

## УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ГОСУДАРСТВЕННОЙ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНЕЦКИЙ  
ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО  
ТРАНСПОРТА»

д-р техн. наук, профессор  
Чепцов М.Н.

2020 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертации Михайлова Вячеслава Александровича на тему: «Совершенствование структурного и технологического обеспечения изготовления лопаток компрессора вертолетных газотурбинных двигателей на основе связанных технологий», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения

### 1. Актуальность для науки и практики

В настоящее время развитие авиационных газотурбинных двигателей происходит в направлении совершенствования термогазодинамических характеристик, улучшения структурно-компоновочных параметров, повышения коэффициента полезного действия, формирование оптимального облика, снижения удельного расхода топлива, увеличения отношения мощности к массе и улучшения целого комплекса других параметров. Это относится также и к вертолетным газотурбинным двигателям, работа которых происходит в особо тяжелых условиях эксплуатации, наличие большого количества пыли, песка, абразива при взлетах и посадках, а также необходимости снижения удельной массы, улучшения экономичности, повышения ресурса и надежности. Все это способствует улучшению эксплуатационных свойств вертолетных газотурбинных двигателей, которые должны решаться на всех этапах их жизненного цикла, в том числе на этапе производства и изготовления.

Вертолетный газотурбинный двигатель состоит из большого числа подсистем, модулей и элементов, которые работают в сложных эксплуатационных условиях. При этом к основным подсистемам этого

авиационного двигателя относится компрессор, который имеет множество лопаток различного назначения, располагающихся на дисках ступеней, образующих группы лопаток, выполняющих заданные эксплуатационные функции. Можно отметить, что эти группы лопаток имеют различный характер своей эксплуатации, обусловленный особенностями движения пылевоздушного потока по тракту компрессора, пространственной формой лопаток, их расположением и кинематикой движения. Это приводит к возникновению неодинакового и неравномерного абразивно-эрозионного износа каждой лопатки, лопаток в группе и групп лопаток относительно друг друга в компрессоре. Все это снижает ресурс вертолетного газотурбинного двигателя в целом, уменьшает потенциальные возможности полного использования всех групп лопаток компрессора из условия равенства их ресурсов, снижает оперативность его ремонта и восстановления, а также ограничивает возможность организации различных структурных групп лопаток в модульные структуры, что значительно снижает технологичность их отделочно-упрочняющей обработки, восстановления и ремонта.

Для повышения ресурса лопаток компрессора вертолетных газотурбинных двигателей используется целый комплекс различных методов отделочно-упрочняющей обработки, технологических процессов и принципов рациональной обработки. При этом для выравнивания износа рабочих поверхностей лопаток применяются функционально-ориентированные покрытия. Эти покрытия обеспечивают реализацию функционально-ориентированных свойств рабочих поверхностей лопаток компрессора, что значительно повышает их ресурс.

Выполненные исследования позволили установить, что в компрессор вертолетного газотурбинного двигателя структурируется из различных групп лопаток. При этом на каждую группу лопаток действуют свои определенные эксплуатационные воздействия, характеризующиеся возникновением различного по характеру и интенсивности износа этих групп лопаток. Поэтому для каждой группы лопаток необходимо обеспечивать свой конкретный технологический процесс отделочно-упрочняющей обработки лопаток компрессора с функционально-ориентированными свойствами. Причем существующие технологические процессы и применяемые методы не позволяют выравнивать ресурс лопаток компрессора различных групп лопаток в едином комплексе. Решение этих вопросов становится возможным на базе единых связей и обеспечения заданных параметров функционально-ориентированных свойств между различными группами лопаток компрессора газотурбинного двигателя. Для этого необходимо совершенствование технологического обеспечения и создание комплексного многосвязного технологического процесса отделочно-упрочняющей обработки лопаток с функционально-ориентированными свойствами.

На основании этого, повышение ресурса лопаток компрессора вертолетных газотурбинных двигателей посредством его выравнивания между

структурными группами лопаток на основе комплексных отделочно-упрочняющих многосвязных технологических процессов и обеспечения функционально-ориентированных свойств является актуальной задачей, имеющей важное научное и практическое значение.

## **2. Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

В работе выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, направленных на совершенствование структурного и технологического обеспечения изготовления лопаток компрессора вертолетных газотурбинных двигателей на основе связных технологий.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем.

1. Установлено, что на лопатки компрессора действуют неравномерные эксплуатационные функции, которые реализуются по группам лопаток, при этом абразивно-эрозионный износ лопаток компрессора характеризуется неравномерностями трех рангов.

2. Впервые разработан технологический подход синтеза комплексного технологического процесса отделочно-упрочняющей обработки лопаток компрессора на основе многосвязных технологических процессов и обеспечения функционально-ориентированных свойств структурных групп лопаток из условия равенства их ресурса.

3. Определено множество связей параметров структуры отдельных технологических процессов для обеспечения необходимого множества функционально-ориентированных свойств группам лопаток компрессора из условия равенства их ресурса по большему его значению.

При этом теоретическая значимость данной работы заключается в следующем:

1. Установлены закономерности абразивно-эрозионного износа рабочих поверхностей каждой лопатки, лопаток в каждой группе и лопаток между группами в компрессоре, которые обусловлены неравномерностями трех рангов.

2. Разработан технологический подход синтеза комплексных многосвязных технологических процессов отделочно-упрочняющей обработки лопаток компрессора из условия равенства их ресурсов отдельных групп, обусловленных действием неравномерностей трех рангов, возникающих при абразивно-эрозионном износе их в процессе эксплуатации.

