

УДК 533.697.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ В КРИВОЛИНЕЙНОМ КАНАЛЕ С АКТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ СТРУКТУРОЙ ТЕЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ «СИНТЕТИЧЕСКИХ» СТРУЙ

© 2011 г.

Ю.Ф. Кашкин, А.Ю. Макаров, В.А. Степанов

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, Москва

step@ciam.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Представлены результаты экспериментов, проведенных на модельном диффузорном канале с генератором «синтетических» струй. Целью экспериментов являлось изучение воздействия «синтетических» струй на уровень потерь в канале. Получены данные о степени уменьшения уровня потерь в канале в зависимости от различных параметров генератора «синтетических» струй, таких как частота и мощность. Установлено, что на определенной скорости «синтетической» струи и при фиксированной ее частоте существует оптимальная мощность. Превышение этой мощности начинает уменьшать эффективность «синтетических» струй. Также было получено, что струи с большей частотой сильнее воздействуют на течение в канале. Сравнение эксперимента с расчетом, полученным с помощью RANS/ILES метода, показало, что данную методику расчета можно применять к подобным течениям. При помощи расчета было проведено исследование влияния генератора «синтетических» струй на режимах, которые не могли быть получены в эксперименте. Определены режимы, на которых применение генератора «синтетических» струй уменьшает потери вдвое, исследовано влияние формы и положения выходных отверстий для «синтетических» струй.

Ключевые слова: «синтетические» струи, активное управление потоком, управление отрывом потока.

При решении задачи создания перспективного, экономичного, экологически чистого самолета имеет большое значение применение новейших технологий, основанных на управлении течениями, заключающемся в воздействии на пограничный слой потоков, проходящих через двигатель и обтекающих поверхности летательного аппарата. Важной целью этого управления является устранение отрыва потока в канале или на профиле. Управлять отрывом можно с помощью отсоса/вдува потока в пограничный слой. Рассматривается вариант так называемого активного способа управления течением в диффузорных каналах турбореактивных двигателей, заключающегося в локальном энергетическом воздействии для достижения выгодных изменений во всей области течения. Проточная часть современного авиационного двигателя включает в себя переходные каналы – между компрессорами низкого и высокого давления, компрессором и камерой сгорания, турбинами высокого и низкого давления.

Представлены результаты экспериментального исследования генератора «синтетических»

струй (далее ГСС) для управления вторичными течениями в канале двигателя для снижения потерь. Экспериментальная установка (см. схему на рис. 1) представляет собой канал со степенью диффузорности $F_d = 2$, имитирующий переходный канал двигателя [1], с установленным на стенке ГСС. В качестве ГСС обычно рассматривается полость, имеющая одну или несколько подвижных стенок-мембран, и сообщаемая с основным потоком через отверстие. Средний расход воздуха через отверстие равен нулю, в поток подводятся только энергия и импульс. Струи генерировались 10 продольными щелями 20×0.5 мм, расположенными в зоне отрыва, расстояние между щелями составляло 10 мм. На рис. 2 представлена экспериментальная модель, подробно геометрия экспериментальной установки описана в [2].

В ходе экспериментов было получено, что при помощи «синтетических» струй можно влиять на характеристики отрывного турбулентного течения в криволинейном диффузорном канале на различных режимах течения. Полоса излучения ГСС была в диапазоне 50–700 Гц, а резонанс в диапазоне 100–200 Гц.

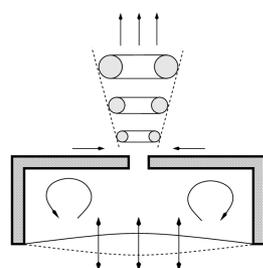


Рис. 1

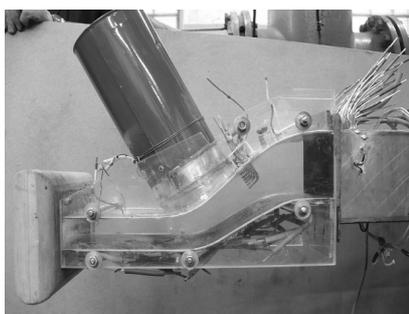


Рис. 2

При оптимальном выборе параметров «синтетической» струи можно добиться снижения уровня потерь более чем на 20%, подводимая при этом мощность не превышает 50 Вт на 1 кг/с расхода воздуха в канале. Были получены зависимости степени уменьшения потерь от частоты ГСС при различных мощностях излучателя. На рис. 3 представлен график снижения потерь в зависимости от числа Маха на входе в диффузор.

