

### **ОТЗЫВ**

официального оппонента доктора технических наук Кульги Константина Станиславовича на диссертационную работу Ионова Алексея Владимировича на тему «Создание на основе CALS-технологий универсальной автоматизированной системы управления технологической подготовкой производства лопаток компрессора ГТД», на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

#### **1. Структура, объем и основное содержание диссертации**

**Диссертация состоит:** из введения, четырех глав, основных выводов, списка используемых источников из 63 наименований, изложена на 126 страницах машинописного текста, включающего 59 иллюстраций и 19 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность и степень разработанности темы, определены цель и задачи работы. Приведено краткое описание содержания глав диссертации. Сформулированы научные результаты, выносимые на защиту, определена их научная новизна, теоретическая значимость и практическая ценность, приведены сведения о внедрении результатов работы.

**В первой главе** обосновывается актуальность диссертации, относящейся к области применения CALS-технологий в технологической подготовке производства (ТПП) лопаток компрессора ГТД.

Автор провел системный анализ ТПП лопаток компрессора ГТД, который позволил выявить следующие проблемы:

- трудоемкость изготовления этих деталей составляет до 30% от общей трудоемкости изготовления двигателя, из которых на долю компрессора высокого давления (КВД) приходится не менее 70% трудоемкости изготовления лопаток компрессора.
- отсутствуют единые подходы к выбору технологии изготовления новых лопаток и отраслевые стандарты на шероховатость их проточных поверхностей;
- предприятия для изготовления конструктивно схожих лопаток используют различные методы обработки;
- для разработки новых изделий необходимы инструменты прогнозирования влияния применения новых технологий и методов обработки. В настоящее время эти функции реализуют разработчики и производители изделий (ранее, эти функции осуществляли отраслевые институты);



– незначительное применение технико-экономического анализа предлагаемых и существующих технологий изготовления лопаток.

Одним из путей решения выявленных проблем может стать создание автоматизированной системы управления ТПП лопаток компрессора ГТД на основе CALS-технологий, которые реализованы программным обеспечением (ПО) PLM (*Product Lifecycle Management*)-систем.

**Вторая глава** посвящена проведению исследования технологий изготовления лопаток КВД, технологической подготовки их производства.

Результатом исследований автора стала предлагаемая методика выбора технически обоснованной технологии производства лопатки КВД на основе следующих критериев:

– конструктивные особенности лопаток КВД, например: наличие верхней полки и хвостовика, изменение длины хорды по сечениям, угол закрутки пера свыше 45 град. и др.;

– требуемые технологические показатели качества лопатки КВД, например, механические свойства поверхности, микрорельеф поверхности, геометрия поверхности, отклонения собственной частоты колебаний лопаток;

– экономические показатели качества лопатки КВД, в частности, введен интегральный показатель экономического качества лопатки – трудоёмкость;

– технологическая наследственность операций обработки лопаток КВД.

Порядок реализации этапов предложенной методики основан на общих принципах построения ТПП лопаток КВД.

**Третья глава** посвящена рассмотрению видов и наборов данных, используемых на этапе ТПП лопатки, а также данных экспериментальных исследований и эксплуатации изделия.

Классифицированы наборы данных описывающих средства технологического оснащения, а также рассмотрены вопросы доступа и управления конструкторскими и технологическими наборами данных изделия.

Автор делает вывод о том, что реализация предложенной методики выбора технически обоснованной технологии изготовления лопатки КВД возможна только в условиях накопления и обработки большого количества информации конструкторского, технологического, экономического и эксплуатационного назначения.

Для решения этой задачи предлагается методика организации бизнес-процессов ТПП лопаток компрессоров ГТД на основе CALS-технологий с применением ПО PLM/PDM-систем для управления наборами данных о наукоёмком изделии.



**В четвертой главе** автор описывает реализацию предложенных методик на основе ПО PLM-системы компании Siemens PLM Software.

В заключительной части этой главы рассматривается экспериментальное исследование лопаток КВД двигателя ВК-2500. Экспериментальные образцы изготовлены в соответствии с серийной технологией на ОАО «ММП им. В.В. Чернышева».

Автор проводил экспериментальные исследования с применением метода холодного вальцевания пера лопатки и на основе экспериментальной технологии с применением фрезерования пера лопатки компрессора ГТД.

В ходе апробации предложенных методик и экспериментальных исследований лопаток подтверждена работоспособность автоматизированной системы управления ТПП лопаток компрессора ГТД.

## **2. Актуальность темы диссертации**

Технологическое совершенствование наукоёмких изделий как ГТД всегда является актуальной научной проблемой.

