

УДК 621.438

АППРОКСИМАТИВНЫЙ КОРРЕЛЯЦИОННО - СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ КАМЕР СГОРАНИЯ

©2012 С. А. Прохоров¹, С. А. Ильинский², Т. Г. Александрова², Я. В. Соловьева¹¹Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)²ОАО «Кузнецов», г. Самара

Приводятся и анализируются результаты определения диагностических параметров камер сгорания газотурбинных двигателей (ГТД), полученные при помощи автоматизированной системы аппроксимативного корреляционно-спектрального анализа в ортогональном базисе Бесселя путём получения моделей корреляционных и спектральных характеристик исходных массивов значений температур.

Камера сгорания, спектр, корреляционная функция, аппроксимация, коэффициент корреляции.

Введение

Семейство двигателей НК в процессе своей эволюции, модернизации и разработки сменило несколько вариантов конструкции камер сгорания (КС).

На рис. 1 отображены основные этапы эволюции конструкции камер сгорания газотурбинных установок (ГТУ) семейства НК [1].

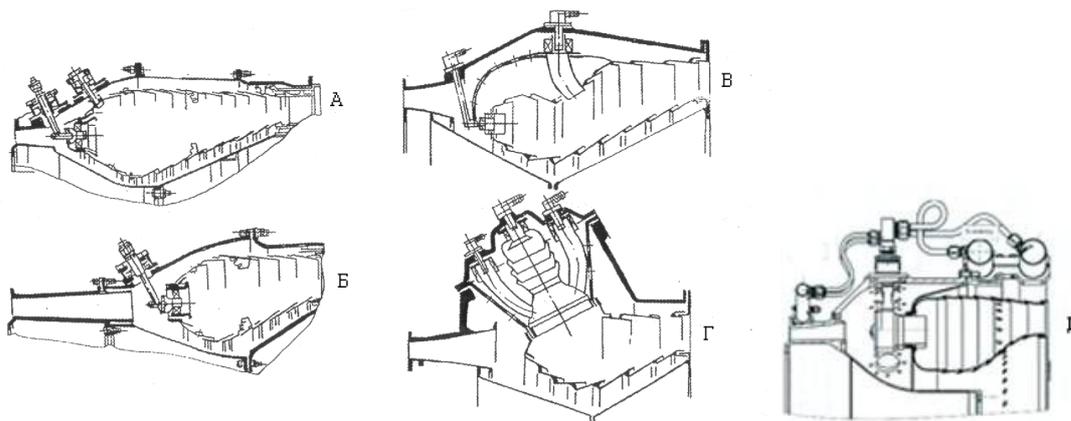


Рис. 1. Эволюция развития КС ГТУ семейства НК:

А - традиционная схема; Б - короткая традиционная схема; В - двухзонная кольцевая; Г - двухзонная с выносными жаровыми трубами; Д - двухзонная малоэмиссионная

В настоящее время используются три конструкции: В, Г, Д, ведутся работы по проектированию новых высокоэффективных и высокотехнологичных КС. Рассмотрим и сравним эти три конструкции камеры сгорания с целью оценки и анализа равномерности поля температур в её выходном сечении.

Традиционно в соответствии с техническими условиями (ТУ) на испытание для решения этой задачи применяется следующая методика:

- создаются определённые условия на входе в камеру сгорания;
- на выходе, на срезе камеры сгорания, устанавливается специальный измерительный инструмент – гребёнка с 6-ю термопарами;
- гребёнка движется по окружности, перемещаясь из одного положения в другое.

Угол смещения гребёнки составляет 2,5°. Количество точек измерения за один оборот гребёнки – 140.

Гребёнка перемещается из одного положения в другое за 2 с, а в точке измерения задерживается на 16 с для устранения влияния инерционности гребенки. Измерение происходит в конце интервала задержки. В результате испытания получается массив значений температур, характеризующий стационарную неравномерность температурного поля по окружности и в радиальном направлении [1].

На основе этих данных определяется средняя температура по измеряемым поясам камеры сгорания:

$$T_{\kappa} = \frac{\sum T_{ki}}{140}, \quad (1)$$

где T_{ki} – значение температуры в i -й точке k -го пояса.

Пояс (радиус) – массив значений температур, измеренных одной термопарой. Всего в КС 6 поясов, а первый пояс находится около внутренней оболочки КС.

Значения T_{κ} , взятые в относительных единицах, определяют эпюру температурного поля, представленную на рис. 2.

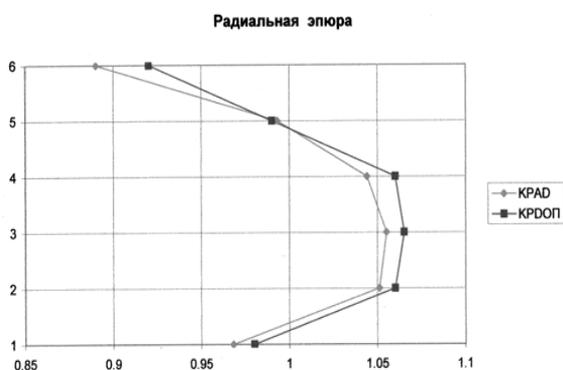


Рис. 2. Эпюра температурного поля: КРАД – относительный коэффициент радиальной эпюры; КРДОП – относительный коэффициент радиальной эпюры допустимый

Далее рассчитывается среднемассовая температура КС:

$$T_{\text{м}} = \frac{\sum T_{\kappa}}{6}. \quad (2)$$

Эпюра и окружная неравномерность на радиусах относительно среднемассовой температуры являются основными параметрами как при оценке КС,

так и при оценке эффективности проведенных мероприятий.

