

УДК 621.431.75

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗОНЫ ОБРАТНЫХ ТОКОВ ТРЕХМЕРНОЙ
МОДЕЛИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА ANSYS FLUENT**© 2011 В. В. Бирюк, М. Ю. Орлов, И. А. Зубрилин,
Ю. А. Синеговский, А. В. КривцовСамарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

В статье описывается численное моделирование зоны обратных токов на трёхмерной модели камеры сгорания авиационного ГТД. Исследование проводилось при различных углах установки лопаток в завихрителе. Приведены графики зависимостей, связывающие между собой параметр крутки и геометрические характеристики зоны обратных токов.

Численное моделирование, камера сгорания, зона обратных токов, параметр закрутки.

В настоящее время существует большое количество теорий, объясняющих вихревой эффект. Между тем использование их на практике ограничивается, в основном, созданием устройств, обеспечивающих разделение тепловых потоков (вихревых труб). Вместе с тем, математические модели и подходы, используемые в теории вихревого эффекта, могут быть реализованы и для расчёта большого количества различных технических устройств и их элементов. Одним из наиболее важных приложений теории вихревого эффекта может стать её применение в расчётах элементов камер сгорания авиационных ГТД. Подобный подход мог бы обеспечить расчёты параметров течений с закруткой, стабилизации пламени и т.д. Правомерность этого следует из большого количества работ по камерам сгорания ГТД, например [1, 2].

Одной из важных задач для совершенствования рабочего процесса камер сгорания ГТД является формирование зон рециркуляции фронтным устройством, используемых, например, для стабилизации пламени. Задача фронтного устройства - создание аэродинамической структуры потока, благодаря которой обеспечивается воспламенение свежей горючей смеси и создаются условия для образования устойчивого фронта пламени. Фронтные устройства чаще всего выполняются в виде лопаточных завихрителей, создающих пе-

риферийный закрученный кольцевой поток.

Еще в ранних работах по расчёту рабочего процесса КС ГТД [1] для индивидуальной камеры сгорания указывалось, что поля скоростей, полученные при продувке как холодной, так и работающей камер, указывают на сходство в структуре потока обеих. Струи воздуха, вытекающие из межлопаточных каналов завихрителя, движутся вдоль стенок переходного конуса, а затем вдоль цилиндрической части жаровой трубы. К внутренней свободной поверхности этих струй, образующих тело вращения, подсасывается вследствие турбулентного обмена газ из центральных участков жаровой трубы. Поэтому в центральной части жаровой трубы образуется устойчивый ток газа навстречу основному потоку - зона обратных токов. В [1] также указывалось, что при работе камеры сгорания размеры зоны обратных токов оказываются меньше, чем при холодной продувке. В [1] приведены данные экспериментального исследования влияния угла установки лопаток завихрителя на границы зон обратных токов. Отмечено, что в диапазоне изменения угла установки лопаток от 47 до 62° границы зоны обратных токов изменяются мало. В [2] представлены данные о влиянии углов установки лопаток на размеры циркуляционной зоны при изменении угла установки лопаток: 50°, 60°, 70°

(тип и особенности камеры сгорания не указаны).

В рамках освоения САЕ-систем было решено выполнить численный расчёт по оценке влияния угла установки лопаток на размеры зоны обратных токов. В программе Компас-3D на основе реальных размеров камеры сгорания широко используемого на газоперекачивающих установках конверсированного двигателя была выполнена трёхмерная модель отсека камеры сгорания, у которой завихритель имел несколько вариантов установки лопастей (рис.1).

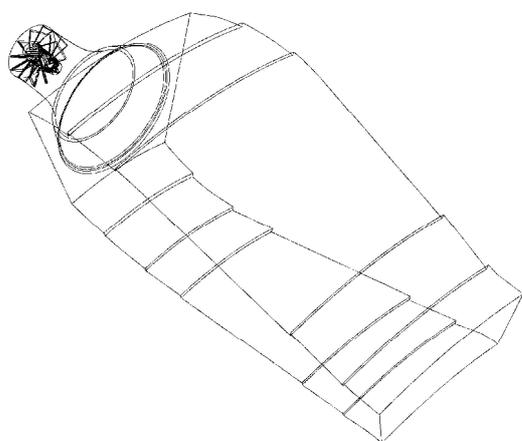


Рис.1. Геометрическая модель камеры сгорания

Затем данная модель посредством разбиения была преобразована в сеточную (рис.2).