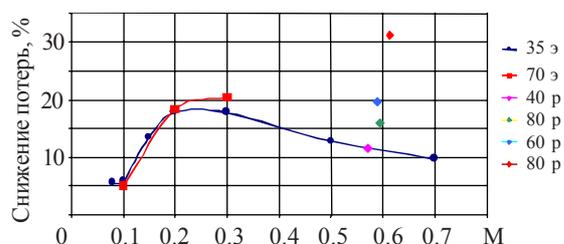


Рис. 3

Показаны экспериментальные данные, мощность 25 Вт, пиковая скорость «синтетической» струи 35 м/с; экспериментальные данные, мощность 55 Вт, пиковая скорость «синтетической»

струи 70 м/с; расчетная точка, пиковая скорость «синтетической» струи 40 м/с; расчетная точка, пиковая скорость «синтетической» струи 80 м/с; расчетная точка, пиковая скорость «синтетической» струи 60 м/с; расчетная точка, пиковая скорость «синтетической» струи 80 м/с, повышенная частота. Из этих зависимостей можно сделать вывод, что на определенной скорости и при фиксированной частоте существует оптимальная мощность, и превышение этой мощности начинает уменьшать эффективность «синтетических» струй.

С помощью комбинированного RANS/ILES метода [3], были проведены расчеты течения в диффузорном канале на различных режимах. На рис. 3 можно видеть хорошее совпадение расчета и эксперимента.

В расчетах получено, что при исследованной геометрии щелей для «синтетической» струи с частотой 400 Гц, амплитудой скорости 80 м/с, при относительной скорости на входе в канал $M = 0.62$, можно снизить потери в диффузоре в два раза. Подводимая мощность при этом составляла около 50 Вт на 1 кг/с расхода воздуха в канале. В общем случае подводимая мощность варьировалась от 50 до 100 Вт. И в расчете, и в эксперименте было установлено, что струи с большей частотой оказывают более сильное воздействие на течение в канале.

В исследовании и получении результатов с помощью RANS/ILES метода принимал участие Д.А. Любимов.

Список литературы

1. Кашкин Ю.Ф. и др. Исследование пространственных течений в диффузорных каналах // ТВФ. 2009. Т. LXXXIII, № 1(694). С. 65–70.
2. А.Ю. Макаров и др. Численное и экспериментальное исследование нестационарного течения в криволинейном канале с возможностью активного управления структурой течения с помощью синтетических струй и верификацией численных методов // Сб. тез. III Междунар. научно-техн. конф. 2010. С. 917–918.
3. Любимов Д.А. Применение комбинированного RANS/ILES-метода для исследования отрывных пространственных турбулентных течений в криволинейных диффузорах // ТВТ. 2010. Т. 48, №2. С. 279–289.

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF UNSTEADY FLOW IN A CURVILINEAR CHANNEL WITH AN ACTIVE CONTROL FLOW STRUCTURE WITH A «SYNTHETIC» JET

Yu. F. Kashkin, A. Yu. Makarov, V. A. Stepanov

The results of experiments conducted on a model of the diffuser channel with a generator of «synthetic» jets are presented. The aim of the experiments was to study the effect of «synthetic» jets on the level of losses in the channel. The data is obtained about the degree of decrease in the level of losses in the channel, depending on various parameters of the generator of «synthetic»

jets, such as frequency and power. It is found that at a certain speed and a fixed frequency of «synthetic» jets there is an optimum capacity. Exceeding this capacity begins to diminish the effectiveness of the «synthetic» jets. Also, it was found that jets with greater frequency have a greater effect on the flow in the channel. Comparison of the experiment with the calculations conducted using the RANS / ILES method showed that this method of calculation can be applied to such flows. With the help of calculations the influence of the generator of «synthetic» jet was investigated using the regimes that could not be obtained in the experiment. The modes in which application of the generator of «synthetic» jets reduces losses by half were investigated. Also, the effect of shape and position of the outlets for the «synthetic» jet was studied.

Keywords: «synthetic» jet, active flow control, flow separation control.