Данная работа, используя полученный в процессе испытаний массив значений температур, позволяет расширить количество параметров, определяющих качество КС, а также связать параметры неравномерности температурного поля с конструкцией КС и её конструктивными элементами.

Предлагается ввести в оценку параметров камеры сгорания:

- автокорреляционную (АКФ) T_{ki} и взаимно корреляционную функции (ВКФ) между T_{ki} и T_{ni} ;
- среднее квадратическое отклонение (СКО) значений температур в поясе;
- коэффициенты корреляции T_{ki} и T_{ni} ;
- спектр распределения значений температур в поясах.

Следует отметить, что корреляционный и спектральный анализ проводится для небольшого количества точек измерения: для 6 термопар и 140 позиций измерения. Для повышения точности и разрешения оценки характеристик выходного тракта КС можно установить в радиальном направлении 8 термопар, а количество позиций увеличить до 350-400.

Расчёты и построение графиков в данной работе производились при помощи автоматизированной системы аппроксимативного корреляционно-спектрального анализа в ортогональном базисе Бесселя, подробное описание которой приведено [2].

Для оценки корреляционно-спектральных характеристик параметров камеры сгорания предлагаемая методика содержит следующие этапы [3]:

- 1) центрирование результатов измерения температуры T_{ki} с использованием ортогональных полиномов;
- 2) оценку корреляционной (взаимной корреляционной) функции T_{ki} (T_{ki}, T_{ni}) и коэффициентов корреляции;

3) аппроксимацию корреляционной (взаимной корреляционной) функции ортогональными функциями Бесселя;

4) оценку спектральной плотности мощности T_{ki} по параметрам ортогональных разложений корреляционной (взаимной корреляционной) функции в базисе Бесселя.

Рассмотрим подробно особенности реализации каждого этапа.

Этап 1

В результате эксперимента получена совокупность $\{T_{ki}(\alpha_i)\}_{i=1...140, k=1...6}$,

где α_i - угол смещения гребёнки.

Результаты эксперимента в общем случае представляют собой нестационарный ряд (рис. 3), его математическое ожидание является функцией угла $\hat{T}(\alpha)$:

$$\hat{m}_{Tk}(\alpha_i) = \sum_{n=0}^m b_{kn} \psi_n(\alpha_i),$$

где $\psi_n(\alpha_i)$ - ортогональные полиномы (в данной системе используются ортогональные полиномы Лежандра, Чебышева, Лагерра); β_{kn} - коэффициенты разложения в ряд.

Для центрирования нестационарного ряда применим аппроксимативный подход [3]. В этом случае центрированную реализацию ряда представим в виде:

$$\overset{\circ}{T}_{ki}(\alpha_i) = T_{ki}(\alpha_i) - \hat{m}_{Tk}(\alpha_i).$$

Этап 2

Оценка авто- и взаимной корреляционной функции производится по формулам:

$$\begin{cases} \hat{K}_{Tj}(J) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \overset{\circ}{T}_{ji} \overset{\circ}{T}_{j,i+J}, \\ \hat{K}_{Tjn}(J) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \overset{\circ}{T}_{ji} \overset{\circ}{T}_{n,i+J}, \\ \hat{K}_{Tnj}(J) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \overset{\circ}{T}_{ni} \overset{\circ}{T}_{j,i+J}. \end{cases}$$

Этап 3

Аппроксимативный корреляционный анализ проводится с использованием ортогональных функций Бесселя [2].

При построении аппроксимативной модели ВКФ необходимо аппроксимировать как правую, так и левую ветви взаимной корреляционной функции, то есть необходимо искать модель в виде:

$$K_{TjTn}(t) = s_{Tj} s_{Tn} \left[\sum_{k=0}^{m1} b_{k,n} \cdot Jf_k(n, t, g_1) \cdot l(t) + \sum_{k=0}^{m2} b_{k,n} \cdot Jf_k(n, -t, g_2) \cdot l(-t) \right],$$

где $b_{k,n}$ и $b_{k,l}$ - коэффициенты правой и левой ветвей модели ВКФ:

$$b_k = \hat{b}_k + C_k,$$

$$\hat{b}_k = \frac{1}{\|Jf_k(n, g)\|^2} \int_0^\infty K_x(t) \cdot Jf_k(n, t, g) \cdot m(t, g) dt,$$

$$C_k = \frac{1}{\|Jf_k(n, g)\|^2} \cdot \left(1 - \sum_{s=0}^m b(s) \right) / \sum_{s=0}^m \frac{1}{\|Jf_s(n, g)\|^2},$$

$$l(t) = \begin{cases} 1, t > 0 \\ 1/2, t = 0 \\ 0, t < 0 \end{cases} \text{ и } l(-t) = \begin{cases} 0, t > 0 \\ 1/2, t = 0 \\ 1, t < 0 \end{cases}$$

g_1 и g_2 - параметры масштаба правой и левой ветвей модели ВКФ;

$m1$ и $m2$ - число членов разложения ряда для правой и левой ветвей модели ВКФ;

$Jf_k(n, t, g)$ - ортогональные функции Бесселя первого рода нулевого порядка.

$$Jf_k(n, t, g) = J_n \left[I_k^{(n)} \cdot (1 - e^{-g \cdot t}) \right] \cdot e^{-g \cdot t}.$$

Коэффициент корреляции определяется по формуле: $r_{TjTn} = \frac{K_{TjTn}(0)}{\sigma_{Tj} \sigma_{Tn}}$.

