

Кибкhd ebllm̄j̄

1. Bevbg < : ., Ihagyd W. =. Линейная алгебра : учебник / ред. А. Н. Тихонов. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. – 296 с. – (Курс высшей математики и математической физики ; вып. 6).
2. N[ee]j̄ <. Введение в теорию вероятностей и ее приложения : в 2 т. ; пер. с пересмотрен. 3-го англ. изд. Ю. В. Прохорова ; предисл. А. Н. Колмогорова. – М. : Наука, 1984. – Т. 1 – 537 с. Т. 2 – 751 с.
3. =fm̄j̄ < ?. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике : учеб. пособие для студентов вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1979. – 400 с.
4. Euebg < ?., IhihbgZ H. F., Kfzgh\ < <. Математические модели расчета надежности инженерных коммуникаций и оборудования при многоуровневой модели управления крупным предприятием // Аудит и финансовый анализ. – 2006. – № 4. – С. 189–220.
5. j̄m̄j̄ =. : . Проектирование организации крупных производственно-хозяйственных комплексов и управления ими // Плановое хоз-во. – 1975. – № 5. – С. 18–27.
6. FurdbgZ : . >. Математика. Специальные курсы. – М. : Наука, 1971. – 240 с.
7. zzh\ G. K., kh\ G. I., Dhdydh\ =. F. Численные методы : учеб. пособие. – М. : Наука, 1987. – 600 с.
8. hedh\ ? . : . Численные методы : учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., испр. – М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 248 с.
9. =bofZ B. B., Kdhjhoh^ : . <. Введение в теорию случайных процессов. – М. : Наука, 1977. – 568 с.

\*\*\*

A. Ya. Raskin, Engineering Manager of LLC Tehnotronics, Perm

**Stochastic Model of Failures and Recovery of Engineering Services of Water Supply Networks for an Information-Telecommunication Control System of Emergencies**

*The stochastic model of failures and recovery of the thermal networks engineering equipment for the automated information-telecommunication system solving a problem of data gathering about failures in heat supply networks, their processing and management of emergencies is considered.*

**Keywords:** information-telecommunication system, telemetry, water networks

Получено: 30.03.11

УДК 621.785.54

- J. KZmZgh\ , старший преподаватель;
- F. e\ , доктор технических наук, профессор;
- <. Aqhg , кандидат технических наук, доцент;
- F. =Zeb\ , кандидат технических наук, доцент;
- J. Zobfh\ , магистрант

Камская государственная инженерно-экономическая академия (ИНЭКА)  
г. Набережные Челны

**СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОГО ПАРАМЕТРА  
НА ОСНОВЕ ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ**

□ k̄j̄ g ZgZebajamevZlh\ wdkijbfglZevguo bkkehZgbc aZbftklby ieZafu k ih -  
joghklyx fZeeZ , ihdZaZgZgklZhevghklv ihdZaZlec dZqklZ loghehqqkdhf ijhpkkZ . es  
bo klZpebaZpbb ghphbfh bkkehZlv kidljZevgu\_ oZjZdljkbldb baemqgby ieZafu .

Детали : плазменный технологический комплекс, термообработка, система автоматического управления, показатели качества, зона термического воздействия, технологический процесс, газовая среда

gb

Плазменные технологические комплексы (ПТК) по термообработке деталей в промышленности относятся к классу производственных комплексов с переменными параметрами (ПКПП). Основной проблемой синтеза систем автоматического управления (САУ) для ПКПП является выбор основного критерия оптимальности при многокритериальной задаче и решение оптимизационных задач, обеспечивающих качество технологического процесса (ТП).

а

Одним из способов повышения показателя качества ТП является использование высококонцентрированных источников энергии. К ним относится поверхностная плазменная термообработка. При этом необходимо достижение заданных показателей качества ТП. Данные показатели (глубина упроченной зоны, микротвердость, шероховатость поверхности, микроструктура, химический состав зоны термического воздействия и т. п.) зависят от параметров ПТК, к которым относятся плотность теплового потока, скорость перемещения и температура зоны взаимодействия плазмы с поверхностью детали.

