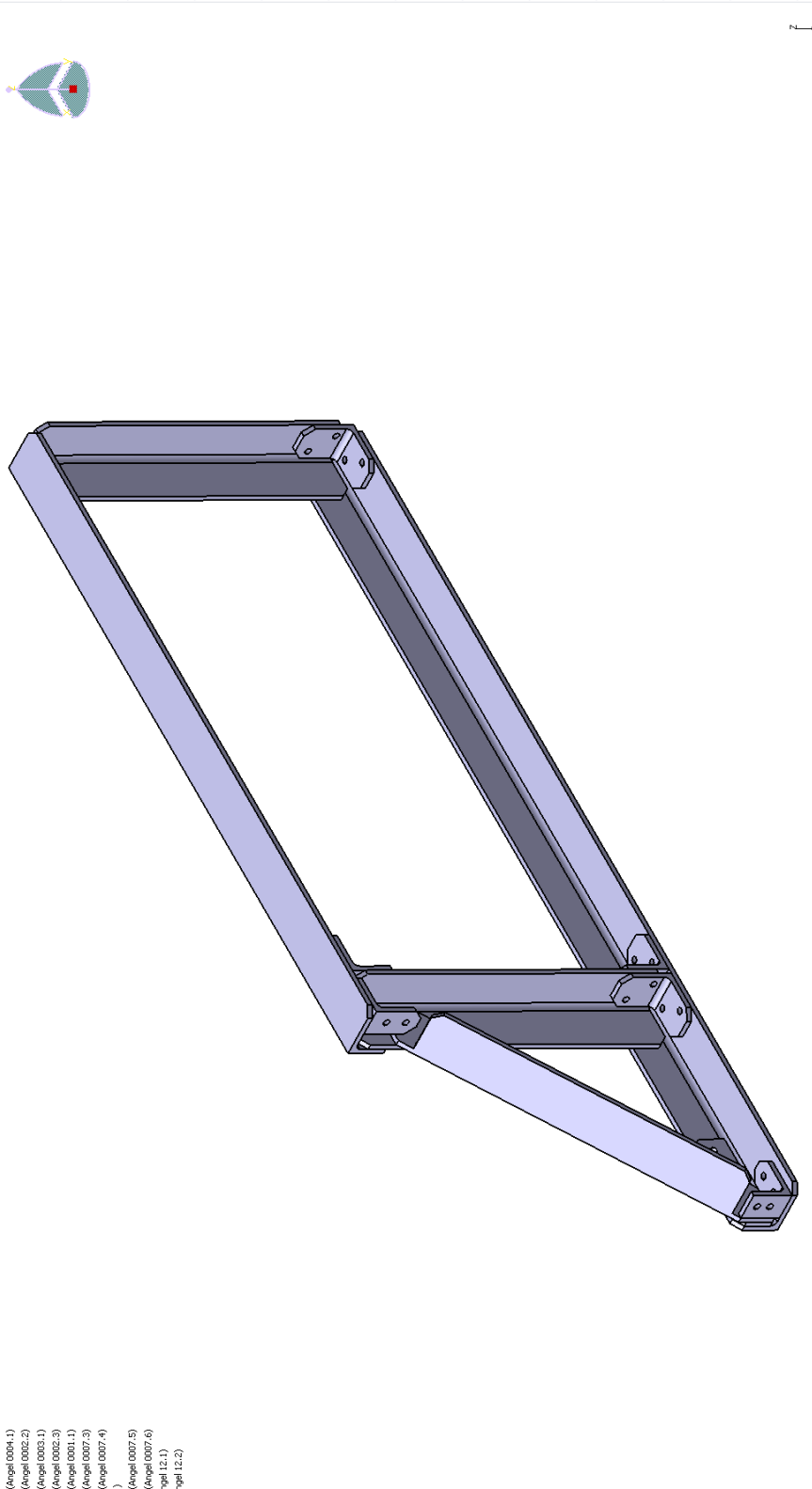


Рис. 5. Сборочная единица клепаной конструкции, выполненная из уголкового профиля