Этап 4 (5)

Определив параметры аппроксимативной модели корреляционной функции, оценим спектральную плотность мощности (СПМ) по следующей формуле [3]:

$$S_{Tn}(w) = \frac{S_{Tj} S_{Tn}}{2p} \left[\sum_{k=0}^{m1} b_{k,n} \operatorname{Re} W_k(jw) + \sum_{k=0}^{m2} b_{k,n} \operatorname{Re} W_k(jw) \right]$$

Здесь $W_k(jw)$ - преобразование Фурье ортогональных функций Бесселя:

$$W_k(jw) = \frac{1}{g + jw} \cdot \left(1 + \sum_{n=0}^{\infty} \prod_{i=0}^n a_i \right),$$

$$\text{где } a_i = \frac{(-1)(kmm_k)^2 \frac{1}{i+1} \left(\frac{1}{2} + i \right)}{\left(\frac{3g + jw}{2g} + 2i \right) \left(1 + \frac{3g + jw}{2g} + 2i \right)}$$

Рассмотрим особенности применения предлагаемой методики для анализа КС.

1. Двухзонная КС с выносными жаровыми трубами (вариант Г)

В камере сгорания установлены 11 равномерно расположенных по окружности головок (горелок) с общим газосборником. Количество отверстий для подачи топливовоздушной смеси с избытком воздуха (больших) – 44. Отверстия расположены по 4 на каждой головке КС.

Был проведен расчёт среднеквадратического отклонения (СКО) σ и математического ожидания (МО), взаимной корреляционной, автокорреляционной функции и спектра для нескольких испытаний КС.

Расчёт σ

Из табл. 1 видно, что разброс значений температуры в поясах велик и составляет 160-172 °С.

График окружной неравномерности температурного поля КС (вариант Г) по поясам представлен на рис. 3.

Таблица 1. Результаты расчёта СКО и МО значений температуры по поясам камеры сгорания (вариант Г)

Пояс	1	2	3	4	5	6
σ	163	165	172	160	163	161
МО	734	821	817	781	788	684

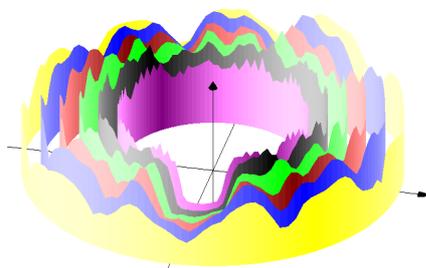


Рис. 3. График окружной неравномерности температурного поля КС (вариант Г) по поясам

Корреляционный анализ

На рис. 4 приведены результаты определения автокорреляционной функции по поясам. Характер поведения автокорреляционной функции в данном случае (рис. 4) говорит о значительной величине гармонической составляющей процесса. Особенно это заметно по 6-му поясу.

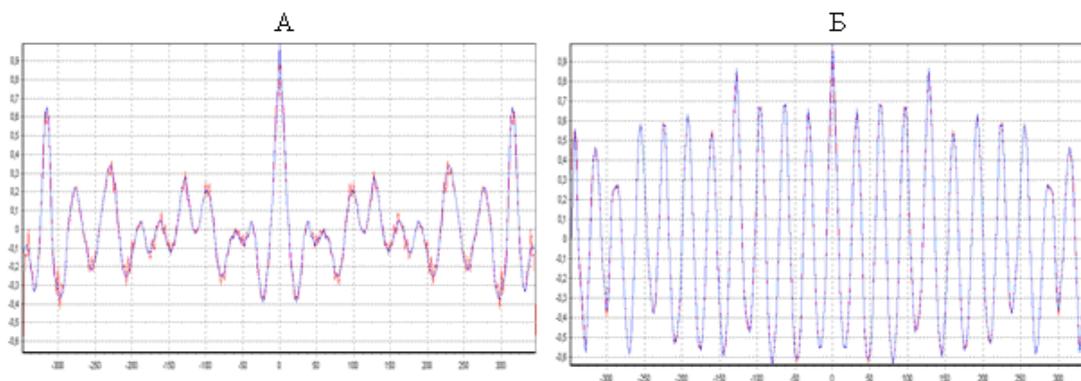


Рис. 4. АКФ по результатам испытания КС (вариант Г): А – 1-й пояс (температура T4-1); Б – 6-й пояс (температура T4-6)

Взаимный корреляционный анализ

В общем случае приходится изучать взаимодействие двух процессов с различными масштабами измерения или с различными дисперсиями.

В таком случае необходимо определять взаимную корреляционную функцию.

Определим ВКФ для поясов КС: 1-го пояса со 2-м, 3-м и т.д.

Рассчитаем коэффициенты корреляции для ВКФ между поясами температурного поля, которые показывают степень взаимовлияния газовых потоков в поясах КС между собой.

