

УДК 621.438

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОРЕЛОК ДВУХЗОННЫХ КАМЕР СГОРАНИЯ

© 2014 Д.Ю. Бантиков, О.В. Гречишников, В.В. Роголёв, А.Д. Росляков, Ю.И. Цыбизов

ОАО «КУЗНЕЦОВ», г. Самара

Приведены материалы по дефекту в двухзонных камерах сгорания наземного применения, возникающего под действием высоких температур при работе в условиях эксплуатации. Представлена конструкция базовой горелки с лопаточным завихрителем. Требовалось усовершенствовать горелку с помощью минимальных изменений базовой конструкции. Разработаны мероприятия по устранению прогорания элементов гомогенных горелок для доработки имеющихся в заделе двухзонных камер сгорания. Выбраны шесть вариантов горелок, получаемых путём механической обработки втулки базовой горелки. В доработку входило изменение диаметра центрального отверстия, полное удаление втулки и постановка вместо неё щелевого насадка. Представлены результаты экспериментальных работ на стендовом оборудовании по определению пропускных способностей восьми вариантов горелок от давления воздуха за компрессором и по формированию поля давления за срезом горелок в виде графических зависимостей. В двух вариантах рассматривается использование горелки с перфорированной решёткой, отличающейся от базовой серийной горелки. Результаты исследования последних двух вариантов приводятся с целью поиска новых направлений в решении задачи повышения надёжности горелок. Выбран оптимальный способ доводки горелки по устойчивости к перегревам в поставленных начальных условиях.

Гомогенная горелка, завихритель, доводка горелок, дефект, прогары, эпюра давления.

При доводке опытной камеры сгорания газотурбинных установок (ГТУ) для работы газоперекачивающих агрегатов одной из важнейших задач является обеспечение на стационарных и переходных режимах требуемого теплового состояния её элементов. Данное требование позволяет сохранить камеру сгорания в работоспособном состоянии на протяжении всего назначенного ресурса её эксплуатации [1]. Несмотря на то, что в современных условиях достижение низких уровней эмиссии вредных веществ во всём диапазоне рабочих режимов ГТУ является приоритетной задачей, создание камеры сгорания, удовлетворяющей требованиям по надёжности конструкции, остаётся по-прежнему актуальным. Именно об этом пойдёт речь в этой статье, а точнее – об устранении дефекта «прогорание элементов гомогенных горелок двухзонной камеры сгорания в эксплуатации», приводящего к досрочным съёмам опытных двигателей.

Идея разделения общего объёма камеры сгорания условно на две зоны, отличающихся по методу организации горения топлива, является весьма эффективной, и поэтому она нашла широкое применение в создании современных малотоксичных двигателей.

Двигатель с рассматриваемой опытной камерой сгорания был снят с эксплуатации по результатам плановых осмотров элементов горячей части. В результате осмотра были выявлены локальные перегревы завихрителей гомогенных горелок, частичное оплавление их лопаток и втулки. Конструкция горелки показана на рис. 1.

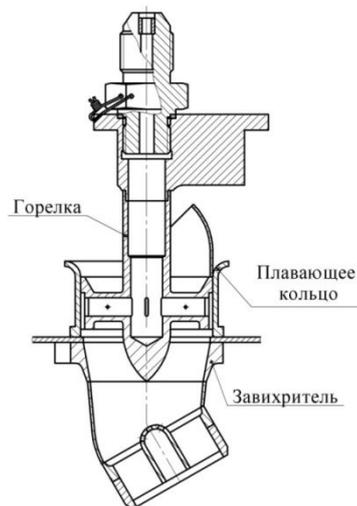


Рис. 1. Общий вид гомогенной горелки

Основными частями горелки являются форсунка, завихритель, плавающее кольцо и корпус горелки. В корпус горелки устанавливается форсунка. Форсунка для подачи газа в зону смешения имеет ряд отверстий в четырёх пустотелых рёб-

рах корпуса. В завихрителе расположены равномерно по окружности 5 лопаток, выполненных электроэрозионным способом по винтовой линии.

