

# ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

---

УДК 65.011.56

## КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ КОНФИГУРАЦИЕЙ И ОРГАНИЗАЦИЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Шмидт И.А.<sup>1\*</sup>, Бормалев С.В.<sup>2\*\*</sup>, Мехоношин К.А.<sup>2\*\*\*</sup>

<sup>1</sup> Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Комсомольский проспект, 29, Пермь, 614990, Россия

<sup>2</sup> ОДК-Авиадвигатель,  
Комсомольский проспект, 93, Пермь, 614990, Россия

\* e-mail: [shmidt@msa.pstu.ru](mailto:shmidt@msa.pstu.ru)

\*\* e-mail: [bormalev@avid.ru](mailto:bormalev@avid.ru)

\*\*\* e-mail: [mekhonoshin-ka@avid.ru](mailto:mekhonoshin-ka@avid.ru)

---

Рассмотрены и проанализированы проблемы технологической подготовки сборочного производства авиационных двигателей. На этапе проектирования конструкторской документации активно используются PLM-решения, при этом авиационные двигатели проектируются с учетом методологии трехмерного проектирования электронной геометрической модели изделия. Анализ показал, что в существующем процессе этапы разработки конструкторской и технологической документации не связаны и на стадии технологической подготовки производства электронная структура изделия практически не используется. Это приводит к ошибкам в производстве, увеличению трудоемкости, ухудшению качества продукции. Предложена методология управления конфигурацией изделия, основанная на использовании электронной геометрической модели изделия под управлением PLM-системы TEAMCENTER. Внедрение PLM позволит создать сквозную информационную среду разработки конструкторской и технологической документации, решить задачу управления конфигурацией изделия на этапе технологической подготовки сборочного производства.

*Ключевые слова:* управление конфигурацией, жизненный цикл изделия, авиационный двигатель, технологическая подготовка, сборка, производство, PLM, TEAMCENTER.

---

### Введение

В рамках реализации государственной программы «Развитие авиационной промышленности на период 2013—2025 годы» поставлена цель подпрограммы «Авиационное двигателестроение» — формирование глобально конкурентоспособной двигателестроительной отрасли мирового уровня [1].

Создание конкурентоспособной двигателестроительной отрасли неразрывно связано с созданием конкурентоспособного авиационного двигателя, организацией конкурентоспособного производства и послепродажного обслуживания. Конкурентоспособность отрасли определяется способностью создать авиационный двигатель с заданными харак-

теристиками, превосходящими зарубежные аналоги, в установленные сроки с минимальными затратами на всех стадиях жизненного цикла.

Выход на мировой рынок накладывает дополнительные требования к сертификации продукции и производства по стандартам Европейского агентства по безопасности полетов (EASA). Сертификаты EASA признаются странами Евросоюза и большинством иностранных государств мира. Сертификация в EASA подлежит не только продукция, но и система качества производства, технического обслуживания и ремонта. Наличие организационной системы управления конфигурацией изделия становится обязательным условием для прохождения сертификации в EASA. Под конфигурацией изделия понимается совокупность взаимосвязанных функциональных и физических характеристик продукции, установленных требованиями конструкторской документации (КД). Процесс управления конфигурацией изделия включает в себя поддержку технической и административной деятельности, связанной с управлением продукцией и требованием к её конфигурации на всех стадиях жизненного цикла продукции [2].

Перед разработчиками и производителями авиационных двигателей стоит сложная организационно-техническая задача: с одной стороны, необходимо обеспечить управление конфигурацией изделия, с другой стороны, необходимо обеспечить эффективное использование финансовых, материальных и трудовых ресурсов на протяжении всего жизненного цикла авиационных двигателей. Решить поставленную задачу можно благодаря информационной поддержке жизненного цикла авиационных двигателей на основе программных решений PLM (Product Lifecycle Management) и ERP (Enterprise Resource Planning).

### Анализ текущей ситуации

В отрасли авиационного двигателестроения на этапе проектирования конструкторской документации активно используются PLM-решения компании Siemens PLM Software. Проектирование авиационных двигателей (далее по тексту — изделий) выполняется с учетом методологии трехмерного проектирования электронной геометрической модели (ЭГМ) изделия в системе NX под управлением PLM-системы TEAMCENTER.

