

# ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СОЗДАНИЯ АВИАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Коротков С.С.

ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация», Москва, Россия

s.korotkov@uacrussia.ru

*Аннотация.* Процесс создания авиационного комплекса как сложной технической системы характеризуется наличием ряда факторов, оказывающих негативное влияние на сроки, стоимость и в конечном счете на результативность функционирования продукта. Для повышения эффективности управления созданием (разработкой) летательного аппарата активно внедряются цифровые технологии способствующие повышению качества принимаемых конструктивно-технических решений и объемов производства.

*Ключевые слова:* авиационный комплекс, летательный аппарат, авиационная техника, цифровые технологии, жизненный цикл изделия, цифровой двойник, виртуальные испытания, интеллектуализация, процесс создания, эффективность управления, цифровой поток.

## Введение

Процесс создания летательного аппарата (ЛА) в непростых военно-политических, экономических условиях современной обстановки настоятельно требует поиска и внедрения передовых способов управления адекватных внешней среде и соответствующих передовым тенденциям промышленно-технологического развития мирового авиастроения позволяющим качественно и в заданных финансово-временных рамках обеспечивать серийный выпуск требуемой продукции.

Главное технологическое направление развития авиастроения – цифровая трансформация, реализуемая на основе цифровых технологий.

Ключевой целью внедрения цифровых технологий является удовлетворение возрастающих потребностей заказчиков, сокращение сроков, повышения качества разработки продукции, снижение затрат и ускорения процессов создания новых продуктов.

Ведущие авиастроительные корпорации, стремясь к созданию цифровых предприятий, наращивают объемы использования цифровых технологий с массовым внедрением, так называемых киберфизических систем обеспечивающих интеграцию вычислительных ресурсов и физических процессов посредством организации непрерывного цифрового потока по всем этапам жизненного цикла изделия (ЖЦИ) и использования соответствующих информационных систем для управления ими.

*Кибер-физическая система (англ. cyber-physical system – CPS) – информационно-технологическая концепция, подразумевающая интеграцию вычислительных ресурсов и физических процессов. В такой системе датчики, оборудование и информационные системы соединены между собой на протяжении всей цепочки создания стоимости продукта, выходящей за рамки одного предприятия или бизнеса [1].*

Руководство промышленно развитых странах в последние годы уделяет повышенное внимание развитию *цифрового производства*, которое рассматривается в качестве одного из основных составляющих четвертой промышленной революции, отличительной чертой которой является массовое внедрение кибер-физических систем в производство и сферы обслуживания человеческих потребностей (быт, труд и досуг).

К базовым цифровым технологиям относятся:

- большие данные (big data);
- облачные вычисления, сервисы (cloud computing);
- интернет вещей (internet of things, IoT);
- мобильность;
- моделирование и имитация;
- робототехника;
- дополненная/виртуальная реальность;
- аддитивное производство;
- блокчейн (распределённая база данных или цифровой реестр, который обеспечивает безопасное и прозрачное хранение данных);
- искусственный интеллект;
- цифровой двойник.

Таким образом, цифровая трансформация (цифровизация) авиастроительной отрасли – актуальное веление времени, базирующееся на внедрении ряда передовых цифровых технологий (цифровой двойник, облачные вычисления, аддитивность, большие данные, интернет вещей), в том числе искусственного интеллекта в ЖЦИ.

## 1. Основная часть

Основными требованиями к современной авиационной технике являются:

- устойчивость, управляемость;
- экологичность, зеленая энергетика;
- высокая топливная эффективность;
- пониженный уровень шума;
- автоматизация, автономность функционирования;
- минимизация эксплуатационных расходов.

Данные требования формируют особенности развития современной, перспективной авиационной техники, связанные, в первую очередь, с использованием новых аэродинамических компоновок, повышением уровня интеграции бортовых систем и топливной эффективности, увеличением объема использования электрических решений, интеллектуализацией функционирования бортового оборудования и обуславливают необходимость реализации, внедрения цифровых технологий в процесс создания авиационной техники (АТ).