Анализ дефекта показал, что при работе горелки возникал проскок пламени из-за недостаточного перепада на сопле горелки, что приводило к перегреву элементов завихрителя и его оплавлению. На рис. 2 показано прогорание втулки и лопаток завихрителя.



Рис. 2. Общий вид гомогенной горелки с подгаром лопаток и втулки завихрителя

В опытном варианте камеры сгорания имели место также и следы перегрева кожухов жаровой трубы. Так как на предприятии имелся некоторый задел данных двухзонных камер сгорания, то возникла необходимость разработать мероприятия по улучшению конструкции гомогенных горелок с минимальными изменениями имеющейся материальной части. Без этих мероприятий использование имеющегося задела чревато преждевременным разрушением горелок. Кроме этого, данные мероприятия можно использовать при ремонте имеющихся камер сгорания данной

конструкции. Параллельно с этим велась работа по более глубокой модернизации с серьезными изменениями конструкции горелки. Часть этих работ вошла в данную статью как исследование гомогенной горелки, в которой роль смесителя выполняется не за счёт установки завихрителя, а за счёт использования перфорированных сопел.

Улучшение характеристик горелки проводилось по двум направлениям: повышение пропускной способности горелки при рабочем перепаде $\Delta p = 3\%$ от давления воздуха за компрессором и формирование поля давления за срезом горелки без существенных зон разрежения. В процессе доводки гомогенной горелки работа выполнялась расчётным и экспериментальным путём. На установке по определению расходных характеристик горелок последовательно продувались различные варианты горелок с обработкой результатов испытаний. По каждому варианту построены зависимости: изменение пропускной способности горелки от перепада давления на жаровой трубе (на установке используется опытный отсек камеры сгорания, к которому присоединяется горелка) $V = f(\Delta p_{жт})$ и изменение давления по выходному сечению $\Delta p_r = f(l_r)$. На рис. 3 приводятся эскизы вариантов экспериментальных горелок.

В табл. 1 представлена зависимость пропускной способности восьми вариантов горелок при перепаде $\Delta p_{жт} = 300$ мм вод. ст.

На рис. 4 приводятся зависимости пропускной способности исследуемых горелок от перепада на стенках жаровой трубы.

Таблица 1 - Зависимость пропускной способности восьми вариантов горелок при перепаде $\Delta p_{жт} = 300$ мм вод. ст.

Варианты горелок	V
Серийная горелка	0,727
Горелка с перфорацией и завихрителем	0,634
Горелка с перфорацией без завихрителя	0,87
Серийная горелка с отверстием в центре втулки завихрителя $d = 9$ мм	0,843
Серийная горелка с отверстием в центре втулки завихрителя $d = 15$ мм	0,931
Серийная горелка с установкой в выходном сечении полусферы	0,71
Серийная горелка с установкой на выходе щелевой форсунки	0,879
Серийная горелка с отверстием в центре втулки завихрителя $d = 12$ мм	0,927