3. Определены связи между параметрами свойств лопаток, обеспечиваемых отдельными технологическими процессами в комплексном многосвязном технологическом процессе отделочно-упрочняющей обработки лопаток компрессора.

4. Разработана методика и алгоритм синтеза структуры комплексных многосвязных технологических процессов отделочно-упрочняющей обработки

лопаток компрессора обеспечивающих равный их ресурс в условиях действия неравномерностей трех рангов, возникающих в компрессоре от абразивно-эрозионного износа.

Практическая значимость представленной работы заключается в следующем:

1. Разработанная структура комплексного многосвязного технологического процесса отделочно-упрочняющей обработки обеспечивает возможность обеспечения свойств лопаток на базе функционально-ориентированных покрытий из условия равенства ресурса различных групп лопаток компрессора в условиях действия неравномерностей трех рангов абразивно-эрозионного их износа.

2. Предлагаемая методика синтеза структуры комплексного многосвязного технологического процесса отделочно-упрочняющей обработки лопаток компрессора обеспечивает повышение из ресурса на 60 %.

3. Предлагаемые общие рекомендации синтеза структуры комплексного многосвязного технологического процесса отделочно-упрочняющей обработки групп лопаток компрессора на основе функционально-ориентированного покрытия и принципа равенства ресурсов их групп позволило выполнить синтез конкретных вариантов технологических процессов для различных групп лопаток компрессора газотурбинного двигателя.

4. Результаты работы внедрены в производственные процессы предприятий ДНР и Российской Федерации, что обеспечивает определенный экономический эффект.

### **3. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Основным результатом данной работы является практическая реализация комплексного связного технологического процесса отделочно-упрочняющей обработки лопаток компрессора с функционально-ориентированными покрытиями. Данный процесс обеспечивает выполнение свойств всех лопаток компрессора из условия равного их ресурса в условиях действия неравномерных эксплуатационных воздействий трех рангов, возникающих в компрессоре в различных группах лопаток.

В перспективе, считаем целесообразным выполнить исследования особенностей эксплуатации других моделей вертолетных авиационных двигателей с центробежными компрессорами и расширить использование их для повышения ресурса газотурбинных двигателей в целом.

А также рекомендуем в дальнейшем провести исследования по возможности применения для различных групп лопаток компрессора различных видов функционально-ориентированных ионно-плазменных покрытий, в том числе выполненных с использованием нитридов, карбидов и карбо нитридов.

#### 4. Общие замечания

В качестве замечаний можно отметить следующее.

1. При анализе современного состояния вопроса исследований, автор выполняет анализ особенностей абразивно-эрозионного износа лопаток осевых компрессоров вертолетных газотурбинных двигателей

На наш взгляд, следовало бы в первом разделе работы выполнить подобные исследования и для центробежных компрессоров авиационных двигателей, которые широко используются в зарубежных турбовальных газотурбинных двигателях.

2. На рис. 1.1 диссертационной работы (с. 15) представлены структурные варианты газотурбинных двигателей.

На наш взгляд, представленный рисунок слишком мелко показан в работе. При этом следовало бы более детально пояснить особенности работы этих схем и их применения в газотурбинных двигателях.

3. В разделе 2.2 на рис. 2.6 показана диаграмма идеального цикла Брайтона. Однако в реальности, при работе газотурбинного двигателя, реализуется реальный термодинамический цикл, который значительно отличается от идеального цикла. Поэтому, на наш взгляд, следовало было бы выполнить анализ реальных особенностей работы газотурбинных двигателей с центробежными компрессорами.

4. На рис. 2.24 (с. 71) представлена гипотетическая схема общего подхода в обеспечении функционально-ориентированных свойств лопаток газотурбинного двигателя.

В описании данного рисунка, на наш взгляд, следовало бы более детально привести данные, что обозначают представленные стрелки, а также следовало бы привести конкретные примеры выполнения разработанного общего подхода в реализации функционально-ориентированных свойств лопаток компрессора.

5. В разделе 4 диссертационной работы выполняется синтез технологического обеспечения с напылением функционально-ориентированных покрытий для групп лопаток компрессора.

На наш взгляд, в этом разделе следовало бы пояснить, для каких конкретных моделей газотурбинных двигателей можно применять полученные результаты, или отметить, что они универсальны и могут применяться для всех моделей авиационных двигателей.

#### 5. Заключение

Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом имеют существенное значение для фундаментальной науки и практики в области технологии машиностроения, а также для развития

технологии производства, восстановления и ремонта лопаток газотурбинных установок. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы.

В целом, диссертационная работа отвечает требованиям п. 2.2 «Положения о присуждении ученых степеней», соответствует специальности 05.02.08 – Технология машиностроения, а ее автор Михайлов Вячеслав Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры «Подвижной состав железных дорог» ГОСУДАРСТВЕННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНЕЦКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА» «21» 02 2020 г., протокол № 2.

Д-р техн. наук, профессор,  
зав. кафедры «Подвижной состав  
железных дорог» ГОСУДАРСТВЕННОЙ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО  
ТРАНСПОРТА»  
(ДНР, 283018, г. Донецк,  
ул. Горная, дом 6, ДониЖТ;  
тел.: +38 062 319-21-76;  
[institut-transporta@mail.ru](mailto:institut-transporta@mail.ru))

Паламарчук Н.В.

Согласен на автоматизированную  
обработку персональных  
данных

Паламарчук Николай Владимирович

Подпись проф. Паламарчук Н. В.  
удостоверяю

КАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА КАДРОВ  
ДОНЕЦКОГО ИНСТИТУТА  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА



Н. В. Паламарчук