

В. Е., Фурлетова В.И. (ЦИАМ.) при испытании модельных КС, работающих на гомогенной смеси.

Интенсификация процесса турбулентного горения в КС с ВЖТ за счёт увеличения числа горелок основной зоны, уменьшения дальности этих струй позволяет обеспечить «индивидуальность» горения каждой в отдельности горелок и тем самым организовать процесс горения в КС с ВЖТ как в многогорелочных КС. Это также позволяет ослабить проявление гармоник, связанной с числом ВЖТ, неблагоприятно сказывающейся на работе турбины двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савченко В.П. Обобщение опыта организации турбулентного горения в камерах сгорания аэрокосмического и энергетического назначения. // Тез. докладов междунаrodn. научн. – техн. конф. памяти В.Е. Дорошенко, Самара, 9 -10 октября 2002, С. 129-134.
2. Гриценко Е.А., Цыбизов Ю.И. Методология создания малоэмиссионных камер сгорания авиационных и конвертируемых двигателей семейства НК. // Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем. 1999, Вып.2 (8).-С.
3. Постников А.М. Снижение оксидов азота в выхлопных газах ГТУ. - Самара: Издательство Самарского научного центра РАН. – 2002 – 286 с.
4. Сударев А.В., Маев В.А., Камеры сгорания газотурбинных установок. - Л.: Недра, 1990 – 280с.
5. Дубровский О.В. Исследование низкочастотных пульсаций в газотурбинных камерах. // Теплоэнергетика. 1961. № 8. –С.46-57.

УДК 621.438:621.45.03.0

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ДОВОДКИ КАМЕР СГОРАНИЯ

Савченко В.П., Лавров В.Н., Маркушин А.Н., Цыбизов Ю.И.

ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова, г. Самара

Несмотря на отсутствие завершённой теории горения, необходимо отметить, что в последнее время всё большее значение при проектировании камеры сгорания (КС) приобретают расчётные методы, основанные на численном решении уравнений гидромеханики. Однако, используя

только такой подход, невозможно осуществить разработку конструкции малоэмиссионной КС. Необходимо физическое моделирование сложной совокупности аэротермохимических и акустических процессов, трудно поддающихся расчёту и прогнозированию. Основную проблему при этом составляют вопросы оптимизации эффективного горения топливоздушной смеси с получением низких эмиссионных характеристик и обеспечением устойчивости процесса по отношению к возникающим высокочастотным (ВЧ) и низкочастотным (НЧ) колебаниям.

Вопросам, касающимся механизмов вибрационного горения посвящено большое число работ, в которых выдвинут ряд гипотез. Степень обоснованности их различна, но ни одна из них не доведена до практического использования при проектировании и доводке КС.

Основным недостатком созданных механизмов ВЧ неустойчивости горения (связанных с проскоком пламени внутрь сопла горелки, с вихреобразованием в струях горелок от акустического воздействия и др.), является то, что они не связаны с интенсивностью турбулентного смешения.

Было показано, что вихревой механизм, разработанный Фурлетовым В.И. (ЦИАМ), реализуется при определённой степени интенсификации процесса турбулентного смешения, отражаемой уменьшением дальнобойности струй форсунок газообразного компонента в КС ЖРД замкнутой схемы.[1].

При создании двигателей различного назначения семейства «НК» для оптимизации эффективности и устойчивости горения в КС проводилась газодинамическая доводка, которая позволила разработать новые решения по учёту влияния процесса турбулентного смешения на эти характеристики. В ходе доводки КС накоплен большой опыт обеспечения эффективности и устойчивости горения путём оптимизации двух противоположно действующих процессов: интенсификации горения за счёт применения большого числа мелких форсунок газообразного компонента и растягивания горения по длине КС за счёт повышения дальнобойности этих струй [1].

На этом принципе были созданы оптимальные конструкции многофорсуночных КС ЖРД замкнутой схемы, многогорелочных традиционных КС ГТД и двухзонных КС ГТУ, форсажных камер ТРДДФ, обеспе-

чивающие высокую эффективность, устойчивость горения, а также низкие уровни эмиссии вредных веществ [1...3].

В однозонных многогорелочных КС ГТУ фронт пламени сосредоточен в приосевой зоне КС на короткой её длине, поэтому упрощаются задачи охлаждения стенок жаровой трубы и турбины двигателя, но проявляются проблемы охлаждения элементов фронтного устройства (ФУ). Однако в целом, разработка новых образцов многогорелочных КС на базе ранее созданного прототипа значительно сокращает затраты времени и денежных средств на отработку характеристик горения.

С повышением параметров рабочего цикла ГТУ особо остро становится проблема выбора числа горелок и длины КС. Оптимизацию высокой эффективности и устойчивости горения впервые удалось обобщить на базе усовершенствованного критерия Херша [1]. При этом учитывалось влияние трёх, относительно независимых параметров: начальной неравномерности подачи топлива в КС в виде отношения длины КС к шаговому расстоянию между горелками $\frac{L_k}{H}$, турбулизацию потока в зонах обратных токов фронтного устройства и в струях форсунок и газообразного компонента, истекающего в КС.