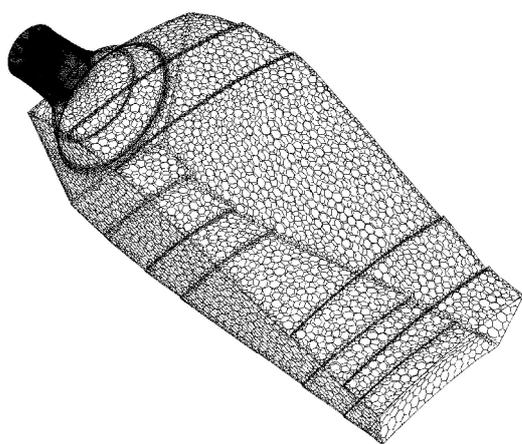


Рис.2. Сеточная модель

Полученная сеточная модель в дальнейшем была транспортирована в пакет Ansys Fluent для численных расчётов. Анализ полученной картины течений по-

казал, что она не противоречит имеющимся по этому вопросу представлениям (рис.3). На следующем этапе определялись характеристики зоны обратных токов, граница которой была задана как геометрическое место точек, в которых скорость равна нулю (рис.4). В ходе дальнейших расчётов были определены характеристики зоны обратных токов: положение её конца относительно плоскости завихрителя, положение максимального по площади её сечения от этой же точки отсчёта и максимальный диаметральный габарит плоскости обратных токов (рис.5).

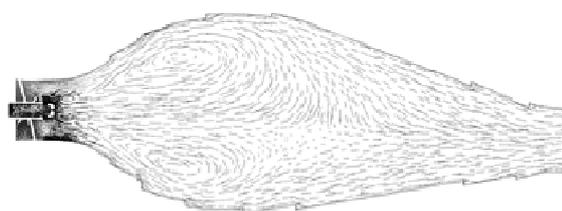


Рис.3. Картина течений в камере сгорания

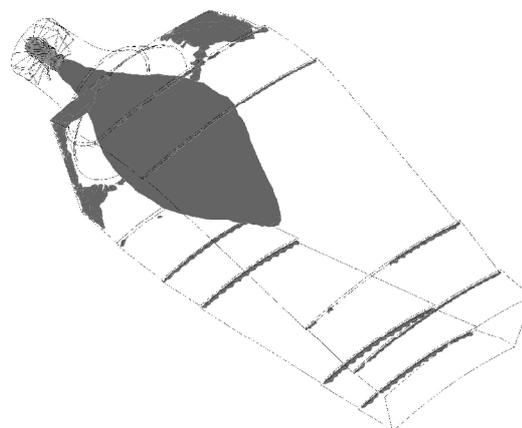


Рис.4. Вид зоны обратных токов для одного из вариантов установки лопаток завихрителя

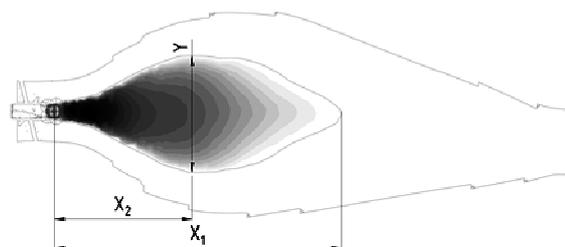


Рис.5. Параметры зоны обратных токов, определяемые в ходе расчетов

Расчёты проводились для нескольких вариантов установки лопаток. При этом удалось выявить несколько типичных случаев: зона обратных токов, не соединённая с завихрителем и расположенная далее по потоку (срыв), зона обратных токов за завихрителем и зона обратных токов, начинающаяся в завихрителе (проскок пламени) (рис.6). На базе всех расчётов были построены зависимости параметров зоны обратных токов от угла установки лопатки.

В настоящее время не существует единого параметра крутки, по которому можно судить о степени закрученности струи.

Иногда в качестве такого параметра выбирают $S = \frac{M}{KR}$, где M – момент количества движения потока струи, постоянный вдоль струи; K – количество движения потока струи; R – характерный размер, например, радиус выходного сопла.

