

- ния ВРД по термогазодинамическим параметрам – М.: Машиностроение, 1983. – С. 206.
3. Гишваров А.С., Приб И.В. Эффективность методов параметрической диагностики состояния газотурбинных двигателей. // Вопросы теории и расчета рабочих процессов тепловых двигателей. Уфа, УГАТУ, 2002. № 20 – С. 157–169.
  4. Приб И.В. Повышение достоверности оценки технического состояния двигателей в условиях ограниченной исходной информации. // Сб. науч. трудов “Вестник УГАТУ”, Уфа, УГАТУ, 2002. – С. 208–211.
  5. Гишваров А.С., Приб И.В. Оценка технического состояния двигателей в условиях ограниченной информации по термогазодинамическим параметрам. // Сб. трудов ЦАГИ, Москва, 2001 г.

### **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ РАЗБАВЛЕНИЯ НА ВЫХОДНОЕ ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ С ПОВОРОТОМ ПОТОКА ПЕРЕД ТУРБИНОЙ**

Кузнецов С.Ю., Харитонов В.Ф.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

Анализ развития газотурбинных двигателей показывает, что параметры воздуха перед камерой сгорания непрерывно возрастают. В настоящее время величина полного давления за компрессором достигает 3,5...4,0 МПа, а температура 800...900 К. С уменьшением коэффициента избытка воздуха сокращается длина камеры сгорания. Несмотря на рост температуры газа и уменьшение длины камеры, неравномерность поля температур на выходе из камеры сгорания должна сохраняться на том же уровне, что и ранее. Таким образом, обеспечение приемлемой температурной неравномерности газа перед сопловым аппаратом турбины усложняется и остается по-прежнему одной из главных и трудоемких задач при доводке камер сгорания.

Форма поля температуры газа на выходе из камеры является результатом взаимодействия сложных пространственных течений в жаровой трубе, что трудно поддается аналитическому описанию. В связи с этим одним из возможных путей решения задачи доводки является выявление влияния основных геометрических и режимных параметров камеры на поля температур. Исследования можно проводить либо на моделях камер сгорания в упрощенных условиях без горения топлива, либо на отсеках, либо на полноразмерных камерах сгорания. Наряду с экспериментальными методами возможно применение численных методов моделирования газодинамиче-

ских процессов.

В данной работе с помощью метода конечно-элементного анализа проводится исследование влияния числа отверстий в поясе зоны разбавления, угла подачи струй в зону разбавления и гидродинамического параметра  $q$  на формирование полей температуры газа перед турбиной. При этом рассматривается камера сгорания модульного типа с радиальным расположением жаровых труб. Решение задачи обеспечения требуемой неравномерности температуры газа перед турбиной в камерах такого типа осложняется наличием криволинейного канала газосборника [1], поворот потока в котором оказывает существенное влияние на распределение параметров газа на выходе. В качестве инструмента для моделирования течения выбран программный комплекс конечно-элементного анализа ANSYS/Flotran.

Расчетная геометрическая модель состояла из участка жаровой трубы, соответствующего зоне разбавления камеры сгорания, конфузора, прямолинейного цилиндрического участка и кольцевого сектора поворотного газосборника [2]. Угловой размер сектора газосборника составляет  $36^\circ$ .

Величина максимальной неравномерности температурного поля вычислялась по формуле

$$\Delta\Theta_{\text{MAX}} = \frac{T_{\Gamma_{\text{max}}}^* - T_{\Gamma_{\text{cp}}}^*}{T_{\Gamma_{\text{cp}}}^* - T_{\text{K}_{\text{cp}}}^*},$$

где  $T_{\Gamma_{\text{max}}}^*$  – максимальная температура газа на выходе из камеры сгорания;  $T_{\Gamma_{\text{cp}}}^*$ ,  $T_{\text{K}_{\text{cp}}}^*$  – среднemasовые значения температуры газа на входе и выходе камеры сгорания.

