

средоточены на управлении переговорами за счет введения новых агентов и корректировки знаний о целях и ограничениях в онтологии.

Заключение

Предлагаемый подход по автоматизации поддержки принятия коллективных решений за счет организации виртуального круглого стола предприятия с использованием мультиагентных технологий в основном призван сократить время на итерации по согласованию решений на ранних этапах обсуждения, но может быть использован и для организации адаптивных систем управления предприятием.

Предлагаемый алгоритм построения виртуального круглого стола позволяет сделать первые шаги по определению фрагментов системы управления предприятием, где возможна и результативная децентрализация управления.

Применение указанного подхода на практике позволяет создать интегрированную систему управления предприятием нового уровня, основанную на поиске компромиссов при принятии стратегических и тактических решений.

Литература

1. Виттих В.А. Согласованная инженерная деятельность. Состояние, проблемы, перспекти-

вы // Проблемы машиностроения и надежности машин. №1, 1997. – С. 6-14.

2. Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений // Автометрия. №6, 2002. – С. 45-61.
3. Rzevski G., Skobelev P. Emergent Intelligence in Large Scale Multi-Agent Systems // International Journal of Education and Information Technologies. Issue 2. Volume 2, 2007. – P. 64 -71.
4. Цибизова Т.Ю., Пищулин В.И. Разработка систем управления организациями с использованием информационных технологий // Инженерное образование, №4, 2007. (<http://www.techno.edu.ru:16001/db/msg/42313.html>)
5. Shaw M. Group dynamics: the psychology of small group behavior. New York: McGraw-Hill, 1976. – 464 p.
6. Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. М Статические и динамические экспертные системы. М.: Финансы и статистика, 1996. – 320 с.
7. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: РИА «Стандарты и качество», 2004. – 408 с.

УДК 53.087.9

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СВЧ ДАТЧИКОВ ПАРАМЕТРОВ ПЛАМЕНИ

Султанов Ф.И., Станченков М.А.

Для измерения электронной концентрации и температуры в камерах сгорания двигательных тепловых энергетических установок применены автодинные датчики с частотным выходом. Критерием эффективности схемы и конструкции принято количество извлекаемой информации.

Применение радиоволновых методов позволяет довести быстроту контроля технологических процессов до величин, достигнутых в радиолокации – одна микросекунда и менее. Одним из приложений этих методов является сверхвысокочастотная (СВЧ) диагностика параметров пламени. Соответствующие датчики (СВЧД) [1-2] конструктивно сопрягаемы с камерами сгорания транспортных тепловых энергетических установок (ТЭУ).

Для таких измерительных систем характерны быстрые информационные потоки, а оценка информационной производительности (ИПр)

датчиков [3] и ее зависимость от конструкций приобретает интерес не только в плане компьютерной обработки измерительного сигнала, но и для качества контроля. По своему содержанию ИПр аналогична пропускной способности (по Котельникову) или информационной емкости (по Шеннону) и в ряде случаев может быть рассчитана по общеизвестной формуле [4]. Однако в применении к контролю пламени большинство условий, оговоренных в [4], не соблюдается.

В частности:

- спектры диагностируемого параметра и многочисленных помех почти всегда небелые;
- более того, формирование названных факторов подвержено воздействию средств управления режимом ТЭУ, поэтому (предположительно) закон распределения здесь негауссов;
- спектр диагностируемого параметра (но не помех) гораздо уже полосы датчика;

- формирование откликов на воздействующие факторы носит разный физический характер;
- факторы воздействуют на измерительный сигнал неаддитивно;
- факторы порождены одним физическим процессом – горением и поэтому изначально коррелированы;
- передаточные характеристики СВЧД по отношению к некоторым факторам нелинейны;
- в общем случае отношение сигнал/шум (к последнему мы относим всю совокупность помех) нельзя считать большим.

Последнее обстоятельство не противоречит формуле [4], но заметно усложняет анализ и, что более существенно, обработку измерительного сигнала в реальном времени.

