

УДК 621.326.7, 621.383.8

ВИРТУАЛЬНЫЙ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ИМИТАТОР ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧАСТИЦ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУИ**В. И. Иордан, Д. И. Кобелев**ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный университет»,
г. Барнаул

Статья посвящена разработке виртуального оптоэлектронного имитатора теплового излучения потока частиц, используемого в газотермических процессах напыления защитных покрытий на технические изделия. Приведены результаты имитационного эксперимента с целью подтверждения адекватности модели интегрального спектра теплового излучения потока частиц газотермической струи напыления.

Ключевые слова: виртуальный оптоэлектронный имитатор, тепловое излучение, гетерогенный поток частиц, газотермическое напыление покрытий.

Оптимизация газотермических технологий напыления функциональных покрытий из порошков металлов, оксидов металлов, металлокерамических и керамических микрокомпозитов на изделия связана с использованием в технологических установках напыления средств диагностики (неразрушающего контроля и измерений) «ключевых физических параметров (КФП)» гетерогенного потока частиц технологической струи. Такими КФП частиц являются следующие распределенные по потоку частиц параметры: температура и скорость частиц, объемная плотность (концентрация) частиц в потоке газотермической струи (например, плазменной или детонационно-газовой струи) и др. Разработка и создание таких приборных комплексов неразрушающего контроля и измерений невозможно без разработки адекватных математических моделей процессов газодинамики и теплового излучения, а также и без создания методов и аппаратных средств тестирования таких измерений [1]. Математическая модель интегрального (суммарного) спектра теплового излучения частиц, с помощью которого путем решения «обратной» задачи определяется температурное распределение частиц [2, 3], требует своего подтверждения на адекватность реально регистрируемому спектру потока частиц в газотермической струе, используемой для нанесения покрытий.

В данной работе такая проверка опирается на имитационный эксперимент, в основе которого используется оптоэлектронное устройство, в котором группа близко закрепленных миниатюрных лампочек в одном корпусе (излучатель) виртуально имитирует тепловое

излучение потока частиц газотермической струи напыления.

Т.е., устройство – виртуальный оптоэлектронный имитатор теплового излучения частиц (ВОИТИЧ) гетерогенного потока планируется использовать в модельных вычислительных экспериментах, в которых с помощью зарегистрированного на выходе спектрофотометра линейным фотоприемником интегрального спектра теплового излучения группы лампочек с заданным температурным распределением, имитирующих поток нагретых частиц, решением обратной задачи восстанавливается исходное заданное распределение температур лампочек с определенной точностью.

Под аппаратным обеспечением ВОИТИЧ понимается электронный тракт прибора (рис. 1), основной задачей которого является преобразование цифровой информации, передаваемой от ПЭВМ в устройство-имитатор с излучателем на основе галогенных лампочек NAVIGATORNH-JC-20-12-G4-CL, температуры которых должны соответствовать заданному в программе распределению температур, имитирующих температурное распределение частиц гетерогенного потока.

ВИРТУАЛЬНЫЙ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ИМИТАТОР ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧАСТИЦ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУИ

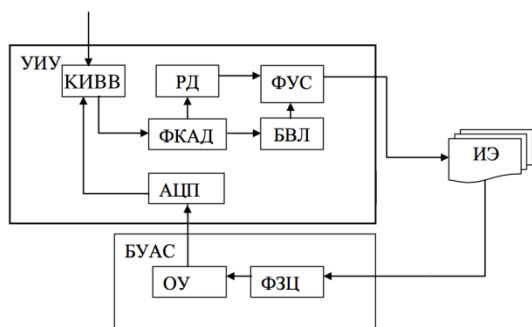


Рисунок 1 – Функциональная схема ВОИТИЧ

Согласно функциональной схеме в состав аппаратного обеспечения входят следующие блоки:

- БУАС – блок усиления аналогового сигнала;
- ИЭ – излучающие элементы;
- УИУ – устройство измерения и управления.
- В состав УИУ, в свою очередь, входят следующие блоки:
 - АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
 - БВЛ – блок выбора лампочки;
 - КИВВ – контроллер интерфейса ввода-вывода;
 - РД – регистр данных;
 - ФКАД – формирователь кода адреса и данных;
 - ФУС – формирователь управляющих сигналов.
- В состав БУАС, в свою очередь, входят следующие блоки:
 - ОУ – операционные усилители;
 - ФЗЦ – фильтрующие и защитные цепи (звенья).

Рассмотрим процесс функционирования устройства.

УИУ принимает пакет данных от ПЭВМ, содержащий числовые значения требуемой величины тока для каждой лампочки, ФКАД устанавливает из последовательности пакета данных приблизительные параметры скважности ШИМ-сигнала для каждой лампочки. ФУС формирует ШИМ-сигналы с заданными параметрами скважности, которые поступают на ИЭ. С ИЭ через ФЗЦ сигналы сглаживаются и поступают на входы ОУ, усиливаясь в 15 раз. Затем поступают на вход АЦП, после чего, полученные цифровые коды измеренных напряжений обрабатываются в УИУ. ФУС формирует скорректированный ШИМ-сигнал и такая процедура повторяется до тех пор,

пока измеренный ток не будет равняться значению, заданному пользователем на ПЭВМ.