На основе ЭГМ изделия разрабатывается чертежная конструкторская документация, выполняются инженерный анализ конструкции и математическое моделирование экспериментов, разрабатываются управляющие программы для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), кон-

тролируются детали на координатных измерительных машинах (КИМ) и разрабатываются иллюстрации для интерактивной эксплуатационной документации.

Под управлением PLM-системы TEAMCENTER организовано параллельное проектирование и коллективное взаимодействие предприятий, формируется электронная структура изделия (ЭСИ), автоматизированы бизнес-процессы выпуска и изменения конструкторской документации, организован электронный архив подлинников конструкторской документации [3, 4]. Задача управления конфигурацией изделия на этапе проектирования практически решена.

В то же время на этапе технологической подготовки сборочного производства опытных и серийных изделий PLM-решения практически не используются. Процесс технологической подготовки сборочного производства авиационных двигателей ориентирован на использование бумажной конструкторской и технологической документации. Схема бизнес-процесса технологической подготовки сборочного производства опытных изделий по состоянию «как есть» показана на рис. 1. Отличием опытных изделий от серийных является наличие доработок, связанных с испытанием новых вариантов конструкции и установкой датчиков для измерения параметров в процессе испытаний. Процесс технологической подготовки сборки опытных изделий, так же как и серийных, осуществляется по конструкторской документации, но с учетом оперативных конструкторских указаний, в которых описываются все необходимые доработки изделия. С точки зрения системы управления качеством изделия оперативные конструкторские указания являются разрешением на отступление от требований конструкторской документации.

Недостатки существующего процесса подготовки сборочного производства:

- нет единой информационной среды разработки конструкторской и технологической документации;
- в условиях сборочного производства ЭГМ и ЭСИ практически не используются;
- процесс выпуска и изменения технологической документации не автоматизирован;
- производственное планирование осуществляется без учета технологических данных и результатов производственного процесса;
- сборка изделия производится по бумажной технологической документации;
- документирование процесса сборки изделия выполняется в бумажном виде.