Для СВЧД [1-2] контролируемым параметром является электронная концентрация $N(t)$, которая вместе с частотой соударения электронов с электронейтральными частицами $\nu(t)$ известным образом влияет на диэлектрическую проницаемость плазмы пламени $\epsilon(t)$ [5]. С позиции обширного опыта диагностики плазмы нагрев СВЧД до температуры $T(t)$, вибрации $\nu(t)$ и собственное радиоизлучение плазмы $E(t)$ – суть помехи. Связь этих косвенных параметров с режимом ТЭУ находится в компетенции теплоэнергетиков и здесь не рассматривается. В [6-8] выявлена зависимость контрольного сигнала СВЧД от нагрева. Сопоставляя эти зависимости с соотношением [4] и перечисленными особенностями контроля пламени, нетрудно заключить, что повышение ИПр связано не только с выбором радиотехнических параметров, но и с учетом нетрадиционных для информационно-измерительной радиоаппаратуры показателей: форма деталей, толщина стенок, тепло- и теплопроводность материалов и др.

Отметим также выявленную в [9] возможность построения СВЧД с преимущественной реакцией либо на $N(t)$, либо на $T(t)$ и, даже, на $\nu(t)$.

Конечная цель авторов состоит в построении измерительной системы, способной извлекать и обрабатывать в реальном времени такое количество информации о внутрикамерных процессах, которое позволяет оперативно регулировать режим действующих и будущих ТЭУ. В частности, речь идет и об информации о предаварийных ситуациях, предвестники которых, как считают теплоэнергетики, могут быть выявлены быстродействующими измерителями.

Задача этапа, представленного в данной работе: количественная оценка ИПр двух СВЧД, включая выявление наиболее информативных

участков в спектре измерительного сигнала, и зависимости указанных величин от схем и конструкции датчиков.

Измерительный отклик включает продукты частотной модуляции зондирующего сигнала перечисленными выше воздействиями. Спектры одной из боковых полос датчика концентрации в первом по Тейлору приближении:

$$S_f(\omega) \approx S_\epsilon(\omega) + [S_T(\omega) + S_\nu(\omega) + S_{\epsilon T\nu}(\omega) + S_H(\omega) + S_E(\omega)]. \quad (1)$$

При этом $S_\epsilon(\omega)$, $S_T(\omega)$, $S_\nu(\omega)$ – спектральные плотности (СП) воздействий, $S_{\epsilon T\nu}(\omega)$ – совместные спектральные плотности, как продукты взаимной корреляции, $S_H(\omega)$ – искажение спектра, вызванное нелинейностью измерительных преобразований, и $S_E(\omega)$ – аддитивный собственный шум плазмы [5]. Влияние соударений здесь не учтено.

Первой операцией по обработке сигнала является частотное детектирование, а полученный спектр $S(\Omega)$ близок по форме и информационному содержанию к $S_f(\omega)$. Обобщенный вид последнего со вкладом каждого из слагаемых (1), а также АЧХ датчика представлены на рис. 1.

Сейчас нас интересует наиболее динамичный параметр $\epsilon(t)$. Заметим, что в силу совмещения спектров разделить здесь вклад $N(t)$ и $\nu(t)$ при одноканальном контроле невозможно. С другой стороны при многоканальном контроле желателен быстродействующий СВЧД с преимущественной реакцией на температуру. Результаты [6-8] подсказывают путь его построения: с ростом зондирующей частоты влияние концентрации убывает сообразно f^{-2} , а главной помехой становится вибрация.

С учетом замечаний Шеннона о небелых спектрах [4] ИПр при прямом частотном детектировании:

$$\begin{aligned} I &= \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \log_2 \left[\frac{S_f(\Omega)}{S_{ш}(\Omega)} \right] \cdot d\Omega = \\ &= \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \log_2 \left[1 + \frac{S_\epsilon(\Omega)}{S_{ш}(\Omega)} \right] \cdot d\Omega = \\ &= \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} [\log_2 S_f(\Omega) - \log_2 S_{ш}(\Omega)] \cdot d\Omega, \end{aligned} \quad (2)$$

где $S_{ш}(\Omega)$ соответствует выражению в квадратной скобке (1), с учетом переноса боковых полос высокочастотных спектров (1) в исходный диапазон: $\Omega = \omega - \omega_0$, ω_0 – несущая частота, $\Omega_2 - \Omega_1$ – кон-

тролируемая полоса частот, а подинтегральное выражение, соответствует количеству информации, извлекаемой в единицу времени и в единичной полосе частот. Назовем его информационной плотностью (ИПл), у Шеннона это разность полной и условной энтропий сигнала.

При непосредственном контакте датчика с пламенем, когда раскрыв антенны совпадает с огневой поверхностью, отклики на контролируемый и на помеховые факторы близки по величине. Без принятия специальных мер, прежде всего – по теплостойкости, ИПл невелика и обычно ниже требуемой. Ее аналитическая оценка сопряжена с вычислительными трудностями, порожденными формой спектров и структурой выражения (2).

