

$$I = \frac{\Theta}{2} \left[b(a+1) + \frac{ac^2}{1-\Theta} \right]^3 + 3ac^2 \left[b(a+1) + \frac{ac^2}{1-\Theta} \right]^2 \cdot \ln \sqrt{1-\Theta} + \\ + \frac{3a^2c^4\Theta}{2(1-\Theta)} \left[b(a+1) + \frac{ac^2}{1-\Theta} \right] - \frac{a^3c^6\Theta(2-\Theta)}{(1-\Theta)^2}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородин В.А., Дитякин Ю.Ф., Клячко Г.А., Ягодкин В.И. Распыливание жидкостей -М.: Машиностроение, 1967.
2. Ковылов Ю.Л., Лукачев В.П. Особенности затопленного течения внутри центробежной форсунки. // Изв.ВУЗов, Сер.Авиационная техника, 1976, № 3
3. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика.-М.: ГИТТЛ, 1953
4. Ковылов Ю.Л., Лукачев В.П. О критерии подобия потоков в центробежных форсунках. // Изв.ВУЗов, Сер.Авиационная техника, 1976, № 1.
5. Васильев О. Ф. Основы механики винтовых и циркуляционных потоков. -М.-Л.: Госэнергоиздат, 1958.

УДК 621.43.056

СОДЕРЖАНИЕ И ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД

Ковылов Ю.Л., Крашенинников С.В., Цыганов А.М.

Самарский государственный аэрокосмический университет

В Самарском государственном аэрокосмическом университете на кафедре теплотехники и тепловых двигателей проводится разработка характеристики камеры сгорания (ХКС) ГТД, в комплексном виде представляющей информацию о работе этого узла во всём диапазоне возможных режимов его работы [1,2,3].

В качестве координат поля ХКС предлагается использовать два критерия подобия А и В, полученные в работе [4] из совместного рассмотрения уравнений материального и теплового баланса.

Критерий А представляет собой отношение двух характеристических времен – времени пребывания τ_n топливовоздушной смеси (ТВС) в КС и времени ее горения τ_g при данных условиях. Без учета постоянных

величин, входящих в состав критерия: $A = e^{\frac{180}{T_k}} \cdot \frac{P_k^2 \cdot V_{ж.м.}}{G_g}$. Критерий В

представляет собой отношение химической энергии топлива, вносимого в КС и энергии, вносимой в КС с потоком воздуха: $B = \frac{G_m \cdot H_u}{G_g \cdot c_p \cdot T_k}$

(здесь и далее давление и температура рассматриваются только как параметры заторможенного потока).

Характеристика с одной стороны является методологическим инструментом в процессе создания КС, с другой стороны, математической моделью (ММ) этого узла, наличие которой существенно повышает уровень ММ всего двигателя, т.е. повышает точность согласования работы его узлов и расчёта его характеристик.

В распоряжении авторов в настоящее время есть следующие экспериментальные материалы, позволяющие проиллюстрировать это положение:

- характеристика модели КС;
- фрагмент характеристики КС малоразмерного ГТД;
- фрагмент характеристики КС при её работе в составе МГТД;
- линии рабочих режимов ряда ГТД в поле координат ХКС.

На основе анализа этих экспериментальных результатов получены некоторые новые сведения, позволяющие взглянуть на работу КС под нетрадиционным углом зрения. Но прежде хотелось бы несколько подробнее пояснить форму представления информации в поле ХКС и её физический смысл.

Естественно, что основное содержание ХКС должны составлять линии постоянных режимов её работы ($T_2 = \text{const}$, либо $\Theta = T_2 / T_k = \text{const}$) и линии постоянных КПД. Ввиду отсутствия общепризнанного понятия КПД КС будем рассматривать изолинии полноты сгорания топлива η_g .

1. ЛИНИИ $\eta_g = \text{const}$

Поскольку для отработки понятия ХКС была принята наиболее простая ММ КС (типа «чёрный ящик»), то в соответствии с ней полноту

сгорания топлива можно выразить как отношение двух осреднённых масс:

$$\eta_c = \frac{M_{nc}}{M_0}$$

Здесь M_0 – масса топливовоздушной смеси (ТВС), поступившая за время τ_n в объём жаровой трубы (ЖТ), M_{nc} – масса продуктов полного сгорания, образовавшаяся за это время из начальной массы исходных продуктов M_0 .

