

ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

¹Стрелец Д.Ю., ¹Серебрянский С.А., ¹Шкурин М.В.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
maksmai33@gmail.com, s-s-alex@mail.ru, m.shkurin@mai.ru

Аннотация: В предлагаемой работе формулируются основные положения концепции управления жизненным циклом изделия применительно к сложным авиационным объектам, предлагается функциональная схема единого информационного пространства, а также анализируется состав технологий, применимых для её реализации.

Ключевые слова: жизненный цикл изделия, конкурентоспособность, комплексные решения, цифровые технологии, единое информационное пространство

Введение

Современная авиационная техника (АТ) относится к наукоёмкой продукции и имеет длительный жизненный цикл (ЖЦ). Стоимость жизненного цикла (СЖЦ) в целом является одной из ключевых характеристик АТ и включает в себя затраты на разработку, производство, эксплуатацию АТ (включая затраты на техническую эксплуатацию, то есть на работы, связанные с поддержанием АТ в работоспособном состоянии и с подготовкой к полетам) и на утилизацию изделий АТ по выработке ресурса или по истечении срока службы. Для воздушных судов (ВС), имеющих срок использования 20 и более лет, часть СЖЦ, связанная с затратами на ТЭ, может быть не только равна стоимости покупки, но и часто превышать ее. При этом, в силу известных экономических причин (инфляция, состояние рынка и др.), доля указанной части СЖЦ со временем возрастает, а доля затрат на приобретение ВС убывает.

1 Управление жизненным циклом конкурентоспособного изделия

Концепция управления жизненным циклом изделия (УЖЦИ), обеспечивает управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с проектирования и производства до снятия с эксплуатации. Представляет собой методологию комплексного применения современных информационных технологий для повышения конкурентоспособности авиационной отрасли [1].

Основным и главным преимуществом концепции является быстрый доступ к нужной и актуальной информации об изделии, что является основой для обеспечения качества, сокращения сроков и снижения себестоимости продукта.

Современные подходы к созданию конкурентоспособной АТ предполагают объединение процессов создания (проектирования, изготовления, испытаний и сертификации) и обеспечения эксплуатации АТ в единую Программу ЖЦ образца АТ, нацеленную на достижение поставленных задач (государственных или коммерческих).

Управление ЖЦ АТ является частью такой программы и нацелено на обоснование и обеспечение при проектировании и изготовлении АТ, а затем на поддержание при эксплуатации,

заданных значений таких ключевых свойств АТ, как технико-экономическая эффективность применения по назначению, надежность, готовность на стадии эксплуатации, стоимость ЖЦ.

В настоящее время на предприятиях авиастроительной отрасли идёт активное внедрение цифровых технологий. Для российского гражданского авиастроения это ключ к решению главной задачи – повышение текущей и будущей конкурентоспособности российских самолётов на глобальном рынке

Сегодня отсутствует общепринятая методика определения уровня конкурентоспособности технически сложной промышленной продукции, в том числе и авиационной. Это усложняет выполнение заданных требований к изделию на основе поэтапного планирования и контроля соответствия изделия заданным лётно-техническим, технологическим и эксплуатационным требованиям, а также поддержания такого соответствия требованиям на протяжении всех этапов ЖЦ.

В настоящем понимании конкурентоспособность авиационной продукции – понятие комплексное, которое требует многогранной и непрерывной оценки состояния изделия АТ и его составных частей в реальном времени. Этому способствует использование цифровых технологий и переход гибкому управлению жизненным циклом изделия, включая этап утилизации [2].

Разработка и производство в кратчайшие сроки конкурентоспособной авиационной продукции нового поколения возможны сегодня с применением передовых систем комплексных технологических решений. Которые представляют собой функциональную взаимосвязь следующих компонентов: «цифровое проектирование и моделирование – новые материалы – новые технологии» (рис. 1).

В данном случае в главной роли выступают технологии цифрового проектирования и моделирования.

В основе технологии цифрового проектирования и моделирования лежит использование сложных мультидисциплинарных математических моделей (область *M* см. рис. 1) с высоким уровнем адекватности реальным материалам, конструкциям и физико-механическим процессам (включая технологические и производственные), описываемых уравнениями математической физики, в первую очередь, 3D нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных.