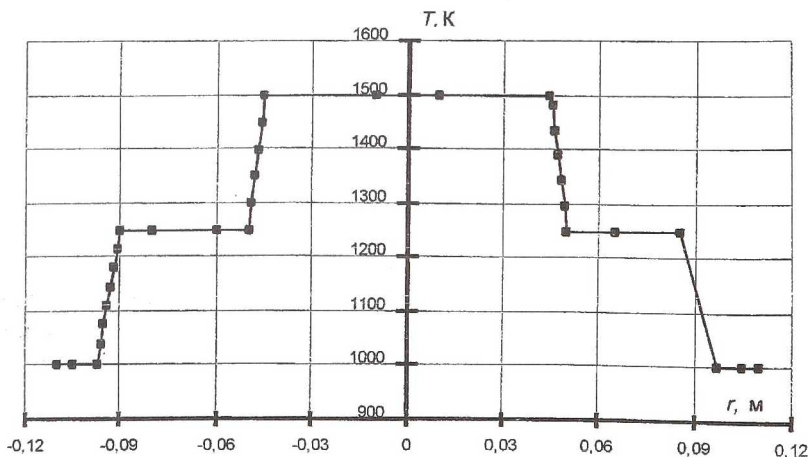


Рис. 1. Распределение температуры потока на входе

Для имитации поля температуры потока газов, поступающих из зоны горения, входная температура потока соответствовала распределению, представленному на рис. 1. Влияние числа разбавительных отверстий  $n$  на распределение температуры оценивалось по результатам моделирования для значений  $n = 6; 9; 12; 15$ . Расход основного воздуха и расход через отверстия сохранялся постоянным:  $G_{OCH} = 1,3$  кг/с;  $G_P = 30\%G_{OCH}$ . Диаметр отверстий  $d = 20$  мм; температура разбавительного воздуха  $T_P = 573$  К. Сравнение температуры потока проводилось в двух сечениях канала: перед входом в газосборник (рис. 2) и выходном (рис. 3).

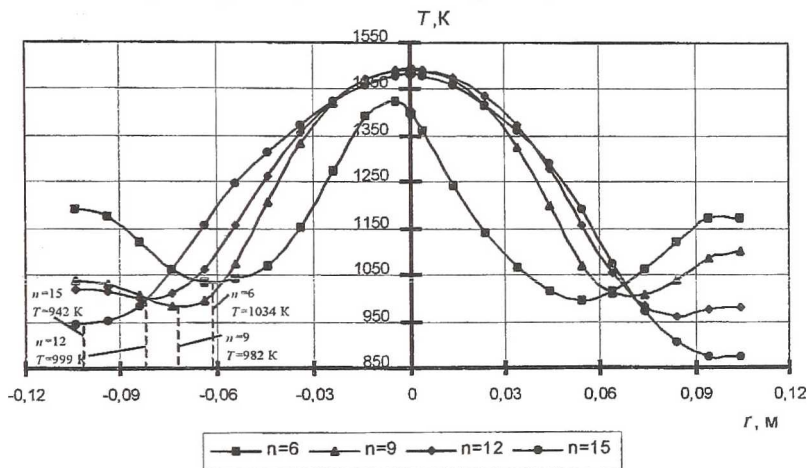


Рис. 2. Распределение температуры перед входом в газосборник при различном числе разбавительных отверстий