На рис. 5 показаны коэффициенты корреляции между i -ми и j -ми поясами ($i = \overline{1,6}, j = \overline{1,6}$), по оси абсцисс указан номер пояса, по оси ординат – количественное значение коэффициента корреляции.

Так, например, пояса 1, 5 и 6 практически взаимонезависимы (не коррелированы). Коэффициент корреляции меньше 0,3. Это говорит о неоднородности потоков в зоне горения (недостаточное смешивание).

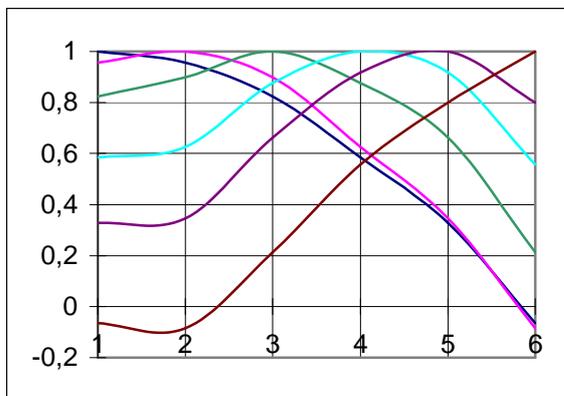


Рис. 5. Коэффициенты корреляции между поясами T4-I - T4-j камеры сгорания (вариант Г)

Спектральный анализ

Проведём спектральный анализ массива показаний температур на предмет выявления гармонической составляющей процесса, замеченной при анализе АКФ и ВКФ.

Спектральный анализ будем проводить по поясам массива данных.

При этом получим составляющие спектра и их величины. В отношении физического смысла слова «частота» можно сказать, что это частота появления объекта, искажающего температурное поле.

Это могут быть горелки, отверстия подачи воздуха, затеняющие трубы, не горящие горелки, плохо настроенные форсунки, карбюраторы и др. [3].

По оси Y – температура в °C, по оси X – частота процесса в относительных единицах, которые могут быть пересчитаны в Гц по формуле: $F(\text{Гц}) = n * 140$, где n – показания по оси X.

На рис. 6 видны три максимума.

По 6 поясу:

- на частоте примерно 1 Гц амплитуда около 90 °C;
- на частоте примерно 11 Гц амплитуда около 170 °C;
- на частоте примерно 22 Гц амплитуда около 90 °C.

Аналогичная картина, но с меньшей амплитудой, по 1-му поясу.

Таким образом, влияние конструкции более сказывается около внешней оболочки, чем около внутренней.

Наличие всех трёх частот объясняется конструктивными особенностями и дефектом на данном экземпляре КС.

Дело в том, что на данном испытании КС появился дефект – не зажглась одна жаровая труба, в результате на графике физического процесса появился провал по уровню температуры и в спектре появилась частота 1 Гц.

Частота 11 Гц полностью соответствует числу жаровых труб – 11 шт. Причём амплитуда этой частоты довольно велика – 170 °C. Здесь видно явное отрицательное влияние конструкции на равномерность температурного поля. Частота 22 Гц – это удвоенная частота 11 Гц.

Отверстия для подачи смеси воздуха в КС на спектре не проявляются, так как они расположены на жаровой трубе и вносят свой вклад в неравномерность температурного поля вместе с жаровой трубой.

Наибольшая неравномерность наблюдается на 6-м поясе, находящемся у внешней оболочки. Амплитуда частоты 11 Гц здесь достигает 170°С.

Наличие гармонической частоты 11 Гц в массиве данных по температурному полю свидетельствует о влиянии кон-

струкции КС, которое трудно будет устранить при жёстких требованиях к габаритам КС. Уменьшение влияния конструктивных элементов (горелок) на равномерность температурного поля можно достичь увеличением их числа до оптимального предела.

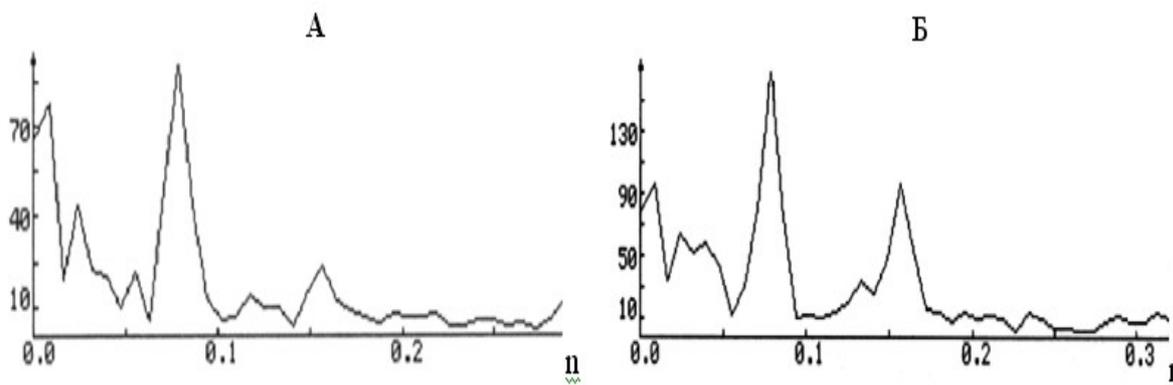


Рис. 6. Спектральный анализ по поясам КС (вариант Г): А – спектр по 1-му поясу; Б – спектр по 6-му поясу

2. Двухзонная кольцевая КС (вариант В)

Проведём анализ результатов оценки параметров КС другой конструкции: двухзонной кольцевой.