ЖЦИ АТ в соответствии с действующей нормативной базой авиастроения подразделяется на следующие стадии:

- НИР, аванпроект – комплекс теоретических, экспериментальных исследований и проектных работ по обоснованию технического облика, технической, экономической возможности и целесообразности разработки летательного аппарата (ЛА), разработка проекта технического задания (ТЗ) на работу;
- эскизно-техническое проектирование – определение исходных данных, основных параметров разрабатываемого изделия, дающих общее представление о принципе работы и устройстве ЛА, выполнении заданных в ТЗ требований, а также о возможности изготовления в промышленных условиях, выявление окончательных технических решений, исходных данных для разработки рабоче-конструкторской документации (РКД);
- разработка РКД – разработка комплекта РКД на опытные образцы изделия, комплекта эксплуатационной документации, программы и методики испытаний опытных образцов (ОО);
- изготовление ОО – изготовление ОО по комплекту КД для проверки (испытаний) на соответствие ТЗ с целью принятия решения о постановке на производство;
- испытания опытных образцов – контрольные испытания ОО, приемочные испытания ОО, проводимые с целью подтверждения их соответствия требованиям ТЗ и принятия решения о целесообразности серийного производства;
- серийное производство – серийный выпуск ЛА в соответствии с утвержденной РКД на производственных мощностях завода-изготовителя;
- послепродажное обслуживание ЛА в процессе эксплуатации с целью поддержания исправности и надежности.

Особенности процесса создания ЛА в современных условиях заключаются в наличии негативных факторов:

- сложная военно-политическая, экономическая ситуация в мире;
- наличие всеобъемлющих санкционных ограничений;
- высокая конкуренция в авиационном сегменте мирового рынка;
- ограниченность доступных финансовых ресурсов и соответствующих рисков следующего содержания [2]:
- увеличение стоимости, сроков выполнения работ и, как следствие, моральное устаревание принятых решений;
- рост требований, усложнение АТ и удорожание процесса создания;
- недостаточная готовность технологической, производственной базы для реализации технических решений на уровне современных требований.

Управление процессом создания такой сложной технической системы, как современный ЛА, заключается в воздействии на этапы ЖЦИ с целью уменьшения сроков, стоимости работ и повышения качества принимаемых технических решений в интересах потребностей Заказчиков.

В свою очередь управление жизненным циклом изделия – стратегия управления бизнесом, направленная на обеспечение заявленных характеристик изделия на каждом этапе жизненного цикла, на основе комплексного применения управленческих, инженерных и информационных технологий.

Система управления ЖЦ – это организационно-техническая система, предназначенная для осуществления деятельности по управлению ЖЦ. Эта система характеризуется целевым предназначением, структурой, элементами которой являются участники ЖЦ, распределением функций, полномочий и ответственности между участниками ЖЦ, механизмами их взаимодействия, применяемыми методами и средствами осуществления деятельности, способами информационного обмена и документирования результатов деятельности [3].

Основное направление повышение эффективности управления ЖЦИ наряду с доработкой нормативной базы – это цифровая трансформация составных этапов, заключающаяся в следующем:

- создание киберфизических систем (CPS), обеспечивающих интеграцию вычислительных ресурсов и физических процессов;
- управление процессом разработки АТ на основе цифровых технологий;
- создание цифрового двойника АК;
- цифровизация этапов проектирования (использование модельно-ориентированного проектирования);
- внедрение технологий компьютерного моделирования, виртуальных испытаний;
- применение суперкомпьютерных технологий;
- интеллектуализация производственных процессов изготовления АК;
- интеллектуализация процессов эксплуатации, сопровождения АК.

Последовательная цифровизация авиационной промышленности позволяет сокращать сроки разработки, наземных, летных испытаний, подготовки производства и серийный выпуск новых образцов, однако требует существенного увеличения финансирования на ранних этапах проектирования для формирования детальных математических моделей, проведения большого объема компьютерных вычислений, вычислительных экспериментов на супер-ЭВМ с целью снижения риска принятия неправильного решения.

Основными компонентами, инструментами и системами цифровой трансформации в соответствии с принятой терминологией являются.

Компоненты цифрового предприятия: цифровой поток (Digital Thread – DT), модельно-ориентированное предприятие (Model Based Enterprise – MBE), модельно-ориентированное проектирование (Model Based Design – MBD), модельно-ориентированная системная инженерия (Model Based Systems Engineering – MBSE), управление техническими данными (Technical Data Management – TDM), управление данными об изделии (Product Data Management – PDM), управление ЖЦИ (Product Lifecycle Management – PLM), промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things – IIoT).

