

Параметр  $B_{ij}$  характеризует влияние безразмерных скоростей и режима истечения рабочего тела из соответствующих сопловых закручивающих аппаратов, сопел горелки и форкамеры на рабочий процесс камеры сгорания.

Параметр  $C_{ij}$  характеризует влияние статических давлений в зоне формирования периферийного вихря соответствующей ступени, на режимы течения в рабочих зонах камеры сгорания.

УДК 628.4002.2

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАМЕР СГОРАНИЯ ВИХРЕВОГО ПРОТИВОТОЧНОГО ТИПА В ГТУ, РАБОТАЮЩИХ НА НЕТРАДИЦИОННОМ ТОПЛИВЕ**

Новиков И.Н.

*Рыбинская государственная авиационная технологическая академия*

Использование альтернативных видов топлива в энергетических установках в настоящее время является актуальной задачей. Это связано как с проблемой получения относительно дешёвой энергии в виде электричества или горячей воды и водяного пара, так и с проблемой переработки и утилизации бытовых и промышленных органических отходов. Кроме того, наличие месторождений торфа или бурого угля в некоторых регионах России делают задачу использования их в энергетических установках перспективной не только с энергетической позиции, но и с социальной – возрождение населённых пунктов – посёлков и малых городов расположенных вблизи этих месторождений.

Перспектива использования альтернативных видов топлива в энергетических установках базируется на преобразовании его из твёрдого состояния в газообразное – пиролизный газ, который можно использовать в качестве топлива как в двигателях внутреннего сгорания, так и в газотурбинных установках, оснащённых электрическими генераторами и теплообменными аппаратами.

На кафедре «Авиационные двигатели» Рыбинской государственной авиационной технологической академии разработан технологический процесс и созданы две опытные модели термохимического реактора, использующие высокотемпературных термохимические процессы разложения органических веществ, с последующим сжиганием пиролизного газа в двухступенчатой камере сгорания вихревого противоточного типа. Испытания этих моделей на торфе, древесных, медицинских, бытовых и промышленных отходах показали на работоспособность заложенного в них рабочего процесса и конструкции.

За основу рабочего процесса в термохимическом реакторе принят процесс «сухого» пиролиза с газификацией твёрдого остатка. Паровоздушная смесь с температурой равной  $1000^{\circ}\text{C}$  и более выбрана в качестве газифицирующего агента. Реализация рабочего процесса высокотемпературного пиролиза при температуре  $(800\div 1000)^{\circ}\text{C}$ , с газификацией твёрдого остатка, позволяет получить максимальную производительность по выходу пиролизного газа равную  $(1000\div 1200)\text{ м}^3$  с тонны органического сырья. При этом получается достаточно высокая теплота сгорания пиролизного газа, выходящего из реактора.

Использование максимальной температуры рабочего процесса в зоне газификации равной  $1300^{\circ}\text{C}$  и более, в зависимости от температуры газифицирующего агента и соотношения в нём кислорода и водяного пара, сводит к нулю содержание органических компонентов в пиролизном газе. Разработанная конструкция реактора, а именно, наличие трёхступенчатой системы организации рабочего процесса позволяет вести переработку одновременно как твёрдых, так и жидких органических отходов.

Выполненные расчёты и результаты экспериментальных исследований опытных образцов термохимического реактора, использующего двухступенчатую камеру сгорания вихревого противоточного типа для получения газифицирующего агента, позволяют сделать вывод о возможности создания промышленной установки, работающей на рассмотренных выше альтернативных видах топлива.

В качестве примера для расчёта энергетического блока взята газотурбинная энергетическая установка ГТУ–2,5 – изделие ОАО НПО «САТУРН». Использование данной установки позволит решить проблему

обеспечения электрической энергией, горячей водой, перегретым паром, переработку и утилизацию бытовых и промышленных органических отходов городов, посёлков, отдельных предприятий и маленьких населённых пунктов.

Представим некоторые результаты предварительного расчёта работы ГТУ–2,5 при переходе с природного газа на пиролизный газ, получаемый из торфа.

Цель исследований – определение возможной работоспособности серийной установки ГТУ–2,5 при работе на пиролизном газе без существенных дополнительных изменений основных узлов, таких как турбина, компрессор, камера сгорания и других.

Выбор ГТУ–2,5 продиктован конструктивной особенностью данного изделия, а именно, используемых двух выносных трубчатых камер сгорания, которые в дальнейшем несложно заменить на камеры сгорания вихревого противоточного типа. Кроме трубчатой камеры сгорания, изготовлены и находятся в стадии испытания экспериментальные образцы кольцевой камеры сгорания вихревого противоточного типа.

На первом этапе проверено влияние перехода с природного газа на пиролизный на работу камеры сгорания, компрессора и турбины. Некоторые из результатов расчёта приведены в табл. 1.

Таблица 1. Некоторые результаты предварительного расчёта работы ГТУ–2,5 при переходе с природного газа на пиролизный газ, получаемый из торфа

Параметр	Размерность	Природный газ	Пиролизный газ	
			1 вариант	2 вариант
Относительный расход топлива	–	0,015	0,0565	0,0565
Теор. необходимое количество воздуха	кг/кг	17,2	8,44	8,44
Коэффициент избытка воздуха	--	3,9	2,1	2,1
Низшая уд. теплота сгорания топлива	кДж/кг	50056	14540	14540
Расход воздуха	кг/с	12,052	12,052	11,600
Расход топлива	кг/с	0,184	0,680	0,654
Расход продуктов сгорания	кг/с	12,236	12,732	12,254
Темпонапряжённость раб. объёма КС	МДж/(м <sup>3</sup> ·Па)	1,3	1,29	1,24

Из анализа результатов расчёта видно, что при переходе на пиролизный газ, для обеспечения заданных параметров компрессора и турбины, необходимо увеличить расход топлива в камере сгорания. Это вызвано тем, что величина низшей удельной теплоты сгорания пиролизного газа в 3,5 раза ниже, чем у природного газа, что приведёт к увеличению относительного расхода топлива и, как следствие, к уменьшению коэффициента избытка воздуха при заданной температуре газа на выходе из камеры сгорания.

Кроме того, снижение количества горючих компонентов в пиролизном газе приводит к уменьшению теоретически необходимого количества воздуха, что также уменьшает коэффициент избытка воздуха. Увеличение относительного расхода топлива оказывает влияние на расход продуктов сгорания в камере сгорания, а, следовательно, на расход газа через турбину и воздуха на входе в камеру сгорания.

Работоспособность ГТУ–2.5 при использовании пиролизного газа проверялась расчётом двух вариантов. В первом случае расход воздуха поддерживался таким же, как при работе на природном газе. Во втором случае оставляли постоянным расход газа через турбину.

В первом случае расход топлива увеличился в 3,7 раза, а расход газа через турбину – на 4%. Увеличилась и мощность турбины примерно на 3,9%. Избыточную мощность турбины можно использовать, например, для привода нагнетателя пиролизного газа.

Во втором случае режим работы турбины будет таким же, как и при работе на природном газе, но в этом случае уменьшается расход воздуха через камеру сгорания. Поэтому избыток воздуха можно отобрать через систему перепуска и использовать, например, в горелках термохимического реактора.

Таким образом, результаты предварительного расчёта указывают на возможность использования пиролизного газа в качестве топлива в серийной газотурбинной установке ГТУ–2,5.