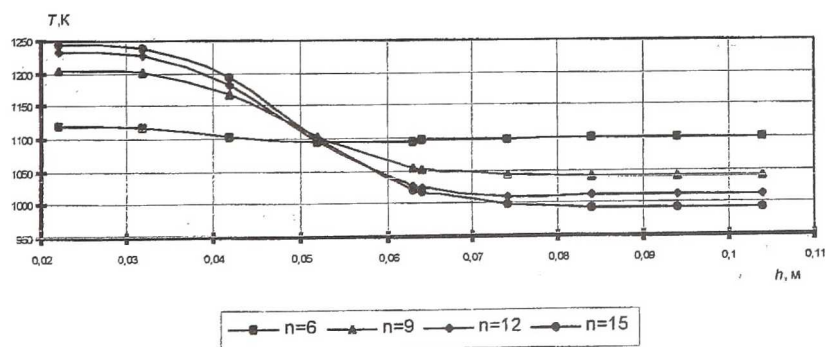


Рис. 3. Распределение температуры по высоте выходного сечения газосборника

Так как расход воздуха через отверстия оставался постоянным, соответственно с уменьшением количества отверстий скорость струи увеличивалась. Для числа отверстий  $n = 6$  скорость струи и глубина ее проникновения максимальны. Вследствие этого минимумы температуры с уменьшением числа отверстий смешаются к оси жаровой трубы. Увеличение числа отверстий в поясе при постоянном расходе разбавительного воздуха приводит к захлаживанию потока у стенок жаровой трубы, в то время как температура в ядре практически не изменяется. Увеличение глубины проникновения способствует также более интенсивному перемешиванию холодного разбавительного воздуха с горячим ядром основного потока. Поэтому в случае с шестью отверстиями разброс температур на выходе по высоте сектора газосборника наименьший из всех рассмотренных случаев (см. рис. 3).

Увеличение числа отверстий при сохранении расхода воздуха через них приводит к значительному увеличению максимальной неравномерности поля температур на выходе из газосборника (рис.4).

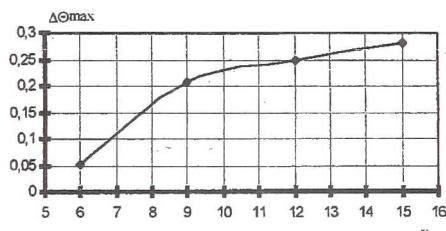


Рис. 4. Зависимость величины максимальной неравномерности от числа отверстий

струе и в основном потоке имеют противоположное направление.

Моделирование течения осуществлялось при неизменной геометрии с фиксированным общим расходом и расходом через пояс отверстий, а также с постоянным значением уровня статического давления.

Влияние угла вдува струй на формирование температурных полей и на максимальную неравномерность выходного поля можно проследить по графикам на рис. 5 и 6. На рис. 5 показано распределение температуры в поперечном сечении жаровой трубы, расположенном перед входом в газосборник. При угле  $-60^\circ$  струи имеют большую глубину проникновения. Основной поток при этом затрачивает энергию на разворот струи. В результате разворота происходит лучшее перемешивание струй с основным потоком. Горячее ядро в этом случае имеет наименьшие размеры.

Наибольший перепад температур в выходном сечении наблюдается при подаче струй разбавительного воздуха под углом  $\varphi = 60^\circ$ . При этом

Влияние угла вдува струй разбавительного воздуха определялось при значениях  $\varphi = -60^\circ; -30^\circ; 0^\circ; 30^\circ; 60^\circ$ . За точку отсчета (нулевое значение  $\varphi$ ) принято направление вдува струи, нормальное к оси жаровой трубы. Знак «минус» означает, что продольные компоненты скорости в

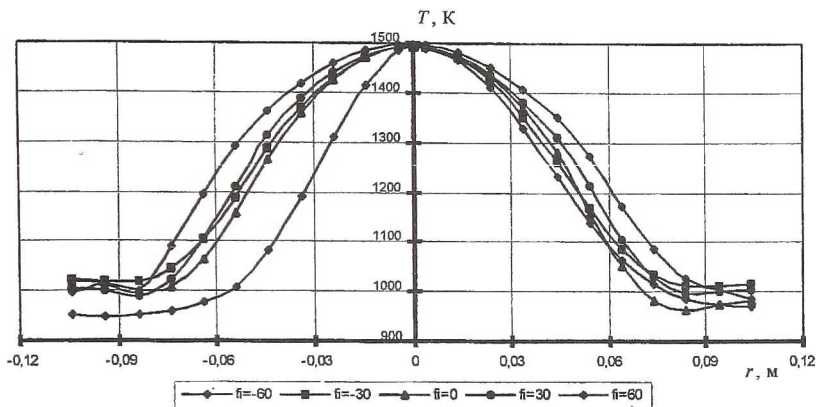


Рис. 5. Влияние угла вдува струй на распределение температуры перед газосборником