Как показывают экспериментальные исследования, получение зависимостей показателей качества ТП от параметров ПТК носит трудоемкий и долговременный характер. Поэтому имитационное моделирование способа измерения информативного параметра по известным физическим законам и экспериментальным данным является актуальным. Эксплуатационные характеристики деталей и инструментов в значительной мере определяются состоянием поверхности и ее физико-химическими свойствами. С учетом этого проводятся исследования по разработке систем управления ПТК со стабилизацией рабочих режимов и методов обработки поверхности в среде азота, направленные на изменение микроструктуры поверхности деталей [1, 2].

Исходя из этого, одним из перспективных направлений совершенствования ПТК для термообработки деталей является разработка плазмотрона и достижение оптимальных значений его параметров. Повысить эффективность ПТК позволит решение задачи анализа и синтеза его системы управления с обратными связями по информативным параметрам процессов взаимодействия плазмы с металлом, измеряемым в реальном времени, и применения новых методов их обработки [3].

Исследования различных вариантов решения этой проблемы показывают, что наиболее перспективным направлением является контроль за ходом ТП путем измерения температуры зоны обработки, создание условий для обеспечения требуемых скоростей нагрева и охлаждения зоны взаимодействия, времени выдержки и введения в САУ ПТК обратных связей для управления параметрами ТП.

При этом возникает задача моделирования протекающих физических процессов. Процесс моделирования взаимодействия плазмы с металлом связан с выявлением математических зависимостей между параметрами ТП и показателями качества на основе экспериментальных данных. Причем наиболее важным является построение относительно простых, но адекватных моделей, отражающих существенные особенности ТП. ПКПП ТП влияют на количественные и качественные характеристики выходных материальных потоков. Изменяя их в допустимых пределах, решаем задачу оптимизации эффективности производства, где целевой функцией является качество готовой продукции. К числу переменных параметров отно-

ются удельные энергетические и временные затраты на ведение ТП и показатели качества выпускаемой продукции.

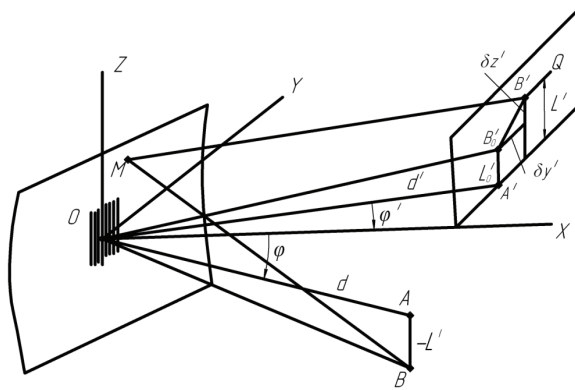


Основной задачей при построении САУ ПТК являются определение технологически допустимой области варьирования переменными параметрами, измеряемыми в реальном времени хода ТП и нахождение взаимосвязей показателей качества с параметрами, а также способов воздействия для их изменения. Данный подход реализован путем сопоставления экспериментальных данных, полученных в ТП, с результатами математического моделирования.

Задача измерения температуры металла в зоне воздействия плазмы по результатам спектрального анализа теплового излучения плазмы и металла является актуальной. Данный подход определяет стратегию развития в разработке САУ ПТК, поскольку он сокращает постоянную времени цепи обратной связи до единиц секунд, что существенно повышает качество регулирования ТП.



Произведем расчет спектрофотометра для измерения температуры плазмы. Совместим начало  $H$  прямоугольной системы координат с вершиной поверхности вогнутой решетки и направим ось  $x$  по нормали к поверхности в точке  $H$ , ось  $y$  – в направлении дисперсии, а  $z$  – перпендикулярно плоскости  $xOy$  (рис. 1).



□ . 1. Вычисление функции оптического пути

Пусть  $\phi$  и  $\phi'$  – углы падения и дифракции «нулевого» луча, выходящего из точки  $\square$  зоны взаимодействия плазмы с металлом в меридиональной плоскости,  $d = OA$  и  $d' = OA'$  – расстояния от входной щели и плоскости изображения  $Q$  до вершины решетки,  $L'_0$  – расстояние от точки  $B'_0$  пересечения главного луча с плоскостью  $Q$  до плоскости симметрии  $xOy$ ,  $M(x, y, z)$  – произвольная точка, лежащая на штрихе решетки [4, 6]:

$$V(y, z) = (BM + MB') - (OA + OA') - k\lambda m(y, z). \tag{1}$$

Выражение (1) называют функцией оптического пути (ФОП). Это выражение имеет следующий физический смысл. Изображение точки  $B$  щели в некоторой точке  $B'$  плоскости изображения  $Q$  безаберрационно, когда  $V(y, z) = 0$ , т. е. когда

разность хода луча из точки  $M(y, z)$ , дифрагированного в любой точке  $M(y, z)$  на решетке, и «нулевого» луча из точки  $A$  в плоскости  $xOy$ , дифрагированного в вершине решетки, равна целому числу длин волн.

