

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный конструктор
ПАО «ОЛК-Сатурн»

О.Н. Шмотин

_____ 2025 г.



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Пивоваровой Марии Владимировны
«Разработка методов анализа и оценки изменения вибронапряжений при
изменении геометрии лопаток газотурбинных двигателей в процессе их
прочностной доводки и их экспериментальном исследовании»,
представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по
специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и
энергоустановки летательных аппаратов»

Высокая вибронапряженность лопаток, является одной из основных проблем, возникающих в процессе разработки и прочностной доводки ГТД. Процесс прочностной доводки ГТД, зачастую сопровождается возникновением дефектов усталостного характера лопаток компрессора и турбины, по причине их высокой вибронапряженности. Решение данной проблемы связано с выполнением испытаний по тензометрированию лопаток в составе двигателей (либо газогенераторов), внесением изменений в конструкцию лопаток, на которых выявлен высокий уровень вибронапряжений, а затем повторения вышеперечисленных испытаний. Учитывая, что снизить уровень напряжений в лопатках до приемлемых значений на проблемных ступенях за одну итерацию не всегда возможно, требуется испытать несколько вариантов конструкций лопаток, что приводит к увеличению сроков прочностной доводки ГТД. В практике отечественного авиадвигателестроения срок разработки и доводки ГТД составляет не менее 8-10 лет. Следует также учитывать, что проведение большого объема натурных испытаний является ресурсоемким и приводит к высоким материальным затратам.

Таким образом, разработка расчетных методов оценки изменения вибронапряжений при изменении геометрии лопаток, позволяющих

обеспечить доводку ГТД по вибропрочности, при минимально возможном количестве испытаний по тензометрированию лопаток в составе двигателей, является актуальной научно-технической задачей. Решению данной задачи и посвящена диссертация Пивоваровой Марии Владимировны.

На сегодняшний день, большинство методов расчетной оценки вибронапряжений построены на выполнении сложных сопряженных расчетов газодинамика-прочность. Данные расчеты являются очень трудоемкими, время, затрачиваемое на их выполнение, сопоставимо с временными затратами на подготовку и проведение тензометрирования лопаток в составе двигателя. Учитывая, что, кроме того, данные методы не являются точными, они не могут быть эффективно использованы при прочностной доводке лопаток.

В работе Пивоваровой М.В. предлагается более простой метод оценки вибронапряжений при изменении конструкции лопаток, не требующий значительных временных затрат на выполнение расчетов. Метод основан на гипотезе о равенстве потенциальных энергий деформации исходной и доработанной лопаток при незначительных изменениях конструкции. Данная гипотеза является логичной с точки зрения того, что локальные изменения геометрии профиля, не влияющие на обтекание лопатки и демпфирование, не приведут к изменению величины периодических силы, возбуждающих лопатку, изменение перемещений при колебаниях лопатки по какой-либо форме будет также несущественно. При этом, в результате малых изменений геометрии, уменьшающих концентрацию напряжений и локально усиливающих профиль пера, возможна существенная корректировка уровня вибронапряжений в лопатке. Разработка метода расчетной оценки влияния на вибронапряженность лопатки изменений ее геометрии, даже при условии, что они малы, безусловно, является существенным достижением и составляет основную научную новизну и практическую значимость работы.

Следует также отметить практическую значимость работы Пивоваровой М.В. в части разработки расчетного метода выбора оптимальной схемы препарирования лопатки тензорезисторами, т.к. оптимально выбранная схема, позволяет исследовать вибронапряженность лопатки с достаточной точностью при минимальном количестве сборок двигателя (или газогенератора). Разработка комплекса программ, позволяющих ускорить процесс выбора оптимальной схемы лопатки, также

является сильной стороной диссертации.

Наряду с положительными моментами, следует сделать ряд замечаний к рассматриваемой работе.

1. Применение метода является ограниченным, т.к. снижение вибронапряженности лопатки не всегда возможно за счет локального изменения ее геометрии, зачастую необходимы мероприятия, оказывающие влияние на демпфирование лопатки, такие как усиление хвостовика, обеспечение контакта по трактовым полкам, либо влияющие на обтекание лопаток (например, изменение программы регулирования направляющих аппаратов КВД).
2. В работе встречаются некорректные термины и жаргонизмы, не используемые в нормативно-технической документации и научно-технической литературе, а именно «намеренные напряжения» (стр. 14), «коэффициенты запаса по динамической прочности» (стр. 14), «гармоника нагрузки» (стр. 7) и т.д.. Для запасов по сопротивлению усталости используется обозначение K_σ (стр. 12), что также некорректно, т.к. в нормативно-технической документации оно используется для обозначения эффективных коэффициентов концентрации.
3. Термин «коэффициент чувствительности форм колебаний тензорезистора» (стр.5) не корректен, т.к. может быть истолкован, как чувствительность тензорезистора к его собственным формам, что физически не верно. Более корректное определение - коэффициент чувствительности тензорезистора к вибронапряжениям по форме колебаний лопатки.
4. На рисунке 5 автореферата отсутствуют шкалы для изолиний напряжений, что делает затруднительным понимание распределения напряжений в лопатке.
5. Утверждение на странице 15 автореферата о возможности спроектировать лопатку на первоначальном этапе работ (когда прогнозируются опасные резонансы в рабочем диапазоне) и отсутствии необходимости выполнения проверочных испытаний является спорным. В соответствии с требованиями нормативно-технической документации тензометрирование лопаток измененной конструкции необходимо выполнять в любом случае, для определения запасов по сопротивлению усталости.
6. В автореферате недостаточно подробно представлены результаты сравнения величин вибронапряжений в исходной и доработанной лопатках по результатам расчета по предлагаемому методу и на основании результатов тензометрирования.

Указанные недостатки не снижают общей научной и практической ценности диссертации. По степени актуальности, научной новизне и практической значимости, работа отвечает критериям ВАК для кандидатских диссертаций, указанным в документе «Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор, Пивоварова Мария Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Согласен на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Пивоваровой Марии Владимировны и их обработку.

Эксперт

конструкторского отдела прочности,
кандидат технических наук

Лысенко Алексей Анатольевич

Подпись А.А. Лысенко заверяю:
начальник конструкторского
отдела композиционных материалов
и выходных устройств,
ученый секретарь ПАО «ОДК-Сатурн»
кандидат технических наук

Левитова Ольга Николаевна

Публичное акционерное общество "ОДК - Сатурн".
Почтовый адрес: 152903, Ярославская обл., г. Рыбинск, проспект Ленина,
д.163. Тел.: 8 (4855) 32-66-10, эл. почта: saturn@uec-saturn.ru