Если принять, что скорость W_{np} преобразования ТВС в продукты сгорания пропорциональна текущей концентрации ТВС, то

$$W_{np} = \frac{dM}{d\tau} = k (M_0 - M),$$

где M – количество продуктов сгорания, образовавшееся на момент времени τ в объёме ЖТ; k – коэффициент пропорциональности, учитывающий другие условия (кроме концентрации реагирующих веществ), которые могут влиять на скорость преобразования W_{np} .

Разделив переменные и интегрируя за промежуток времени τ_n

$$- \int_0^{M_{nc}} \frac{d(M_0 - M)}{M_0 - M} = \int_0^{\tau_n} k d\tau,$$

при условии $k \neq f(\tau)$ получим

$$\ln\left(\frac{M_0 - M_{nc}}{M_0}\right) = -k \cdot \tau_n$$

$$\text{или } M_{nc} = M_0(1 - e^{-k\tau_n}).$$

Очевидно, что выражение в скобках представляет собой η_c в рамках ММ “чёрный ящик”:

$$\eta_c = 1 - \frac{1}{e^{k\tau_n}} \quad (1)$$

Если процессы подготовки ТВС не рассматривать в соответствии с принятой ММ, то к “другим условиям” следует отнести:

состав ТВС, поступающей в ЖТ. При использовании одного и того же топлива влияние состава может быть учтено величиной коэффициента избытка воздуха α ;

температуру, давление и скорость потока M_0 . В первом приближении могут быть приняты равными параметрам за компрессором: $T_{ю}$, p_k и W_k ;

осреднённая по ЖТ интенсивность энерго-массообмена, которая зависит от параметров турбулентности [5]: интенсивности $\varepsilon = W/W_{cp}$, масштаба - $l_{cm} = \tau_{cm} W'$ и коэффициента турбулентного обмена $a_m = l_{cm} W'$

Параметры турбулентности определяются конструкцией и режимом работы КС. Влияние конструкции на протекание изолиний $\eta_r = \text{const}$ выражается через индивидуальность характеристики данной конкретной КС, поэтому далее рассматривается влияние только гидродинамических параметров режима, которые задаются величиной

$$\tau_n = \frac{V_{жт}}{F_k W_k} = \frac{\text{const}}{W_k}$$

Параметры a_m , l_{cm} , ε и τ_{cm} , «начиная с чисел $Re = 10^4 \dots 10^5$ становятся автомодельными по скорости потока» [5]. Считая $W_{cp} \sim W_k$, и заменяя в a_m величины l_{cm} и W' их выражениями, получим, что в неавтомодельной области

$$a_m \sim \tau_{cm} \varepsilon^2 \frac{1}{\tau_n^2}$$

Основываясь на этом, можно предположить, что коэффициент k в формуле (1) по причине изменения интенсивности массообмена - $k(a_m)$ при прочих равных условиях, но при $\tau_n = \text{var}$ будет зависеть от τ_n так, как это

показано на рис.1. Здесь же изображена предполагаемая зависимость произведения $k(a_m) \cdot \tau_n$ от времени пребывания τ_n при тех же условиях, которая, по сути дела, показывает характер изменения η_r при

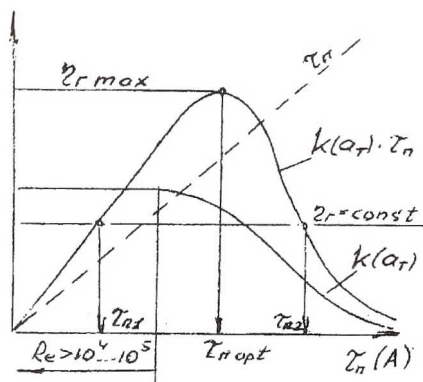


Рис.1. Зависимость произведения $k \tau_n$ от интенсивности энерго-массообмена

варьировании критерия A в поле ХКС при $B = \text{const}$.

Отсюда следует:

1. При каждом значении критерия B существует $\tau_n \text{ opt}$, при котором произведение $k(a_m) \cdot \tau_n = \text{max}$, т.е. η_e также максимальная величина. Геометрическое место точек, соответствующих $\eta_e \text{ max}$, представляет собой линию в поле ХКС, которую можно назвать линией оптимальных режимов работы КС (ЛОР).

2. Одна и та же величина $k(a_m) \cdot \tau_n$, т.е. и $\eta_e = \text{idem}$, получается при двух различных значениях τ_n (τ_{n1} и τ_{n2}), что соответствует двум значениям критерия A (A_1 и A_2 на рис. 2).

