

# ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОГО В ОКРУЖНОМ НАПРАВЛЕНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ЗА ПОСЛЕДНЕЙ СТУПЕНЬЮ ТУРБИНЫ НА АЭРОУПРУГОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЛОПАТОЧНОГО ВЕНЦА

Гнесин В.И., Колодяжная Л.В., Жандковски Р.

*Институт проблем машиностроения НАНУ, г. Харьков,*

*Институт проточных машин ПАН, г. Гданьск*

Проблема прогнозирования аэроупругого поведения лопаток и аэроупругой неустойчивости (автоколебания, флаттер, резонансные колебания) приобретает особую важность при разработке высоконагруженных компрессорных и вентиляторных венцов, а также последних ступеней турбин, длинные лопатки которых могут быть подвержены этим явлениям.

Для решения данной проблемы авторами предложен метод параллельно-последовательного по времени интегрирования уравнений течения идеального газа и уравнений колебаний лопаток (с использованием модального подхода) с обменом информацией на каждой итерации.

Представленный метод решения связанной аэроупругой задачи, позволяет прогнозировать амплитудно-частотный спектр колебаний лопаток в трехмерном потоке идеального газа, включая вынужденные, самовозбуждающиеся колебания и автоколебания с целью повышения экономичности и надежности лопаточных аппаратов турбомашин.

Трехмерное нестационарное трансзвуковое течение идеального газа через ступень осевой турбомашин описывается полной системой уравнений Эйлера, представленной в интегральной форме законов сохранения [1].

Для численного интегрирования исходных уравнений применяется разностная схема Годунова-Колгана 2-го порядка точности (по пространственным координатам и времени), обобщенной на случай произвольной пространственной деформируемой разностной сетки.

На основе решения связанной задачи аэроупругости выполнен численный анализ аэроупругого поведения лопаточного венца ротора последней ступени осевой турбины при неравномерном распределении давления за ступенью.

Показано, что основной вклад в нестационарные аэродинамические нагрузки определяется высокочастотной гармоникой (2400 Гц), вызванной шаговой неравномерностью потока за лопатками статора и низкочастотной гармоникой (50 Гц), вызванной окружной неравномерностью потока за ротором. Основной вклад в колебания лопаток вносят низкочастотная гармоника 50 Гц и автоколебания с частотой  $\sim 100$  Гц.

Предложенный метод позволяет прогнозировать амплитудно-частотный спектр колебаний лопаток осевой турбины, включая вынужденные и самовозбуждающиеся вибрации (флаттер, автоколебания).

## **Литература:**

1. В.И. Гнесин, Л.В. Колодяжная, Р. Жандковски. Численный анализ нестационарных нагрузок и аэроупругих колебаний лопаточного венца последней ступени турбомашин с учетом неравномерного в окружном направлении противодавления // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гидравлические машины и гидроагрегаты– Харьков : НТУ «ХПІ», 2015. – № 45 (). – 16-20с. – Библиогр.: 7 назв. – ISSN 2411-3441.