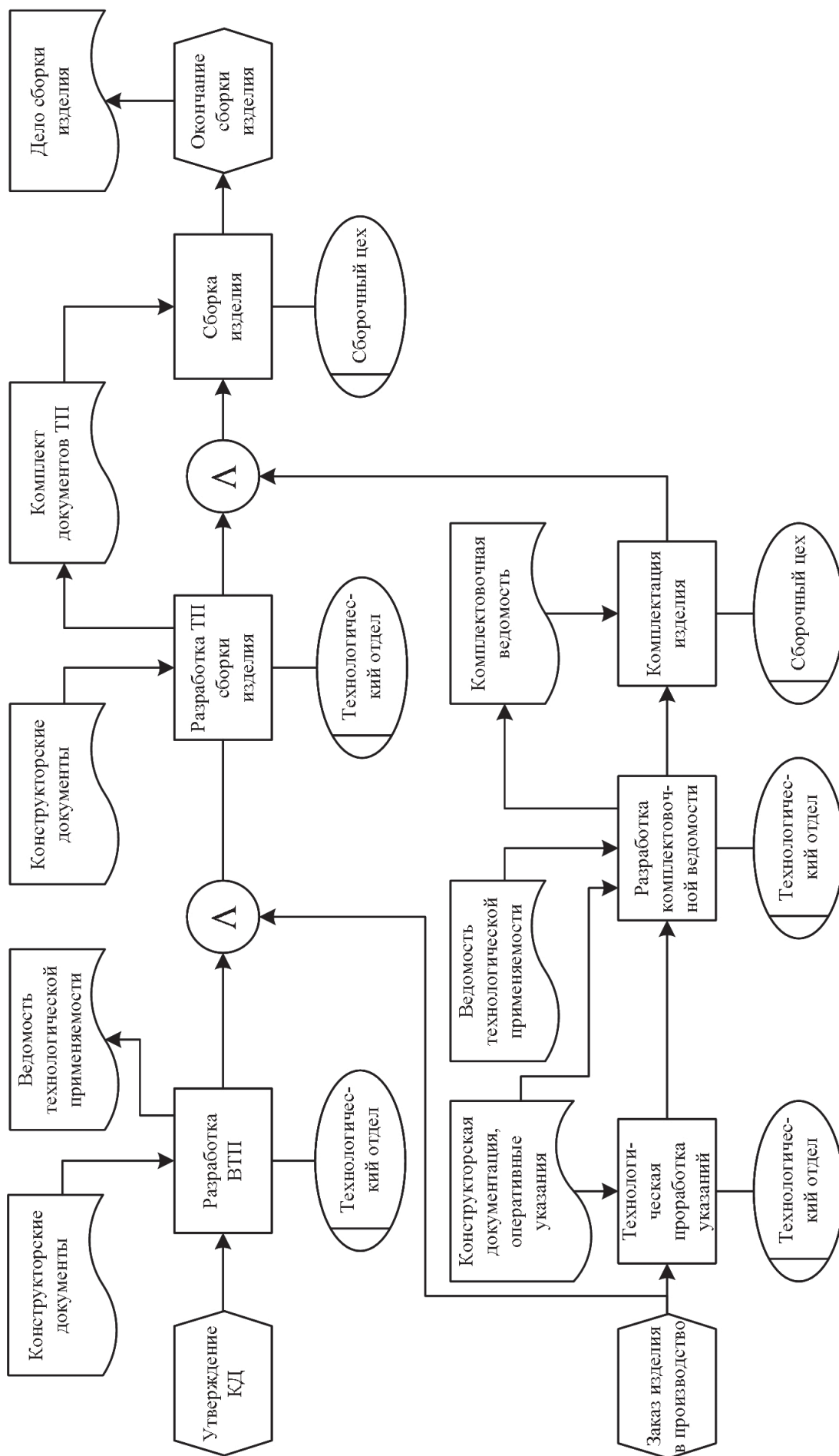


Рис. 1. Схема бизнес-процесса технологической подготовки сборочного производства по состоянию «как есть»: ВПП — ведомость технологической применяемости; ТП — технологический процесс

Система технологической подготовки производства и система управления качеством в значительной степени зависят от влияния человеческого фактора. Отсутствуют организационные процедуры комплексного аудита конфигурации изделия. Не обеспечиваются основные принципы управления конфигурацией изделия: документирование, идентификация и прослеживаемость статуса выполнения требований к продукции на протяжении всего жизненного цикла [2]. Система производственного планирования работает неэффективно, так как отсутствует связь с технологическими нормативами и производственным процессом сборки.

На основе анализа текущей ситуации можно сделать следующие выводы:

- процесс технологической подготовки сборочного производства построен неэффективно, что приводит к увеличению сроков и затрат на производство изделий;
- существующая организация процесса сборки не позволяет решить задачу управления конфигурацией изделия и прохождения сертификации по стандартам EASA.

#### **Методы повышения эффективности технологической подготовки сборочного производства**

Эффективность создания новых изделий можно повысить благодаря созданию единой информационной среды разработки конструкторской и технологической документации, организации подготовки сборочного производства в рамках концепции «цифрового производства».

Концепция «цифрового производства» предусматривает:

- разработку технологической документации на основе ЭГМ и электронной структуры изделия;
- планирование производства на основе технологических нормативов;
- моделирование производственного процесса с целью выявления и устранения коллизий до начала запуска производства;
- использование в производственном процессе адаптивного оборудования с ЧПУ, роботизированных комплексов и координатных измерительных машин.

Внедрение PLM-системы TEAMCENTER на этапе технологической подготовки сборочного производства позволит создать единую информационную среду разработки конструкторской и технологической документации в рамках концепции «цифрового производства», решит задачу управления конфигурацией изделия, обеспечит сокращение

сроков и затрат на создание авиационных двигателей.