Огибающие исходных спектров естественных и технологических процессов (исключая вибрации) имеют вид [10]:

$$S(\Omega) \approx A/\Omega^\gamma, \quad \gamma < 1, \quad (3)$$

где A – СП на частоте $F = \Omega/2 \cdot \pi = 1$ Гц. Спектры откликов датчика, особенно на нагрев, имеют более сложную форму [7]. Поэтому интегрирование (2) аналитически неосуществимо даже с использованием специальных функций. Аналогичные трудности имеют место в близкой в физическом и математическом отношении задаче: флуктуации частоты автогенераторов радио, ИК и видимого диапазонов. Там часто применяют кусочно-линейную аппроксимацию [10], погрешность которой не больше чем при экспериментальных оценках γ . В нашем случае этот подход упрощает выработку конструктивных решений и алгоритм вторичной обработки измерительного сигнала в системе контроля.

Еще к одному упрощению приводит рациональный выбор пределов интегрирования, то есть полосы контрольного сигнала $\Pi = (\Omega_2 - \Omega_1)/2\pi$. Здесь целесообразно исключить инфранизкие частоты (менее 1...3 Гц), контроль в этом диапазоне хорошо осуществляется известными средствами, а температурная помеха для СВЧ датчиков особенно велика за счет нагрева резонатора. Отсюда снижение ИПл. Верхний предел интегрирования составляет несколько десятков герц с тенденцией к увеличению по мере разработки быстродействующих исполнительных механизмов в автоматике ТЭУ.

В распоряжении разработчика три группы средств увеличения ИПл: системные, схемотехнические и конструктивные. К первым отнесем зондирующую частоту и полосу, ко вторым – типы и электрические размеры антенны и резонатора, к третьим – средства (форма, размеры и материалы деталей), снижающие влияние температурных флуктуаций

$S_T(\omega)$. На рис. 1-6 представлены зависимости ИПл, ИПр [9], построенные с использованием дополнительных и уточненных результатов [6-8].

Рассмотренные выше материалы, отвечающие необходимым высокотемпературным требованиям, имеют значения коэффициента линейного расширения (КЛР), лежащие в пределах от $0,56 \cdot 10^{-6}$ (плавленый кварц) до $8 \cdot 10^{-6}$ (титан) град⁻¹.

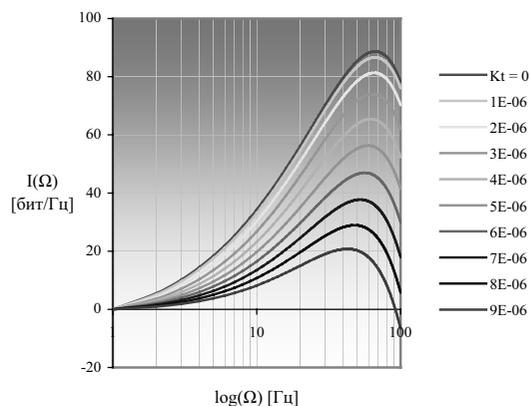


Рис. 1. Информационные плотности измерительного сигнала при различных коэффициентах линейного расширения материала изготовления АД

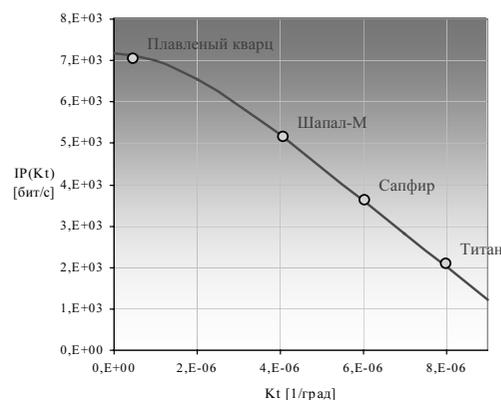


Рис. 2. Информационная производительность АД при различных коэффициентах линейного расширения материала его изготовления

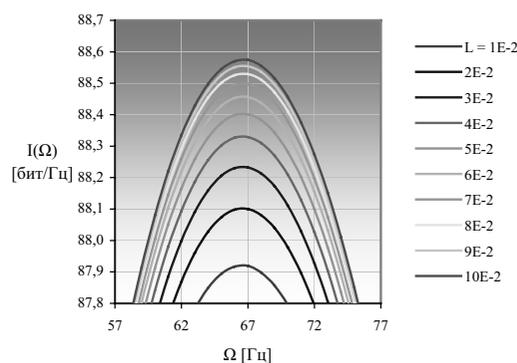


Рис. 3. Информационные плотности измерительного сигнала при различных длинах изготовления АД (материал изготовления: титан)

