

операцій, що забезпечують криптографічне перетворення, без врахування інверсій відповідно до матричного представлення вхідної та вихідної логічних операцій.

**Висновки.** У даній роботі запропоновано спосіб побудови математичної моделі матриці перекодування з відомих вхідної та вихідної матриць кодування на основі операції суми за модулем два.

У дослідженні запропонований математичний апарат, який покладений в основу розробки методу синтезу матричних моделей операцій криптографічного перекодування інформації. До того ж, на прикладах моделей матриць двох, трьох та чотирьохрядних операцій криптографічного перетворення інформації підтверджена коректність застосування запропонованого методу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бабенко В.Г. Синтез функцій декодування інформації в групі трьохрядних криптографічних операцій перетворення / В.Г. Бабенко, С.В. Рудницький // Моделирование, идентификация, синтез систем управления // Сб. тезисов пятнадцатой Международной научно-технической конференции. 9-16 сентября 2012. Донецк: Изд. института прикладной математики и механики НАН Украины, 2012. . – С.190-191.

2. Бабенко В.Г. Дослідження групи трьохрядних криптографічних операцій / В.Г. Бабенко, С.В. Рудницький // Восьма наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба "Новітні технології – для захисту повітряного простору": Тези доповідей: 18-19 квітня 2012 року. – Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2012. – С.218.

3. Голуб С.В. Метод синтезу операцій криптографічного перетворення на основі додавання за модулем два / С.В. Голуб, В.Г. Бабенко, С.В. Рудницький // Зб. наук. пр. «Системи обробки інформації». – Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба. – 2012. – Випуск 3(101). – Том 1. – С. 119-122.

4. Ф.Р. Гантмахер. Теория матриц. М.: Наука. – 1966. – 576 стр.

Надійшла:

*Рецензент: д.т.н., професор Хорошко В.О.*

УДК 681.5.62:5(045)

**Покидько Л.Н., Пепа Ю.В.**

## МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМ ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗАЩИЩАЕМЫЕ ОБЪЕКТЫ

Рассмотрена структурная схема управления перемещением и мощностью подвижного лазерного источника излучения. Построены модели объекта с учетом теплового поля и предложен метод программного управления подвижным источником теплового воздействия.

Ключевые слова: модель, системы, управление, модули.

Аналитического моделирования нелинейных систем управления лазерным излучением и систем обработки информации о температурном поле защищаемых объектов как развернутой теории, которую можно было бы без ограничений применять на практике, как правило, не существует. Редкие системы, описываемые нелинейными моделями, удается подвергнуть традиционному анализу, который позволил бы аналитическим путем получать прогноз поведения технических систем обработки информации, описываемых нелинейными типовыми математическими моделями.

Известны два основных направления материального моделирования нелинейных систем - физическое и формальное с помощью вычислительных устройств. Они широко отражены в работах П.А. Алабужева, В.А. Штоффа, И.Б. Новика, Н.А. Уёмова и др.

Применение мощных электронно-лучевых и лазерных установок в системах нападения на защищаемые объекты привело к появлению систем управления с подвижными источниками воздействия на объект (плавка, сварка, термообработка, напыление пленок в вакууме). Подвижный источник обеспечивает создание определенного температурного поля для получения заданных свойств объекта.

Теоретическая постановка задач подвижного управления для систем с распределенными параметрами была дана в работах [1, 2]. Технические решения систем управления электронными и лазерными лучами были реализованы с помощью аналоговых устройств. Эти устройства были довольно громоздкими, а технологии их применения достаточно сложными [3-5].

Управление движением луча также было несовершенным, поскольку закон движения луча отображался электронным осциллографом, имеющим ограниченные возможности, а изменение скорости на одном из участков движения луча приводило к изменению скорости на остальных участках, создавая дополнительные трудности управления температурным полем.

В настоящее время чаще всего системы управления разрабатываются с помощью средств программирования на компьютерной базе и реализуются средствами цифровой техники. Такой подход позволяет проектировать и разрабатывать сложные системы в виде программ и программных комплексов, которые сравнительно легко изменять и корректировать в ходе разработки. Окончательный вариант системы можно использовать в виде программного комплекса или, если необходимо, реализовать в автономном микропроцессорном устройстве управления.