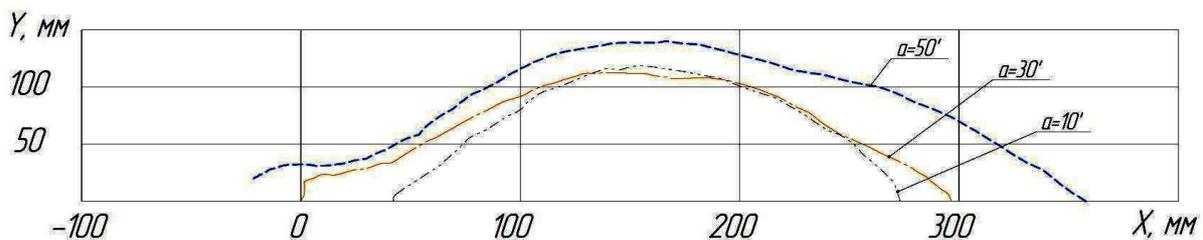


Рис.6. Изменение внешнего вида зоны обратных токов в зависимости от угла установки лопаток завихрителя, α – угол установки лопаток завихрителя

В данной работе были использованы подходы работы [3], так как они вполне соответствуют турбулентным течениям в виде тел вращения. В результате были построены графики зависимостей, связывающих между собой параметр крутки и геометрические характеристики зоны обратных токов. Поэтому данные о параметрах зоны обратных токов были перестроены в зависимости от выбранного параметра крутки S (рис.7 и 8).

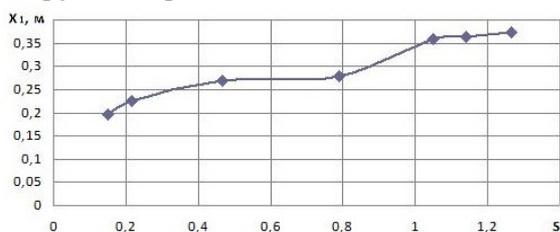


Рис.7. Длина зоны обратных токов в зависимости от параметра крутки

Р. Р. Лонгом для описания закрученного движения на оси вращения был введён параметр, известный как параметр Россби: W_t / W_a , где W_t и W_a – средние по расходу значения тангенциальной и аксиальной составляющих скорости. В работе [3] в качестве параметра оценки крутки потока выбрано отношение максимальных значений тангенциальной и аксиальной компонент скорости. В некоторых работах считается, что для определения закручивающих способностей завихрителей надо использовать безразмерную характеристику, предложенную Г. Н. Абрамовичем [4] для расчёта центробежных форсунок,

$$A = \frac{R v_{\Gamma}}{R_c v_a}, \text{ где } R - \text{расстояние от оси камеры}$$

закручивания до оси входного канала круглого сечения радиуса $r_{\text{вх}}$ или до средней линии ширины канала при прямоугольном сечении.

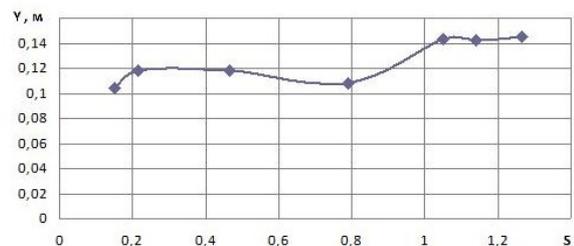


Рис.8. Средний диаметр зоны обратных токов в её миделевом сечении в зависимости от параметра крутки

Затем был построен график, на котором представлена зависимость параметра крутки от угла установки лопаток (рис.9). Поскольку эта зависимость оказалась фактически линейной, можно утверждать, что выбранный параметр крутки позволяет оценивать степень закрученности потока в камере сгорания ГТД. Это косвенно подтверждает результаты, полученные в [3].