3. При удалении τ_n от $\tau_n \text{ opt}$, т.е. и величины A от A_{opt} , и в сторону увеличения, и в сторону уменьшения η_e снижается. Это явление объясняется низкой интенсивностью массопереноса в области высоких значений критерия A (горение «задыхается» в собственных продуктах), и чрезмерной турбулизацией потока в области низких значений [6].

Поскольку $A \sim \tau_n / \tau_2$, то величины A_1 и A_2 зависят также и от времени горения τ_2 . Как показано в работе [5], с уменьшением W' (т.е. с ростом τ_n) время τ_2 в турбулентном потоке монотонно уменьшается, что не нарушает логику изложенных рассуждений.

Характер изменения η_e по координате B , при прочих равных условиях, задаётся величиной коэффициента избытка воздуха α . Поскольку физический

смысл влияния различных параметров на коэффициент k в выражении (1) совпадает с их влиянием на скорость турбулентного горения u_m , то, используя зависимость $u_m = f(\alpha)$, полученную экспериментально в работе [5], характер зависимости $k(\alpha) = f(B)$ можно принять идентичным

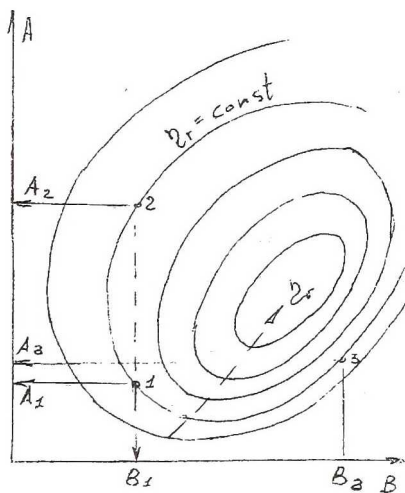


Рис.2.

(см. рис. 3). При прочих равных условиях (также и при фиксированном времени пребывания $\tau_n = \text{const}$) произведение $k(\alpha) \cdot \tau_n$ изменяется по координате В аналогично.

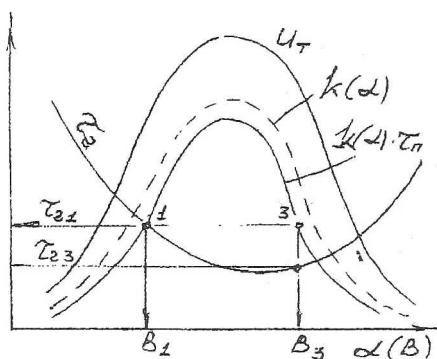


Рис.3. Зависимость произведения $k \cdot \tau_n$ от состава топливоздушной смеси

координаты А. Если учитывать изменение τ_e при переходе из точки B_1 в точку B_3 (рис. 3 - τ_{e2} и τ_{e3}), то $\eta_e(B_3)$ получается равной $\eta_e(B_1)$ на рис. 2 не при $A = A_1$, а при величине $A_3 > A_1$.

Таким образом, наличие двух точек с $\eta_e(A_1) = \eta_e(A_2)$ при $B_1 = \text{const}$ и соответствующей им точки $\eta_e(A_3, B_3) = \eta_e(A_1)$ приводит к выводу, что изолинии $\eta_e = \text{const}$ в поле ХКС представляют собой замкнутые кривые, вложенные одна в другую (см. рис. 2). Форма и взаимное расположение изолиний с различными значениями η_e определяются индивидуальными особенностями каждой конкретной КС. Только нарастание их густоты по мере приближения к богатой границе срыва пламени можно предполагать как общую закономерность. Это предположение основано на известном экспериментальном факте, что при достижении определённой, достаточно низкой, для данной КС полноты сгорания богатый срыв пламени происходит лавинообразно и неуправляемо. При близком и всё сближающемся расположении изолиний η_e это вполне объяснимо. Из-за большого градиента $d\eta_e/dA$ около этой границы и невысокой точности измерения η_e подтвердить высказанное предположение опытным путём весьма затруднительно.