Цель работы состояла в создании модели объекта и процесса его обработки для оптимального управления подвижным источником в реальной установке.

В блок моделирования входят модули:

- моделирования процесса распространения тепла в объекте управления;
- расчета закона управления подвижным источником;
- моделирования излучения подвижного источника при выбранном законе управления (программа управления движением и мощностью источника);
- расчета температурного поля для выбранного управления;
- экранный интерфейс пользователя для интерактивной работы с программами блока моделирования.

В блок управления входят программные модули:

- формирования управляющих сигналов для цифроаналоговых преобразователей (ЦАП), пропорциональных мощности и положению центра источника относительно объекта;
- автоматической коррекции мощности и скорости движения источника на каждом участке траектории, работающий по сигналу аналого-цифрового преобразователя (АЦП) сканирующего пирометра;
- экранный интерфейс пользователя для интерактивной работы с программами блока управления.

Отметим, что рассматриваемую систему управления подвижным источником можно применять для зонной очистки металлов, выплавки слитков в плоских кристаллизаторах, сварки электронным лучом линейного и кольцевого стыков, термических испытаний в электронно-лучевых установках и др.

На рис. 1 показана схема системы управления подвижным источником излучения (лазером). Движение лазерного луча по поверхности объекта вдоль заданной траектории управляется с помощью отклоняющей системы. Система управления формирует сигналы, управляющие мощностью лазерного луча  $p(t)$  и его движением  $u(t)$ .

Задача управления в данной работе заключается в том, чтобы в ходе технологического процесса получить заданное распределение температуры на обрабатываемой поверхности объекта и поддерживать его при наличии внешних возмущений.

Во время работы центр лазерного пятна перемещается по заданной траектории от ее начала ( $x_0 = 0$ ) до конца ( $x_0 = L$ ) и обратно. Такое движение называется циклическим или многоцикловым [6]. При этом интенсивность лазерного луча можно изменять значительно медленнее прохождения центром источника отрезка  $[0, L]$ .

Создание по длине объекта участков с различными заданными температурами достигается с помощью программного кусочно-непрерывного управления скоростью перемещения источника и изменения мощности источника.

На рис. 1 отрезок  $[0, L]$  разбивается на  $n$  равных интервалов  $I_i = (x_{i-1}, x_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Для каждого интервала на модели рассчитываются скорость движения источника  $v_i(x)$ ,  $x \in I_i$  соответствующий закон движения  $s(t)$  центра луча при заданном времени  $T$  прохождения отрезка  $[0, L]$  и требуемая мощность источника так, чтобы обеспечить заданное распределение температуры на поверхности объекта. Сигнал с компьютера, изменяющийся пропорционально закону движения источника, через ЦАП поступает на усилитель мощности и далее на отклоняющую систему.

Одновременно через второй ЦАП и соответствующий усилитель на лазер поступает сигнал, необходимой для обеспечения заданного температурного поля. В случае отклонения на каком-либо участке температуры объекта от заданной (определяется визуально или по показаниям сканирующего пирометра) корректируется скорость движения источника на этом участке, а при изменении интегральной температуры на отрезке  $[0, L]$  – мощность источника.

Программное управление лазером рассчитывается так, чтобы в установившемся режиме обеспечить в определенной области объекта состояние, близкое к заданному. В системе управления используются одномерная по пространственным координатам модель и двумерная по пространственным координатам модель с управлением, действующим на границе.

