

НАПРАВЛЕНИЕ
«ПРОБЛЕМЫ КОНСТРУКЦИИ, НАДЕЖНОСТИ,
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ» /
«AIRCRAFT ENGINE DESIGNING AND ROBUSTNESS ISSUES»

УДК 533.6.013.42

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ФЛАТТЕРА ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН:
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Абдухакимов Ф.А.¹, Веденеев В.В.¹, Колотников М.Е.¹,
Макаров П.В.², Филиппенко В.А.¹, Чепига С.А.²

¹НИИ механики МГУ им М.В. Ломоносова, г. Москва, farruh.abduhakimov7@gmail.com

²АО «НПЦ газотурбостроения «Салют», г. Москва

Ключевые слова: флаттер, энергетический метод, лопатка, компрессор.

Известны различные механизмы возбуждения автоколебаний (флаттера) в турбомашинах: срывные виды флаттера, флаттер запираания, безотрывные виды флаттера. Автоколебания, связанные со срывом потока, могут быть в той или иной мере устранены корректировкой рабочей линии или изменением газовых углов течения в тракте. Однако безотрывные виды флаттера (классический изгибно-крутильный флаттер и решётчатый флаттер), в случае их возникновения, захватывают часть рабочей зоны компрессора и, с одной стороны, не позволяют исследовать газодинамические характеристики компрессора, с другой – не могут быть отстроены корректировкой лишь течения в тракте. Поэтому своевременное обнаружение и отстройка от безотрывных видов флаттера – важная задача при проектировании компрессора.

В практике российского двигателестроения для прогнозирования флаттера несколько десятилетий используется статистический метод [1], заключающийся в сборе и статистической обработке параметров лопаток и потока, для которых проводилась экспериментальная проверка возникновения флаттера. Хотя этот метод и основан непосредственно на экспериментах, он имеет существенный недостаток – неприменимость к лопаткам и компрессорам новых конструкций, для которых отсутствует достаточное количество экспериментальных данных, и в результате имеется значительная область неопределённости прогноза.

Коллективом авторов ранее был разработан принципиально иной подход, основанный на энергетическом методе, реализованном в полностью трёхмерной численной постановке [2-4]. Настоящий доклад посвящён обзору применения этого метода к расчёту флаттера ряда объектов, для которых проводились испытания на флаттер. Показано, что во всех случаях наблюдается совпадение результатов расчётов с экспериментами, как в факте прогнозирования флаттера или устойчивости, так и в предсказании потенциально неустойчивой формы колебаний и числа узловых диаметров.

Обсуждаются исследования, проведённые рассматриваемым методом, влияния различных конструктивных факторов на результат прогнозирования флаттера [4]. Рассмотрены случаи, когда расчёт флаттера лопатки по плоскому периферийному сечению [5] может оказаться принципиально неверным, поскольку зоны, ответственные за суммарный подвод энергии от потока к лопатке, расположены не на периферии. Обсуждается возможность предсказания амплитуды предельного цикла флаттерных колебаний лопаток рассматриваемым методом.

Список литературы

1. Локштанов Е.А., Михайлов В.М., Хориков А.А. Статистическое прогнозирование флаттера лопаток турбомашин // Аэроупругость лопаток турбомашин. Киев: Наукова думка, 1980. С. 73-81.

2. Веденеев В.В., Колотников М.Е., Макаров П.В., Фирсанов В.В. Трёхмерное моделирование флаттера лопаток компрессоров современных ГТД // Вестник СГАУ. 2011. № 3(27). С. 47-56.

3. Vedeneev V., Kolotnikov M., Makarov P. Experimental validation of numerical blade flutter prediction // Journal of propulsion and power. 2015. Vol. 31. No. 5. P. 1281-1291.

4. Абдухакимов Ф.А., Веденеев В.В., Колотников М.Е., Макаров П.В. Численное исследование влияния конструктивных параметров на прогнозирование флаттера лопаток // Проблемы машиностроения и надёжности машин. 2019. № 2. С. 17-26.

5. Численное моделирование нестационарных явлений в газотурбинных двигателях: Научное издание / Августинович В.Г., Шмотин Ю.Н. [и др.]. М.: Машиностроение, 2005. 536 с.

Сведения об авторах

Абдухакимов Фаррух Адхамович, младший научный сотрудник НИИ механики МГУ. Область научных интересов: флаттер и вынужденные колебания конструкций в потоке газа.

Веденеев Василий Владимирович, д-р физ.-мат. наук, заведующий лабораторией НИИ механики МГУ. Область научных интересов: линейное и нелинейное взаимодействие гибких конструкций с потоком газа.

Колотников Михаил Ефимович, профессор, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник НИИ механики МГУ. Область научных интересов – прочность ГТД.

Макаров Павел Вячеславович, канд. техн. наук, заместитель генерального конструктора по прочности, технической экспертизе и сертификации производственного комплекса «Салют» АО «ОДК». Область научных интересов – прочность ГТД.

Филиппенко Виктор Александрович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник НИИ механики МГУ. Область научных интересов: газовая динамика и аэроупругость турбомашин.

Чепига Станислав Александрович, инженер-конструктор производственного комплекса «Салют» АО «ОДК». Область научных интересов – прочность ГТД.

ENERGY METHOD FOR THE FLATTER ANALYSIS OF TURBOMACHINE BLADES: EXPERIENCE OF USING AND PERSPECTIVES

Abdukhakimov F.A.¹, Vedeneev V.V.¹, Kolotnikov M.E.¹,
Makarov P.V.², Filippenko V.A.¹, Chepiga S. A.²

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, farruh.abduhakimov7@gmail.com

³“Salut” Gas Turbine Engineering Research and Production Center, Moscow, Russia

Keywords: flutter, energy method, compressor blade.

This work is devoted to a review of the energy method application to the flutter analysis of a number of objects for which flutter tests were carried out. It is shown that, in all cases, there is a coincidence of calculation results with experiments, both in the fact of predicting flutter or stability, and in predicting a potentially unstable vibration mode and the number of nodal diameters. Studies of the influence of various design factors on the flutter prediction and the possibility of the predicting limiting cycle amplitude of the blade flutter oscillations are discussed.