Схема бизнес-процесса технологической подготовки сборочного производства опытных изделий по состоянию «как должно быть» показана на рис. 2. Ключевой особенностью бизнес-процесса является то, что система TEAMCENTER используется на всех этапах технологической подготовки производства, комплектация и сборка изделия осуществляются по электронному технологическому составу и технологическому процессу (ТП) с использованием трехмерной визуализации и пооперационного учета производственного процесса сборки.

Для задач технологической подготовки производства в системе TEAMCENTER применяется программное решение TEAMCENTER MANUFACTURING. Внедрение PLM-системы требует проведения комплексных организационно-технических мероприятий с использованием проектного подхода.

В рамках двигателестроительной отрасли необходимо организовать проект внедрения системы TEAMCENTER MANUFACTURING.

Цели проекта внедрения TEAMCENTER MANUFACTURING:

- создание единой информационной среды для проектирования и технологической подготовки производства;
- организация подготовки производства на основе ЭГМ и ЭСИ;
- создание системы планирования производства на основе интеграции PLM- и ERP-систем;
- создание системы управления конфигурацией изделия;
- сокращение сроков и затрат на создание новых изделий.

PLM-система TEAMCENTER является масштабируемым и гибким программным решением, но в то же время в стандартной поставке она не пригодна для промышленного использования и требует адаптации под требования той или иной отрасли промышленности. PLM-система является всего лишь инструментом, эффективность использования которого зависит от верно выбранной методологии работы и организационно-технической поддержки проекта.

Для реализации проекта внедрения TEAMCENTER MANUFACTURING необходимо решить ряд задач:

- адаптация и внедрение программного обеспечения;
- подготовка персонала;
- внедрение новой методологии проектирования;