Двухзонная кольцевая КС состоит из двух контуров горения: первый контур – внутренний (дежурная зона) и второй контур (основная зона). В первом контуре – 28 горелок, во втором контуре – 42 горелки.

Также был проведён расчёт σ взаимной корреляционной, автокорреляционной функции и спектра для нескольких испытаний КС.

Расчёт σ

Из табл. 2 видно, что разброс значений температуры в поясах значительно меньше, чем в камере сгорания Г, и составляет 42-63 °С. Это свидетельствует о лучшей равномерности поля температур, а если применить технологический термин, то меньшей «шероховатости» температурного поля КС.

График окружной неравномерности температурного поля КС (вариант В) по поясам представлен на рис. 7.

Таблица 2. Результаты расчёта СКО и МО значений температуры по поясам камеры сгорания (вариант В)

Пояс	1	2	3	4	5	6
σ	42	47	47	51	60	63
МО	746	845	847	834	783	697

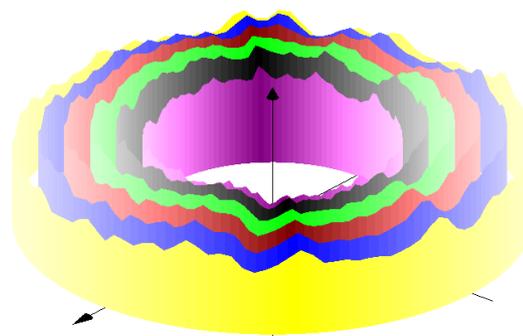


Рис. 7. График окружной неравномерности температурного поля КС (вариант В) по поясам

Корреляционный анализ

Проведем расчёт автокорреляционной функции по результатам испытания КС варианта В. Вид АКФ по поясам примерно одинаков и различается мало (рис. 8). В процессе имеются гармонические составляющие.

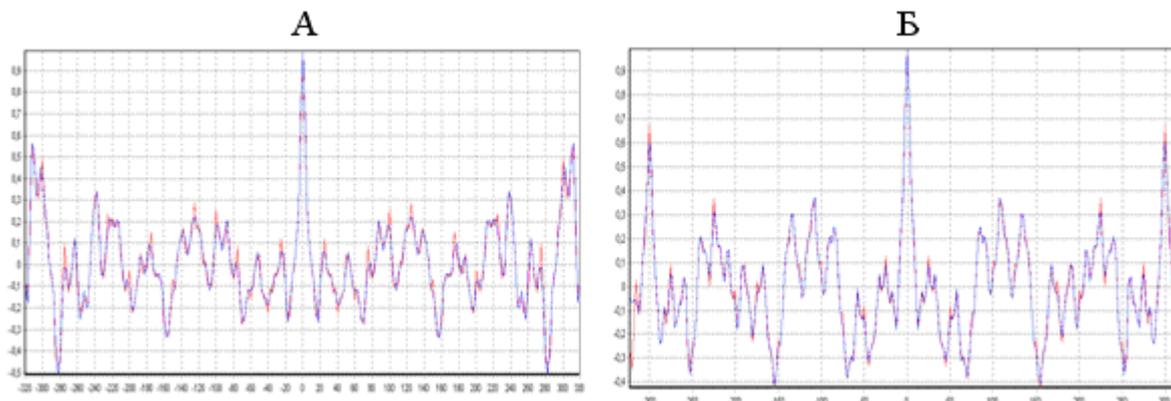


Рис. 8. АКФ по результатам испытания КС (вариант В):
А – 1-й пояс (температура Т4-1); Б – 6-й пояс (температура Т4-6)

Взаимный корреляционный анализ

На рис. 9 приведены графики коэффициентов корреляции для ВКФ экспериментальной КС варианта В.

ВКФ рассчитывалась для оценки взаимовлияния газовых потоков, описываемых массивами данных по поясам температурного поля.

Из рис. 10 видно, что уровень корреляции процессов по поясам высокий. Процессы взаимозависимы. Причём даже удалённые пояса имеют коэффициент корреляции на уровне 0,4–0,5. Это свидетельствует о хорошем смешении и однородности потоков газа.

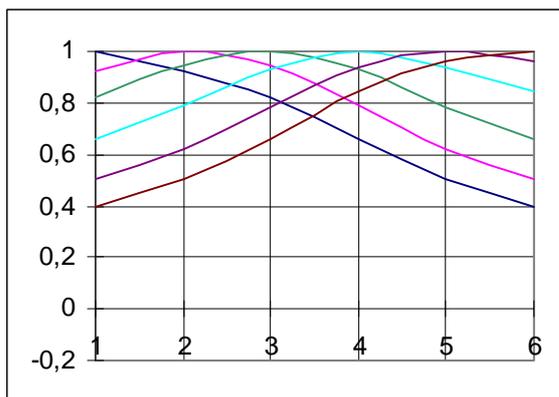


Рис. 9. Коэффициенты корреляции между поясами Т4-1 - Т4-*j* камеры сгорания (вариант В)

Спектральный анализ

Проведём спектральный анализ массива показаний температур КС варианта В на предмет выявления гармонической со-

ставляющей процесса, замеченной при анализе АКФ.