При правильном применении численное моделирование – это способ увидеть будущее, предсказать последствия вносимых конструкторских изменений и их влияние на характеристики изделия.



Рис. 1. Взаимосвязь компонентов комплексных решений

Численное моделирование позволяет рассмотреть «все возможные сценарии будущего». Поведение изделия изучается в широком диапазоне возможных условий эксплуатации, а интеллектуальные методики оптимизации находят наилучшие варианты проектных решений.

Такие математические модели выделяют и объединяют в себе те знания, которые применяются при проектировании, производстве и эксплуатации изделия (продукта в целом, или его составляющей части), среди них:

– фундаментальные законы и науки (математическая физика, теории колебаний, упругости, пластичности и т. д., механика разрушения, механика композиционных материалов и композитных структур, контактного взаимодействия, динамика и прочность машин, вычислительная механика, гидроаэродинамика, теплообмен, электромагнетизм, акустика, технологическая механика и др.).

- геометрические (CAD) и вычислительные конечно-элементные (CAE) полномасштабные модели реальных объектов и физико-механических процессов.
- полные данные о материалах, из которых изготавливается изделие, включая данные о поведении материалов при воздействии тепловых, электромагнитных и др. полей, скоростном деформировании, вибрационном, ударном, мало- и многоцикловом нагружении.
- информацию об эксплуатационных режимах (нормальные условия эксплуатации, нарушения нормальных условий эксплуатации, аварийные ситуации и т.д.), включая информацию, которая обеспечивает заданное поведение конструкции в тех или иных ситуациях (так называемое программируемое поведение).
- данные о технологиях производства и сборки, как отдельных элементов, так и конструкций в целом.
- прочие характеристики и параметры.

Циклический характер инновационных процессов в авиастроении и их дифференциация по отдельным этапам связаны как с общими закономерностями процесса экономического развития, так и с продолжительностью жизненного цикла конкретного изделия. К таким циклам относятся циклы технологических волн, циклы экономического развития отдельных стран, циклы экономического развития отдельных отраслей и предприятий, жизненный цикл конкретного изделия.

Такое представление эффективно при демонстрации задач верификации и валидации системы в течение жизненного цикла. Цель верификации состоит в доказательстве того, что при определенных входных данных готовые к поставке элементы на каждом этапе во всех отношениях отвечают требованиям данного этапа. Цель валидации состоит в доказательстве того, что рассматриваемая система на любом этапе разработки и после установки в полной мере отвечает предъявляемым требованиям.

Задачи верификации включены во все этапы жизненного цикла и являются неотделимыми от общей задачи – соответствие требованиям, предъявляемым к воздушному судну в соответствии с его назначением.

Объединение разнообразных знаний, которые применяются при создании конкурентоспособного продукта, является необходимым, но не достаточным условием для формирования «интеллектуальных» моделей. Более важными представляются следующие ключевые компетенции, без которых формировать данный вид модели невозможно:

- системный инжиниринг: в каждый момент времени необходимо держать в поле зрения всю систему и все её взаимодействующие компоненты, чтобы не происходило ситуаций, когда улучшение характеристик одного компонента влечет ухудшение характеристик другого.
- многоуровневая матрица целевых показателей и ресурсных ограничений (временных, финансовых, технических, технологических, производственных и т. д.) на каждом этапе жизненного цикла изделия. Мировой опыт в авиастроении свидетельствует, что такая матрица содержит десятки тысяч целевых показателей и требований, предъявляемых к продукту в целом, к его системам, агрегатам и деталям в отдельности.
- валидация «интеллектуальных» моделей: в цифровую форму необходимо перевести результаты натурных испытаний, в первую очередь тех, которые проводились для доводки изделий в различных отраслях еще во времена СССР.

Известно, например, что в авиакосмической отрасли потенциал физических и особенно математических моделей, которые лежат в основе большинства конструкций и интегрируют опыт и знания предыдущих поколений инженеров, практически исчерпан.