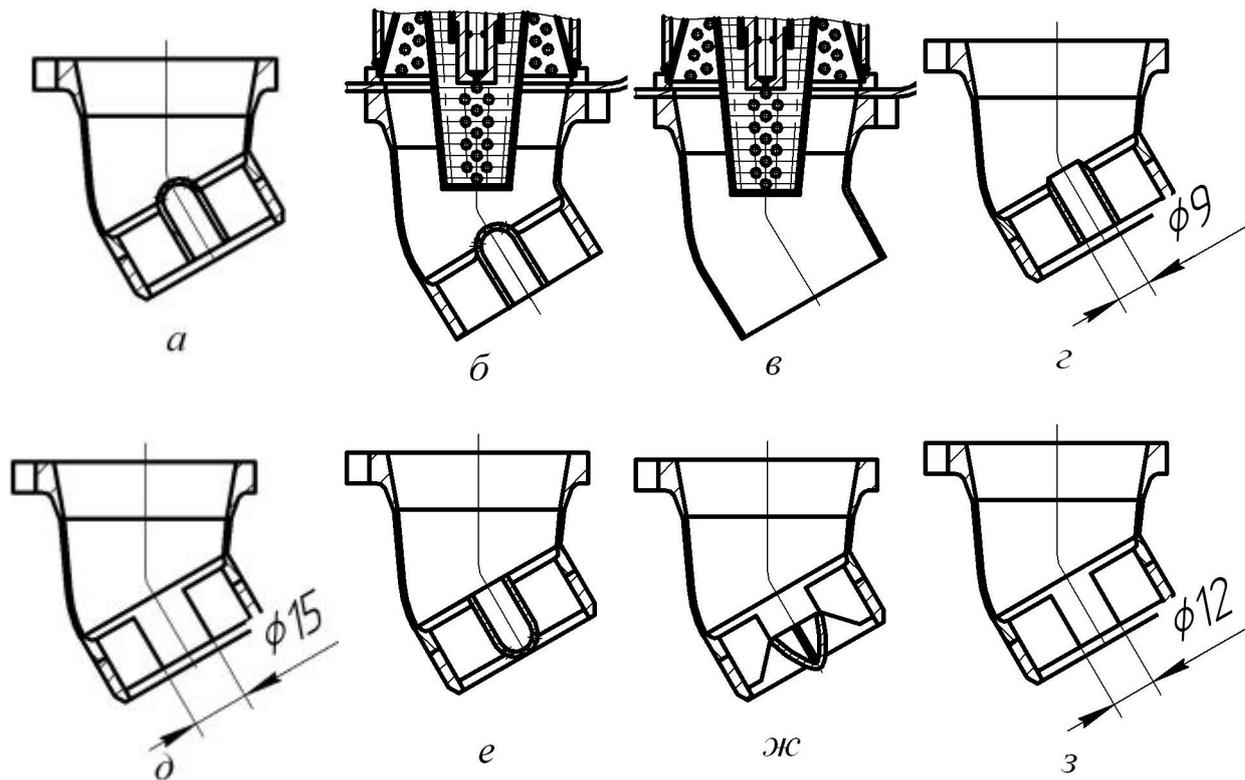


Рис. 3. Варианты гомогенных горелок: а - серийная горелка, б - горелка с перфорацией и завихрителем, в - горелка с перфорацией без завихрителя, г - серийная горелка с отверстием в центре втулки завихрителя $d = 9$ мм, д - серийная горелка с отверстием в центре втулки завихрителя $d = 15$ мм, е - серийная горелка с установкой в выходном сечении полусферы, ж - серийная горелка с установкой на выходе щелевой форсунки, з - серийная горелка с отверстием в центре втулки завихрителя $d = 12$ мм

$$W, \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \times \text{град}^{0,5} \times \frac{\text{см}^2}{\text{кг}} \right)^{0,5}$$