Инструменты проектирования и производства: автоматизированное проектирование (Computer-Aided Design – CAD), системы автоматизации инженерных расчетов (Computer-Aided Engineering – CAE), автоматизированное производство (Computer-Aided Manufacturing – CAM), аддитивное производство и быстрое прототипирование (Additive Manufacturing & Rapid Prototyping – AM&RP), интегрированное автоматизированное проектирование с учетом свойств материалов (Integrated Computational Materials Engineering – ICME), конечно-элементный анализ / метод конечных элементов (Finite Element Analysis / Finite Element Method – FEA/M), проектирование с учетом (ценовой) доступности (Design for Affordability – DFA), неразрушающий контроль (Nondestructive Inspection / Examination (Metrology) – NDI/E).

Инструменты и системы управления производством: планирование потребности в материалах (Material Requirements Planning – MRP), управление производственным процессом (Manufacturing Process Management – MPM), система оперативного управления производством (Manufacturing Execution Systems – MES), планирование ресурсов предприятия (Enterprise Resource Planning – ERP).

С учетом приведенной терминологии на рис.1 схематично представлена идеология цифрового подхода к процессу создания ЛА.

Тогда процесс цифровой трансформации предприятия может быть представлен условно в следующем виде

$$MBE = PDM+PLM+MRP+MPM+MES+ERP$$

В качестве примера эффективности применения цифровых технологий в процессе создания АТ можно привести этап испытаний, который является наиболее дорогостоящим и затянутым по времени в составе ЖЦИ.

Проведение предварительных и государственных испытаний, как правило, сопровождается остановками, связанными с необходимостью проведения доработок изделий. Такие доработки обусловлены ошибками, которые можно выявить только на этапах испытаний. Одним из современных способов минимизации количества ошибок является применение методов высокоточного математического моделирования до начала испытаний. Современные средства инженерного анализа позволяют создавать цифровые стенды, как обеспечивающие проведение испытаний на натурных стендах, так и полностью заменяющие их. По мере проведения натурных испытаний накапливается информация внутри цифрового двойника, который к моменту выпуска документации с литерой «О1» полностью обеспечивает предсказательное моделирование конкретного образца. Совокупность компьютерных моделей для цифровых испытаний, цифровых стендов и цифровых двойников позволяет обеспечить выполнение заданных сроков работ по созданию нового образца авиационной техники.

Такой подход требует создания, использования высокоточных математических моделей, описывающих реальные физические процессы и соответственно наличия мощных вычислительных ресурсов на уровне до десятков петафлопс.

Для компьютерного моделирования процесса функционирования ЛА используется отечественная программа Логос.

Пакет программ Логос разрабатывается РФЯЦ-ВНИИЭФ с 2010 года с участием ПАО «ОАК». Разработка проводилась с ориентацией на практические задачи, которые возникали в процессе разработки и испытаний новых образцов авиационной техники. Последовательно наращивались функциональные возможности программы Логос. Разработаны суперкомпьютерные методы моделирования аэродинамических и газодинамических характеристик, прочности, расчета гидродинамики различных систем летательных аппаратов, а также решения связанных и сопряженных задач. С февраля 2020 г. Логос внедрен в промышленную эксплуатацию на предприятиях. Благодаря адресной поддержке Минпромторга России с 2018 года, в рамках действующего постановления правительства Российской Федерации от 20.06.2018 г. № 707, наращивались специфические функциональные возможности, направленные на разработку и испытания новых образцов авиационной техники. В этих работах ПАО «ОАК» выступал в качестве технического заказчика. В настоящий момент реализованы проекты по созданию:

1. Единой базы данных – для хранения результатов расчетных экспериментов;
2. Виртуальной модели функционирования – для многосвязного моделирования различных эксплуатационных ситуаций в полете;
3. Комплексного виртуального огневого стенда – для моделирования сложных процессов воспламенения, горения и тушения керосиновых пожаров.

Сегодня ПАО «ОАК» совместно с РФЯЦ-ВНИИЭФ приступили к разработке новых возможностей моделирования, выполняя проект Логос-Авиация.