Серьезные проблемы в процессе разработки, испытаний, сертификации и производства отечественной авиатехники связаны, в первую очередь, со значительной длительностью каждого из этих этапов. Проектирование, моделирование и испытания отдельных элементов, узлов и агрегатов авиационной техники в существующей системе невозможно проводить параллельно, а возвращение к каждому из предыдущих этапов требует дополнительного финансирования. Значительные средства тратятся на многочисленные натурные испытания. Необходимость ведения и хранения бумажной документации вызывает дополнительные сложности с ее верификацией и корректировкой, усиливает риски негативного влияния человеческого фактора.

2 Единое информационное пространство

Информационная инфраструктура, которая могла бы обеспечить сквозную коммуникацию между всеми организациями авиационной промышленности, пока еще отсутствует.

Под единым информационным пространством понимается совокупность данных относящихся к проекту самолета, которые доступны всем подразделениям и исполнителям в рамках их компетенции при выполнении своих служебных обязанностей.

Предлагается создание комплексного платформенного технологического и программного решения, которое будет объединять в себе функционал систем по подготовке производства (системы CAD, CAM, CAE, PDM), систем управления производством (системы MES и ERP) и системы управления ресурсами EAM, обеспечивая при этом высокие стандарты безопасности технической информации. Наполнение такой платформы на начальном этапе должно поддерживаться системой автоматизированного сбора данных (MDC), которая позволяет осуществлять агрегирование данных о работе пользователей, в том числе научных организаций, сертификационных центров, производственных предприятий, лизинговых и сервисных компаний, эксплуатантов авиационной техники.

Для каждой стадии жизненного цикла сложного технического объекта характерны два слоя: информационный и материальный. В информационном слое создаются описания изделий и процессов различного назначения. Он характеризуется преобладанием интеллектуального труда. В материальном слое по описаниям, представленным в различной форме, выполняется материализация изделий и процессов[3].

В результате формируется единое информационное пространство (рис. 2), обеспечивающее полную цифровизацию всех этапов жизненного цикла АТ и управление ими. Интеграция информационных потоков позволяет проводить оптимизацию взаимодействия между этапами с позиций соответствия спросу на выпускаемый продукт и эффективности использования ресурсов.

Данная концепция управления ЖЦ АТ предполагает, что вместе с самолетом заказчик получает «не просто сервис, а целую цифровую экосистему» оказания услуг. Такой подход позволяет повысить эффективность использования судна на основе полученных в процессе эксплуатации данных и автоматизированного оперативного взаимодействия всех участников кооперации – от самолетостроителя и его поставщиков до авиакомпаний и организаций, которые занимаются техническим обслуживанием воздушных судов [4, 5].

К числу основных функций информационно-аналитического центра относятся:

- проведение маркетинговых исследований;
- формирование требований к изделию;
- обеспечение общей информационной среды;
- органичная интеграция различных инженерных систем и дисциплин, задействованных в проекте;
- интеграция работы многих организаций (подразделений), возможно, находящихся на значительном удалении друг от друга;
- управление процессами инженерного компьютерного моделирования, согласование процессов моделирования.
- автоматизация процессов инженерного моделирования:
- автоматизация применения стандартных (утвержденных) методик и шаблонов анализа;
- автоматический анализ стандартных расчетных случаев;
- согласованное, эффективное управление большими массивами данных проекта:
- хранение данных (включая расчетные модели и результаты расчетов);
- обеспечение легкого, структурированного доступа ко всем данным и процессам инженерного компьютерного моделирования в масштабах предприятия;
- отслеживание – как все данные были созданы и куда (кому) были отправлены;
- оптимизация (минимизация) хранимых данных;
- архивация данных;
- преобразование данных для передачи из одной системы в другую, стандартизация данных;
- конфиденциальность доступа, авторизация, включая среду и партнеров и поставщиков;
- возможность сравнения результатов численного моделирования различных вариантов проекта с результатами экспериментальных исследований и испытаний;
- быстрое сравнение множественных результатов моделирования;
- автоматическая генерация стандартных отчетов по результатам моделирования;
- хранение отчетов;