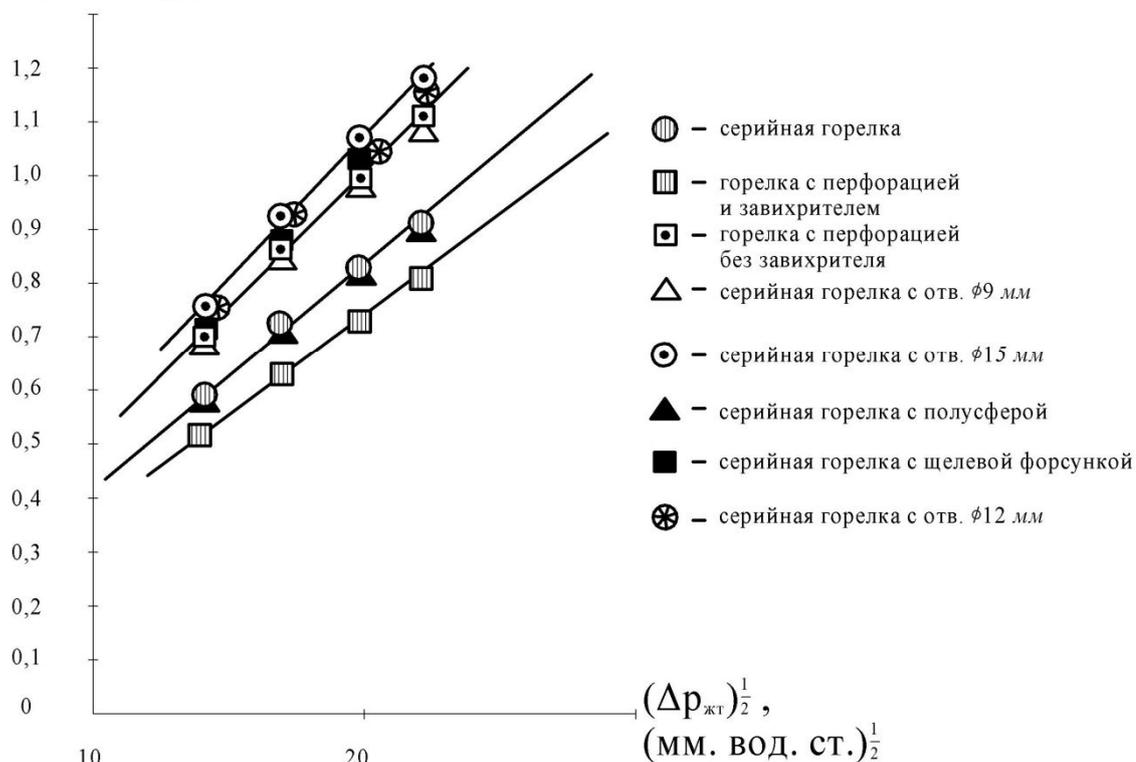


Рис. 4. Изменение пропускной способности от перепада на стенках жаровой трубы

Анализ полученных результатов показал, что техническим требованиям по пропускной способности ($B = 0.86$) удовлетворяют четыре варианта: горелка с перфорацией без завихрителя, серийная горелка с отверстием диаметром 15 мм, серийная горелка со щелевой форсункой и

серийная горелка с отверстием диаметром 12 мм.

На рис. 5 - 12 приводятся зависимости полей давлений на срезе горелок. За критерий работоспособности завихрителей принята конфигурация при отсутствии зон разрежения по всему сечению.