По сравнению с данными по КС варианта Г амплитуда частот гораздо ниже и составляет 40-50 °С против 170 °С на 6-м поясе КС варианта В.

На графике (рис. 10) несколько максимумов, соответствующих:

- низким частотам 2 Гц (соответствует двум запальникам), 7 Гц (минимальное кратное число для горелок первого и второго контуров) и 12 Гц;
- частотам - 28, 42, 56 Гц.

Данная КС характеризуется довольно значительной амплитудой низких частот по сравнению с частотами 28, 42, 56 Гц. Низкие частоты говорят, например, об отличии в настройке горелок по расходам топлива и воздуха или об отличии местных условий в КС.

Частоты 28 и 42 Гц - это проявления воздействия на температурное поле горелок 1-го и 2-го контуров, они соответствуют количеству горелок в контурах. Амплитуды этих частот небольшие.

Частота 56 Гц соответствует удвоенной частоте 28 Гц (28 горелок 1-го контура), а также 56 отверстиям ввода воздуха на внутреннем кожухе жаровой трубы.

Идеальным случаем является тот, когда на температурном поле вообще не проявляются частоты, эквивалентные количеству механических узлов, участвующих в формировании горения.

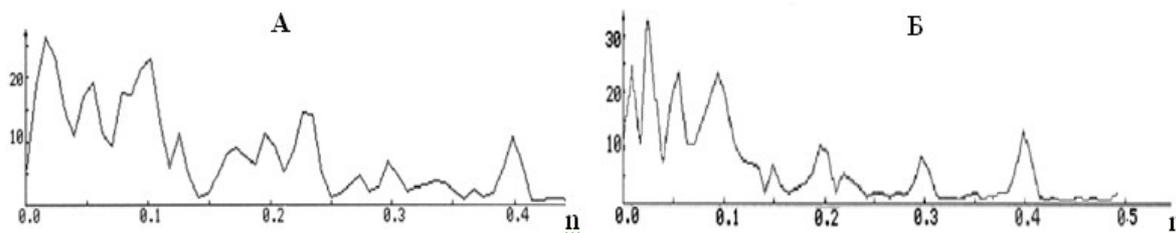


Рис. 10. Спектральный анализ по поясам КС (вариант В):
А – спектр по 1-му поясу; Б – спектр по 3-му поясу

3. Малоэмиссионная КС (вариант Д)

Проведём анализ результатов оценки параметров КС варианта Д.

Малоэмиссионная КС состоит из двух контуров горения: обе зоны горения организованы во внутреннем контуре. Здесь установлены 28 двухкомпонентных горелок.

Был проведен расчёт σ взаимной корреляционной, автокорреляционной функции и спектра для одного испытания КС.

Расчёт σ

Из табл. 3 видно, что разброс значений температуры в поясах меньше и составляет 28-57 °С.

Таблица 3. Результаты расчёта СКО и МО значений температуры по поясам камеры сгорания (вариант Д)

Пояс	1	2	3	4	5	6
σ	28	37	42	43	48	57
МО	741	788	778	767	756	749

Это свидетельствует о хорошей равномерности поля температур, а если при-

менить технологический термин, то малой величине «шероховатости» температурного поля КС.

График окружной неравномерности температурного поля КС (вариант Д) по поясам представлен на рис. 11.

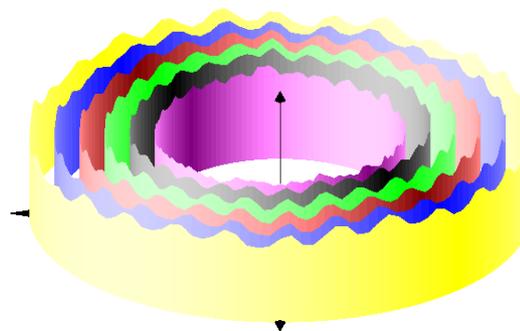


Рис. 11. График окружной неравномерности температурного поля КС (вариант Д) по поясам

Корреляционный анализ

Проведём расчёт автокорреляционной функции по результатам испытания КС.

Вид АКФ (рис. 12) говорит о наличии в процессе гармонической составляющей.

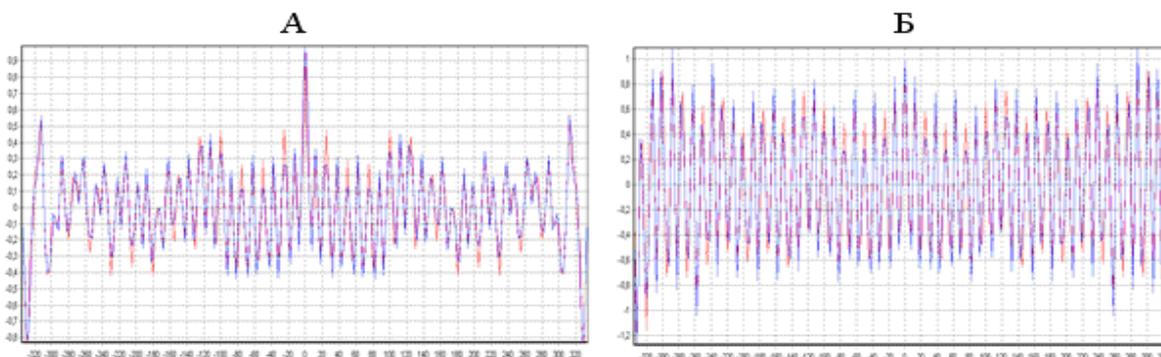


Рис. 12. АКФ по результатам испытания КС (вариант Д):
А – 1-й пояс (температура T4-1); Б - 5-й пояс (температура T4-5); В - 6-й пояс (температура T4-6)

Взаимный корреляционный анализ

На рис. 13 приведены графики коэффициентов корреляции для ВКФ малоэмиссионной КС.