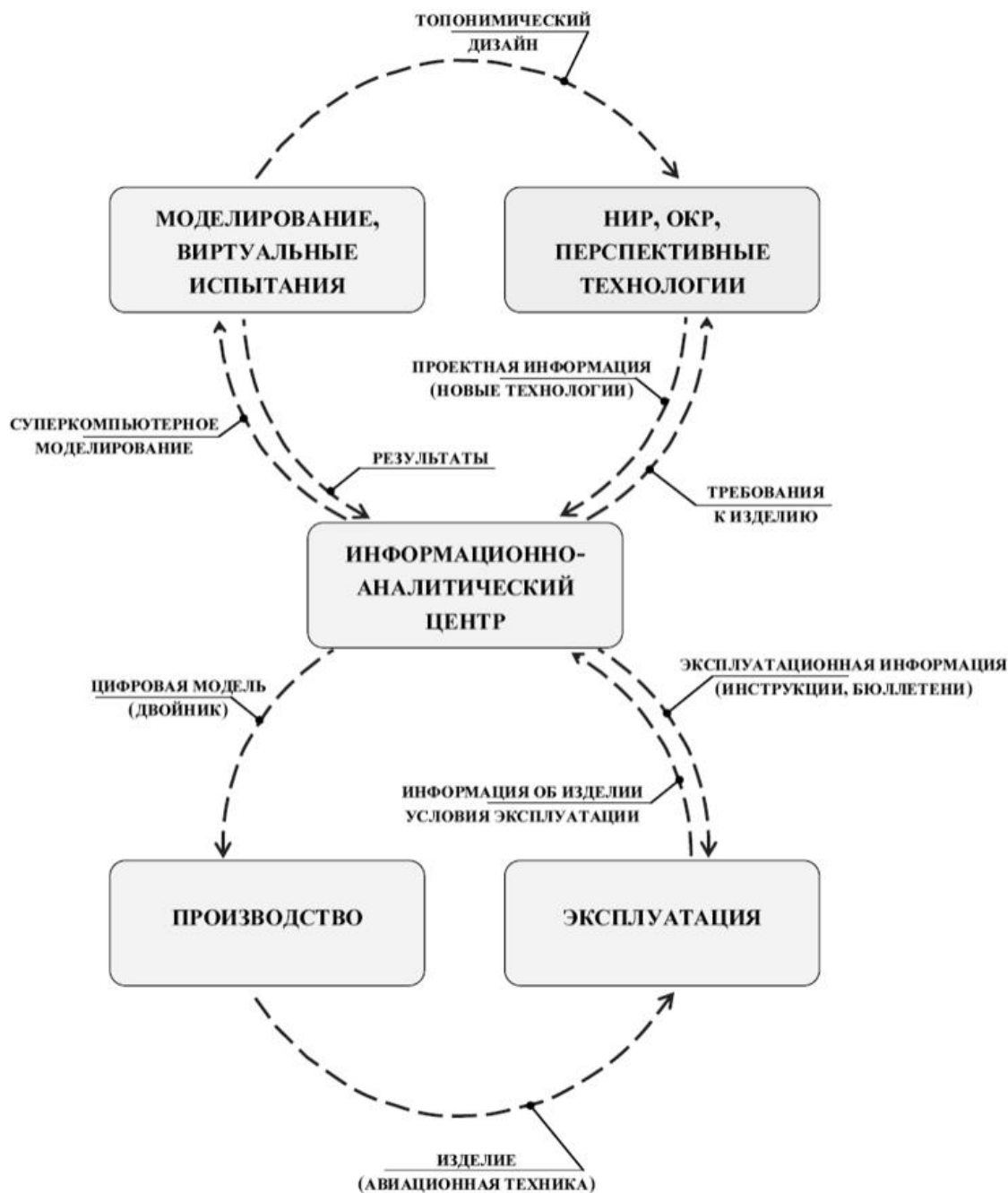


Рис. 2. Единое информационное пространство

Создание такой среды, безусловно, отвечает потребностям современного этапа развития сферы создания, производства и эксплуатации авиационных комплексов. Основными особенностями этого этапа являются:

- существенный рост сложности и стоимости разработки конкурентоспособных изделий авиационной техники;
- быстроменяющийся рынок с высокой степенью неопределенности;
- необходимость значительного (до 50%) сокращения срока выхода самолета на рынок;
- кооперация участников как ответ на рост сложности и стоимости разработки;
- географическая/национальная разобщенность участников.
- широкое внедрение инструментов CAD/CAE/CAM при явно несоответствующих средствах интеграции;
- потребность в эффективном сопровождении и поддержке продукта и его модификаций в течение всего жизненного цикла.

Адекватный ответ на вызовы времени и успех на рынке могут быть обеспечены, наряду с правильной экономической и технической политикой, созданием соответствующего инструментария, включающего:

- современные интеграционные распределенные среды разработки;
- внедрение концепции параллельного проектирования;
- точное моделирование системы с учетом эффектов междисциплинарности;
- новые организационные формы предприятия, полностью ориентированные на заказчика: быстроту выполнения заказа (minimal time-to-market) и полноту удовлетворения потребностей клиента.

Ключевым направлением развития средств математического моделирования и информационной поддержки разработок авиационных комплексов является все более полная их интеграция в рамках проблемно-ориентированных сред междисциплинарного проектирования, анализа и оптимизации физических процессов с учетом технологических и экономических ограничений и требований заказчика.

Такой средой может стать так называемый «виртуальный самолет». Практически «Цифровой самолет» будет представлять собой программно-аппаратный (вычислительно-информационный) комплекс, который позволит проводить все работы по разработке авиационных комплексов значительно быстрее и эффективнее, чем это происходит сейчас. Кроме того, эта система должна предоставить возможность сопровождения посредством математического моделирования всего цикла испытаний разрабатываемого самолета, обеспечить подготовку запуска самолета в производство (модели технологических процессов) и создание программных средств, необходимых для его эксплуатации (электронные руководства, математические модели для системы управления и диагностики).

Предлагаемая архитектура и инструментарий «Цифрового самолета», возможные сферы его применения по стадиям жизненного цикла реального самолета, последовательность разработки, а также разделение зон ответственности при концентрации усилий партнеров, делает поэтапное создание такой среды реальной задачей, причем при учете богатого отечественного опыта самолетостроения эта разработка может быть лидирующей на мировом уровне.

Целью концепции «Цифровой самолет» является создание элементов системы проектирования конкурентоспособных авиационных комплексов на основе информационных технологий нового поколения, позволяющей уже на стадии концептуального проектирования формировать рациональный облик авиационного комплекса, его подсистем и систем на основе проведения многовариантных расчетов по выбору оптимальной схемы (архитектуры) самолета и технических решений.

Инструментами такой системы проектирования являются:

– библиотека математических моделей (CAE - приложения) деталей, узлов, агрегатов, подсистем, систем и самолета в целом различного уровня сложности (собственной разработки и коммерческие);

– структурно-параметрическая модель самолета и его компонент, содержащая «правила проектирования» («Базу знаний») и обеспечивающая быстрое формирование и трансформацию твердотельных геометрических моделей разного уровня сложности, а также изменение схемы (архитектуры) самолета и его компонент на основе заданных параметров и результатов расчетов.

– специализированная среда разработки, интегрирующая CAE - приложения и расчетные данные, обеспечивающая управления процессом расчета, формированием и трансформацией твердотельных геометрических моделей компонент и самолета в целом, поддерживающая режим «параллельного проектирования» и др.;

– методология и технология управления проектами в среде, насыщенной средствами CAD/CAE/CAM и PDM/PLM:

– новые формы организации работы предприятия, ориентированные на виртуальный продукт.

Применение этих инструментов позволит провести опережающую оптимизацию бизнес - процесса и предметной области разработки самолета, включая все стадии его жизненного цикла (проектирование, изготовление опытной партии и сертификацию, серийное производство и эксплуатацию).

При такой постановке задачи речь идет не только о трансформации отдельной корпорации, а о создании непрерывного цифрового потока данных в отрасли – трансформации всей цепочки участников создания летательных аппаратов, производства и эксплуатации.