Следовательно, две точки, лежащие на произвольной изолинии $\eta_e = \text{const}$ будут иметь координаты B_1 и B_3 . При переносе этих точек в поле ХКС необходимо иметь в виду, что время горения τ_e также зависит от α [5], но характер этой зависимости более плавный, чем $u_m = f(\alpha)$ (см. рис.3). В результате изменение τ_e вносит некоторые коррективы в определение

2. ИЗОЛИНИИ ПОСТОЯННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КС

$$\Theta = const$$

Зависимость степени подогрева газа Θ в КС от критерия B можно записать в следующей форме:

$$G_m \cdot Hu \cdot \eta_2 = G_B (c_{p2} \nu_{к-г} T_2 - c_{pB} T_K),$$

откуда

$$\Theta = (1 + \eta_2 \cdot B) \cdot \frac{c_{pB}}{c_{p2} \cdot \nu_{к-г}} \quad (2)$$

Из этого уравнения следует, что при прочих равных условиях, если степень подогрева газа

$$\Theta = const, \text{ то } \eta_2 \cdot B = const. \quad (3)$$

Физический смысл этого результата следующий - чем выше η_2 , тем меньше необходимо подводить энергии с ТВС для достижения одной и той же степени подогрева. Если же условия протекания процесса не обеспечивают высоких η_2 (величина критерия A не соответствует оптимуму) необходимо увеличение подвода энергии (критерий B растёт) к рабочему телу. С учётом характера и взаимного расположения изолиний $\eta_2 = const$ (рис. 2), из сказанного следует, что вид изолиний $\Theta = const$ соответствует рис. 4. Причём режимы работы КС, на которых достигается максимальная величина η_2 , могут быть определены графически проведением вертикальной касательной к каждой линии $\Theta = const$. Таким образом, ЛОР, даже если она не зафиксирована экспериментально, достаточно точно и просто может быть получена на стадии обработки материалов испытания.

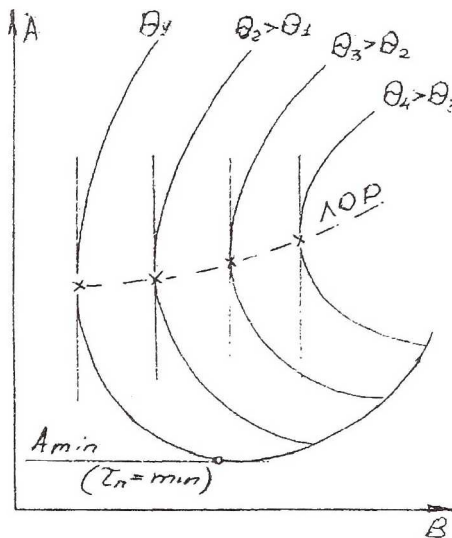


Рис.4. Вид изолиний $\Theta = const$ в поле координат характеристики КС

Кроме того, в каждой точке линии $\Theta = const$ полноту сгорания можно определить на основе соотношения (3) как

$$\eta_z = B_{ид} / B_{изм},$$

где $B_{ид}$ - вычисляется из уравнения (2) при $\eta_z = 1$, а $B_{изм}$ - координата интересующей точки в поле ХКС.

Изложенные представления о сетке линий $\Theta = const$ и $\eta_z = const$ в поле координат А и В подтверждаются общим видом этой сетки, полученной на базе результатов испытаний модели КС (рис. 5). Использование малоразмерной модели вместо какой-либо натурной КС объясняется, с одной стороны, энергетическими ограничениями имеющегося экспериментального оборудования, а с другой стороны, желанием получить наиболее полный вид нового представления информации о работе КС.