Учитывая возможные и множественные доработки, узел в обязательном порядке должен иметь прочностной запас, возможность своей полной модернизации и инвариантность к вновь поступающим изменениям. На рис.6

представлена сборочная единица, которая выполнена в соответствии со всеми действующими нормативами, требованиями ИД и КД. При надлежащем уровне и качестве проектных работ, новая технология согласно полученным практическим результатам **сокращает процесс разработки изделия как минимум в 2-3 раза**. Масса созданной конструкции составляет всего 27 кг! Вариант с использованием традиционного плоского компьютерного (2D) проектирования дал более скромные результаты – 63кг. Как видно выигрыш с применением новых технологий вполне очевиден и бесспорен.

Далее, применяя комплексные решения тяжёлого САПРА, конструктор с помощью программных методов **САТИА** в модуле **САЕ** выполняет предварительный **статический расчет** виртуальных конструкций. В большинстве случаев он всегда соответствует и удовлетворяет прочностным результатам специализированных департаментов, позволяя работать предприятию без проведения долгосрочных и дорогостоящих натуральных, стендовых прочностных испытаний. После проведения расчетов на статику собранную конструкцию обязательно проверяют на **частотный анализ**. Пример и методики расчетов описаны в [3] Но сегодня, в реальном производственном процессе, подобные операции, к сожалению, применяются крайне редко, довольствуясь оценками уполномоченных специалистов или актами заключений после проведения натуральных статических и динамических испытаний. А столь облегченный, неполный путь проектирования нельзя назвать оптимальным, так как комплексные решения тяжелого САПРА всегда позволяют получать быстрый и правильный предварительный результат ещё на стадии разработки КД.

Объяснения подобным фактам всегда сопровождаются множественными производственными причинами, но в действительности, в большинстве случаев это связано в отсутствии материальной заинтересованности со стороны исполнителя и недостаточной осведомленности менеджеров среднего звена относительно технологических возможностей САПРА высокого уровня.

Последующий этап проектных работ носит уточняющий и завершающий характер, конструктор проверяет, корректирует состав приборов, при необходимости делает их полную перестановку, изменяет несущий каркас металлоконструкций, проверяет нагрузки, проводит дополнительные прочностные виртуальные испытания, а также подготавливают созданную модель к выпуску документации. См. рис.7.

При этом проектирование приборной фермы с установленным оборудованием не является заключительным этапом в разработке авионики. Создание и монтаж кабельной сети, подсоединение ее к приборам, а также виртуальная верификация с ее электрической проверкой является не менее ответственной и трудоемкой частью проекта.