Действующие решения в этой области должны быть синхронизированы между собой и позволят комплексно защитить информационное пространство от внешних угроз.

Процесс цифрового проектирования и моделирования этапов жизненного цикла изделия АТ в едином информационном пространстве, включает формирование многоуровневой структуры показателей и ресурсных ограничений, разработки «интеллектуальных моделей» и цифровых двойников (рис. 3).

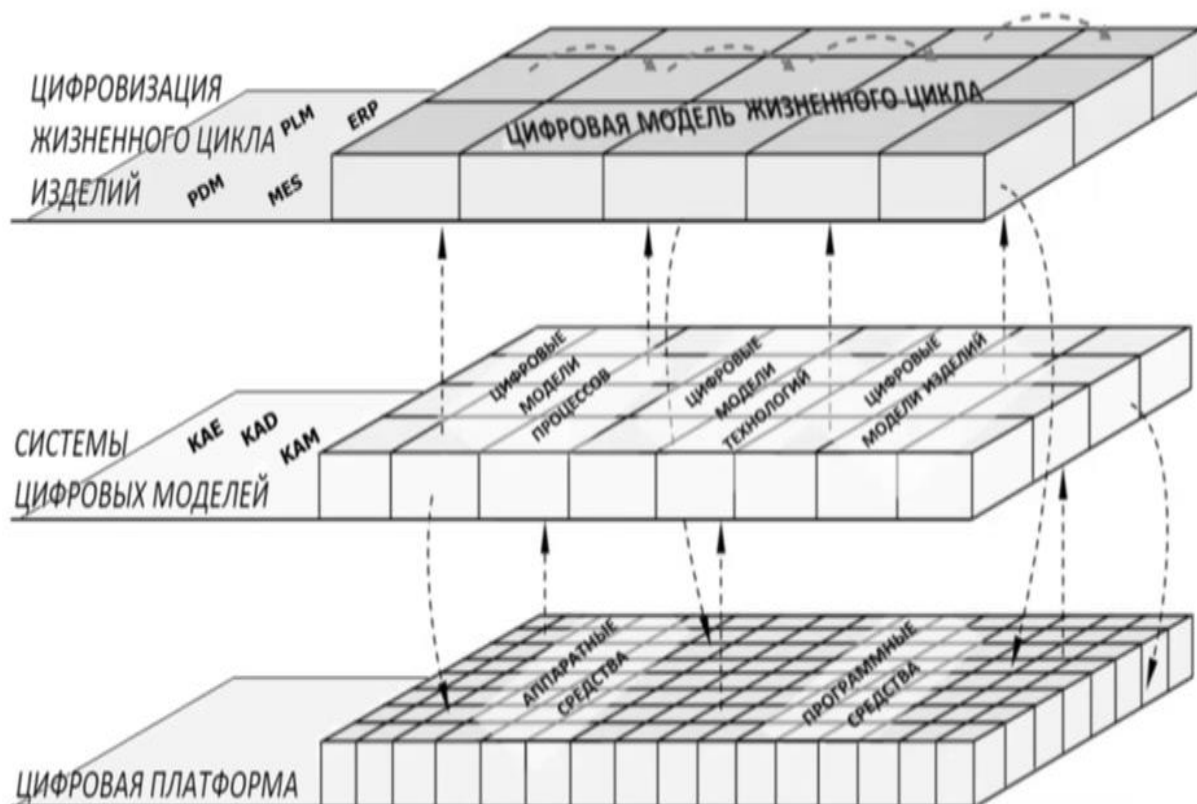


Рис. 3. Многоуровневая структура информационного пространства

Основной целью создания данной структуры является обеспечение конкурентоспособности создаваемого изделия в жестких рыночных условиях за счет существенного сокращения срока (на 50% от существующего). Представление воздушного судна на рынок без негативного влияния на его показатели на основе опережающей оптимизации бизнес - и предметной области разработки самолета, включая все стадии его жизненного цикла (проектирование, изготовление, испытания, производство и эксплуатацию) с помощью единой модели самолета открытой архитектуры – цифровой самолет, функционирующей в виртуальной среде.