Проект по созданию виртуальной модели функционирования ЛА успешно завершен в 2021 году. Математическая модель является связующей платформой различных вариантов сопряжения отечественных программных продуктов инженерного анализа для высокоточного моделирования различных эксплуатационных ситуаций, возникающих в полете ЛА. Было выделено 11 сценариев, каждый из которых содержал различные варианты сопряжения на базе Логос-Платформа.

Использование модели позволяет сократить объемы натурных испытаний и уменьшить сроки, стоимость соответствующих работ.

Разработанные технологии позволили перейти к проведению цифровых испытаний. На первом этапе работ разработаны прототипы компьютерных моделей, доказывающих применимость компьютерного моделирования для цифровых испытаний, на базе ранее проведенных экспериментов. Далее, по каждому направлению сформировано техническое задание на отдельный вид испытаний, в рамках которого разрабатывается компьютерная модель для нового образца. Проводится оценка адекватности компьютерной модели относительно натурных предварительных испытаний. Каждая компьютерная модель проходит межведомственные испытания (МВИ). После получения акта МВИ компьютерная модель включается в цикл государственных испытаний нового ЛА.

## 2. Заключение

Динамичное развитие и создание современных АК в сложных политико-экономических условиях во многом основывается на эффективных принципах управления ЖЦИ – от «умного» проектирования до серийного выпуска изделий, обеспечения их стабильной, надежной эксплуатации.

Система управления ЖЦИ должна формироваться на современных подходах, базирующихся на широком внедрении во все этапы создания АК цифровых процессов основу которых составляют ключевые технологии (цифровой двойник, искусственный интеллект, большие данные). Это потенциально позволяет получить конечный продукт – АК, соответствующий требованиям Заказчика, способный решать задачи в сложной многоспектральной информационной среде и обладающий высокой степенью автономности функционирования.

Развернуты активные работы по внедрению цифровых технологий в процесс создания ЛА на всех этапах его ЖЦИ.

Так в настоящий момент формируется комплексный проект по проведению серии наземных и летных экспериментов, а также созданию специальных компьютерных моделей. Кооперация проекта состоит из конструкторского блока ПАО «ОАК», летно-исследовательского института им. Громова и разработчика физико-математических моделей РФЯЦ-ВНИИЭФ. Результатом работы будет являться набор эталонных, предметно-ориентированных компьютерных моделей для проведения отдельных видов цифровых испытаний.

Проведенный объем исследований позволил сформировать направления дальнейших работ по цифровой трансформации ЖЦИ АК.

1. Формирование банка цифровых двойников датчиков измерительной аппаратуры и регламента их применения.

2. Формирование банка физико-математических моделей материалов, заготовок и сырья.

3. Проведение специальных высокоточных экспериментов и разработка соответствующих физико-математических моделей.

4. Разработка специальных программных продуктов по моделированию:

- процесса обледенения конструкции самолета;
- горения углеводородных и твердых топлив;
- радиолокационной, инфракрасной, оптической, ультрафиолетовой заметности;
- электромагнитной совместимости;
- молниезащиты;
- антенно-фидерных систем и радиосвязи.

5. Существенное наращивание вычислительных ресурсов, средств хранения и обработки информации, как на предприятиях разработчиков, так и у Заказчика.

6. Разработка специализированного программного обеспечения, цифровых моделей и двойников изделий должны проводиться исходя из потенциальных возможностей практического использования Заказчика и с учетом прогноза наращивания вычислительной инфраструктуры.

## Литература

1. Современные тенденции технологического развития в рамках создания "цифрового предприятия" ведущими мировыми самолетостроительными компаниями за 2018 год. // Информационно-аналитические материалы. ПАО «ОАК», 2019. – С. 5.
2. Коротков С.С., Дибизhev А.К. Использование технологий распределенного моделирования в процессе создания авиационного комплекса. // Труды академии наук авиации и воздухоплавания. – 2024. – № 1. – С. 3–13.
3. Коротков С.С., Дибизhev А.К. Технологии искусственного интеллекта в процессе создания, функционирования авиационного комплекса. // Вестник НТС ВПК. – 2024. – № 3 (40). – С. 95–106.