В соответствии с этим критерием на базе проведенной систематизации выбиралось оптимальное значение $\frac{L_k}{H}$ для созданных лучших образцов КС двигателей семейства «НК» и проводилась турбулизация потока в зонах обратных токов ФУ. Обеспечение высоких запасов устойчивости горения рассматривалось в зависимости от проявляющегося режима горения в КС в трактовке Вулиса Л.А. (турбулентного или кинетического):

- при высокой химической активности компонентов топлива в КС ЖРД замкнутой схемы и при высоких параметрах рабочего цикла ГТУ турбулизация потока в струях горелок ослабляется путём увеличения их дальности;

при низкой химической активности компонентов топлива в двухзонных КС ГТУ при слабой закрутке потока в струях горелок основного контура на промежуточных режимах работы двигателя происходит сильное растягивание горения по длине КС. Это для «бедных» составов смеси обуславливает сильный рост окиси углерода СО (до 1000 мг/нм³ и

более) [1, 3], понижение частоты возникающих ВЧ колебаний, а, в отдельных случаях, и НЧ колебаний с частотой ~ 50 Гц.

В связи с этим для устранения НЧ колебаний при работе КС ГТУ проводится увеличение числа и уменьшение дальнобойности струй горелок за счёт повышения степени закрутки потока основного контура. Приведенные выше закономерности отражаются полученным в работе [1] выражением для времени запаздывания:

$$\tau_3 = \frac{L_{\text{фак}}}{F_{0g} \cdot q_n \cdot W_p} + \frac{L_{\text{фак}}}{C_k},$$

где F_{0g} – аналог диффузионного критерия Фурье, q_n – тепловой эффект химической реакции. При этом учитывается дальнобойность факелов $L_{\text{фак}}$, образованных на струях форсунок (горелок), как характеристика интенсивности кинетического и (или) турбулентного горения.

Полученные закономерности влияния интенсификации турбулентного и кинетического горения на неустойчивость горения подтверждены экспериментально в КС двигателей различного назначения.

Созданные в работе [1] модели генерации акустической энергии отражают:

- влияние интенсификации и растягивания горения на энерговыделение в «чувствительной» зоне, расположенной у фронтового устройства,
- повышение усилительных свойств зоны горения факела крупной горелки при сильной турбулизации потока для достижения заданной эффективности горения на располагаемой длине КС,
- роль частичного внутрифорсуночного сгорания смеси,
- изменение амплитуды колебаний вдоль КС и т.д.

Учёт указанных закономерностей позволяет более полно проводить оптимизацию высокой эффективности, устойчивости горения и эмиссии вредных выбросов в зависимости от назначения КС.

Разработанная на базе созданных КС двигателей различного назначения методология оптимизации двух противоположно действующих процессов, направленная на обеспечение высокой эффективности и ус-

тойчивости горения, находит своё применение при разработке новых образцов КС ГТУ.

Так увеличение числа горелок в двухзонных КС с выносными жаровыми трубами (ВЖТ) двигателей НК 37, НК 38 СТ, уменьшение дальности струй этих горелок [1], а также обеспечение высокой степени гомогенизации смеси позволили более полно провести оптимизации характеристик эффективности устойчивости горения и эмиссии вредных веществ [1, 3]. Влияние увеличения числа горелок и уменьшения длины факелов, образованных на их струях на возникновение более высоких частот с меньшей амплитудой ранее показано при доводке традиционных однозонных КС ГТУ [4, 5].

Рассмотренные вопросы оптимизации характеристик эффективности и устойчивости горения свидетельствуют о том, что разрабатываемые в настоящее время системы автоматического проектирования КС должны сочетать методы математического и физического моделирования и основываться на ранее полученном и обобщённом в критериальном виде опыте устранения неустойчивости горения. Сочетание этих методов может стать надёжной основой для унификации отдельных типов КС, что по опыту ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова способствует снижению затрат на создание новых образцов КС двигателей следующего поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савченко В.П. Обобщение опыта организации турбулентного горения в камерах сгорания аэрокосмического и энергетического назначения. // Тез. докл. IV Всерос. научн. – техн. конф. «Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей». - Самара, 2002. - С.129-134.
2. Гриценко Е.А., Цыбизов Ю.И. Методология создания малоэмиссионных камер сгорания авиационных и конвертируемых двигателей семейства «НК». // Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем. 1999. Вып. 2 (8). – С.16-26.
3. Постников А.М. Снижение оксидов азота в выхлопных газах ГТУ. - Самара: Издательство Самарского научного центра РАН. – 2002 – 286 с.
4. Сударев А.В., Масв В.А., Камеры сгорания газотурбинных установок. Л.: Недра, 1990 – 280с.
5. Дубровский О.В. Исследование низкочастотных пульсаций в газотурбинных камерах. // Теплоэнергетика. 1961. № 8. –С.46-57.