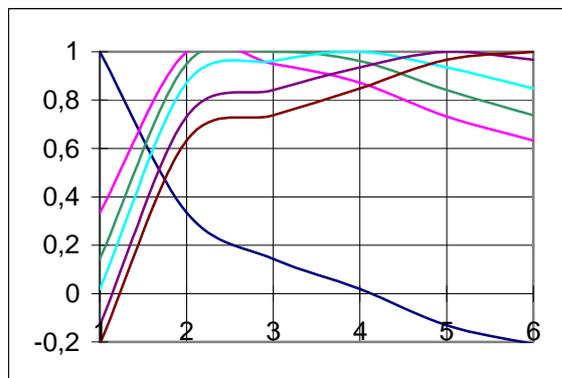


Рис. 13. Коэффициенты корреляции между поясами T4-1 - T4-j камеры сгорания (вариант Д)

Из рис. 13 видно, что уровень корреляции процессов между поясами высокий. Процессы взаимозависимы. Причём даже удалённые пояса (например, 2-й и 6-й) имеют коэффициент корреляции на уровне 0,7. Это свидетельствует о хорошем смещении и однородности потоков газа.

Однако 1-й пояс имеет очень низкую корреляцию с процессами со 2-го по 6-й пояс. Это свидетельствует о плохом сме-

щении потока в районе 1-го пояса с соседними потоками.

Но, в то же время, данный факт свидетельствует о благоприятных условиях для организации надёжного охлаждения стенок внутреннего кожуха как наиболее теплонапряжённого.

Спектральный анализ

Проведём спектральный анализ массива показаний температур КС варианта Д на предмет выявления гармонической составляющей процесса, замеченной при анализе АКФ.

По сравнению с данными по КС варианта В амплитуда частот примерно такая же и составляет 20-40 °С. На графике несколько максимумов, соответствующих: низким частотам 2-4-7 Гц, а также частотам 28, 56 Гц. Низкие частоты говорят, например, об отличии в настройке горелок по расходам топлива и воздуха или об отличии местных условий в КС.

В результате на температурном поле появляются провалы и вершины.

Частоты 28 и 56 Гц - это проявления воздействия на температурное поле горелок (28) и отверстий подвода воздуха в жаровой трубе (56). Амплитуды этих частот небольшие.

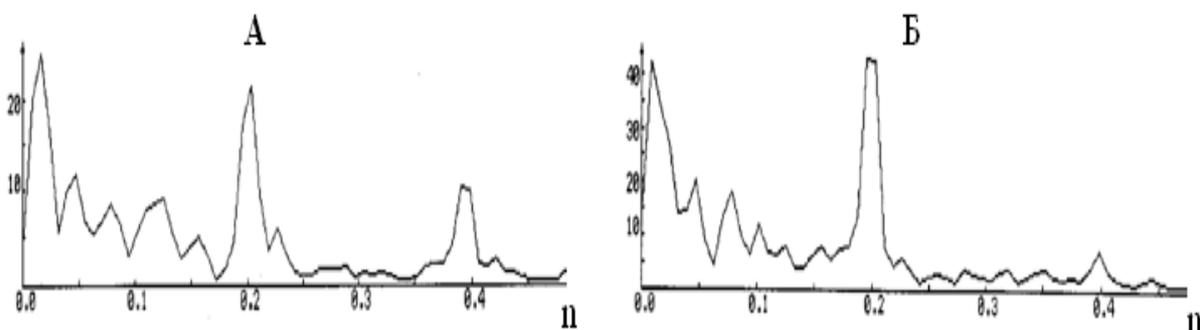


Рис. 14. Спектральный анализ по поясам КС (вариант Д):

А – спектр по 1-му поясу; Б – спектр по 6-му поясу

Таблица 4. Сводная таблица характеристик камер сгорания

КС	σ	ВКФ	СПМ
Г	Большой разброс значений (161-172 °С)	Коррелированы только ближние пояса. Коэффициенты корреляции по поясам 6 – j: 1) 0; 2) 0; 3) 0,2; 4) 0,6; 5) 0,8.	В спектре прослеживаются частоты, соответствующие числу головок, числу не горящих и плохо горящих головок. 1 Гц (110°С) и 11 Гц (170°С) Амплитуда частоты 11 Гц велика.
В	Небольшой разброс значений (42-63 °С)	Все пояса коррелированы. Коэффициенты корреляции по поясам 6 – j: 1) 0,4; 2) 0,5; 3) 0,65; 4) 0,83; 5) 0,95.	В спектре прослеживаются частоты, соответствующие: - числу горелок 1-го и 2-го контура: 28 Гц (10-12°С), 44 Гц (30-35°С); - числу холодных или горячих горелок. Амплитуды частот 28 и 44 Гц невелики.
Д	Небольшой разброс значений (28-57 °С)	Все пояса, кроме 1-го, хорошо коррелированы. Коэффициенты корреляции по поясам 6 – j: 1) 0; 2) 0,65; 3) 0,73; 4) 0,83; 5) 0,95.	В спектре прослеживаются частоты, соответствующие: - числу горелок 1-го и 2-го контура: 28 Гц (20°С), 56 Гц (40°С). Амплитуда частоты 28 Гц невелика.