Особое место в решении этой проблемы занимает технологическая подготовка производства изготовления таких деталей, как лопатки компрессоров. Вследствие низкой технологичности и большой номенклатуры, трудоемкость изготовления этих деталей составляют значительную долю (до 30%) в общей трудоемкости производства двигателя.

Актуальной проблемой является реализация единого информационного пространства предприятия для производства лопаточных ГТД. Одной из концепций, позволяющей реализовать решение вышеуказанной проблемы, является внедрение на таких предприятиях ПО PLM-системы.

Эффективное внедрение CALS-технологий (ПО PLM-системы) позволяет повысить эффективность технологической подготовки производства, как новых изделий, так и сократить издержки при производстве уже ранее освоенных изделий.

## **3. Научная новизна и достоверность результатов и выводов диссертации**

Научная новизна, выполненной Ионовым А.В. диссертационной работы, заключается в следующих положениях:

1. Разработана и апробирована методика, отличающаяся обоснованием технологии производства лопаток компрессоров ГТД на основе их конструктивных особенностей, а также с учетом требуемых технологических и экономических показателей качества, технологической наследственности операций обработки лопаток компрессора ГТД;

2. Разработана и апробирована методика ТПП лопаток компрессоров ГТД, отличающаяся установлением взаимосвязи бизнес-процессов, объектов, сущностей и ресурсов, а также реализацией процессного управления бизнес-процессами ТПП изготовления этих деталей на основе программного обеспечения систем, реализующих концепцию жизненного цикла изделия;



3. Получены новые экспериментальные данные по распределению остаточных напряжений в поверхностном слое лопатки компрессора ГТД и пределы усталостной прочности в зависимости от применения обработки пера лопатки методом вальцевания или фрезерования.

Достоверность выдвинутых научных положений, представленных в диссертационной работе, подтверждается практическими результатами внедрения на предприятии ОАО «ММП им. В.В.Чернышева», включая экспериментальные исследования образцов деталей на аттестованных средствах измерения.

#### **4. Значимость работы для науки и практики**

Разработанные автором методики и автоматизированная система, имеют научное и практическое значение для предприятий газотурбинного двигателестроения. Снижение издержек и повышение эффективности технологической подготовки производства лопаток на основе внедрения концепции жизненного цикла изделия - одна из актуальных проблем в создании авиационных двигателей нового поколения.

Считаю, что теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы Ионова А.В., могут быть использованы для формирования образовательных компетенций в области проектирования технологических процессов в программном обеспечении систем, реализующих жизненный цикл изделия: в Высших учебных заведениях; в центрах повышения квалификации инженерных работников; на авиа- и машиностроительных предприятиях.

#### **5. Замечания по содержанию диссертации**

По обсуждаемой работе можно высказать следующие замечания:

1) В параграфе 1.1.4 «Обзор методов изготовления компрессорных лопаток ГТД», автор, описывает только текстом одиннадцать технологических схем обработки пера лопатки ГТД (наиболее трудоёмкая часть технологического процесса изготовления лопатки).

На мой взгляд, с учётом темы диссертации, гораздо нагляднее, было привести описание технологических схем обработки пера лопатки, например, в виде таблицы, включающей описание операций (переходов) и с поясняющими эскизами;

2) Стр. 27. Не согласен с утверждением автора о том, что единое информационное пространство предприятия (объединения предприятий) создается только благодаря унификации формы и содержания информации об изделиях на различных этапах их жизненного цикла.

Самое главное для создания реального единого информационного пространства предприятия (объединения предприятий), с учетом схемы приведенной на рис. 9, это реализация единой схемы данных для всех взаимодействующих автоматизированных систем, которая позволит работать



с актуализированными наборами данных бизнес-процессов технической подготовки производства изделий;

3) Стр. 28. Автор утверждает, что «классические подходы к реализации СУБД имеют весьма ограниченные семантические возможности».

На мой взгляд, это очень спорное утверждение. Пользователи PLM-системы взаимодействует с системой управления базами данных (СУБД) через интерфейс, основанный на регламентированной и стандартизированной терминологии предметной области. Автоматизированная информационная система, реализующая концепцию жизненного цикла изделия, функционирует под управлением СУБД;

4) Стр. 28. Автор вводит термин «концептуальные модели данных», но не приводит в диссертации соответствующие пояснения, определения или ссылку на публикацию;

5) Стр. 32. Автор утверждает, что «ключевую роль при построении единых информационных систем, реализующих принципы CALS играют системы PDM\PLM. Здесь разница систем PDM и PLM состоит в том, что PDM охватывает только один этап жизненного цикла изделия, в то время как PLM система реализует управление всеми этапами ЖЦИ».