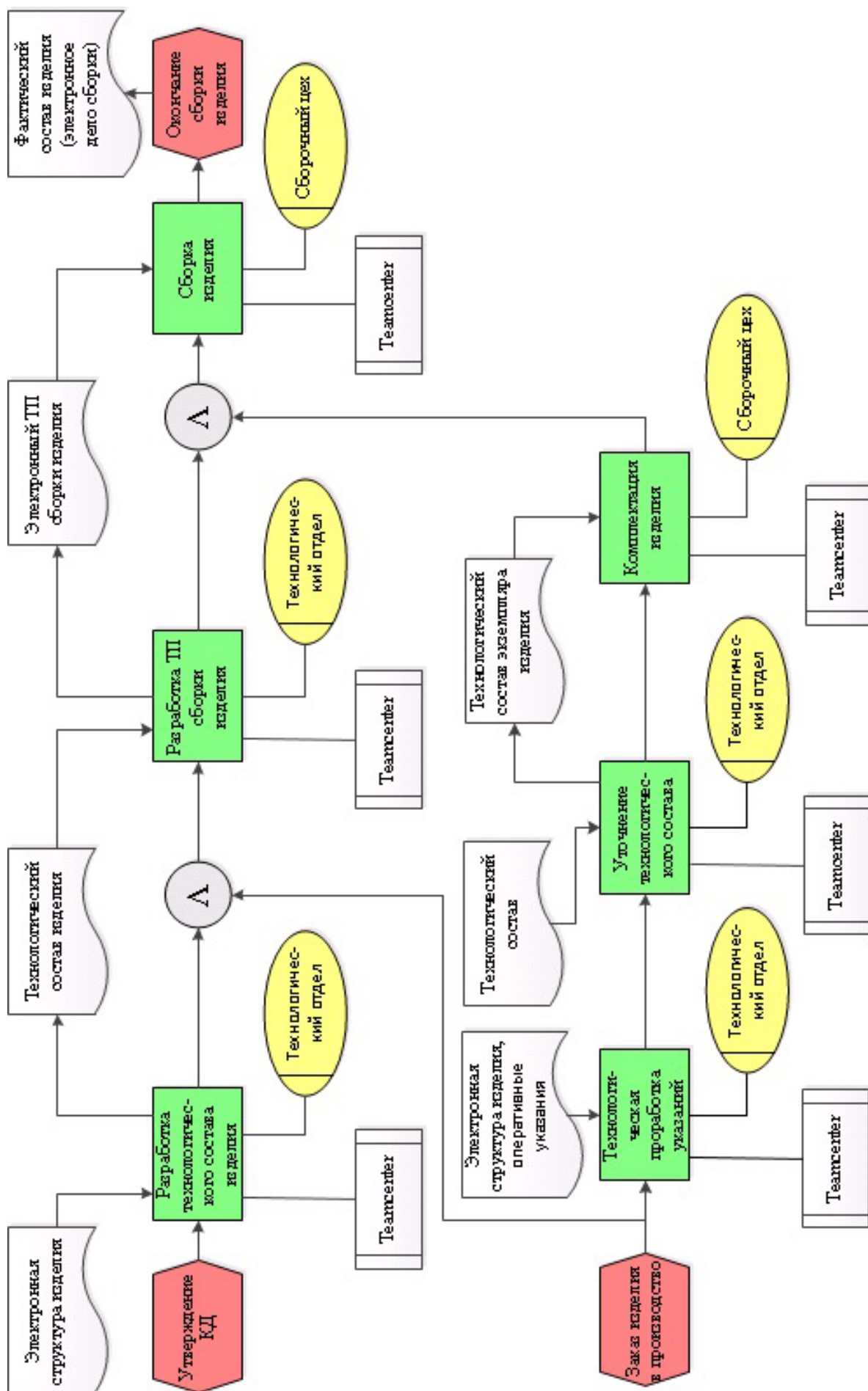


Рис. 2. Схема бизнес-процесса технологической подготовки сборочного производства по состоянию «как должно быть»



- внедрение новой методологии технологической подготовки производства;

- внедрение новой методологии производства.

В рамках решения задачи адаптации и внедрения программного обеспечения необходимо разработать модель данных, создать корпоративную технологическую справочную систему, разработать шаблоны бизнес-процессов выпуска и изменения технологической документации [5], разработать прикладное программное обеспечение для формирования технологических документов и отчетов аудита конфигурации изделия, разработать алгоритмы производственного планирования и построить интеграцию между PLM- и ERP-системами. В системе NX и TEAMCENTER необходимо настроить и организовать формирование облегченного представления ЭГМ изделия в формате JT. Облегченное JT-представление ЭГМ должно содержать точную геометрическую модель изделия без истории построения. Работа с JT-представлением ЭГМ потребляет меньше вычислительных ресурсов персонального компьютера и позволяет работать с большими сборками без использования ресурсоемкой и дорогостоящей системы NX.

Задача подготовки персонала — одна из важнейших задач проекта. Для ознакомления с функциональными возможностями системы TEAMCENTER необходимо организовать пилотный проект, провести обучение технических специалистов и руководителей. Необходимо понимать, что внедрение PLM-системы на начальной стадии приводит к увеличению трудоемкости работ инженерно-технического персонала, но сокращает общий цикл создания нового изделия и обеспечивает учет конфигурации изделия на протяжении всего жизненного цикла. Для исключения саботажа со стороны работников необходимо четко обозначить цели внедрения проекта, обеспечить контроль со стороны руководства предприятий, создать условия для стимулирования персонала, после чего поэтапно вести подготовку персонала, начиная с освоения методологии работы и заканчивая изучением пользовательского интерфейса.

Внедрение PLM-системы для технологической подготовки производства невозможно без решения задачи внедрения новой методологии проектирования. Необходимо произвести ряд исследовательских и организационных работ по следующим направлениям:

- организация полного трехмерного проектирования ЭГМ-изделия на основе компонок и ассоциативных связей;

- разработка методологии «бесчертежного» проектирования на основе использования аннотированных ЭГМ изделия;

- автоматизация контроля качества построения ЭГМ изделия;

- формирование облегченного представления ЭГМ изделия в формате JT;

- конфигурирование ЭСИ с учетом применимости по изделиям и вариантных правил [4].