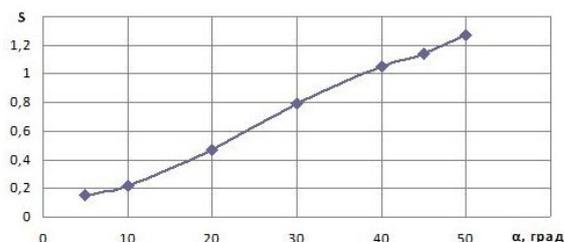


Рис.9. Зависимость параметра крутки от угла установки лопаток

В результате выполненной работы можно сделать следующие выводы:

- численное моделирование зон обратных токов в САЕ-системе позволяет иметь результаты, получение которых экспериментальным путём весьма затруднено (например, из-за погрешностей, вносимых датчиками статического и полного давлений и большого количества необходимых замеров);

- в ходе численного моделирования были получены результаты, хорошо согласующиеся с теорией, высказанной авторами [3];

- на основе расчёта конфигурации зон обратных токов можно с определённой

степенью точности прогнозировать срывные характеристики камер сгорания ГТД;
– полученная методика может использоваться при подготовке инженеров-конструкторов авиационных двигателей.

Библиографический список

1. Михайлов, А. И. Рабочий процесс камер сгорания газотурбинных двигателей [Текст]/ А. И Михайлов, Г. М. Горбунов, В. В. Борисов // Труды МАИ. Вып. 106.- М.: Оборонгиз, 1959. - 286 с.
2. Лефевр, А. Процессы в камерах сгорания ГТД [Текст]/ А. Лефевр. - М.: Мир, 1986. – 566 с.
3. Устименко, Б. П. Аэродинамика закрученной струи [Текст]/ Б.П. Устименко, О.С. Ткацкая // Проблемы теплоэнергетики и прикладной теплофизики. - Алма-Ата: Наука, 1970. -№6. - С. 211-216.
4. Абрамович, Г. Н. Прикладная газовая динамика / Г. Н. Абрамович.- М.: Гостехиздат, 1953. - 736 с.

SPECIFYING THE DIMENSIONS OF THE REVERSE CURRENT AREA OF A 3-D GAS-TURBINE ENGINE COMBUSTION CHAMBER MODEL USING THE ANSYS FLUENT SOFTWARE

© 2011 V. V. Biryuk, M. Y. Orlov, I. A. Zubrilin, Y. A. Sinegovskiy, A. V. Krivtsov

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

The paper describes numerical modeling of the reverse current area using a three-dimensional model of an aviation gas turbine engine combustion chamber. The research was carried out at various angles of installing blades in a swirler. Graphs of the twist parameter versus geometrical characteristics of the reverse current area are presented.

Numerical simulation, combustion chamber, zone of reverse currents, twist parameter.

Информация об авторах

Бирюк Владимир Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: teplotex_ssau@bk.ru. Область научных интересов: вихревой эффект, теплообмен.

Орлов Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: adler65@mail.ru. Область научных интересов: процессы горения, двигатели внутреннего сгорания, процессы тепломассообмена и диффузии, CALS-технологии.

Зубрилин Иван Александрович, инженер Научного образовательного центра газодинамических исследований. E-mail: zubrilin416@mail.ru. Область научных интересов: процессы горения, двигатели внутреннего сгорания, процессы тепломассообмена и диффузии, CALS-технологии.

Синеговский Юрий Алексеевич, аспирант, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: Sinegovsky@gmail.com. Область научных интересов: процессы горения, двигатели внутреннего сгорания, процессы тепломассообмена и диффузии, CALS-технологии.

Кривцов Александр Васильевич, студент, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: Krivcov63@mail.ru. Область научных интересов: Процессы горения, двигатели внутреннего сгорания, процессы тепломассообмена и диффузии.

Vladimir V. Biryuk, professor of engineering science associate professor, of the department of heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: teplotex_ssau@bk.ru. Area of research: vortex effect, heat exchange.

Mikhail Y. Orlov, candidate of engineering science, associate professor of the department of heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: adler65@mail.ru. Area of research: combustion processes, internal combustion engines, processes of heat exchange and diffusion, CALS- methods.

Ivan A. Zubrilin, engineer, Center scientific educational of gasdynamic studies. E-mail: zubrilin416@mail.ru. Area of research: combustion processes, internal combustion engines, processes of heat exchange and diffusion, CALS- methods.

Yuriy A. Sinegovskiy, post-graduate student, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: Sinegovsky@gmail.com. Area of research: combustion processes, internal combustion engines, processes of heat transfer and diffusion, CALS- methods.

Alexander V. Krivtsov, student, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: Krivcov63@mail.ru. Area of research: combustion processes, internal combustion engines, processes of heat exchange and diffusion.