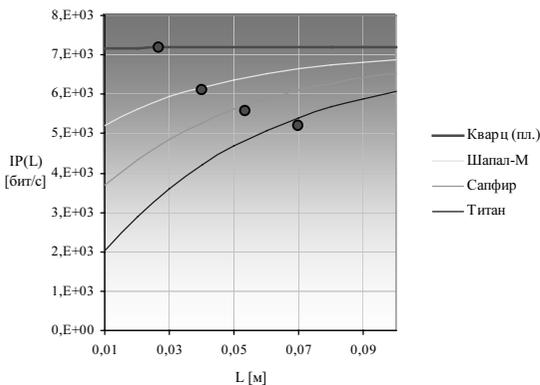


Рис. 4. Информационная производительность АД при различных длинах и материалах его изготовления (точками обозначены критические длины)

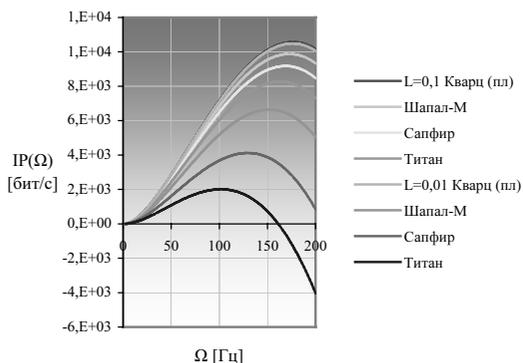


Рис. 5. Зависимость информационной производительности АД при различных длинах и материалах его изготовления от полосы пропускания

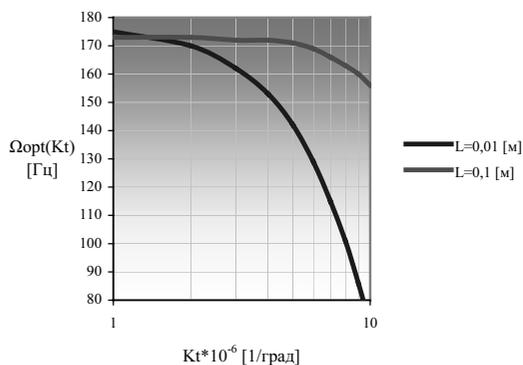


Рис. 6. Зависимость оптимальной полосы пропускания от коэффициента линейного расширения материала изготовления и длины АД

В соответствии с требованиями разработчиков транспортных ТЭУ, длина датчиков контрольной аппаратуры не должна превышать 0,07...0,1 м (в авиации и космонавтике). Руководствуясь этим ограничением, расчеты информационных характеристик АД проводились в диапазоне конструктивных длин от 0,01 до 0,1 м.

Одним из важнейших для разработчиков контрольной аппаратуры параметром, зависимость ИПр от которого рассмотрена в рамках данной ста-

ти, является контролируемая полоса частот. Рассмотрение зависимости ИПр от полосы пропускания (см. рис.5) позволяет ввести в рассмотрение понятие «оптимальной полосы» – положительного экстремума функции $IP(\Omega)$. Как и в других случаях, значения этого параметра не являются самостоятельными и определяются остальными конструктивными и схемотехническими решениями. С технической точки зрения, оптимальная полоса позволяет получить максимально возможное количество информации о контролируемом процессе при заранее определенных условиях реализации. Увеличение или уменьшение значения оптимальной полосы приводит к ухудшению ИПр АД.

Выводы

1. Зависимость ИПр от КЛР в пределах рассмотренных значений носит слабонелинейный характер (см. рис. 2).

2. Наибольшую нелинейность функция проявляет при КЛР близких к нулю.

3. Применение различных материалов, а соответственно и вариация КЛР в данном диапазоне может изменять ИПр АД более чем на порядок, в зависимости от других конструктивных и схемотехнических решений. Это позволяет говорить о КЛР, как об одной из наиболее значимых параметров при разработке АД СВЧ диагностике параметров пламени.

4. Характер зависимости информационных показателей АД от его конструктивной длины, в первую очередь, определяется используемым для его изготовления материалом (см. рис. 4). Так для материалов с КЛР близким к нулю, зависимость ИПр от длины АД практически линейна и постоянна. При этом номинальная длина АД ограничена требованием к частоте зондирования и критическим температурным режимом работы активного элемента (АЭ). В противоположном случае, когда КЛР используемого материала отличен от значений близких к нулю, зависимость ИПр от длины АД приобретает явно выраженный нелинейный характер. В этом случае конструктивная длина АД является важным критерием оптимизации, существенно определяющим информационные характеристики АД.