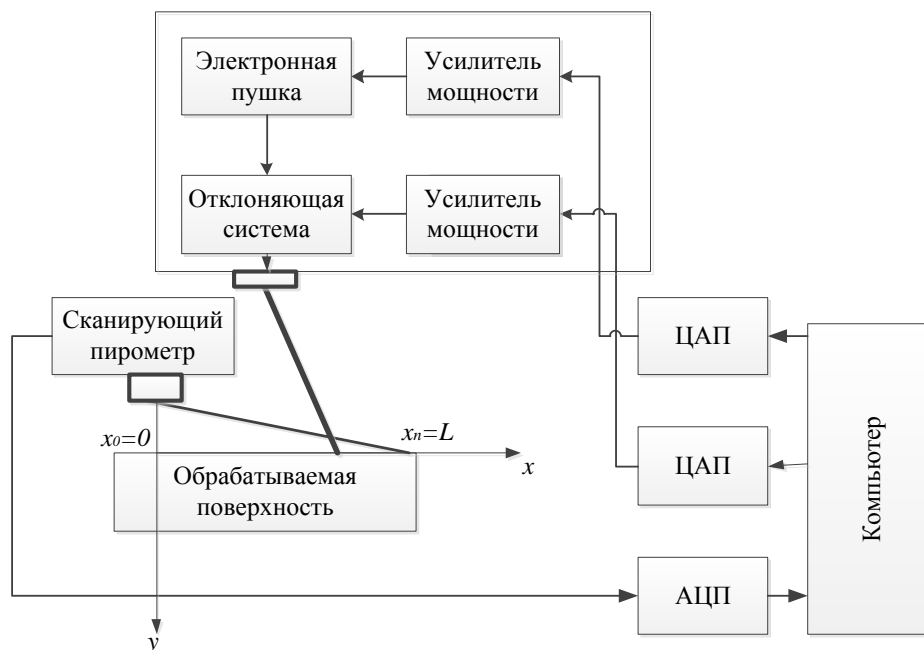


Рис. 1. Структурная схема системы управления подвижным источником излучения

Одномерная модель:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{a}{A} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + \frac{1}{c\rho S} F(x, t); \quad 0 < x < L; \quad t > 0; \quad (1)$$

$$\left[ \alpha Q \mp \lambda \frac{\partial Q}{\partial x} \right]_{x=0}^{x=L} = g_{0,L}; \quad Q(x, 0) = Q_0(x). \quad (2)$$

Двумерная модель:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q}{\partial y^2}; \quad (x, y) \in (0, L) \times (0, H); \quad t > 0; \quad (3)$$

$$\left[ \alpha Q \mp \lambda \frac{\partial Q}{\partial x} \right]_{x=0}^{x=L} = g_{0,L}; \quad (4)$$

$$\left[ -\lambda \frac{\partial Q}{\partial y} - \varepsilon \sigma^* (Q_c - Q)^4 \right]_{y=0} = F(x, t); \quad x \in (0, L); \quad (5)$$

$$Q(x, H, t) = Q_H; \quad Q(x, y, 0) = Q_0(x, y), \quad (6)$$

где  $Q$  – температура объекта в точке  $x$  (или в точке  $(x, y)$  для двумерной модели) в момент времени  $t$ ;  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$  – коэффициент температуропроводности объекта;  $\lambda$ ,  $c$ ,  $\rho$  – соответственно коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность материала;  $S$  – поперечное сечение одномерного объекта;  $Q_c$  – температура среды на границе  $y=0$ ;  $Q_0$  – начальное температурное поле;  $a$  – коэффициент теплоотдачи на границах  $x=0$  и  $x=L$  объекта;  $\sigma^*$  – постоянная Стефана-Больцмана;  $0 \leq \varepsilon \leq 1$  – степень черноты поверхности;  $g_{0,L}$  и  $Q_H$  – заданные функции времени, определяющие теплоотвод с границ объектов;  $F(x, t)$  – подвижное воздействие вида

$$F(x, t) = p(t)\psi(x-s(t), \sigma); \quad t \geq 0,$$

где  $p(t)$  – закон изменения мощности подвижного источника тепла (лазера),  $s(t)$ ,  $0 \leq s(t) \leq L$ ,  $t > 0$  – закон движения центра лазерного пятна;  $\psi(x, \sigma)$  – функция, описывающая форму подвижного источника тепла. Параметр формы  $\sigma$  – число, определяющее степень концентрации подвижного источника тепла. В данной работе – это дисперсия, так как функция формы  $\psi(x, \sigma)$  задается в виде функции Гаусса:

$$\psi(x, \sigma) = \frac{1}{2} \pi \sigma \exp\left(-\frac{1}{2} \sigma^2 x^2\right).$$

Установившийся температурный режим в объекте наступает при достаточно длительном перемещении подвижного источника от точки  $x_0 = 0$  до точки  $x_n = L$  (рис. 1) и обратно по периодическому закону при постоянной мощности. Температурное поле в объекте в этом случае становится периодическим по времени. Для расчета периодического закона движения и мощности подвижного источника применяется метод подстановки и реализации [6].