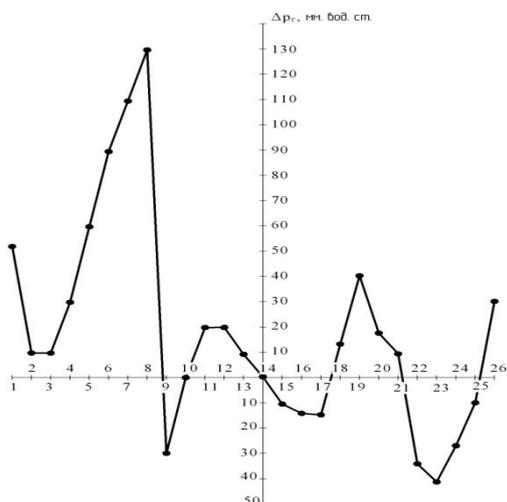


Рис. 5. Изменение поля давления на срезе сопла серийной горелки

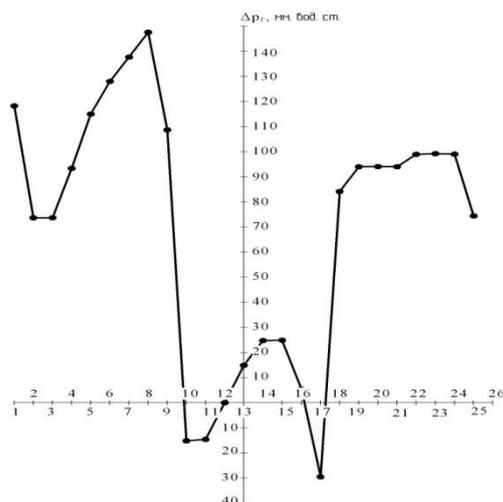


Рис. 6. Изменение поля давления на срезе сопла перфорированной горелки с завихрителем

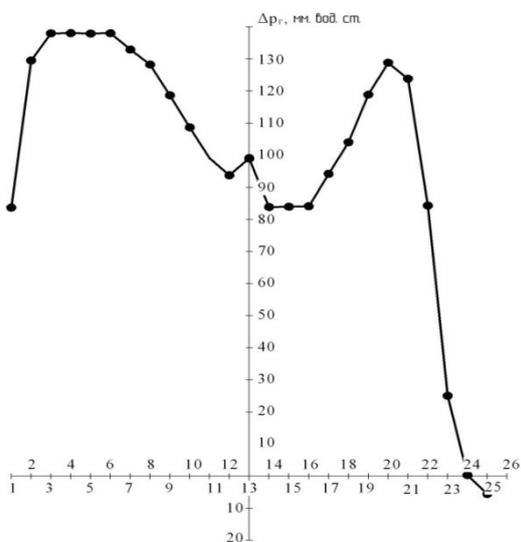


Рис. 7. Изменение поля давления на срезе сопла перфорированной горелки без завихрителя

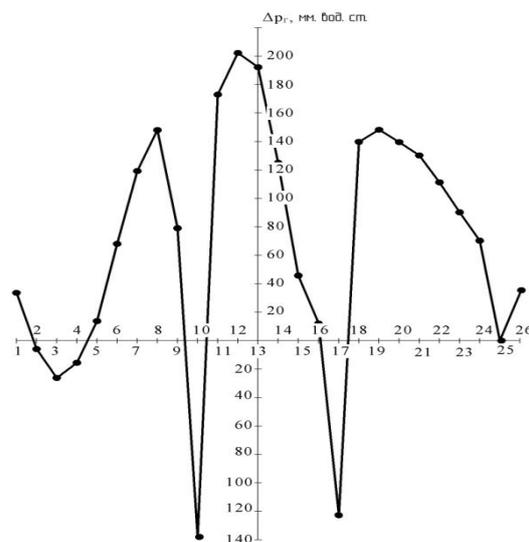


Рис. 8. Изменение поля давления на срезе сопла серийной горелки с отверстием ($d=9$ мм)

На срезе серийной горелки (рис. 5) обнаружены три зоны с отрицательным значением давления: $\Delta p_r = 40$ мм. вод. ст. на периферии завихрителя, $\Delta p_r = 15$ мм. вод. ст. в центральной части.

На срезе сопла перфорированной горелки с завихрителем (рис.6) поле давле-

ния неравномерно, в центре присутствуют две зоны с отрицательным значением давления $\Delta p_r = 15$ и 30 мм. вод.ст. Кривизна канала горелки оказывает влияние на конфигурацию выходной эпюры давления.