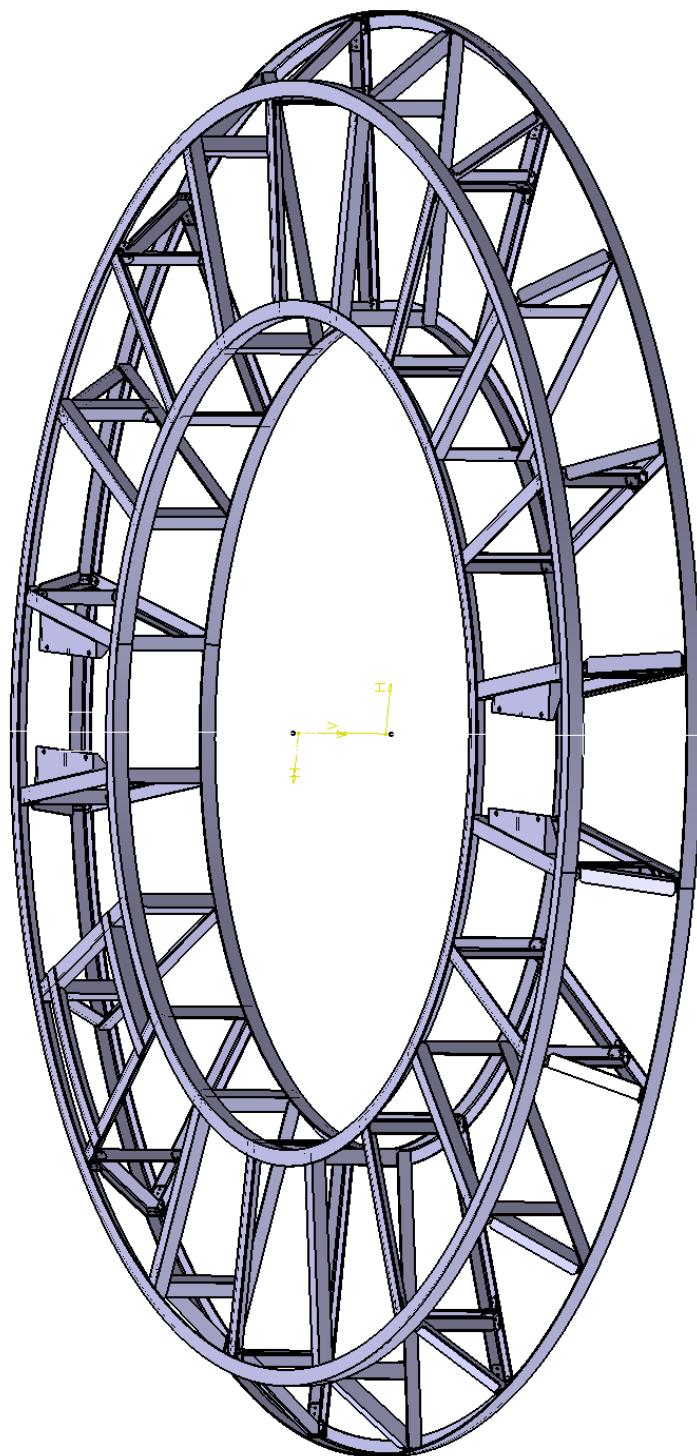
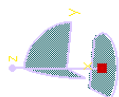