Проектирование трехмерной ЭГМ изделия на основе компонок и ассоциативных связей обеспечит согласованное проектирование и изменение узлов изделия, позволит решить проблему работы с большими сборками и повысит качество проектирования изделия. Разработка методологии «бесчертежного» проектирования позволит наносить на ЭГМ технические требования в формализованном виде (размеры, допуски, шероховатость поверхностей) и отказаться от разработки чертежной конструкторской документации. Формализованные технические требования ЭГМ позволят без дополнительного преобразования передавать информацию для оборудования с ЧПУ и КИМ. Использование ЭГМ в производственном процессе повышает актуальность задачи контроля качества построения ЭГМ, которая подробно рассматривается в [6, 7]. Формирование облегченного представления ЭГМ в формате JT позволит выполнять технологическую подготовку сборочного производства без использования САД-систем высокого уровня. Конфигурирование ЭСИ с учетом применимости по изделиям и вариантных правил позволит решить задачу управления конфигурацией изделия не только для серийных, но и для опытных изделий.

Задачу внедрения новой методологии технологической подготовки производства необходимо решить с учетом организации мероприятий по следующим направлениям:

- формирование технологической справочной системы;

- формирование производственной структуры предприятия;

- формирование технологических составов изделия на основе ЭСИ;

- разработка электронного технологического процесса сборки;

- разработка интерактивных трехмерных технологических инструкций на основе ЭГМ изделия;

- автоматизация бизнес-процессов выпуска, изменения и архивного хранения электронных технологических документов.

Формирование технологической справочной системы позволит решить задачу систематизации и унификации оборудования, технологической осна-

стки, инструмента, средств измерений и материалов. Технологическая справочная система обеспечит удобный поиск, подбор и нормирование технологических ресурсов.

Формирование производственной структуры предприятия позволит систематизировать информацию о производственных помещениях, расположении оборудования и создать трехмерную планировку предприятия для оптимизации транспортных потоков, размещения оборудования и моделирования производственного процесса.

Формирование технологического состава необходимо обеспечить на основе ЭСИ. Технологический состав изделия позволит решить задачу управления конфигурацией изделия в процессе сборки. Разработку электронного технологического процесса сборки необходимо обеспечить на основе JT-представления ЭГМ изделия. JT-представление ЭГМ облегчает понимание конструкции изделия, позволяет визуализировать и моделировать технологический процесс сборки. По данным электронного технологического процесса может автоматически формироваться комплект технологических документов. Для сложных операций сборки необходимо разрабатывать интерактивные технологические инструкции с трехмерной анимацией процесса сборки. Разработку интерактивной трехмерной анимации процесса сборки целесообразно выполнять в системе Cartona3D RapidAuthor, интегрированной в систему TEAMCENTER.

На основе новой методологии технологической подготовки производства необходимо осваивать и внедрять новые методы производства:

- моделирование производственных процессов;
- производственное планирование на основе данных технологического состава изделия и технологического процесса;
- сборку изделия по интерактивной трехмерной технологической документации;
- организацию пооперационного учета выполнения технологического процесса сборки и формирования фактического состава изделия;
- внедрение в производственный процесс сборки адаптивного оборудования с ЧПУ, роботизированных комплексов, координатных измерительных машин.

Моделирование производственного процесса необходимо для выявления и устранения коллизий до начала сборки изделия. Моделирование целесообразно осуществлять в системе Tecnomatics Process Simulate, интегрированной в систему TEAMCENTER. Моделирование необходимо выполнять на основе JT-представления ЭГМ изделия и производственной структуры предприятия с учетом последова-

тельности выполнения операций технологического процесса. На основе моделирования производственного процесса формируется трехмерная анимация технологических операций.

Данные технологического состава и технологического процесса должны передаваться в ERP-систему для производственного планирования и пооперационного учета выполнения операций. Алгоритмы производственного планирования должны учитывать технологическую структуру изделия, последовательность сборки изделия, нормы потребности технологических и трудовых ресурсов.

Рабочие места комплектовщиков и сборщиков должны быть оснащены персональными компьютерами с доступом к PLM-системе. Комплектация и сборка изделия должны осуществляться по электронному технологическому составу и технологическому процессу с использованием трехмерной визуализации и пооперационного учета производственного процесса сборки. Пооперационный учет выполнения технологического процесса позволит контролировать ход производства и обеспечит обратную связь для системы производственного планирования. Пооперационный учет производственного процесса сборки обеспечит документирование выполнения требований конфигурации изделия и формирование фактического состава изделия.

