

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВХОДНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОТОКА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СТУПЕНИ ВЕНТИЛЯТОРА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

**О.В. Батурин, Е.С. Горячкин, В.М. Зубанов, Г.М. Попов,
А.И. Щербань**

Самарский университет, Самара,

oleg_baturin@ssau.ru, goryachkin.es@ssau.ru, zubanov.vm@ssau.ru,

popov@ssau.ru, korneeva.ai@ssau.ru

В условиях полета, в некоторых случаях, например, при сильном боковом ветре, полете со скольжением вбок и т.д., на входной кромке воздухозаборника возникает отрывное течение, которое приводит к тому, что поток на входе в вентилятор становится неравномерным. Это приводит к существенному снижению эффективности компрессора низкого давления (КНД) и двигателя в целом. Кроме того, входная неравномерность является причиной колебаний лопаток вентилятора, которые могут привести к их разрушению [1].

Как правило, исследование влияния входной неравномерности на рабочий процесс газотурбинных двигателей (ГТД) проводится во время натурных испытаний с самолетным воздухозаборником или его имитатором. Последний представляет собой комплекс сопротивлений (сеток, пластин, стоек), располагаемый между лемнискатным насадком и двигателем, создающим такое же неравномерное поле скоростей на входе в вентилятор, как и самолетный воздухозаборник на интересующем режиме полета (рис. 1) [2].

В настоящее время, в связи с развитием численных методов моделирования газодинамических процессов и прочностных расчетов, появилась возможность смоделировать влияние входной неоднородности на рабочий процесс вентилятора и двигателя в целом. Это позволит провести оценку влияния неоднородности еще на этапе расчетов, не прибегая к изготовлению большого числа опытных образцов. В итоге, еще на начальном этапе проектирования, будут отсеяны варианты конструкции,

неудовлетворительно работающие в указанных условиях, что существенно сократит время и затраты на разработку двигателя.

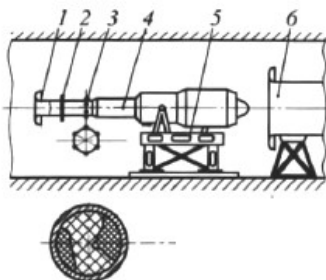


Рис. 1. Система испытания двигателя с имитатором входной неоднородности: 1 – лемнискатный насадок; 2 – имитатор; 3 – приборы, контролирующие неравномерность пото-ка; 4 – двигатель; 5 – тягоизмерительное устройство; 6 – эжекторная труба

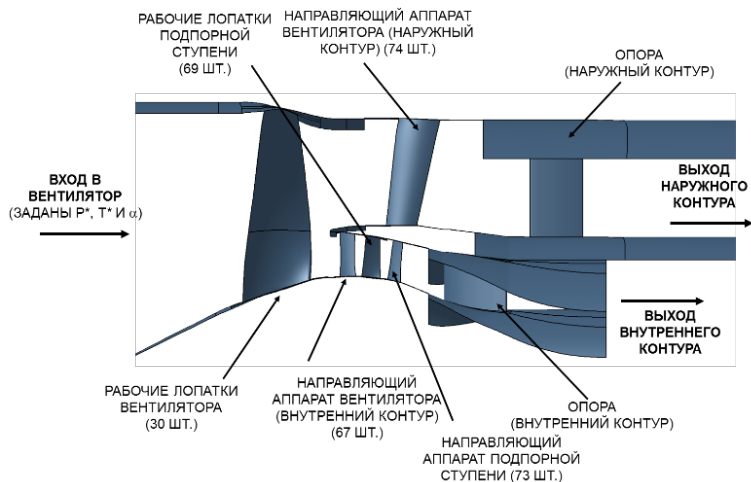


Рис. 2. Расчетная схема численной модели вентилятора ГТД

Геометрия расчетной области численной модели была создана в соответствии рабочими чертежами в программном комплексе Numesa FINE/Turbo. Расчетная область включала в себя входной участок, рабочее колесо (РК) и направляющие аппараты (НА) вентилятора, участок канала второго контура и вторую ступень КНД с опорой двигателя (рис. 2). При

построении численной модели учитывалась деформация рабочих лопаток вентилятора, величина которой была определена в результате трехмерного прочностного моделирования с учетом газодинамических нагрузок, определенных при газодинамическом моделировании вентилятора.

В качестве граничных условий на входе в расчетную область задавались значения полного давления $p^* = 101325$ Па и полной температуры $T^* = 288,15$ К. На выходе из каждого контура задавался расход рабочего тела. Соотношение расходов на выходе из каждого контура соответствовало требуемому значению степени двухконтурности.