Особого внимания заслуживает блок усиления аналогового сигнала. В связи с тем, что через лампочку течет максимальный ток 2 А, и напряжения питания не согласовано с напряжением микроконтроллера, требуется специальная преобразующая цепь. АЦП может измерять до 3,3 В, но падение в 3,3 В заметно отразится на свечении лампочек, они будут гореть тусклее и соответственно иметь более низкую температуру. Поэтому разумнее подключить последовательно с лампочкой резистор в 0,1 Ом, 1 Вт, чтобы получить максимальное падение напряжения 0,2 В, которое по сравнению с питанием лампочки в 12 В будет достаточно малым (рисунок 2).

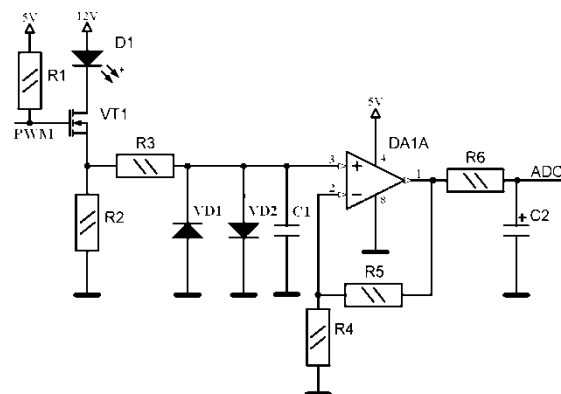


Рисунок 2 – Электрическая принципиальная схема блока усиления аналогового сигнала

Защитные диоды LL4148-GS08 используются для защиты ОУ от скачков напряжения, которые могут возникнуть как от помех, так и при «холодном» включении. В связи с тем, что полезный сигнал на R₂ не превышает 0,2 В, защитные диоды подключаются к общему проводу.

Сигнал проходит через фильтрующую RC-цепочку, чтобы избавиться от внешних помех и шумов лампочек. Первый RC-фильтр сглаживает высокочастотные шумы, а RC-фильтр на выходе сглаживает усиленный прямоугольный сигнал до средней постоянной составляющей.

Для усиления сигнала используется неинвертирующий усилитель на операционном усилителе. Коэффициент усиления операционного усилителя задается резисторами обратной связи. В операционном усилителе сигнал усиливается в 15 раз, следовательно максимальное значение напряжения на АЦП

может быть 3 В, что удовлетворяет динамическому диапазону АЦП.

В силу своей доступности, цены и требованиям монтажа, в схеме используются двухканальные операционные усилители МС33202. Данная реализация полностью удовлетворяет требуемой функциональности, и так как АЦП является 12-разрядным, система позволяет устанавливать ток с шагом 0,5 мА, что позволяет добиться на излучающих элементах достаточно точных тепловых характеристик.

Созданное устройство ВОИТИЧ было использовано для экспериментальной верификации на адекватность регистрируемому тепловому спектру потока частиц его математической модели интегрального (суммарного) теплового спектра частиц [2, 3]

$$R(\lambda) = \beta(\lambda) \int_{T_{\min}}^{T_{\max}} r(\lambda, T) \cdot P_2(T) \cdot P_1(T) dT, \quad (1)$$

где $\beta(\lambda)$ - аппаратная функция искажений регистратора спектра; $r(\lambda, T)$ - излучательная способность частицы как «серого» тела; $P_1(T)$ - функция плотности вероятности распределения частиц по температурам; $P_2(T)$ - функция «дисперсионного соотношения» между размерами и значениями температуры частиц.

Как правило [2, 3], можно принять $P_2(T) = 1$, и сменить для функции $P_1(T)$ обозначение на $f(T)$. Тогда модель (1) в упрощенном виде принимает вид

$$R(\lambda) = \beta(\lambda) \int_{T_{\min}}^{T_{\max}} r(\lambda, T) \cdot f(T) dT \quad (2)$$

Функция плотности вероятности распределения частиц по температурам $f(T)$ показывает долю частиц, имеющих температуру T , другими словами, определяет вклад в интегральный спектр частиц с температурой T .

В имитационном эксперименте каждая лампочка, через которую протекает определенный постоянный ток, соответствующий определенной температуре накаливания, имитирует тепловое излучение группы однородно нагретых частиц газотермической струи напыления. На рисунках 3, 4, 5 отражены тепловые спектры лампочек, которые зарегистрированы линейным ПЗС-фотоприемником на выходе спектрофото-

метра [4]. Каждому номеру ячейки ПЗС-приемника соответствует определенная длина волны $\lambda = \lambda(n)$.