## Выводы

Формирование фактического состава изделия обеспечит решение задачи управления конфигурации изделия: документирование, идентификацию и прослеживаемость статуса выполнения требований к продукции на всех этапах сборки изделия.

Внедрение PLM-системы TEAMCENTER в процесс подготовки сборочного производства позволит решить задачу управления конфигурацией изделия и обеспечить сертификацию авиационных двигателей по стандартам EASA.

Использование трехмерной ЭГМ изделия облегчает понимание конструкции новых изделий, позволяет исключить разработку чертежной документации, автоматизировать процесс разработки технологической документации и, как следствие, сократить сроки сборки и затраты на отработку технологии.

Создание единой информационной среды разработки конструкторской и технологической документации в PLM-системе TEAMCENTER обеспечит выпуск на рынок новых изделий с заданными характеристиками в кратчайшие сроки с наименьшими затратами.

## Библиографический список

1. Постановление правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. №303 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы»». URL: <http://government.ru/media/files/cAqTUAQNkWY.pdf>
2. ГОСТ Р ИСО 10007-2007 Руководящие указания по управлению конфигурацией. — М.: Стандарты, 2008. — 8 с.
3. Суханова А. Ориентация на лучшие IT- и PLM-решения позволила нам существенно сократить сроки создания перспективного авиадвигателя // CAD/CAM/CAE Observer. 2012. № 4(72). С. 10-24.
4. Мельник И.И., Фавстова Л.А. Основные требования, методы и средства формирования состава изделия российской разработки в PLM системе // Труды МАИ. 2011. № 43. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=24867>
5. Кузнецова В.Б., Сергеев А.И. Методика внедрения электронного документооборота при производстве сложной авиационной техники // Труды МАИ. 2014. № 74. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=49379>
6. Блинова А.А., Гаврилова Н.Ю., Пащенко О.Б. Методы контроля твердотельных электронных моделей машиностроительного изделия на всех этапах его жизненного цикла // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение», 2012. Спец. выпуск «Программная инженерия». С. 80-84.
7. Головин Д.Л., Жилич К.В., Пащенко О.Б. Методы обеспечения контроля качества электронной модели машиностроительного изделия с использованием CALS-технологий // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 6(18). URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/782.html>
8. Кривцов В.С., Павленко В.Н., Воронько В.В., Воробьев Ю.А., Шостак И.В. Комплексный подход к роботизации сборочных процессов в самолетостроении на основе нечеткой логики // Вестник Московского авиационного института. 2013. Т. 20. № 3. С. 32-39.
9. Козелков О.А. Стохастическая модель оптимизации плана многономенклатурного производства // Вестник Московского авиационного института. 2014. Т. 21. № 4. С. 196-202.

## THE CONCEPT OF MANAGING CONFIGURATION AND ORGANIZATION OF TECHNOLOGICAL PREPARATION FOR ASSEMBLY PRODUCTION OF AIRCRAFT ENGINES

Shmidt I.A.<sup>1\*</sup>, Bormalev S.V.<sup>2\*\*</sup>, Mekhonoshin K.A.<sup>2\*\*\*</sup>

<sup>1</sup> Perm National Research Polytechnic University,  
29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia

<sup>2</sup> Aviadvigatel OJSC,  
93, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia

\* e-mail: [shmidt@msa.pstu.ru](mailto:shmidt@msa.pstu.ru)

\*\* e-mail: [bormalev@avid.ru](mailto:bormalev@avid.ru)

\*\*\* e-mail: [mekhonoshin-ka@avid.ru](mailto:mekhonoshin-ka@avid.ru)

### Abstract

Aircraft engines manufacturers face the following challenge: on the one hand to ensuring the product configuration management, and, on the other hand, the necessity of effectively employing financial, material and human resources throughout the entire aircraft engine life cycle. This problem can be fixed due to information support of aircraft aviation engines' life cycle based on software solutions such as Product Lifecycle Management (PLM) and Enterprise Resource Planning (ERP).