угле струи прижимаются основным потоком к стенкам жаровой трубы и их смешение со сносящим потоком ухудшается. Максимальная неравномерность поля температур на выходе имеет наименьшее значение при угле вдува  $\varphi = -60^\circ$ , что объясняется наибольшей глубиной проникновения и лучшим перемешиванием. В диапазоне значений угла вдува  $\varphi = -30^\circ \dots +30^\circ$  не происходит заметного изменения величины неравномерности. При дальнейшем увеличении угла максимальная неравномерность температурного поля увеличивается (рис. 6).

В представленных выше результатах моделирования изменялся только один параметр. Гидродинамический параметр  $q$  представляет собой отношение скоростных напоров струи и основного потока. Исследование влияния параметра  $q$  проводилось моделирование в два этапа. На каждом из этапов фиксировались параметры основного потока, а вариацией параметров вдуваемых струй получалось то или иное значение  $q$ .

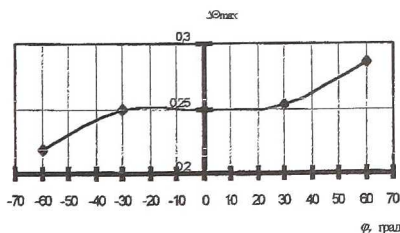


Рис. 6. Максимальная неравномерность температурного поля на выходе при различных углах вдува струй

На первом этапе параметры основного потока имели следующие значения: распределение температуры соответствовало распределению на рис. 1 со значениями 1600...2000...2500 К; скорость 150 м/с. При этом температура воздуха в струе составляла 580 К, а значения скорости брались из диапазона 50...100 м/с. Уровень статического давления в потоке  $p = 1$  МПа. Таким путем были по-

лучены следующие значения  $q = 0,38; 0,65; 1,11; 1,53$ .

Увеличение значения  $q$  в полученных на первом этапе пределах не приводит значительному увеличению глубины проникновения поперечных струй с основной поток. В этом случае наблюдается интенсификация процесса смешения лишь у стенок жаровой трубы. Ядро потока во всех случаях проходит в газосборник не затронутым.

На втором этапе газодинамические параметры основного потока были изменены и зафиксированы на другом уровне: скорость 60 м/с; уровень статического давления в потоке 2 МПа. Температура основного потока осталась без изменений. Температура в струях составляла 720 К. Таким образом были получены значения гидродинамического параметра  $q = 1,93; 3,26; 5,57; 7,71; 9,17; 11,1$ .

При полученных значениях  $q$  и при указанных граничных условиях глубина проникновения струй существенно возросла. На графиках распределения температуры на входе в поворотный газосборник (рис.7), видны следы вдуваемых струй. При этом уменьшаются размеры горячего ядра потока.