Метод реализации состоит в том, что подвижное управление источником заменяется распределенным управлением  $\bar{F}(x, t)$ , которое обеспечивает заданное температурное поле объекта. После этого определяются мощность и закон движения, которые реализуют найденное распределенное управление  $\bar{F}^*(x, t)$ .

В рассматриваемом случае требуется получить заданное температурное поле для установившегося режима, когда усредненное по времени температурное поле не изменяется во времени. Поэтому при расчетах в уравнениях (1) и (3) следует принять  $\frac{\partial Q}{\partial t} = 0$ , а подвижное управление  $F(x, t)$  в правых частях уравнений (1) и (5) заменить распределенным управлением  $\bar{F}(x)$ , не зависящим от времени.

Для расчета распределенного управления применяется метод подстановки [6]. Он состоит в том, что в уравнение объекта подставляется специально подобранная функция  $Q_A(x, t)$ , которая аппроксимирует с заданной точностью желаемое состояние объекта. Пусть  $Q^*(x) = Q^* = const$ ,  $0 \leq x \leq L$ .

Тогда для одномерной модели аппроксимирующая функция для случая  $\lambda \gg a$  и  $g_{0,L}(t) = 0$  в уравнении (2) записывается в виде:

$$Q_A(x) = \begin{cases} -k(x-\beta)^2 + Q^*, & x \in [0, \beta]; \\ Q^*, & x \in [\beta, L-\beta]; \\ -k(x-(L-\beta))^2 + Q^*, & x \in [L-\beta, L], \end{cases}$$

где  $k = \frac{Q^*}{\beta^2}$ ,  $[0, \beta]$ ,  $[(L-\beta), L]$  – отрезки, на которых производится согласование аппроксимирующей функции с граничными условиями при помощи квадратичной аппроксимации. Распределенное управление  $\bar{F}^*(x)$  для такой задачи, рассчитанное методом подстановки функции  $Q_A(x)$ , имеет следующий вид:

$$\bar{F}^*(x) = -\lambda \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = \begin{cases} 2k, & x \in [0, \beta]; \\ 0, & x \in [\beta, (L-\beta)]; \\ 2k, & x \in [L-\beta, L] \end{cases}$$

Для двумерных по пространственным координатам объектов с граничным управлением метод подстановки имеет свои особенности, с которыми можно ознакомиться в работе [6]. В частности, для объекта (3)–(6) распределенное управление  $F^*(x)$  обеспечивающее желаемое состояние объекта на поверхности  $y = 0$  и найденное методом подстановки, показано на рис. 2, а.

Для расчета программного закона движения  $s^*(t)$  (в данном случае периодического с периодом  $T$ ) и мощности  $p^*$  (в данном случае постоянной) требуется решить интегральное уравнение

$$\bar{F}^*(x) = p^* \int_0^T \psi(x - s^*(t), \sigma) dt. \quad (7)$$

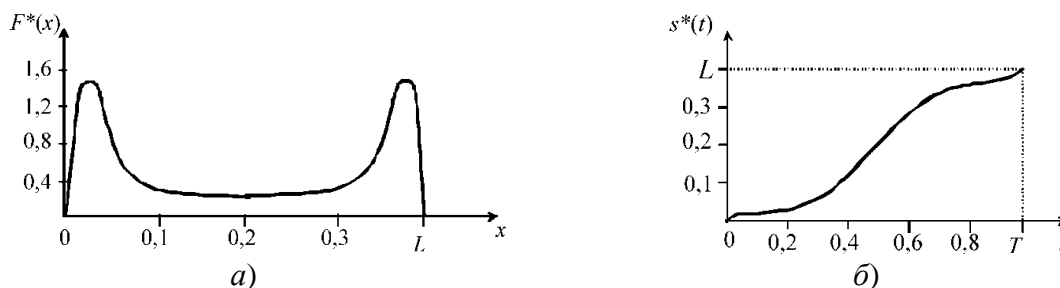


Рис. 2. Распределенное (а)  $\bar{F}^*(x)$  и соответствующее ему подвижное (б) управление  $s^*(x)$