Рассмотрим общий случай дифракционной решетки (ДР) с искривленными неравноотстоящими штрихами. Многочисленные расчеты показывают, что в большинстве практических случаев достаточно учета параметров, характеризующих абберации до 2-го порядка включительно. Для этой цели введем следующее описание геометрических параметров ДР. Закон изменения шага решетки выражается в виде [4, 5]:

$$e(y) = e_0(1 + \mu y + \nu y^2 + \xi y^3 + \dots), \quad (2)$$

где  $e_0$  – величина периода в вершине решетки, а  $\mu$ ,  $\nu$  и  $\xi$  – постоянные.

Штрихи образуются пересечением поверхности решетки цилиндрами с сечениями в виде кривых 2-го порядка, при этом изменение радиуса кривизны по поверхности решетки

$$\rho(y) = \rho_0 - py - qy^2, \quad (3)$$

где  $\rho_0$  – величина радиуса кривизны в вершине решетки, а  $p$  и  $q$  – постоянные. Следует заметить, что картина штрихов рассматривается в плоскости, касательной к поверхности в вершине решетки.

Таким образом, используя приведенные соотношения, можно вычислить величины аббераций 1-го и 2-го порядков. Для получения аббераций с учетом всех порядков используется точный расчет хода лучей через систему [4–6].

Выбрана базовая схема спектрофотометра с постоянным углом падения, для которой получены аналитические выражения оптимальных параметров. Если период штрихов в направлении дисперсии величина  $y$  изменяется по закону (2), то условие фокусировки в меридиональной плоскости для вогнутой решетки радиуса  $r$  выражается в виде

$$V_1 = \frac{\cos^2 \phi}{d} + \frac{\cos^2 \phi'}{d'} - \frac{\cos \phi + \cos \phi'}{r} + \mu(\sin \phi + \sin \phi') = 0. \quad (4)$$

Величины  $d$  и  $d'$  в соотношении (4) обозначают расстояния от вершины решетки до источника излучения и его изображения, а  $\phi$  и  $\phi'$  – углы падения и дифракции, связанные уравнением решетки (2). Для минимизации дефокусировки используем выражение

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V_1 \frac{dV_1}{da} d\lambda = 0, \quad (5)$$

где  $\lambda_i < \lambda < \lambda_2$  – рабочая область длин волн;  $Z$  – параметр, по которому ведется минимизация. Величина  $V_1$  зависит от величины  $\mu$ , расстояний до щелей прибора  $d$  и  $d'$  и их углового расположения, поэтому в общем случае необходимо составить уравнения типа (5) и решать их относительно всех этих величин совместно.

Рассмотрим решение задачи для схемы спектрофотометра с плоским полем. В этом случае расстояние от центра решетки до плоскости изображения  $d'$  определяется формулой (рис. 2)

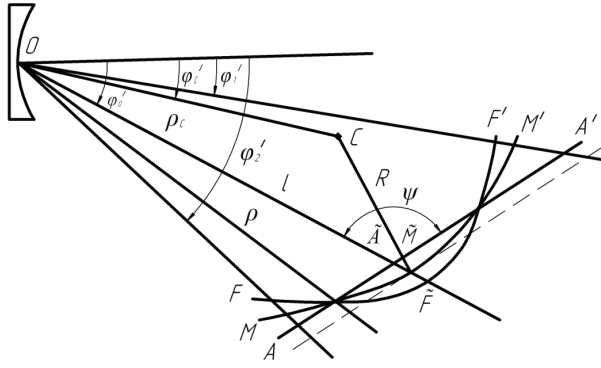


Рис. 2. Фокусировка излучения вогнутой решеткой

$$d'_{\text{пл}} = \frac{d'_0 \sin \psi}{\sin(\psi - \phi' - \phi'_0)}, \tag{6}$$

где  $\psi$  – угол наклона плоскости изображения относительно луча, приходящего под углом  $\phi'_0$  в центр приемной площадки, находящейся на расстоянии  $OA = d'_0$ .