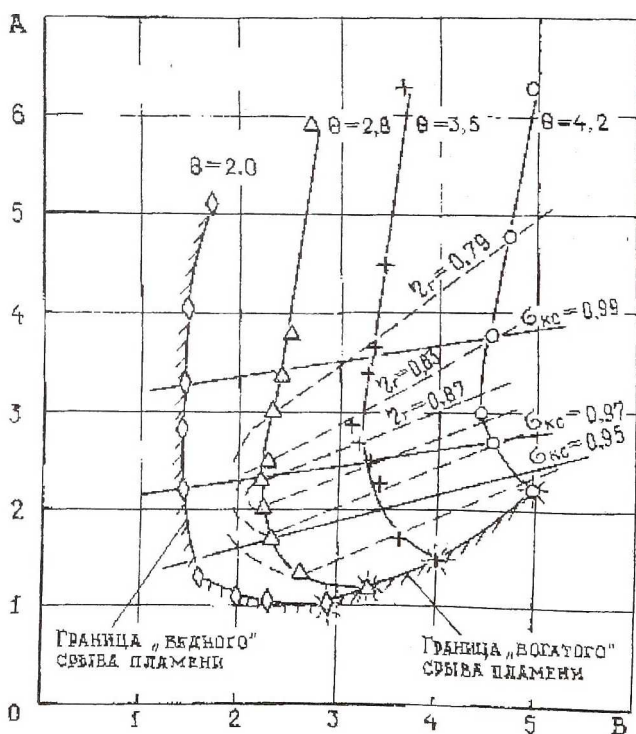


Рис. 5. Характеристика модели камеры сгорания

3. НЕКОТОРЫЕ НЕТРАДИЦИОННЫЕ СВЕДЕНИЯ
О РАБОТЕ КАМЕР СГОРАНИЯ,
ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ АНАЛИЗА ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Границы срыва пламени. Как видно из рис.5, граница “богатого” срыва пламени расположена на изолинии минимальной (для данной камеры) η_z . Можно утверждать, что “богатый” срыв наступает при том уровне η_z , при котором выделяющегося тепла становится недостаточно для подогрева вновь поступающей в зону горения свежей ТВС. Абсолютное значение η_r на изолинии, совпадающей с указанной срывной границей должно определяться конструктивными особенностями КС, в частности, способом подачи топлива в зону горения и интенсивностью перемешивания его с первичным воздухом.

Расположение границы “бедного” срыва пламени на изолинии θ_{min} находит следующее объяснение. Естественно предположить, что на режимах непосредственно перед срывом пламени теплонапряженность объема жаровой трубы минимальна. Это связано с тем, что на таких режимах тепловыделение происходит лишь в объеме зоны циркуляции горелки, который считается дежурным очагом пламени. Из выражения для теплонапряженности КС:

$$Q_{вр} = \frac{G_m \cdot H_u \cdot \eta_z}{V_{жс} \cdot P_k^*}, \quad (4)$$

учитывая, что величина времени пребывания рабочего тела в объеме жаровой трубы

$$\tau_{п} = \frac{V_{жт}}{G_{в}} \cdot \frac{1}{\rho_k^*} = \frac{V_{жт}}{G_{в}} \cdot \frac{P_k^*}{R \cdot T_k^*},$$

можно подстановкой произведения $V_{жт} \cdot P_k^*$ в (4) при условии

$R = \frac{k-1}{k} c_p$ и $k = 1,4$ получить выражение:

$$Q_{вр} = 3,5 \frac{B \cdot \eta_r}{\tau_n}. \quad (5)$$

Отсюда следует, что минимум $Q_{вр}$, при котором происходит “бедный” срыв, достигается либо при $B \eta_r = \min$, либо при $\tau_n = \max$. Исхо-

для из соотношения (3), условие $B \cdot \eta_r = \min$ выполняется при Θ_{\min} . Необходимо отметить, что абсолютное значение величины Θ_{\min} будет определяться конкретной конструкцией КС, в частности видом фронтного устройства и законом подвода воздуха по длине КС.

Совпадение «бедной» границы срыва пламени с изолинией Θ_{\min} в целом не вступает в противоречие с традиционно принятыми представлениями о физике этого явления. Срыв пламени при $\tau_n = \max$ на первый взгляд кажется парадоксом. Однако принимая, что τ_n - это не просто некоторый отрезок времени, а величина обобщающая условия массообмена в КС, срыв, а точнее погасание пламени при $\tau_n = \max$ находит своё объяснение.

Как уже отмечалось при анализе характера изолиний η_r величина $\tau_{n \text{ оп}}$ означает создание в ЖТ наилучших для данной КС условий массообмена, когда темп подвода ТВС совпадает с темпом её выгорания и равен темпу отвода продуктов сгорания. При росте τ_n возможно создание условий, когда пламя погаснет из-за слишком медленного подвода ТВС или «задохнётся» в продуктах сгорания из-за медленного их отвода.

Возможность создания условий в КС с $Q_{vp} = \min$ при $\tau_n = \max$ стыкуется с тем, что изолинии η_r замкнутые кривые. Последнее означает, что срыв пламени при $\eta_r = \min$, который обычно фиксируется как «богатая» граница, может состояться и при больших значениях критерия А.

Отсюда следует нетрадиционный вывод: область рабочих режимов КС в поле координат А и В ограничена замкнутой линией. Часть этой кривой границы срыва пламени - традиционно фиксируются при испытании КС. Часть граница погасания - не представляет практического интереса, но теоретически существует.