В случае концентрированного источника (малого коэффициента  $\sigma$ ) функцию  $\psi(x, \sigma)$  можно приближенно заменить функцией Дирака  $\delta(x_1)$ . Тогда мощность и закон движения можно вычислить по приближенным формулам [6]:

$$p^* = \int_0^L \bar{F}^*(x) dx; \quad s^*(t) = \tau^{-1}(t); \quad \tau^*(x) = \frac{T}{p^*} \int_0^{x_1} \bar{F}^*(\xi) d\xi,$$

где  $\tau^*(x)$  – функция, обратная функции  $s^*(t)$ . На рис. 2, б показан закон движения  $s^*(t)$ , соответствующий распределенному управлению. В системе управления непрерывное распределенное управление  $\bar{F}^*(x)$  заменяется кусочно-постоянной функцией  $\bar{F}_c^*(x)$ . Для этого отрезок  $[0, L]$  разбивается на число интервалов, необходимых для эффективного управления (определяется пользователем).

Значение функции  $\bar{F}_c^*(x)$  на каждом интервале будет определяться, в соответствии с (7), величиной, обратной скорости движения центра источника на данном отрезке.

Действительно:

$$v(x) = \frac{ds}{d\tau} = \frac{dx}{d\tau(x)}; \quad \frac{1}{v(x)} = \frac{d\tau}{dx} = \frac{T}{p^*} \bar{F}^*(x).$$

Тогда величина  $\frac{1}{v_i(x)}$ , обратная скорости и кусочно-линейная функция, обратная закону движения источника на интервале  $(x_{i-1}, x_i)$ , определяются по формулам:

$$\frac{1}{v_i(x)} = \frac{T}{p^*} \bar{F}_c^*(x); \quad \tau_c^* = \frac{T}{p^*} \bar{F}_c^*(x)x + \tau(x^{j-1}); \quad x^{j-1} < x \leq x^i; \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Далее рассчитывается закон движения источника  $s^*(t)$ .

Следовательно, в модели невозможно учесть все факторы, влияющие на температурное поле воздействующее на защищаемые объекты, поэтому программный закон движения корректируется экспериментально по показаниям пирометра или визуально. Величину  $\frac{1}{v_i(x)}$  следует уменьшить, если на данном участке температура превышает заданную, и увеличить в противном случае. Аналогично корректируется программная мощность подвижного источника  $p^*$ . Неконтролируемые возмущения температурного поля можно компенсировать двумя способами: человеком-оператором или автоматически в соответствии с разработанным алгоритмом управления, например, непрерывным или разрывным в скользящем режиме.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Введение в математическое моделирование: [учеб. пособ.] / Под ред. П.В. Трусова. – М.: Логос, 2004. – 440 с.
2. Электронный журнал, № 2, февраль 2011 г. – [Http://technomag.edu.ru/](http://technomag.edu.ru/) Страница 28.
3. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике: [учеб. для вузов] / Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 496 с.
4. Строгалева В.П. Имитационное моделирование: [учеб. пособ.] / В.П. Строгалева, И.О. Толкачева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 280 с.
5. Васильев К.К. Математическое моделирование систем связи: [учеб. пособ.] / К.К. Васильев, М.Н. Служивый. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 170 с.
6. Барышников Н.В. Использование методов полунатурного моделирования для исследования характеристик системы автоосторожки / Н.В. Барышников, В.В. Карачунский, В.И. Козинцев, А.С. Румянцев, Д.В. Худяков // Тезисы докладов IV НТК «Радиооптические технологии в приборостроении». – Сочи, 2006. – С.105-108.

Надійшла: 30.07.2012 р.

Рецензент: д.т.н., професор Хорошко В.О.

УДК 004.621.3

Хорошко В.О., Іванченко І.С.

## БАГАТОРІВНЕВИЙ ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ

У даній статі досліджено організацію багаторівневого захисту інформації із використанням поняття атома захисту. Розглянуто класифікаційні рівні степенів захисту елементів інформації та досліджено метод, що дозволяє диференційовано підійти до питання побудови багаторівневої системи захисту інформації із використанням інформаційної бази.

Ключові слова: атом захисту, безпека інформації, рівень секретності, гриф секретності, молекули захисту.

### Вступ

У літературі [1, 2] показано, що для характеристики безпеки інформації (БІ) поділ рівнів чутливості інформації на «чутливі» та «нечутливі» не є адекватним. У багатьох випадках необхідна диференціація засобів захисту в залежності від рівня чутливості окремих