

ОТСТРОЙКА ОТ АВТОКОЛЕБАНИЙ РК 1-ОЙ СТУПЕНИ КНД ПУТЕМ ПЕРЕПРОФИЛИРОВАНИЯ ПЕРА ЛОПАТКИ

Чепига С.А., Макаров П.В.

ПК «Салют» АО «ОДК», г. Москва, s.chepiga@uecrus.com

Ключевые слова: автоколебания, флаттер, перепрофилирование пера лопатки, отстройка от автоколебаний.

В настоящее время одной из основных проблем, с которой сталкиваются конструкторы при доводке компрессоров ГТД является автоколебания (флаттер) лопаток. Обычно инженеры и конструкторы при проектировании ГТД используют упрощенные методы оценки возможности возникновения автоколебаний (число Струхалия, изгибно-крутильная связанность) и статистические методы, основанные на опыте доводки конструкций прототипов [1]. При этом очень сложно принципиально качественно и количественно верно дать прогноз автоколебаний лопаток новых форм и конструкций, таких как рабочее колесо блисковой конструкции, обладающее низким конструкционным демпфированием. С появлением современных программных пакетов появилось надежное моделирование течения в межлопаточном пространстве, что позволило прогнозировать автоколебания на основе энергетического метода на этапе проектирования двигателя, помимо этого можно точно спрогнозировать места, где работа совершаемая распределенным по лопатке давлением на одном периоде колебаний является положительной. Всё это позволяет использовать энергетический метод расчета для отстройки рабочих колес от автоколебаний на этапе проектирования и доводки двигателя [2].

Данная работа посвящена отстройке моноколеса 1-ой ступени КНД двигателя от возникновения автоколебаний лопаток на режиме $N_{1пр}=70\%$. Автоколебания на данном режиме были подтверждены во время испытаний КНД в составе двигателя, зафиксированы по тензодатчикам и по датчикам пульсации.

Для отстройки рабочих лопаток 1 ступени от режима с автоколебаниями был проведен расчёт работы нестационарных аэродинамических сил на периоде колебаний лопатки по собственным формам с помощью программ Ansys CFX (расчёт аэродинамических нагрузок), Ansys Mechanical (расчёт вынужденных колебаний), а также специально разработанных программ для вычисления коэффициентов Фурье поля давления на поверхности лопатки и их интерполяции из аэродинамической на твердотельную конечно-объемную сетку. По результатам данного расчета вычисляется работа, совершаемая распределённым по лопатке давлением на одном периоде колебаний и по знаку этой работы проводится прогноз автоколебаний. Для полученного положительного значения работы (3-я форма 2 узловых диаметра) было построено распределение работы по перу лопатки (рис. 1) для последующей отстройки от режима с автоколебаниями.

По результатам расчетов были определены места лопаток, где необходимо изменить геометрию профиля для уменьшения совершаемой работы распределенным по лопатке давлением. Перепрофилирование проведено за счет изменения угла наклона лопатки в осевом направлении, изменения конструктивных углов входа и выхода лопатки, а также изменения исходного профиля сечений лопатки за счет перераспределения толщины и кривизны вдоль хорды лопатки. Форма колебаний, по которой при испытаниях возникали автоколебания на режиме $N_{1пр}=70\%$, изменилась по частоте на 5,2% (рис. 2), дополнительно показано как изменилось распределение работы по перу лопатки на рис. 3.

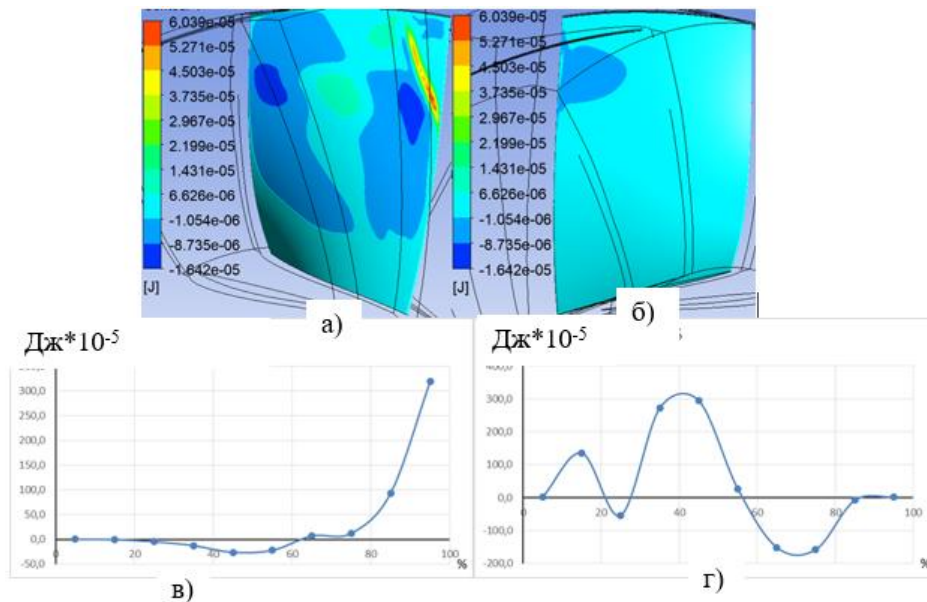


Рисунок 1 – Работа, совершаемая распределённым по спинке (а) и корыту (б) давлением на одном периоде колебаний по 3-ей форме с 2 узловыми диаметрами в исходной лопатке; в) распределение по радиусу, г) распределение по оси