Изолинии неравномерности поля температуры T_z^* . Известно, что температура газов на выходе из КС - T_z^* , является важнейшим параметром её работы и определяет, по сути дела, режим работы всего двигателя. Поскольку T_z^* , как правило, существенно неравномерно распределена в выходном сечении КС, изолинии постоянных режимов её работы $\Theta = \text{const}$ наносятся в поле ХКС по значениям осреднённой температуры T_z^* . Точность указания величины Θ на каждой изолинии зависит от точности и представительности экспериментально получен-

ных полей $T_z^*(r, \varphi)$ и правильности их осреднения на каждом режиме работы.

Кроме этого, при доводке ГТД пристальное внимание уделяется самому показателю неравномерности поля $T_z^*(r, \varphi)$. Если к радиальной неравномерности $T_z^*(r)$ предъявляются специфические требования, связанные с особенностями работы конкретной турбины, то окружная неравномерность $T_z^*(\varphi)$ в

идеале в любом двигателе желательна близкой к нулю. Изменение этой неравномерности по режимам работы КС, показанное в виде изолиний в поле её характеристики (см. рис. 6), даёт существенно более наглядную информацию для принятия решения в процессе доводки КС по этому параметру. Упрощается также решение задачи многопараметрической оптимизации ХКС и режимов её работы, например по параметрам Θ , η_z и Θ_φ .

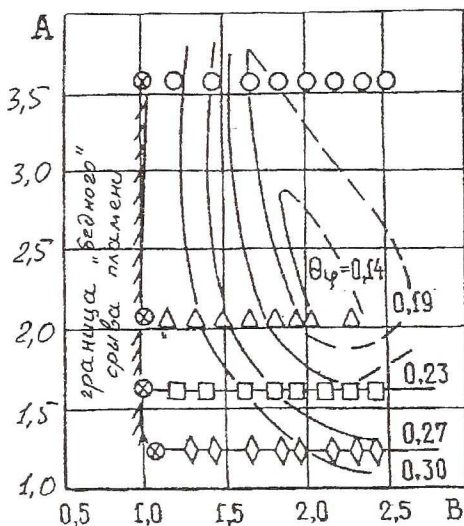


Рис. 6. Изменение окружной неравномерности выходного поля температур по режимам работы КС

Линии рабочих режимов турбокомпрессора в поле ХКС. Известно, что анализ совместной работы узлов двигателя в поле характеристики компрессора позволяет выбрать оптимальное расположение линии рабочих режимов (ЛРР) и, при необходимости решить задачу наиболее удачного регулирования ГТД. Точность определения рабочих режимов в поле характеристики этого узла зависит от уровня ММ ГТД, имеющейся в распоряжении расчётчиков.

Естественно, при наличии ХКС уровень этой ММ повышается, поскольку изменения параметров работы КС (T_z^* , η_z , $\sigma_{кс}$), входящих в эту ММ, задаются уже не приближённо, а прямо, непосредственно по ре-

зультатам испытаний блока КС. В этом случае в процессе расчёта ЛРР в поле характеристики компрессора одновременно получается и уточняется положение ЛРР и в поле ХКС.

На рис. 7 показан фрагмент ХКС малоразмерного ГТД (МГТД) ДГ-4М при её работе в составе двигателя. Этот двигатель турбовальный с отбором мощности потребителю с вала турбины компрессора, т.е. он имеет два регулирующих фактора, поэтому в поле ХКС удалось получить несколько ЛРР при различной нагрузке (выходной мощности - W). Поскольку такого рода информация получена впервые, представляет интерес хотя бы краткий её анализ.

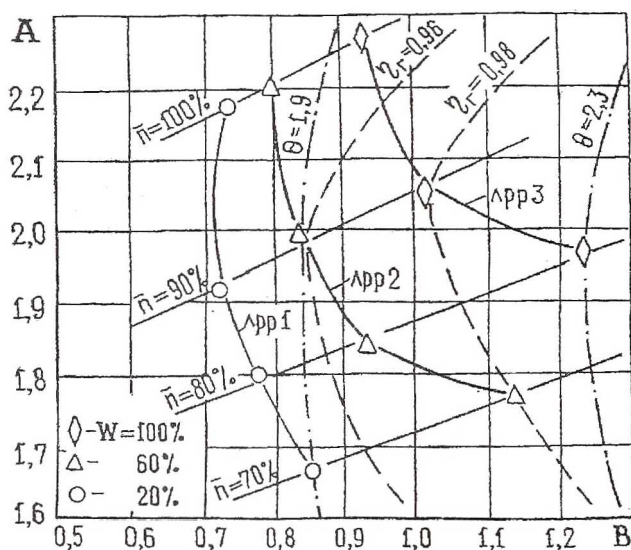


Рис. 7. Фрагмент характеристики КС малоразмерного ГТД ДГ-4М

В поле данной ХКС показаны по две изолинии степеней подогрева θ и полноты сгорания η_c , а также более привычное изображение режимов работы ГТД в виде линий $\bar{n} = const$.