Выводы

Можно сделать следующие выводы:

1. Использование АКФ, ВКФ, СПМ для анализа результатов испытаний трёх вариантов КС (В, Г, Д), показало наличие связи между количеством горелок, головок и характеристиками температурного поля.

Проявляется и качество отстройки горелок (карбюраторов) КС.

2. ВКФ и коэффициенты корреляции отражают уровень коррелированности процессов в КС и характеризуют степень смещения потоков [4].

3. СПМ характеризует уровень качества настройки головок, карбюраторов и одновременно оценивает степень влияния конструкции на окружающую и радиальную неравномерность поля температур.

4. Расчёт АКФ, ВКФ, СПМ значительно расширяет возможности анализа экспериментальных испытаний нового варианта КС и оценки качества серийных изделий. Кроме того, появляется возможность формализовать оценки параметров КС и проводить количественные оценки вариантов конструкции и качества сборки.

5. Наилучшими характеристиками по σ , АКФ, ВКФ, спектру обладает вариант Д.

6. Дальнейшее повышение качества характеристик температурного поля по лучшему смещению потоков, уменьше-

нию разброса (σ), отсутствию пиков на спектре частот видится в увеличении числа горелок и тщательной отстройке горелок (форсунок) по характеристикам.

Библиографический список

1. Гриценко, Е. А. Конвертирование авиационных ГТД в газотурбинные установки наземного применения [Текст] / Е. А. Гриценко, В. П. Данильченко, С. В. Лукачев. – Самара: СНЦ РАН, 2004. – 266 с.

2. Прохоров, С. А. Автоматизированная система аппроксимативного корреляционно-спектрального анализа в ортогональном базисе Бесселя [Текст] / С. А. Прохоров, Я. В. Газетова // Изв. высших учеб. заведений. Поволжский регион. Технические науки. - 2010. - №2 (14). – С. 30-40.

3. Прикладной анализ случайных процессов [Текст] / под ред. С. А. Прохорова. – Самара: СНЦ РАН, 2007. - 582 с.

4. Прохоров, С. А. Перспективы применения программного комплекса аппроксимативного корреляционно-спектрального анализа для обработки результатов испытаний камер сгорания ГТД [Текст] / С. А. Прохоров, Я. В. Газетова // Перспективные информационные технологии для авиации и космоса (ПИТ-2010): избр. тр. Междунар. конф. с элементами науч. школы для молодежи. – Самара: Изд-во ПГУ, 2010. – Т.1 - С. 38-42.

APPROXIMATE CORRELATIVE-SPECTRAL ANALYSIS OF TEMPERATURE PATTERNS OF COMBUSTION CHAMBERS

© 2012 S. A. Prokhorov¹, S. A. Ilinsky², T. G. Aleksandrova², Ya. V. Solovyova¹

¹Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev
(National Research University)

² Open joint-stock company "Kuznetsov"

The paper presented the results of specifying diagnostic parameters of combustion chambers of gas turbine engines. The results were obtained with the help of an automated system of approximation correlative-spectral analysis in the Bessel orthogonal basis by producing models of correlative and spectral characteristics of the initial arrays of temperature values.

Combustion chamber, spectrum, correlative function, approximation, coefficient of correlation.

Информация об авторах

Прохоров Сергей Антонович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных систем и технологий, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: sp@smr.ru. Область научных интересов: автоматизированные системы для автоматизации научных исследований.

Ильинский Станислав Алексеевич, начальник отдела опытного конструкторского бюро, ОАО «Кузнецов». E-mail: motor-s@bk.ru. Область научных интересов: исследование динамических процессов в газотурбинном двигателе.

Александрова Татьяна Геннадьевна, ведущий инженер отдела опытного конструкторского бюро, ОАО «Кузнецов». E-mail: motor-s@bk.ru. Область научных интересов: исследование динамических процессов в газотурбинном двигателе.

Соловьева Яна Владимировна, аспирант кафедры информационных систем и технологий, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: yanka58@yandex.ru. Область научных интересов: методы и алгоритмы обработки случайных последовательностей.

Prokhorov Sergey Antonovich, Dr. Sci., professor, head of the department of information systems and technologies, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University). E-mail: sp@smr.ru. Area of research: Computer aided systems for scientific research.

Ilinsky Stanislav Alekseevich, chief of department № 16, design bureau of the open joint-stock company "Kuznetsov". E-mail: motor-s@bk.ru. Area of research: research of dynamic processes in GTEs.

Aleksandrova Tatyana Gennadevna, leading engineer of department, design office of the open joint-stock company " Kuznetsov ". E-mail: motor-s@bk.ru. Area of research: research of dynamic processes in GTEs.

Solovyova Yana Vladimirovna, post-graduate student of the department of information systems and technologies, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolev (National Research University). E-mail: yanka58@yandex.ru. Area of research: methods and algorithms of processing of random sequences.