

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора -
директор исследовательского центра
«Динамика, прочность, надежность»
федерального автономного учреждения
«Центральный институт авиационного
моторостроения имени П.И. Баранова»

д.т.н. Ю.А. Ножницкий

«29» нояб 2022г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Государственного научного центра, федерального автономного учреждения
«Центральный институт авиационного моторостроения
имени П.И. Баранова»

на диссертацию Шахова Александра Сергеевича
«Методика оценки динамики и прочности деталей компрессора низкого
давления газотурбинного двигателя с учетом геометрических отклонений»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.15. - «Тепловые, электроракетные двигатели и
энергетические установки летательных аппаратов»

Актуальность темы диссертационной работы

Для обеспечения конкурентоспособности перспективные ГТД должны иметь высокие показатели безотказности и ресурсы основных (критических по последствиям разрушений) деталей, значения которых должны быть подтверждены. Для надёжного обеспечения прочности и ресурса необходимо повышение точности расчётов напряжённо-деформированного состояния, прочности и динамики деталей, в частности, учёт влияния геометрических отклонений. Для сокращения затрат времени и средств, необходимых для решения вопросов обеспечения прочностной надёжности авиационных двигателей, целесообразно использовать методы автоматизированного проектирования деталей и конструктивно-подобные элементы при экспериментальном подтверждении прочности данных деталей. Таким образом, тема диссертационной работы представляется **актуальной**.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

30 11 2022

Научная новизна работы заключается в предложении методик:

- применения параметризованных моделей для проведения прочностных расчётов на примерах моделей барабана компрессора низкого давления (КНД) и деталей статора из композитных материалов;
- расчетно-экспериментального исследования долговечности конструктивно-подобного элемента (КПЭ), вырезанного из барабана КНД;
- определения коэффициентов влияния единичных и комбинированных отклонений для оценки циклической долговечности барабана и динамики рабочих лопаток ротора компрессора по результатам измерения геометрических и весовых параметров;
- расстановки рабочих лопаток вентилятора, позволяющей учесть влияние геометрических отклонений на дисбаланс и аэродинамические показатели.

Практическая ценность диссертации обусловлена возможностью использования предложенных методик при разработке новых и модифицировании серийных газотурбинных двигателей для повышения робастности конструкции.

Достоверность и обоснованность результатов, полученных автором, обеспечиваются:

- использованием сертифицированного программного комплекса ANSYS;
- удовлетворительным согласованием результатов эксперимента с данными расчётов.

Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в 11 научных трудах, в том числе в изданиях, включенных в перечень ВАК, и в изданиях, индексируемых в базе SCOPUS.

Структура и содержание диссертационной работы

Рассматриваемая диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Общий объём диссертации составляет 134 страницы.

Во введении обоснована актуальность работы, определены цели исследования, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведена структура диссертации, указан объект исследования, даны сведения о научных публикациях и апробации работы.

В первой главе приводятся описание типов параметрического моделирования и обзор современных САД пакетов, подходящих для выполнения параметрического моделирования. Описывается построение параметрических моделей барабана бустера КНД, разделителя потока и панели внутренней и подготовка для дальнейшей автоматизации.

Во второй главе описываются общие подходы к определению циклической долговечности деталей ГТД, учёту влияния геометрических отклонений деталей на их прочность. Описывается методика оценки динамики и прочности деталей ГТД с учетом геометрических отклонений на основе расчета коэффициентов влияния на напряжённо-деформированное состояние и частоты собственных колебаний. Представлены результаты автоматизированных прочностных расчетов барабана бустера КНД, включающих расчет осесимметричной модели ротора, подготовку и расчет трехмерной модели барабана с описанием граничных условий и определением коэффициентов влияния выбранных размеров на напряжённо-деформированное состояние (НДС). Приведена расчетная оценка долговечности для двух точек полетного цикла.

В третьей главе представлена методика расчетно-экспериментального исследования долговечности барабана бустера с использованием конструктивно-подобных элементов, вырезаемых из готовой детали с сохранением критической зоны. Приведены результаты испытаний конструктивно-подобных элементов и проведена статистическая обработка результатов.

Четвертая глава посвящена расчетному исследованию влияния производственных отклонений при изготовлении профильной части лопатки компрессора на динамику и прочность, включая описание расчетной модели, граничных условий, коэффициентов влияния, а также методики расстановки рабочих лопаток вентилятора в диске с учетом расчетных коэффициентов влияния геометрических отклонений на аэродинамические характеристики двигателя.

Пятая глава посвящена расчету динамики и прочности статорных деталей КНД из композиционных материалов, таких как разделитель потока и панель внутренняя. Оценено влияние изменения размеров композитных частей деталей вследствие эрозии на их динамику и прочность. Определено критическое значение толщины композитной части на основе критерия сближения собственной частоты колебаний детали и роторной гармоники двигателя.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Автореферат диссертации достаточно полно и правильно отражает структуру, основное содержание и результаты рецензируемой диссертационной работы.

Рекомендации по использованию материалов диссертации

Результаты диссертационной работы имеют практическую ценность для предприятий и организаций, занимающихся разработкой и проектированием авиационных двигателей таких, как ПАО «ОДК-УМПО» (ОКБ имени А. Люльки), ПАО «ОДК-Сатурн», АО «ОДК-Авиадвигатель» и других.