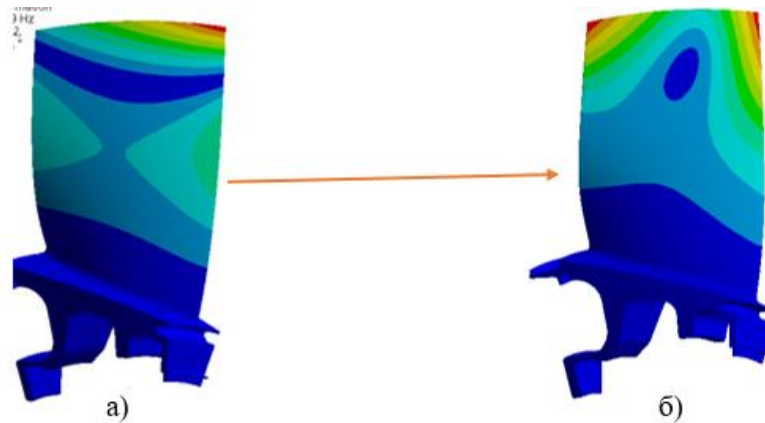


Рисунок 2 – Третья форма колебаний с 2 узловыми диаметрами моноколеса 1 ступени, неотстроенная (а) и после отстройки (б)

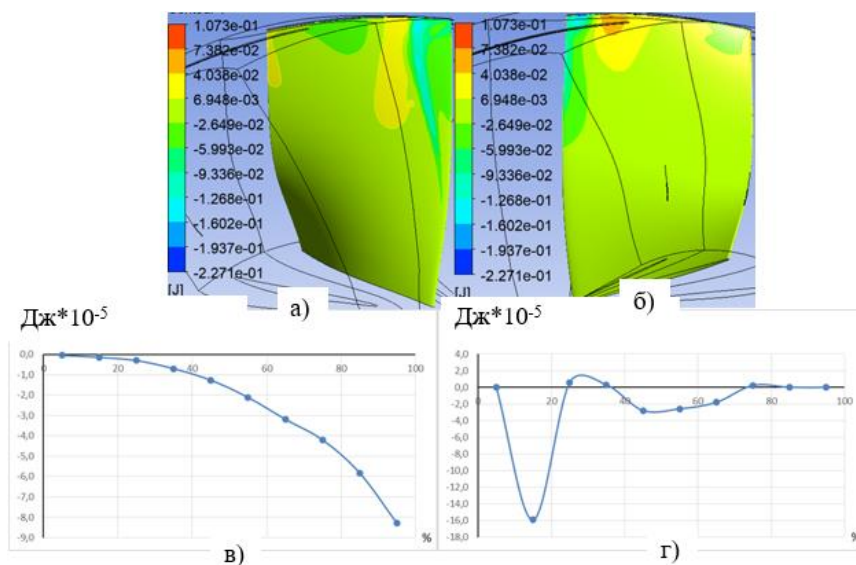


Рисунок 3 – Работа, совершаемая распределённым по спинке (а) и корыту (б) давлением на одном периоде колебаний по 3-ей форме с 2 узловыми диаметрами в отстроенной лопатке в) распределение по радиусу; г) распределение по оси

По результатам отстройки, был изготовлен и препарирован тензорезисторами опытный образец для проведения экспериментальной проверки отсутствия автоколебаний в составе двигателя.

Список литературы

1. Хориков А.А. Прогнозирование и диагностика флаттера лопаток осевых компрессоров авиационных ГТД // Труды ЦИАМ. – 2002. – № 1311. – С. 352.
2. Колотников М.Е., Веденеев В.В., Макаров П.В., Фирсанов В.В. Трехмерное моделирование флаттера лопаток компрессоров современных ГТД // Вестник СГАУ. – 2011. – № 3(27). Часть 1. – С. 47-56.

Сведения об авторах

Макаров П.В., заместитель генерального конструктора ПК «Салют» АО «ОДК». Область научных интересов: динамическая прочность, демпфирование, флаттер.

Чепига С.А., начальник конструкторского бюро ПК «Салют» АО «ОДК». Область научных интересов: динамическая прочность, демпфирование, флаттер.