The aircraft engine building branch intensively employs PLM solutions developed by Siemens PLM Software at the stage of design documentation development. aircraft engines design is carried out with

allowance for the methodology of 3D electronic model design (EMD) of a product with NX system under control of PLM-system TEAMCENTER.

PLM solutions are not used at the stage of the technological preparation for assembly production. The technological preparation process is oriented on implementation of paper design and technological documentation. The existing process does not link the stages of design and technological documentation development. At the stage of technological preparation of production process, the electronic structure of the product is practically never used. The technological preparation and configuration management systems depend largely on the human factor. The production planning system is not working effectively due to the



absence of connection with technological regulations and assembly production process.

The product assembly efficiency can be improved by creating a unified information environment for developing design and technological documentation.

The TEAMCENTER PLM system implementation for technological preparation of aircraft engine assembly production will allow develop a unified information environment for developing the design and technological documentation. It will enable also the products' configuration management problem fixing and reducing time and costs associated with aircraft engines.

A key feature of the new business process is the TEAMCENTER system implementation at all stages of production technological process preparation, and the product's configuration and assembly are carried out according to electronic technological structure and technological process using 3D visualization and step-by-step account of assembly process. Technological structure of the product will allow fixing the problem of production configuration management throughout assembling process. The technological structure data should be transferred to EPR system of production planning.

The equipment and assembly must be carried out via the MBOM and technological process using the three-dimensional visualization and operational accounting of assembly production process. The operational account will allow monitoring the production progress and providing feedback to the production planning system. The step-by-step account will ensure documenting of the product configuration requirements carrying out and forming actual product configuration.

Introduction of the TEAMCENTER PLM system while preparing the assembly production will allow solving the configuration management problem.

Formation of actual configuration will provide a solution to the product configuration control problem, such as documentation, identification, and traceability of the requirements compliance status to products at all product assembly stages.

Implementation of the 3D product models facilitates understanding of new products design, allows exclude drawing working documentation to automate the technical documentation development process and, as a result, reduce the time of assembly and manufacturing costs.

Developing a unified information environment for design and technological documentation preparation via the PLM TEAMCENTER system will provide the market launch of new products with the specified characteristics in the shortest possible time and at the lowest cost.

**Keywords:** configuration management, product life cycle, aircraft engine, technological preparation, assembly, manufacturing, PLM, TEAMCENTER.

## References

1. *Ob utverzhdenii gosudarstvennoi programmy Rossiiskoi Federatsii "Razvitie aviatsionnoi promyshlennosti na 2013-2025 gody". Postanovlenie pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 15.04.2014, №303* (About approval of the state program of the Russian Federation "Development of aircraft industry for 2013-2025". Decree of the Russian Federation of 15.04.2014 no. 303), Moscow, 2014.
2. *Rukovodyashchie ukazaniya po upravleniyu konfiguratsiei, GOST R ISO 10007—2007* (Guidelines for configuration management, State Standart R ISO 10007-2007), Moscow, Standarty, 2008, 8 p.
3. Suhanova A. *CAD/CAM/CAE Observer*, 2012, no. 4 (72), pp. 10-24.
4. Mel'nik I.I., Favstova L.A. *Trudy MAI*, 2011, no. 43, available at: <http://www.mai.ru/science/trudy/eng/published.php?ID=24867>
5. Kuznetsova V.B., Sergeev A.I. *Trudy MAI*, 2014, №74, available at: <http://www.mai.ru/science/trudy/eng/published.php?ID=49379>
6. Blinova A.A., Gavrilova N.Yu., Pashchenko O.B. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. "Priborostroenie"*, 2012. Spets. vypusk "Programmnyaya inzheneriya", pp. 80-84.
7. Golovin D.L., Zhilich K.V., Pashchenko O.B. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii*, 2013, no. 6, available at: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/782.html>
8. Krivtsov V.S., Pavlenko V.N., Voron'ko V.V., Vorob'ev Yu.A., Shostak I.V. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2013, vol. 20, no. 3, pp. 32-39.
9. Kozelkov O.A. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2014, vol. 21, no. 4, pp. 196-202.