Для выбора настроек расчетной сетки и модели турбулентности было создано несколько численных моделей с разной плотностью расчетной сетки и разными моделями турбулентности. С их помощью были рассчитаны характеристики и выполнено их сравнение с экспериментальными характеристиками. На основе проведенных исследований окончательно была выбрана расчетная сетка, содержащая около 7 млн. элементов, и модель турбулентности Spalart-Allmaras.

На втором этапе работы была создана численная модель, учитывающая имитатор входной неравномерности на входе в вентилятор (рис. 3). В такой постановке требуется нестационарное моделирование, поэтому численная модель вентилятора была упрощена. Был устранен разделитель контуров (задача стала одноконтурной), а в расчетная область стала содержать только РК и модельный НА («уделенный вверх» НА вентилятора внутреннего контура). Ко входной границе доменов вентилятора был пристроен входной участок, имитирующий входной канал двигателя с интерцептором. Его геометрия создана в программном комплексе Numesa IGG. Было создано несколько вариантов его геометрии, отличавшихся длиной, на которую был выдвинут интерцептор. Общее число конечных объемов расчетной модели, показанной на рис. 3 составило 4 млн. Сеточные модели доменов РК и НА были сделаны с настройками, определенными по результатам ранее выполненных исследований.

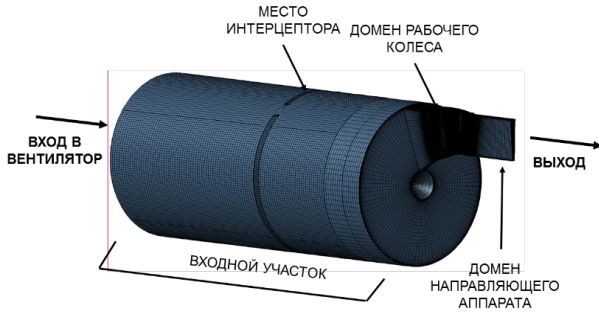


Рис. 3. Численная модель вентилятора с имитатором входной неравномерности

Затем была проведена серия квазинестационарных расчетов методом NLH, отличающихся расстоянием, на которое был выдвинут интерцептор. Анализ полученных результатов показал, что перекрытие проточной части входного канала интерцептором вызывает появление отрывной зоны на входе в вентилятор, которая оказывает существенное влияние на его рабочий процесс.

Количественная оценка влияния перекрытия проточной части входного канала на параметры рабочего процесса компрессора приведена на рис. 4.

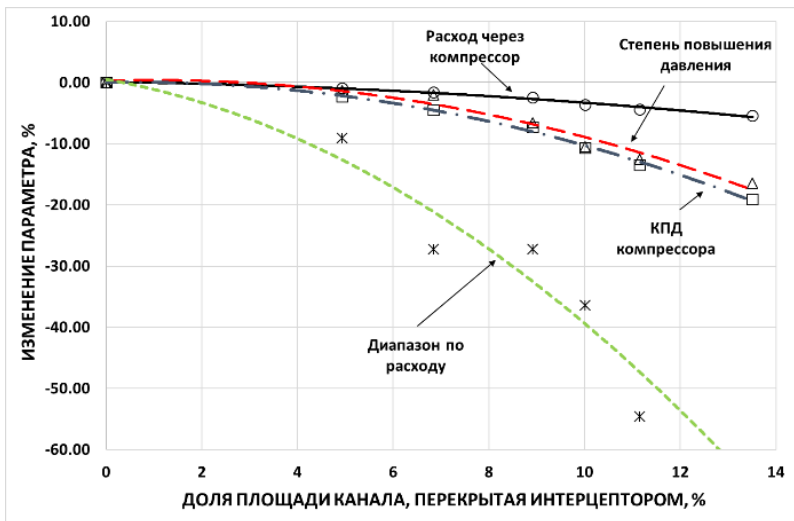


Рис. 4. Изменение параметров вентилятора в зависимости от положения интерцептором

Как видно из рис. 4, рост степени выдвижения интерцептора ухудшает параметры не линейно, а по параболической зависимости. Наименее всего изменится расход рабочего тела (при уменьшении площади входного канала на 10% снижается на 3%). Более всего изменяется разница между расходами запираания и срыва (при уменьшении площади канала на 10% снижается на 40%). При уменьшении площади канала на 10% КПД компрессора уменьшается на 11% (отн.), а степень повышения давления на 9%.

Литература

1. Кампти, Н. Аэродинамика осевых компрессоров [Текст] / Н. Кампти. М.: Мир, 2000. 688 с.
2. Зрелов В.А. Отечественные ГТД. Основные параметры и конструктивные схемы. Часть 2. Самара: СГАУ, 2002. 250 с.