5. Значения «оптимальной полосы», при длине датчика более 0,1 м слабо зависят от значений КЛР, меньших $5 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹.

Литература

1. Болонзев В.В., Гафуров Р.А., Законов М.А., Салахов А.Р. Система контроля режима ТЭУ // А.с. СССР №1285176, БИ №22, 1986.

Таблица 1. Информационная производительность АД

Материалы	$IP \cdot 10^3$ [бит/с]					
	$\Omega_1 = 20$ [Гц]		Ω_{opt} [Гц]		$\Omega_2 = 200$ [Гц]	
	$L_1 = 0.1$ [м]	$L_1 = 0.01$ [м]	$L_1 = 0.1$ [м]	$L_1 = 0.01$ [м]	$L_1 = 0.1$ [м]	$L_1 = 0.01$ [м]
Кварц (пл.)	661.525	656.912	1.06E+4 (174)	1.05E+4 (174)	1.015E+4	1.005E+4
Шапал-М	626.572	479.527	9.88E+3 (172)	6.64E+3 (152)	9.321E+3	5.014E+3
Сапфир	593.039	367.086	9.17E+3 (168)	4.12E+3 (130)	8.453E+3	800.598
Титан	551.611	258.604	8.27E+3 (162)	2.01E+3 (102)	7.29E+3	-4.094E+3

- Болознев В.В., Романычев А.Д. Датчик параметров пламени в камере ЭУ // А.с. СССР №1829006, БИ №27, 1993.
- Михеев А.А. Согласование производительности датчиков с пропускной способностью группового тракта в многоканальной измерительной системе // Датчики и системы, №3, 2005. – С. 2-5.
- Шеннон К.Э. Работы по теории информации и кибернетике. М.: ИЛ, 1963. – 829 с.
- Голант Н.Е. Сверхвысокочастотная диагностика плазмы. М.: Наука, 1968. – 241 с.
- Болознев В.В., Сафонова Е.В. Выбор электротехнических материалов для СВЧ датчиков высокотемпературных технологических потоковых процессов // Межвузовский сборник научных трудов, посвященный 110-летию Зворыкина В.К. Муром, Россия, 1999. – С. 84-90.
- Boloznev V.V., Safonova E.V. Determination of the frequency of oscillations in the autodyne's sensor under the regular and casual temperature mode variations // Proc. 2000 IEEE/EIA international frequency control symposium and exhibition, Kansas, USA, 2000. – P. 96-99.
- Boloznev V.V., Safonova E.V. Autodyne microwave sensor of combustion process: behavior under fast heating // Proc. Joint meeting of the 15th European frequency and time forum and 2001 IEEE international frequency control symposium, Neufchatel, Switzerland, 2001. – P.84-88.
- Boloznev V.V., Safonova E.V., Sultanov F.I., Stanchenkov M.A., Mirsaitov F.N. Informational content estimation of the signal in autodyne thermosensor // Proc. Joint meeting of the 20th European frequency and time forum, Braunschweig, Germany, 2006. – P.156.
- Основы электродинамики плазмы. Под ред. А.А. Рухадзе. М.: Высшая школа, 1978. – 407 с.
- Радиопередающие устройства: Под ред. М.В. Благовещенского, Г.М. Уткина. М.: Радио и связь, 1982. – 408 с.

УДК 627.397.6

ВЫЯВЛЕНИЕ АРТЕФАКТОВ СЕРДЦА МЕТОДАМИ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ СПЕКТРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОКНА ПОИСКА

Кривоzubов В.П., Хлесткин А.Ю.

В работе обсуждаются вопросы выявления артефактов в цифровых изображениях рентгеновских снимков. Предлагаются модели и методы поиска на основе анализа спектров Фурье, составленных авторами алгоритмов. Приводятся примеры цифровой обработки снимков на основе предложенных методов. Приводится сравнение различных видов частотно-передаточных функций в целях эффективного поиска и выделения артефактов. Это позволяет

производить раннюю диагностику сердечных заболеваний.

Введение

Распознавание артефактов на поверхности сердечно-сосудистого пучка рентгеновских снимков в целях установления диагностики заболеваний имеет актуальное значение в медицине. Это свя-