Замечания по содержанию диссертации

По диссертационной работе можно сделать ряд замечаний:

1. Цель работы сформулирована как процесс и не отражает положительный эффект, который должен быть достигнут в результате выполнения работы.

2. Желательно было разделить обоснование научной новизны и практической значимости.

3. При оценке актуальности работы ничего не сказано про несомненно актуальное предложение использовать конструктивно-подобные элементы.

4. Не сказано, как при разработке параметризованных моделей в первой главе учитываются тепловые и аэродинамические нагрузки.

5. Не ясно, по какой методике во второй главе определялась циклическая долговечность: как определялись размахи напряжений/деформаций, учитывалась ли асимметрия цикла нагружения и т.д.?

6. При оценке циклической долговечности барабана КНД следовало оговорить, что речь идёт об определении долговечности без учёта возможных начальных дефектов. В соответствии с действующими нормативными техническими документами при оценке циклической долговечности и определении ресурса критических по последствиям разрушению деталей необходимо учитывать развитие трещины от возможных дефектов. Выбранное значение запаса по циклической долговечности $K_N=1,2$ также не обосновано. Поэтому представленные в главе 2 результаты следует рассматривать как сравнительную оценку, иллюстрирующую возможность предложенной в диссертации методики.

7. В третьей главе следует сопоставить значения размахов напряжений/деформаций, расчётной циклической долговечности в натурной детали и конструктивно-подобном элементе.

8. На странице 62 диссертации указана только доверительная вероятность 0,95, а в таблице 3.5 рассмотрены три вероятности: 0,95, 0,99, 0,999. Автор диссертации приводит слишком низкие значения толерантных коэффициентов для выборки объемом 6 образцов. Ниже приведены корректировки формулы (3.4) и оценки минимального значения долговечности по результатам проведенных испытаний для разных значений α и p .

$$\lg(N_{\min}) = \overline{\lg N} - K(\alpha, p, n) S_{\lg N}, \quad (3.4)$$

где $K(\alpha, p, n)$ – коэффициент для определения границ одностороннего статистического толерантного интервала при известном значении $S_{\lg N}$, α – уровень значимости ($(1 - \alpha)$ – выбранный уровень доверия), p – доля совокупности для определения толерантного интервала, $n = 6$ – объем выборки.

Таблица 3.5 (исправленная) – Минимальные значения долговечности для разных значений α и p

α	p	n	K	$\log N_{\min}$	N_{\min}
0,05	0,99	6	5,062	4,290	19494
0,05	0,999	6	6,612	4,012	10291
0,01	0,99	6	7,335	3,883	7639
0,01	0,999	6	9,550	3,487	3066
0,001	0,99	6	11,964	3,054	1134
0,001	0,999	6	15,550	2,413	259

9. При анализе прочности разделителя потока из полимерного композиционного материала не ясно, как учитывалась анизотропия механических характеристик. В таблице 5.6 диссертации необходимо указать систему координат, в которой приведены результаты расчёта компонент напряжений. Также рекомендуется привести значения нескольких критериев прочности для анизотропных материалов (максимальных напряжений, $\sigma_{\text{Ця}}$ - $\sigma_{\text{Ву}}$).

10. Автор диссертации не рассматривает настройки контактных опций, что может оказать существенное влияние на результаты расчетов.

11. Диссертант не рассматривает влияние допусков на изготовление на отклонение геометрии контактных поверхностей хвостовика лопатки и паза замка.

12. При выборе расстановки лопаток не оценивается влияние способа их установки в рабочее колесо на амплитуды переменных напряжений.

Однако указанные замечания не препятствуют положительной оценке представленной диссертационной работы, и могут быть рассмотрены в качестве рекомендаций для проведения дальнейших исследований.

Таким образом, по данной работе может быть сделано следующее **заключение:**

Диссертационная работа Шахова Александра Сергеевича «Методика оценки динамики и прочности деталей компрессора низкого давления газотурбинного двигателя с учетом геометрических отклонений» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, имеющие важное значение при разработке авиационных двигателей. Данная работа соответствует паспорту специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Рассматриваемая диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор Шахов Александр Сергеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Диссертационная работа Шахова А.С. «Методика оценки динамики и прочности деталей компрессора низкого давления газотурбинного двигателя с учетом геометрических отклонений» обсуждена и одобрена на научно-техническом совете секции «Прочность, надежность, ресурс» ГНЦ ФАУ «ЦИАМ им. И.П. Баранова», протокол № 200-14/11-2-2 от 11.11.2022 г.

Отзыв составил:

Начальник сектора
отдела «Расчеты динамики
и прочности двигателей»
ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова»,
кандидат технических наук

Сапронов
Дмитрий
Владимирович

Подпись начальника сектора Сапронова Д.В. подтверждаю:

Ученый секретарь
ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова»,
доктор экономических наук



Джамай
Екатерина
Викторовна

Контактные данные организации:

Государственный научный центр, федеральное автономное учреждение
«Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова»

Адрес: 111116, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 2

Телефон: +7 (499) 763-61-67

Веб-сайт: <https://ciam.ru/>

Адрес электронной почты: education@ciam.ru

С отзывом ознакомлен

30.11.2022 Шахов (Шахов А.С.)