

АЭРОУПРУГОЕ ПОВЕДЕНИЕ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПОСЛЕДНЕЙ СТУПЕНИ ТУРБИНЫ НА НЕРАСЧЕТНОМ РЕЖИМЕ

Гнесин В.И., Колодяжная Л.В., Колесник А.А., Жандковски Р.
Институт проблем машиностроения НАН Украины, г. Харьков
Институт проточных машин ПАН, г. Гданьск

Необходимость проведения модернизации турбомашин для энергетического машиностроения не вызывает сомнения. Для обеспечения более высоких характеристик модернизируемых турбин необходимо использовать пространственное профилирование лопаточных аппаратов и проточной части в целом. Реализовать такое требование можно лишь с привлечением последних достижений вычислительной аэродинамики - современных методов расчета трехмерных течений в турбомашинах.

Течение в турбинных ступенях, особенно на нерасчетных режимах, сопровождается такими сложными явлениями, как переход через скорость звука, пространственные скачки уплотнения, взаимодействующие с пограничным слоем на лопаточных поверхностях, отрывные и «возвратные» течения, трехмерность потока, существенная нестационарность, аэроупругие эффекты, аэродинамическое взаимодействие пространственных решеток между собой и т.д., для которых нет достоверных математических моделей, а имеющиеся экспериментальные данные весьма ограничены. Изучение этих явлений и управление ими позволят вскрыть значительные резервы повышения экономичности и надежности лопаточных аппаратов.

Одной из наиболее сложных проблем при проектировании турбомшины является прогнозирование усталостных напряжений в рабочих лопатках. Эти напряжения возникают при колебаниях лопаток с частотами близкими к частотам собственных форм, совершаемых под действием внешних возмущений (вынужденные колебания) и в результате самовозбуждения (флаттер). Конструктору необходимо прогнозировать спектр колебаний лопаток, чтобы избежать их разрушения. Режим колебаний определяется соотношением возмущающих сил и сил механического демпфирования и аэродемпфирования. Если при колебаниях лопаток энергия основного потока подводится к лопаткам, происходит рост самовозбуждающихся колебаний (флаттер).

В настоящей работе предложен алгоритм и представлен численный анализ связанной аэроупругой задачи для ступени осевой турбомшины. Предложенный алгоритм позволяет рассчитывать трехмерный нестационарный поток, нестационарные силы, действующие на лопатки и их колебания при произвольном соотношении чисел лопаток статора и ротора.

Для постановки задачи аэроупругости турбинной ступени используется частично-интегральный метод, который включает последовательное интегрирование уравнений аэродинамики и упругих колебаний лопаток отдельно, но при этом решение, полученное в каждой из физических сред, используется в качестве граничного условия для другой среды на следующей итерации.