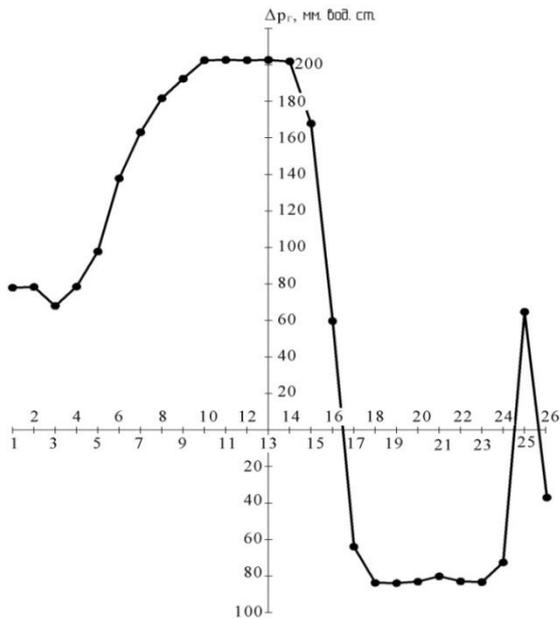


Рис. 9. Изменение поля давления на срезе сопла серийной горелки с отверстием ($d = 15$ мм)

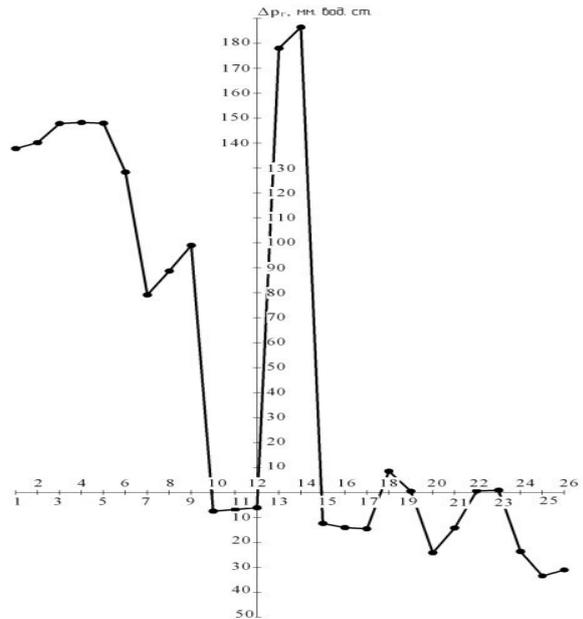


Рис. 10. Изменение поля давления на срезе сопла серийной горелки с полусферой

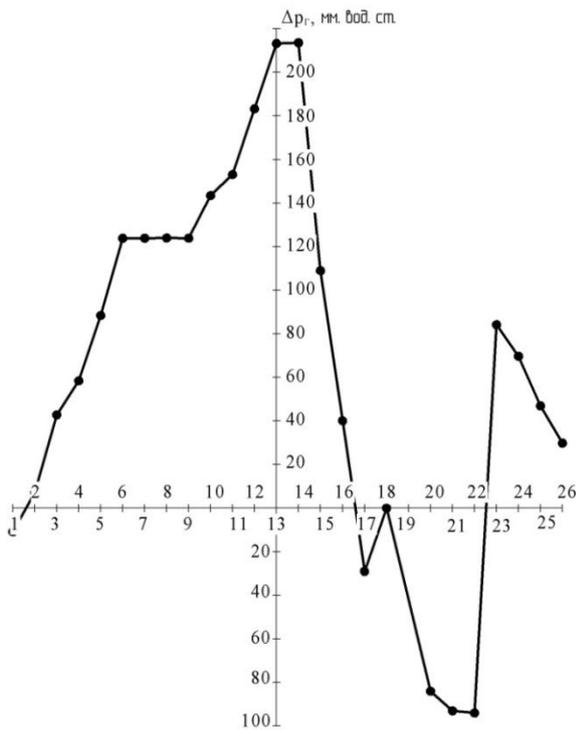


Рис. 11. Изменение поля давления на срезе сопла серийной горелки со щелевой форсункой

