

АЭРОУПРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОПАТОЧНЫХ ВЕНЦОВ СЕМИСТУПЕНЧАТОГО ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА В ТРЕХМЕРНОМ ПОТОКЕ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Гнесин В.И., Колодяжная Л.В., Колесник А.А.

Институт проблем машиностроения НАН Украины, г. Харьков

Институт проточных машин ПАН, г. Гданьск

Аэродинамическое взаимодействие лопаточных венцов в многоступенчатой турбомашине приводит к возникновению высоких нестационарных аэродинамических нагрузок, которые, в свою очередь, существенно влияют на аэроупругое поведение лопаток.

С использованием метода решения связанной задачи нестационарной аэродинамики и упругих колебаний лопаток в данной работе проведено численное исследование нестационарных аэродинамических нагрузок и аэроупругих колебаний лопаточных венцов осевого компрессора в трехмерном потоке идеального газа с учетом взаимодействия семи смежных ступеней.

Расчетная область содержит $k_{C0} + k_{P1} + k_{C1} + k_{P2} + k_{C2} + k_{P3} + k_{C3} + k_{P4} + k_{C4} + k_{P5} + k_{C5} + k_{P6} + k_{C6} + k_{P7} + k_{C7}$ -сегментов, каждый из которых включает одну лопатку и имеет протяженность в окружном направлении, равную шагу соответствующего лопаточного венца. Каждый из сегментов расчетной области дискретизируется с использованием гибридной Н–Н разностной сетки.

Трехмерный трансзвуковой поток идеального газа описывается в относительной декартовой системе координат полной нестационарной системой уравнений Эйлера, представленной в интегральной форме законов сохранения массы, импульса и энергии. Постановка граничных условий основана на одномерной теории характеристик.

Динамическая модель колеблющейся лопатки с использованием модального подхода приведена к системе обыкновенных дифференциальных уравнений относительно модальных коэффициентов собственных форм. Перемещения и скорость лопатки, полученные из решения динамической задачи, на каждой итерации используются в качестве граничных условий в аэродинамической задаче.

Выполнен расчет трехмерного нестационарного потока через компрессор без учета колебаний лопаток в течение одного оборота ротора и с учетом колебаний лопаток под действием мгновенных аэродинамических нагрузок в течение восьми оборотов ротора. Показано влияние смежных венцов на нестационарные аэродинамические нагрузки и режимы колебаний лопаток. Колебания лопаток ротора по всем формам являются устойчивыми. Рабочие лопатки 1-го лопаточного венца совершают устойчивые изгибные автоколебания с частотой, близкой к собственной частоте 1-й моды (~500 Гц) и крутильные автоколебания с частотами 1-й и 3-й мод (~ 500 Гц, 1900 Гц). Низкочастотные колебания рабочих лопаток 7-го венца характеризуются аэродемпфированием, причем логарифмический декремент затухания колебаний возрастает с увеличением жесткости лопатки и составляет 0.034 для лопаток 7-го венца. Следует отметить, что амплитуды вынужденных колебаний с высокими частотами пренебрежимо малы по сравнению с амплитудами автоколебаний.