Положение ЛРР (ЛРР1, ЛРР2 и ЛРР3), а также положение рабочих точек на этих линиях вполне соответствует последовательности и причинам изменения режимов работы двигателя. Так снижение выходной мощности двигателя (W от 100% до 20% при $\bar{n} = const$) перемещает рабочую точку в поле ХКС в область более низких степеней подогрева

(например, при $\bar{n} = 80\%$ Θ изменяется от 2,3 до 1,9 и менее). Поддержание постоянной мощности на выходе (например, $W = 100\%$) при снижении \bar{n} от 100% до 80% (частота вращения вала снижается загрузкой двигателя) возможно лишь увеличением подвода энергии с топливом - величина B растёт и Θ меняется от 1,9 до 2,3 при $W = 100\%$).

Характерно, что при наличии ХКС уже невозможно задавать в расчётах постоянную и одинаково высокую полноту сгорания η_c на всех режимах работы двигателя.

Сопоставление КС различных двигателей. В распоряжении авторов в настоящее время есть пока лишь два фрагмента характеристик натурных КС двух МГТД. Следовательно, материала для какого-либо сравнения недостаточно. Но в поле координат А и В была проведена обработка ЛРР некоторых ГТД: Е³ (РW), НК-93 (двигатели большой размерности) и МГТД «51» и ДГ-4М. Несмотря на ограниченность имеющейся информации, сопоставление ЛРР этих четырёх двигателей в поле ХКС даёт некоторые новые дополнительные сведения.

Представленные на рис. 8 ЛРР этих ГТД позволяют выделить область, в которой группируется большая часть рабочих точек. Данная область находится около значений критерия $B=1$. Причина этого явления состоит в следующем.

Поскольку величина критерия B отражает соотношение энергии, выделяющейся в КС при горении топлива Q_1 и энергии сжатия рабочего тела в компрессоре $L_{сж}$ можно записать

$$B \approx \frac{Q_1}{L_{сж}} \quad (6)$$

Очевидно, что оптимальная величина критерия B определяется из условий получения максимальной работы термодинамического цикла L_e .

Известно, что $L_e \rightarrow \max$ при

$$\pi \frac{k-1}{c_p k} = \sqrt{e \eta_p \eta_c \frac{T_2^*}{T_K^*}},$$

где e - коэффициент, учитывающий изменение состава рабочего тела от входа до выхода из КС, η_p - КПД процесса расширения, η_c - КПД про-

цесса сжатия. В идеальном термодинамическом цикле ($e = 1$, $\eta_p = 1$, $\eta_c = 1$), т.е. с учётом (7)

$$\pi_{\text{сжс}}^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_K^*}{T_H^*} = \sqrt{\frac{T_2^*}{T_K^*}}$$

Из этого следует условие оптимального (при $L_e = \max$) соотношения количества энергии, подводимой к рабочему телу в компрессоре и в КС:

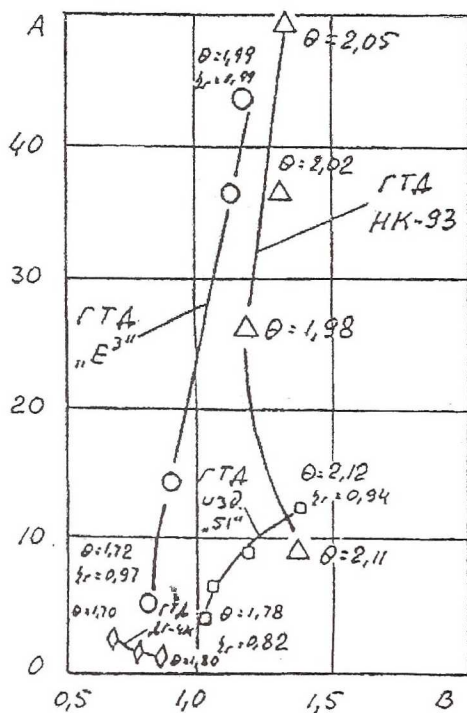


Рис. 8. Линии рабочих режимов некоторых ГТД

$$\frac{T_2^*}{T_K^*} = \frac{T_K^*}{T_H^*}$$

Учитывая, что $\frac{T_K^*}{T_H^*} \sim L_{\text{сжс}}$, а $\frac{T_2^*}{T_K^*} \sim Q_1$ можно записать $L_{\text{сжс}} \approx Q_1$. Та-