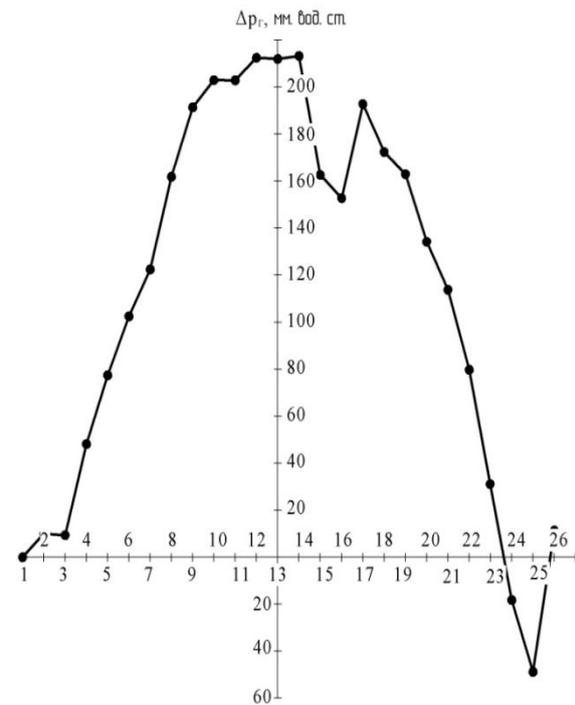


Рис. 12. Изменение поля давления на срезе сопла серийной горелки с отверстием ($d = 12$ мм)

На срезе сопла перфорированной горелки без завихрителя (рис.7) поле положительное, в центре наблюдается снижение значения давления до $\Delta p_z = 85$ мм. вод. ст. Имеется незначительное разрежение у кромки сопла горелки. Таким образом, установка перфорированного конуса способствует выравниванию поля давления.

На срезе сопла серийной горелки с отверстием диаметром 9 мм (рис.8) поле давления неравномерно, в центре присутствуют две зоны с отрицательным значением давления $\Delta p_r = 140$ и 125 мм. вод. ст. и у кромки $\Delta p_r = 30$ мм. вод. ст.

На срезе сопла серийной горелки с отверстием диаметром 15 мм (рис. 9) профиль эпюры неравномерный, макси-

мальное положительное значение давления $\Delta p_r = 205$ мм. вод. ст. смещено в сторону сопла большей кривизны канала, отрицательное значение $\Delta p_r = 85$ мм. вод. ст. смещено в сторону меньшей кривизны канала сопла.

На срезе сопла серийной горелки с полусферой (рис. 10) профиль эпюры имеет значительную неравномерность. Положительное максимальное значение давления $\Delta p_z = 180$ мм. вод. ст. имеет центральная зона и зона ближе к стороне канала сопла большей кривизны. Четыре зоны с отрицательным давлением ($\Delta p_z = 8, 15, 25, 35$ мм. вод. ст.) расположены ближе к стороне канала сопла меньшей кривизны.

На срезе сопла серийной горелки со щелевой форсункой (рис. 11) профиль эпюры неравномерный. Положительное максимальное значение давления $\Delta p_z = 215$ мм. вод. ст. имеет центральная зона. Две зоны с отрицательным давлением ($\Delta p_z = 30$ и 90 мм. вод. ст.) расположены ближе к стороне канала сопла меньшей кривизны. Деформация эпюры обусловлена кривизной канала.

На срезе сопла серийной горелки с отверстием диаметром 12 мм (рис. 12) профиль эпюры вытянут (конический) в сторону течения газа. Положительное максимальное значение давления $\Delta p_z = 215$ мм. вод. ст. Незначительная по величине область с отрицательным давлением $\Delta p_z = 50$ мм. вод. ст. расположена ближе к стороне канала сопла меньшей кривизны канала.

Таким образом, на основании исследований установлено, что вариант серийной горелки с отверстием диаметром 12 мм наиболее подходит для доводки по устойчивости к перегревам имеющейся в заделе гомогенной горелки. Он удовлетворяет требованиям по пропускной способности ($B = 0.927$) при рабочем перепаде на стенках жаровой трубы и имеет приемлемый конический равномерный профиль эпюры давлений на срезе горелки. Такой конический равномерный профиль эпюры давлений на срезе горелки уменьшает возможность приближения пламени к элементам горелки. К тому же, с технологической точки зрения механическая доработка горелки по данному варианту является несложной.