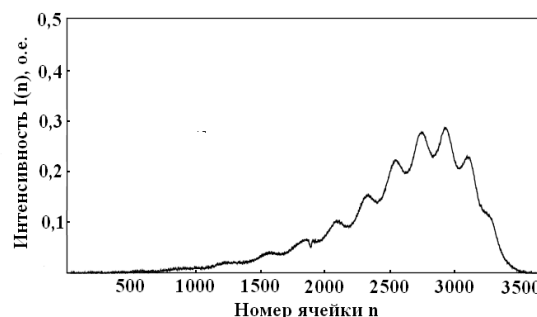


Рисунок 3 – Интенсивность спектра теплового излучения одиночно включенной лампочки № 1 с температурой $T_1 \approx 1823^\circ\text{C}$

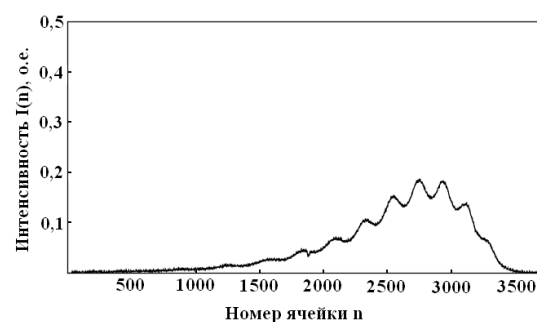


Рисунок 4 – Интенсивность спектра теплового излучения одиночно включенной лампочки № 2 с температурой $T_2 \approx 1715^\circ\text{C}$

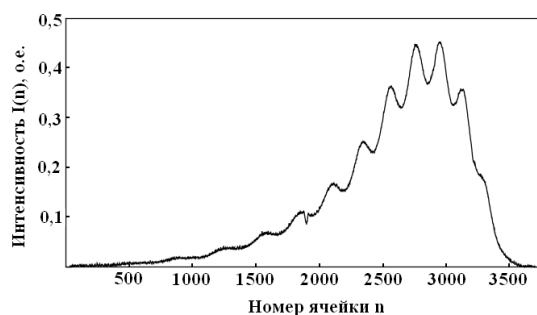


Рисунок 5 - Интенсивность спектра «суммарного» теплового излучения двух одновременно включенных лампочек № 1 и № 2 с температурами, соответственно, $T_1 \approx 1823^\circ\text{C}$ и $T_2 \approx 1715^\circ\text{C}$

На рисунке 6 отражено отношение интенсивности спектра «суммарного» теплового излучения двух одновременно включенных лампочек № 1 и № 2, изображенного на рис. 5, к сумме интенсивностей спектров лампочек, изображенных на рисунках 3 и 4.

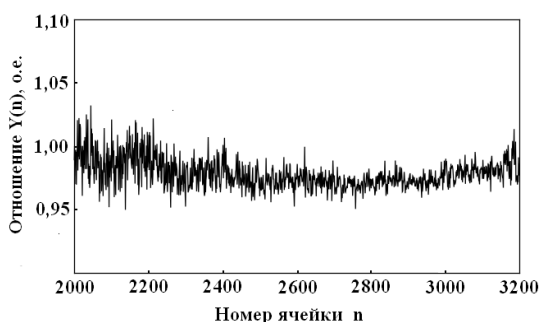


Рисунок 6 – Отношение $Y(n) = \frac{I_{\Sigma}(n)}{I_1(n) + I_2(n)}$

Как видно из рисунка 6, это отношение достаточно близко к 1 (порядка 0,975-0,98), что подтверждает свойство «суммируемости (интегрируемости)» спектров отдельных частиц с учетом их вклада в «суммарный спектр» согласно моделям (1), (2).

Рассмотренный в настоящей статье оптико-электронный имитатор теплового излучения потока нагретых частиц используется для тестирования систем измерения температурно-скоростных параметров частиц при напылении защитных покрытий из порошков металлов и оксидов металлов. Использование подобных устройств способствует со-

вершенствованию самих методов измерения температурно-скоростных параметров столь сложных быстропротекающих процессов, а также они позволяют повысить надежность и точность этих измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иордан В.И., Соловьев А.А. Оптико-электронные методы тестирования систем измерения температурно-скоростных параметров частиц при плазменном напылении порошковых покрытий // Известия Алтайского государственного университета. Серия Физика.- 2010. - № 1/2(65). - С. 168-171.
2. Иордан В.И. Теоретические аспекты решения обратной задачи определения температурного распределения частиц гетерогенного потока по их интегральному тепловому спектру // Известия Алтайского государственного университета. Серия Физика. – 2013. - № 1/1(77). – С. 167-171.
3. Иордан В.И. Обратное интегральное преобразование для восстановления температурного распределения частиц гетерогенного потока по их интегральному тепловому спектру // Известия вузов. Физика.-2013. –Т.56. - № 8/3. – С. 293-299.
4. Иордан В.И., Соловьев А.А. Редукция температурного распределения частиц гетерогенных потоков методом «обращения» их интегрального теплового спектра // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки.-2010.- № 2(98).-С. 85-95.

Иордан Владимир Иванович – к.ф.-м.н., доцент каф. вычислительной техники и электроники, тел. (3852) 380-751, e-mail: jordan@phys.asu;
Кобелев Денис Игоревич – электроник каф. вычислительной техники и электроники, тел.: (3852) 380-751, e-mail: armored@inbox.ru