ким образом, для получения максимальной работы цикла необходимо

выдерживать соотношение $\frac{Q_1}{L_{сж}} \approx 1$, или $B \approx 1$. На основании этого и используя выражение (2), можно сделать вывод, что на оптимальном режиме работы двигателя должно выполняться условие $\frac{T_z^*}{T_k^*} \approx 2$. Из рис.8

видно, что наиболее современные, а следовательно более совершенные, ГТД - НК-93, "Е³" имеют на наиболее нагруженных режимах значения $\theta = 1,95...2,05$.

Можно утверждать, что КС, характеристика которой лежит вне диапазона $B \approx 1$ (например, рис. 5 и 6), не позволит получить на двигателе оптимальные режимы работы (по L_e).

Относительно МГТД на основе изложенного можно сказать, что из-за невозможности применения в них компрессоров с высокими π_k оптимальная величина T_z^* в этих двигателях должна быть также невысокой. Характерно, что сопоставление фрагментов характеристик малоразмерных и полноразмерных КС дало их чёткое разграничение: из-за малой величины τ_n в малоразмерных КС и низких параметров цикла, т.е. большой величины τ_z , эти КС занимают область малых величин критерия А.

Подводя итог, можно отметить, что предлагаемый вид ХКС обладает повышенной информативностью и уже на данном этапе позволил по новому взглянуть на работу этого узла. Следует ожидать, что накопление статистики (например, создание атласа характеристик КС) и её сопоставительный анализ даст новые и достаточно ценные сведения о работе КС и автономно, и в составе ГТД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ковылов Ю.Л., Крашенинников С.В., Лукачев С.В., Цыганов А.М. Обобщенная характеристика камеры сгорания газотурбинного двигателя.- Теплоэнергетика, №1, 1999
2. Ковылов Ю.Л., Крашенинников С.В., Лукачев С.В., Цыганов А.М. Понятие обобщенной характеристики горелочного устройства теплового двигателя.- Ракетно-космическая техника, серия XII, вып.1 - Самара, 1997, С.91
3. Крашенинников С.В., Лукачев С.В. Критериальное рассмотрение задачи об обобщенной характеристике горелочного устройства тепловой машины.- Ракетно-космическая техника, серия XII, вып.1 - Самара, 1997, С.99

4. Крашенинников С.В., Лукачев С.В. Решение задачи об обобщенной характеристике камеры сгорания ГТД методом теории подобия // Вестн. СГАУ. Сер. Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей. Вып.1; Самар. гос. аэрокосм. ун-т, Самара, 1998. –С. 217-228.
5. Талантов А.В. Горение в потоке. -М.: Машиностроение, 1978, - 160 с.
6. Пчелкин Ю.М. Камеры сгорания ГТД -М.: Машиностроение, 1984, 228с.
7. Теория двухконтурных турбореактивных двигателей / Под ред. Шляхтенко С.М. -М.: Машиностроение, 1979, 432с.

УДК 621.43

ЭКСПРЕСС - ДИАГНОСТИКА КАЧЕСТВА РАСПЫЛИВАНИЯ ВИХРЕВЫМ ПРОБООТБОРНИКОМ

Лякина Н.П., Пиралишвили Ш.А., Шувалов В.В.

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия

Процессы диспергирования жидкости получили широкое применение в современной технике и особое значение они имеют в устройствах для сжигания топлив [1,2]. Как известно, эффективность сжигания топлива определяется совершенством процесса смесеобразования, т.е. зависит от таких характеристик как местные коэффициенты избытка воздуха, дисперсность распыла конденсированного горючего и степень его испаренности. Однако сложность процессов смесеобразования не позволяет разработать надежный аналитический метод расчета и требует создания экспериментальных методик и устройств. Особый интерес представляет экспресс-методы, не требующие привлечения дорогостоящего оборудования.

Наиболее часто спектр распыла описывается формулой Розина-Раммлера [3]

$$V_s^i = 1 - \exp \left[- \left(\frac{d_i}{\bar{d}} \right)^n \right], \quad (1)$$

где: V_s^i суммарный относительный объем капель спектра, размеры которых меньше заданного d_i ; \bar{d} - средний диаметр капель спектра, n - константа распределения.