Библиографический список

1. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД. М.: Мир, 1986. 566 с.

Информация об авторах

Бантиков Дмитрий Юрьевич, инженер, ОАО «Кузнецов», г. Самара. Область научных интересов: газовая динамика, гидравлика, рабочий процесс в камерах сгорания.

Гречишников Олег Валерьевич, инженер, ОАО «Кузнецов», г. Самара. E-mail: gelo1571@mail.ru. Область научных интересов: газовая динамика, гидравлика, вопросы горения и экология.

Рогалёв Владимир Васильевич, инженер, ОАО «Кузнецов», г. Самара. Область научных интересов: газовая динамика, гидравлика, вопросы горения и экология.

Росляков Алексей Дмитриевич, доктор технических наук, главный специалист, ОАО «Кузнецов», г. Самара. E-mail: roslykov_ad@mail.ru. Область научных интересов: вопросы теплопередачи и горения, газовая динамика течений в каналах, экология.

Цыбизов Юрий Ильич, доктор технических наук, начальник отдела камер сгорания ОКБ, ОАО «Кузнецов», г. Самара. Область научных интересов: газовая динамика сверхзвуковых течений в каналах и соплах, вопросы теплопередачи и горения, экология.

WAYS OF IMPROVING BURNERS OF TWO-STAGED COMBUSTION CHAMBERS

© 2014 D.Y. Bantikov, O.V. Grechishnikov, V.V. Rogalev, A.D. Roslyakov, Y.I.Thybizov

Open Joint-Stock Company «KUZNETSOV», Samara, Russian Federation

This article contains materials about defect of two-stage combustion chamber gas turbine engine occurring by high temperatures. The design of basic burner with blade swirler is shown. Improvement of burner by using of the minimum of design changes is required. Ways by absence overheating of elements homogeneous burners combustion chambers is developed. Six variants of burners were selected for their studying. They were made by machining bush of basic burner. This machining bush consists of increasing diameter of inner center hole. It is having variant complete deleting bush and his changing on groove nozzle. Data of experimental works to determine capacity eight types of burners as function of air pressure and formatting field of pressure on edge of burner is presented. The research result of two types burner with groove nozzle for search new ways to solve task of increasing reliability burners is shown. Optimal method tweaking burners for absence overheating swirler was selected.

Homogeneous burner, swirler, process of tweaking burners, defect, overheating, curve of pressure.

References

1. Lefevr A. Protsessy v kamerakh sgoraniya GTD [Processes in combustion chamber gas turbine]. Moscow: Mir Publ., 1986. 566 p.

About the authors

Bantikov Dmitry Yuryevich, engineer, Open Joint-Stock Company «KUZNETSOV». Area of Research: gas dynamics, hydraulics, working processes in combustion chambers of gas turbine engines.

Grechishnikov Oleg Valeryevich, engineer, Open Joint-Stock Company «KUZNETSOV». E-mail: gelo1571@mail.ru. Area of Research: gas dynamics, hydraulics, issues of combustion and the ecology.

Rogalev Vladimir Vasilyevich, engineer, Open Joint-Stock Company «KUZNETSOV». Area of Research: gas dynamics, hydraulics, issues of combustion and the environment.

Roslyakov Alexey Dmitryevich, Doctor of Science (Engineering), chief specialist, Open Joint-Stock Company «KUZNETSOV». E-mail: roslykov_ad@mail.ru. Area of Research: problems of heat transfer and combustion, gas dynamics of flows in channels, ecology.

Tsybizov Yury Ilyich, Doctor of Science (Engineering), head of the development department, Open Joint-Stock Company «KUZNETSOV». Area of Research: the gas dynamics of supersonic flows in channels and nozzles, combustion and heat transfer issues and ecology.