Дефокусировка спектрального изображения определяется

$$\Delta d = d' - d'_{\text{пл}}, \tag{7}$$

где величина  $d'$  находится из условия  $V_1 = 0$  (кривая меридиональной фокусировки  $FF'$  на рис. 2. Составляя два уравнения типа (5), минимизируем величину  $\Delta d$  в области углов дифракции  $\phi'_1 - \phi'_2$ , в результате получим соотношения для искомых параметров  $\mu$  и  $d_0$  [5, 6]:

$$\mu = \frac{a_4 a_5 - a_3 a_6}{a_1 a_6 - a_3 a_4}, \quad d'_0 = -\frac{a_4}{a_3 + \mu a_1}, \tag{8}$$

где  $a_1 = \sin^2 \psi \left[ \sin \phi (F \sin \phi - C_1^1) + \frac{1}{2} F - \frac{1}{4} S_2^1 \right];$

$$a_3 = b_1 \cos \phi \sin^2 \psi (C_1^1 - F \sin \phi) - \frac{\sin^2 \psi}{r} \left( S_1^1 \sin \phi + \frac{1}{2} S_1^2 \right);$$

$$a_4 = \sin \psi \left\{ \sin(\psi + \phi'_0) \left( b_2 \sin \phi - \frac{1}{4} C_1^4 \right) + \cos(\psi + \phi'_0) \left[ \frac{1}{3} C_1^3 \sin \phi - \frac{1}{8} \left( F \frac{1}{4} S_4^1 \right) \right] \right\};$$

$$a_5 = \sin^2 \psi \left[ b_1 \cos \phi \left( b_1 F \cos \phi + \frac{2}{r} S_1^1 \right) + \frac{1}{r^2} \left( \frac{F}{2} + \frac{S_2^1}{4} \right) \right], \tag{9}$$

в которых  $F = \phi'_2 - \phi'_1$ ;  $b_1 = \frac{1}{r} - \frac{\cos \phi}{d}$ ;  $b_2 = S_1^1 - \frac{1}{3} S_1^3$ ;  $C_i^m = \cos^m(i\phi'_2) - \cos^m(i\phi'_1)$ ;

$S_i^m = \sin^m(i\phi'_2) - \sin^m(i\phi'_1)$ ;  $i$  – показатель кратности углов дифракции  $\phi'_1$  и  $\phi'_2$ ,  $m$  – показатель степени функций. Вычисления по формулам (8) и (9) производятся для всех значений  $d$ ,  $\psi$  и  $\phi$ , определяемых конструктивными требованиями.

Задачей работы является разработка оптического прибора с относительным отверстием приблизительно 1:8–1:9 среднего разрешения с обратной линейной дисперсией 3,5 нм/мм в спектральной области 350–700 нм. В связи с этим выбрана решетка с радиусом кривизны 171 мм с частотой штрихов  $1600 \text{ мм}^{-1}$ , размером заштрихованной части решетки  $20 \times 20 \text{ мм}^2$ . Угол падения выбран по минимальному значению из того условия, чтобы входная щель и приемник излучения не налагались друг на друга. В результате угол падения равен  $35^\circ$ . Фокальная кривая может быть представлена дугой окружности радиусом 90 мм с центром, лежащим приблизительно (с точностью  $0,5^\circ$ ) на луче, соответствующем средней длине волны диапазона.

Задача абберационного расчета состоит в выборе таких параметров решетки, характеризующих форму поверхности и картину штрихов, при которых в заданном интервале длин волн качество спектрального изображения будет наилучшим. Для коррекции поперечных aberrаций может быть использована методика [5, 6], основанная на минимизации выражения усредненного по поверхности решетки квадрата поперечных aberrаций:

$$Q_1 = \frac{1}{S} \iint_S \delta y'^2 ds, \quad (10)$$

где  $S$  – площадь заштрихованной части решетки.

**АИтхтгб**

Повышение эффективности использования дорогостоящего плазменного оборудования, а значит, и эффективности автоматизированных технологических производств, заключается в стабилизации заданных энергетических характеристик ПТК.

Предложенный способ измерения информативного параметра и его расчет параметров для анализа зоны взаимодействия плазмы с металлом позволяют снизить погрешность измерения температуры в зоне взаимодействия до 3 % за счет применения спектрального анализа атомарного излучения плазмы.