Рис. 6. Сборочная единица клепаной конструкции, выполненная в САД системе CATIA

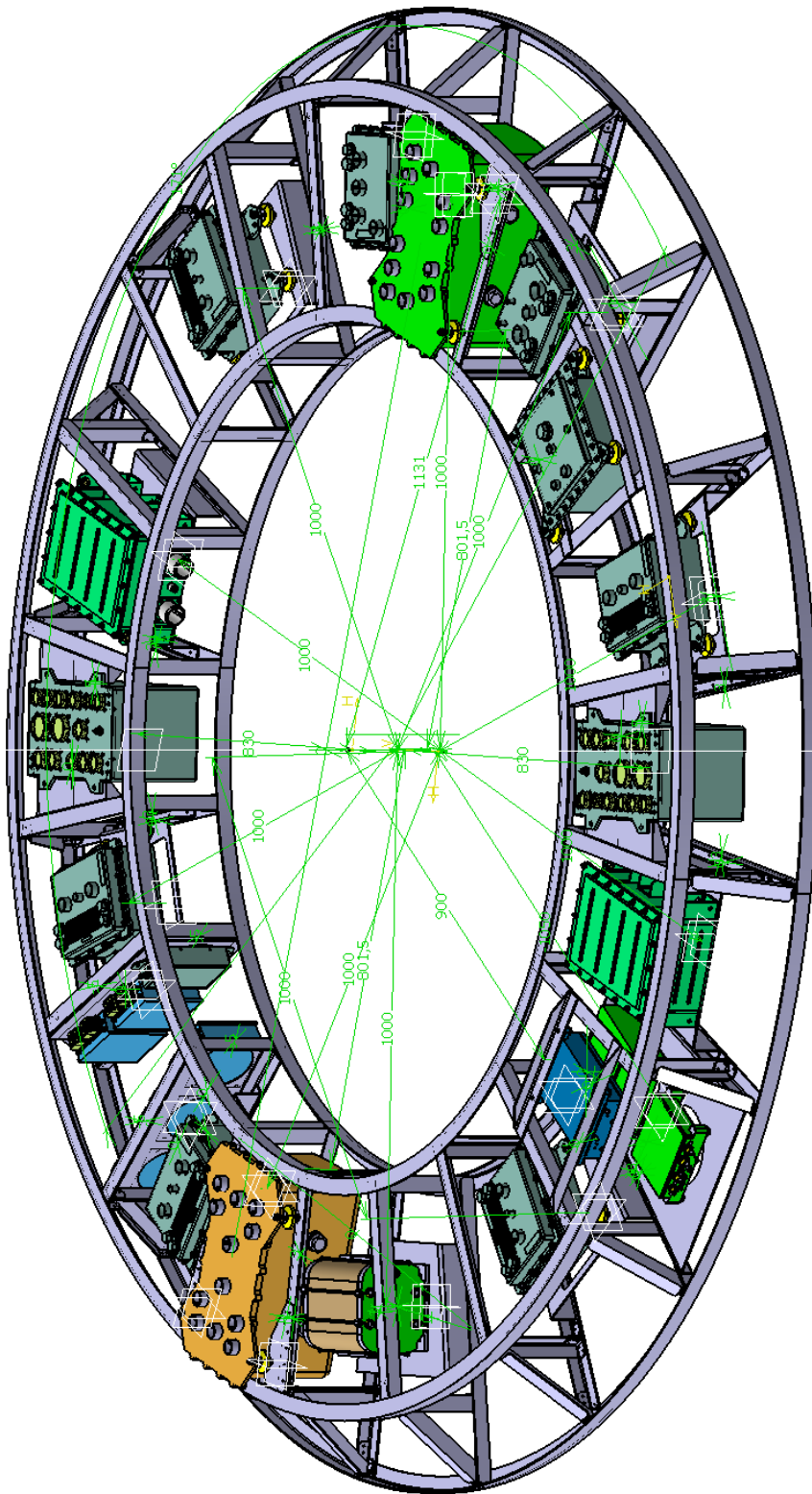
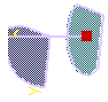


Рис. 7. Приборный отсек в сборе

Этот вид работ выполняется на более мощных графических станциях имеющие общие настройки, программное обеспечение и соответствующие сетевые ресурсы. Процесс создания кабельной сети КГЧ – отдельная технологическая часть проекта, которая не рассматривается в приведённой публикации. Но, идеология и принципы построения этого вида работ, во многом идентичны с предыдущими, описанными выше методами проектирования для приборного оборудования.

Заклучение

Предложенная и апробированная методика проектирования систем авионики с использованием высокотехнологичных программных модулей тяжелого САПРА, как показывает опыт и многолетняя практика выполнения предшествующих работ, является наиболее полным и оптимальным технологическим решением при создании сложной, наукоемкой техники. Внедрение и использование высокотехнологичных программных продуктов, таких как САТІА, в значительной степени облегчает и сокращает проектные и производственные затраты, сроки выпускаемых изделий. Внедрение в производство тяжелых программных продуктов, переход на **системное проектирование** - единственно правильный и безальтернативный вариант развития специализированных предприятий аэрокосмической индустрии.

Библиографические ссылки

1. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://tvsh2004.narod.ru/1-isz2.html>.
2. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://old.sibai.ru/content/view/575/692/>
3. Михалевский В.Н. Комплексное применение САПР верхнего уровня для решения конструкторских задач при создании образцов ракетной техники//Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки»; Дніпропетровськ: ДДУ, 2010. Вип. X.- С. 82-92.

Надійшла до редколегії 05.07.2014