Задачами разработки многоуровневой структуры являются:

- распределенность (функциональное распределение в распределенной сетевой среде);
- моделирование самолета путем его сборки из компонентов, вне зависимости от их числа, типа, уровня описания и места их размещения в компьютерной сети;
- создание иерархических компонентных моделей (данная функция является необходимой для взаимозаменяемости объектов и построения модели самолета на принципах композиции на основе композитных компонент, состоящий из подкомпонентов);
- поддержку функций многоуровневости и междисциплинарности с сохранением архитектуры среды;
- обеспечение взаимозаменяемости и совместимости различных версий среды и ее компонентов в процессе разработки и использования;
- платформенезависимость (обеспечение функционирования модели вне зависимости от используемых операционных систем и аппаратных средств);
- преемственность (обеспечение возможности использования разработанного ранее программного обеспечения на языках FORTRAN, C и C++);
- эффективный и полный пользовательский интерфейс, обеспечивающий простой и удобный путь конструирования модели и ее исполнения.

3 Ожидаемые результаты

Решение поставленных задач позволяет:

– обеспечить современную модель-центрированную среду разработки объектов сложной авиационной техники с организацией информационных потоков между участниками без потерь и искажения информации, как между участниками, так и между этапами проектирования;

– более точно предсказать характеристики самолета в широком диапазоне эксплуатационных режимов с учетом влияния различных факторов за счет использования математической модели с эффектами повышения разрешающей способности при анализе той или иной компоненты самолета;

– обеспечить генерацию достоверных исходных данных (достоверные граничные условия) для подсистем проектирования компонент высокого уровня за счет функционального согласования данных по самолету и его компонентам в рамках единой модели;

– сократить сроки разработки проекта самолета, полностью устранить потери и искажения данных при передаче их по цепи компонента-самолет за счет использования при моделировании самолета целостных цифровых моделей компонент в виде программного кода, подготовленного специалистами, отвечающими за компоненты, вместо имеющейся на сегодняшний день практики передачи статической информации (данных);

– обеспечить высокую степень управления жизненным циклом изделия за счет применения иерархического принципа делегирования функций участникам-специалистам в своей предметной области.

Преимущества, обеспечиваемые цифровыми технологиями при управлении ЖЦ изделия, сводятся в основном к повышению эффективности каждого этапа за счет увеличения числа рассматриваемых вариантов, благодаря автоматизации рутинных операций.

Ведущими зарубежными авиапроизводителями ведётся полномасштабное освоение сквозной цифровизации научных исследований и разработок, испытаний, производства и поставок, продаж и эксплуатации авиационной техники

Литература

1. Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / Гл. ред. *А.Г. Братухин*. М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008, 608с.: илл.
2. *Судов Е.В., Петров А.Н., Петров А.В., Осяев А.Т., Серебрянский С.А.* Технологии интегрированной логистической поддержки в процессах жизненного цикла авиационной техники. Учебное пособие / - М.: Эдитус, 2018. - 174 с.: ил. ISBN 978-5-00058-821-5
3. *Рябов А.А., Романов В.И., Кудрявцев А.Ю. и др.* Разработка верификационного базиса численных решений сопряженных, связанных и мультидисциплинарных задач для авиационной техники. Научно-технический отчет № НТО-СКТ-04SI-12В ч. I, II / п. Сатис: ООО «СИНЦ», 2012. – 480с.: ил.
4. *Барковский А.Ф., Савельевских Е.П., Стрелец Д.Ю., Корнев А.В. и др.* Реализация концепции «виртуальный самолет-двигатель» при решении связанных и мультидисциплинарных задач. Научно-технический отчет №НТО-СКТ-01SU-12А / М.: ОАО «ОКБ Сухого», 2012. – 827с.: ил.
5. *Погосян М.А., Савельевских Е.П., Стрелец Д.Ю., Корнев А.В.* Отечественные суперкомпьютерные технологии в авиационной промышленности. «Наука и технологии в промышленности» №2/2012.