Не согласен с этим утверждением. На рис. 9 автор показывает участие PDM-системы в работе практически всех автоматизированных систем, обеспечивающих управление жизненным циклом изделия. PDM-система участвует в работе всех автоматизированных систем (или их интеграции) в едином информационном пространстве предприятия (объединения предприятий).

6) Замечание по структуре введения и первой главы. На мой взгляд, более логичным является такое построение первой главы, когда на основе системного подхода к изучению предметной области и объекта научного исследования, формулируются цель и перечень задач, необходимых для её достижения. В рассматриваемой диссертации обоснование цели и задач диссертации очень кратко сформулированы в разделе «Введение».

7) На рис. 10-11., автор приводит структурно-ориентированные функциональные модели IDEF для иллюстрации ТПП изготовления лопаток компрессора ГТД. В свою очередь, программное обеспечение автоматизированных систем жизненного цикла изделия, создается на объектно-ориентированной основе. В связи с этим, в диссертационной работе желательно было применить объектно-ориентированные методы создания функциональных моделей ТПП (например, методологию RUP) с применением сущностей, объектов, классов ТПП изготовления рассматриваемых изделий.

8) Автор на стр.68 применяет некорректный термин «программа обработки в станочных кодах».



Управляющая программа обработки детали, после завершения работы постпроцессора CAM (*Computer Aided Manufacturing*)-системы, формируется в *G-кодах*.

9) Матрица доступа к объектам базы данных, приведенная в таблице 7, является очень укрупнённой (на мой взгляд, термин матрица не подходит к таблице 7). В PDM-системе реализованы более многоуровневый и детализированный подход к администрированию доступа пользователей к наборам данных, включая роли, объекты (ресурсы), степени визуализации наборов данных в пользовательском интерфейсе и т.п. Кроме того, в табл. 7 не хватает функций ТПП, связанных с расчётами сводных специфицированных норм расхода основных и вспомогательных материалов для изготовления изделий (прямые затраты в структуре себестоимости изделия).

10) На рис. 37 приведён пример оформления маршрутной карты технологического процесса, которая не удовлетворяет требованиям нормоконтроля на авиационном предприятии, т.к. не указан значительный перечень данных. Например, нет данных о заготовке и результатах её материального нормирования (масса заготовки, норма расхода материала), об оборудовании операций и основных производственных исполнителях, о результатах трудового нормирования операций - Тпз/Тшт.

## **6. Форма изложения и оформление материалов диссертации**

Работа не свободна от недостатков оформления. Так, отдельные фрагменты текста диссертации, рисунки, алгоритмы, таблицы оформлены без учета положений методических указаний для диссертационных работ. Присутствуют не правильные ссылки на рисунки и таблицы, не точности в обозначениях и математических формулах, имеют место пунктуационные и стилистические погрешности.

## **7. Заключение**

Диссертационная работа Ионова А.В. является самостоятельной и завершённой научно-исследовательской работой, выполненной на актуальную тему. Диссертационная работа содержит **решение научной задачи**, связанной с повышением эффективности ТПП лопаток компрессора ГТД.

Отличия полученных научных результатов от известных результатов в данной области исследований заключаются в реализации процессного управления ТПП изготовления лопаток компрессоров ГТД на основе использования CALS-технологии (ПО PLM-системы) и предложенной методики обоснования технологического процесса производства лопаток компрессоров ГТД с учётом новых экспериментальных данных по распределению остаточных напряжений в поверхностном слое лопатки компрессора ГТД, в зависимости от применения обработки пера лопатки ГТД методом вальцевания или фрезерования.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.



Степень апробации основных положений работы путем опубликования в научно-технической печати (в том числе – в пяти статьях в рецензируемых журналах, входящих в перечень, утвержденный ВАК РФ), выступлений на научно-технических конференциях – достаточна.

Высказанные выше замечания не изменяют общей положительной оценки диссертации.

Диссертационная работа «Создание на основе CALS-технологий универсальной автоматизированной системы управления технологической подготовкой производства лопаток компрессора ГТД» отвечает критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ для диссертационных работ на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор Ионов Алексей Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры «Мехатронные  
станочные системы» ФГБОУ ВПО  
«Уфимский государственный авиацион-  
ный технический университет (УГАТУ)».  
Почтовый адрес: Российская Федерация,  
Республика Башкортостан, п/и 45000,  
г. Уфа, ул. К. Маркса, дом №12.  
Рабочий телефон: 8-(347)-2730526.  
Электронная почта: admin@stalkerplm.com

К.С. Кульга

Подпись Кульга К.С.  
удостоверяю 26.11.2014  
Начальник ОО УГАТУ Серебряков