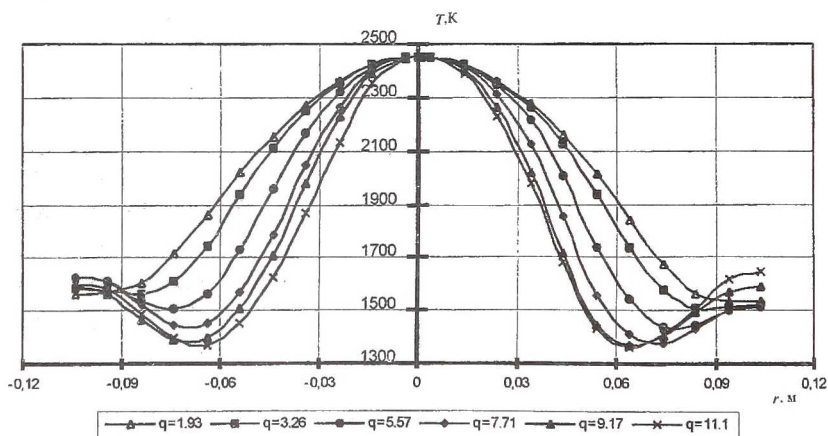


Рис. 7. Температурные эпюры на входе в газосборник: при  $q = (1,93...11,1)$

С возрастанием значения  $q$  в выходном сечении газосборника наблюдается выравнивание эпюр температуры вследствие улучшения процесса перемешивания струй (см. рис. 8). Величина максимальной неравномерности температурного поля в выходном сечении возрастает при увеличении  $q$  до значений 5,5...6. Дальнейшее увеличение гидродинамического параметра до 11,1 приводит к снижению максимальной температурной неравномерности. На рис. 9 показано изменение неравномерности температурного поля на выходе из газосборника в диапазоне изменения  $q$  от 0,38 до 11,1.

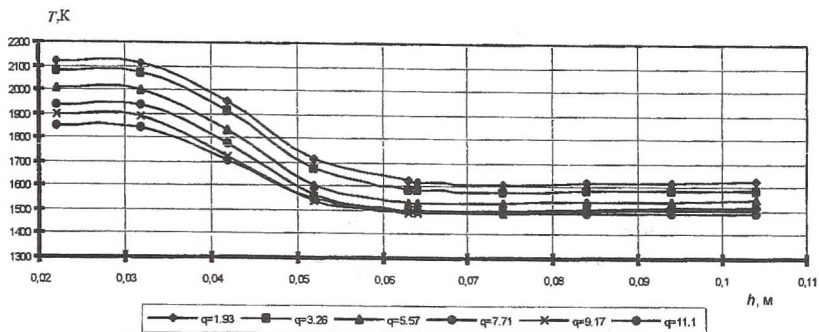


Рис. 8. Распределение температуры потока по высоте выходного сечения газосборника:  $q = (1,93...11,1)$

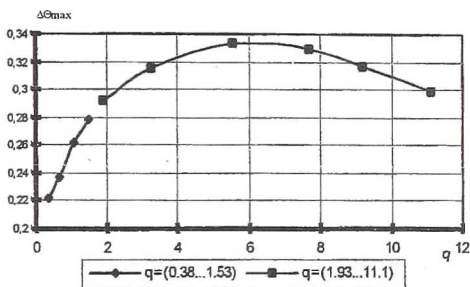


Рис. 9. Зависимость максимальной температурной неравномерности на выходе от гидродинамического параметра  $q$

Проведенные модельные эксперименты позволяют выявить закономерности влияния рассмотренных параметров зоны разбавления на максимальную неравномерность температурного поля на выходе из камеры сгорания модульного типа. Полученные результаты дают возможность провести не только качественный, но и количественный анализ

влияния параметров течения на формирование температурного поля при повороте потока на тот или иной угол. Данные анализа могут использоваться при проектировании и доводке камер сгорания газотурбинных установок, в которых применяется радиальное расположение жаровых труб.

#### Список литературы

1. Гребенюк Г.П., Коновалова А.В., Харитонов В.Ф. Газодинамический анализ камеры сгорания модульного типа для энергетической ГТУ. // Изв. вузов. Авиационная техника. 2002. № 2. С.73-75.
2. Кузнецов С.Ю., Харитонов В.Ф. Решение задач о распространении поперечных струй в сносящем потоке // Сборник трудов 2-й конференции пользователей программного обеспечения CAD-FEM GmbH, Москва, 25-26 апреля 2001, с. 460 - 463.