**Кйкхд еблмн**

1. Исследование влияния параметров импульсного плазменного генератора на показатели качества технологического процесса / И. Х. Исрафилов, В. В. Звездин, Р. Р. Саубанов и др. // Вестн. КГТУ им. А. Н. Туполева. – 2010. – № 2. – С. 86–88.

2. Исследование процесса плазменно-лазерного воздействия на металл / Р. Р. Саубанов, В. В. Звездин, И. Х. Исрафилов и др. // Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий : сб. ст. науч.-техн. конф., 11–14 нояб. 2009 г., Казань. – Казань : КГТУ, 2010. – С. 53–57.

3. Кй[гн] J. J., А[бг] < <, е[ ] J. F. Система управления процессом плазменной термообработки деталей линейным плазмотроном // Проектирование и исследование технических систем : межвуз. науч. сб. – Набережные Челны : Кам. гос. инж.-экон. акад., 2007. – Вып. 15. – С. 54–59.

4. [гн] X . <, LbfjZaZ E. D. Методика оптимизации параметров фокусирующих дифракционных решеток // Опт. журн. – 2004. – Т. 71, № 1. – С. 17–21.

5. [гн] X . <. Геометрические параметры вогнутых нарезных и голограммных дифракционных решеток с неравноотстоящими штрихами // Опт. журн. – 2003. – Т. 70, № 5. – С. 31–34.

6. Кй[гн] J. П., А[бг] < [ ], е[ ] J. Е. Расчет параметров спектрофотометра для анализа зоны взаимодействия плазмы с металлом // Проектирование и исследование технических систем : межвуз. науч. сб. – Набережные Челны : Кам. гос. инж.-экон. акад., 2010. – Вып. 16. – С. 46–53.

\*\*\*

R. R. Saubanov, Senior Lecturer, Kama State Academy of Engineering and Economics, Naberezhnye Chelny

R. M. Aleev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kama State Academy of Engineering and Economics, Naberezhnye Chelny

V. V. Zvezdin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kama State Academy of Engineering and Economics, Naberezhnye Chelny

R. M. Galiev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kama State Academy of Engineering and Economics, Naberezhnye Chelny

R. R. Rakhimov, Magstrand, Kama State Academy of Engineering and Economics, Naberezhnye Chelny

**Method of Measurement the Informative Parameter on the Basis of Physical and Optical Methods of Research**

The article presents the analysis of the experimental research results of plasma interaction with a metal surface. The instability of the process quality is detected. For its stabilization, it is necessary to investigate spectral characteristics of the radiation of the plasma.

**Keywords:** plasma technological complex, heat treatment, automatic control system, quality indicators, zone of thermal influence, technological process, gas medium

Получено: 05.04.11

УДК 621.391.037.3

: . . . Kbfmrbg , старший преподаватель;  
 □ G. Dhiukh\ , кандидат технических наук, доцент;  
 В. А. Debphi\ , доктор технических наук, профессор  
 Ижевский государственный технический университет

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЦИКЛОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ  
 ДЛЯ КАНАЛА С ГРУППИРОВАНИЕМ ОШИБОК \***

Ккfhlgui hijhku ihkljhgby kbklf pbdehlc kbgojhgbaZpbb ijb bkihevahZgbb ehqghf i\_-  
 jfgby . iheggZ hpgdZ wnnqlbghklb bkihevahZgby fZjdjh\ gZ hkggh\ F-ihkeAZ -  
 levghklb .

Dexqu\_ Ккfh : цикловая синхронизация, кодирование, перемежение

Многолучевое распространение сигналов в КВ-канале приводит к возникновению замираний, которые снижают отношение сигнал/шум (ОСШ), а также вызывают сдвиги и срывы синхронизации. Следствием этого являются длительные пакеты ошибок. Для защиты от замираний используются различные способы разнесенного приема. Частным случаем временного разнесения является кодирование с перемежением, информация при этом передается не последовательно, что требует разработки алгоритма, обеспечивающего цикловую синхронизацию [1] для последующего восстановления информационных последовательностей.

В существующих системах, использующих перемежение (CDMA, DRM, ALE), данный тип синхронизации обеспечивается по параллельным синхронизирующим каналам [2]. Использование для синхронизации дополнительного канала с кодовым

© Симушин А. А., Копысов А. Н., Климов И. З., 2011

\* Работа выполнена в рамках государственного контракта № 16.740.11.0433 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы».