

димого для восстановления работоспособности двигателя в эксплуатации количества запасных деталей. В настоящий момент точность данного прогноза подтверждена результатами эксплуатации.

На основании проведённых работ по практическому снижению неопределённости на этапах разработки мероприятий и оценки интенсивности отказов можно сделать предварительный вывод о необходимости дальнейшей работы в направлении применения систем с «нечёткой логикой» для решения задач по работе с дефектами.

#### Библиографический список

1. Dec. # 2003/1/RM, 17.10.2003 EASA (“AMC and GM to Part 21”). AMC and GM to

Part 21. Acceptable Means of Compliance and Guidance Material for the airworthiness and environmental certification of aircraft and related products, parts and appliances, as well as for the certification of design and production organizations.

2. Антонов А.В. Системный анализ: учебник для ВУЗов. - М.: Высш. шк., 2004. 454 с.

3. Прикладные нечёткие системы: Пер. с япон. / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.: [под. ред. Т.Тэрано, К.Асаи, М.Сугэно]. - М.: Мир, 1993. 368 с.

4. Abernethy R. The New Weibull Handbook. Fifth Ed, 12.2006.

5. Справочник по надёжности. Том I: Пер. с англ. - М.: Мир, 1969. 340с.

УДК 621.45.026.8; 533.662.3

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УЧЁТА АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ СВЯЗАННОСТИ И ДЕМПФИРОВАНИЯ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ЛОПАТОК

©2016 А.В. Урлапкин, А.И. Ермаков

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### DEVELOPMENT OF AERODYNAMIC CONNECTEDNESS AND DAMPING ACCOUNTING MODEL FOR BLADE VIBRATIONS

Urlapkin A.V., Ermakov A.I. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

*The shows the development of a calculation model to account the aerodynamic damping and connectedness of blade forced vibrations. Has been solved the problem of aeroelasticity in the case of plane blades vibrations. Has been proposed a method for replacing the aeroelastic problem by the gas-dynamic calculation of an equivalent mechanical system. Main laws of aeroelastic vibrations are identified.*

Традиционные представления о колебаниях лопаток предполагают, что аэродинамическая связанность колебаний и влияние аэродинамических сил на величину демпфирования малы. Для лопаток турбин такие представления находят достаточное экспериментальное подтверждение, поскольку наличие трения в замковом соединении и бандажной связи создаёт большое рассеяние энергии. Для лопаток компрессора, где в силу наличия хвостовика типа «ласточкин хвост», либо колёс типа «блиск», эффектов конструкционного демпфирования не наблюдается. Однако при испытаниях уровень динамических напряжений достигает какого-то определённого уровня, что свидетельствует о наличии демпфирования.

Отсюда очевиден вывод, что аэродинамическое демпфирование в таких конструкциях имеет место, и его уровень значителен для лопаток вентилятора [1]. Поэтому решение задачи о вынужденных колебаниях и автоколебаниях невозможно без учёта этого фактора.

Определение аэродинамической связанности и демпфирования возможно только при решении задачи об аэроупругих колебаниях, однако решение такой задачи сопряжено с большими затратами времени и вычислительных ресурсов. Для задач оптимизации и большого количества исследований такой подход непрактичен. Поэтому в работе рассматривается модель,

позволяющая уйти от затратных многодисциплинарных вычислений.

Основная идея разрабатываемой модели состоит в том, что из решения аэроупругой задачи исключается та часть расчёта, которая отвечает за газодинамические параметры, и заменяется на эквивалентную механическую систему. При этом принимаются следующие допущения:

- предполагается, что малыми неоднородностями потока и особенностями течения можно пренебречь [2];

- поток представляется в виде некоей системы упругих связей, которая осуществляет взаимодействие между лопатками и рассеяние энергии.

Следует отметить, что решение аэроупругой задачи не исключается полностью, она решается в стандартном объёме на первом этапе исследований для определения параметров эквивалентной системы. Схема расчёта при этом выглядит так, как показано на рис. 1.



Рис. 1. Схема расчёта

На настоящий момент расчёты по разработанной схеме для упрощения проводятся на плоской решётке лопаток без закрутки (рис. 2). Это сделано для того, чтобы исключить сложные явления и отладить расчётную модель.

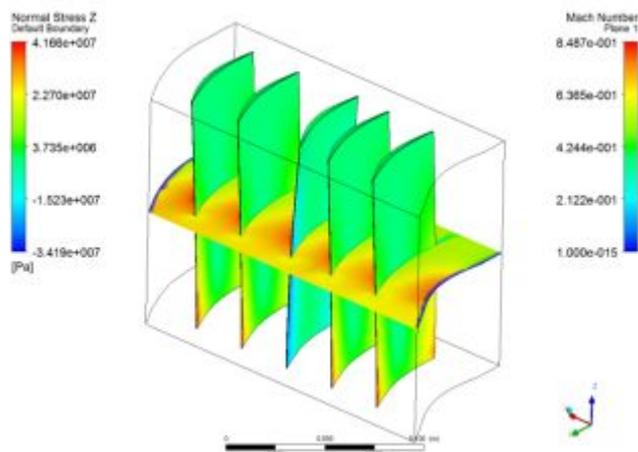


Рис. 2. Расчётная модель с отображением результатов

Проведённые исследования позволили выявить основные закономерности аэроупругих колебаний плоской решётки профилей и провести отладку расчётной модели.

Дальнейшие исследования будут идти по пути постепенного усложнения моделей – включение изгибно-крутильной связанности, моделирование полноокружного венца и, как итог, моделирование венца лопаток с расстройкой. Специфика таких задач заключается в том, что при наличии расстройки величина фазового сдвига при колебаниях лопаток перестаёт быть постоянной величиной и зависит от соотношения частот лопаток. Вследствие этого при газодинамическом расчёте нельзя задавать этот сдвиг постоянным, и он должен быть получен из нестационарного структурного расчёта.

#### Библиографический список

1. Августинович В.Г., Шмотин Ю.Н. и др. Численное моделирование нестационарных явлений в газотурбинных двигателях: Научное издание. - М.: Машиностроение, 2005. 536 с.
2. Самойлович Г.С. Нестационарное обтекание и аэроупругие колебания решёток турбомашин. - М.: Наука, 1969. 444 с.
3. Писаренко Г.С., Каминер А.А. Аэродинамическое демпфирование колебаний лопаток турбомашин. - Киев: Наукова думка, 1991. 301 с.