

Краткие сообщения

УДК 681.518.3

О ПРАВДОПОДОБНОМ ОЦЕНИВАНИИ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЦИОНАРНОГО СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА С ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИЕЙ

И.И. Волков, С.В. Федоров

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассматривается более простой алгоритм оценивания характеристик стационарного случайного процесса с экспоненциальной корреляционной функцией по сравнению с известными, не требующий решения системы нелинейных уравнений.

Ключевые слова: стационарный случайный процесс, правдоподобное оценивание, экспоненциальный закон распределения, корреляционная функция.

Как известно, оценки максимального правдоподобия при выполнении определенных условий обладают важными свойствами в теории оценивания. Они являются состоятельными, асимптотически нормальными и асимптотически эффективными. При заданном наборе выборочных данных, представляющих собой случайные величины, функция правдоподобия – это плотность совместного распределения этих величин, рассматриваемая как функция интересующих нас параметров.

Известно, что если случайные величины независимы, то совместная плотность распределения равна произведению плотностей распределения.

Пусть $x(t)$ – стационарный случайный процесс с математическим ожиданием m_x , дисперсией D_x и нормированной корреляционной функцией $\rho(R) = e^{-\alpha|R|}$. Закон распределения процесса – нормальный.

Имеется выборка значений этого процесса x_m ($m = \overline{1, N+1}$).

Выборочные данные имеют следующие характеристики:

$$m_x = M[x_m],$$

$$D_x = M[(x_m - m_x)^2],$$

$$M[(x_m - m_x)(x_{m+k} - m_x)] = D_x \lambda^{|k|},$$

$$\lambda = e^{-\alpha\Delta},$$

где Δ – шаг дискретизации;

m_x – математическое ожидание;

D_x – дисперсия.

Осуществляя процедуру «отбеливания», сформируем независимые случайные величины.

Сформируем из исходных выборочных данных выборку величин:

$$z_m = (x_{m+1} - m_x) - \lambda(x_m - m_x), \quad (1)$$

$$m = \overline{1, N}.$$

Эти величины имеют следующие характеристики:

$$\begin{aligned} M[Z_m] &= 0, \\ D[Z_m] &= D_x(1 - \lambda^2), \\ M[Z_m Z_k] &= 0, m \neq k. \end{aligned} \quad (2)$$

Данные величины некоррелированы и имеют нормальный закон распределения.

Получим функцию правдоподобия – совместный закон распределения этих величин:

$$\Psi(\lambda, D_x, m_x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{N}{2}} D_x^{\frac{N}{2}} (1 - \lambda^2)^{\frac{N}{2}}} e^{-\frac{\delta}{2D_x(1-\lambda^2)}}, \quad (3)$$

где

$$\delta = \sum_{m=1}^N z_m^2. \quad (4)$$

Будем искать оценки параметров m_x , D_x и λ исходя из обеспечения максимума функции правдоподобия.

Для этого необходимо выполнить необходимые условия экстремума функции:

$$\begin{cases} \frac{d\Psi}{dm_x} = 0, \\ \frac{d\Psi}{dD_x} = 0, \\ \frac{d\Psi}{d\lambda} = 0. \end{cases}$$

С учетом выражения (3) эти условия сведутся к следующим:

$$\frac{d\delta}{dm_x} = 0, \quad (5)$$

$$D_x = \frac{\delta}{N(1 - \lambda^2)}, \quad (6)$$

$$2D_x N \lambda (1 - \lambda^2) - (1 - \lambda^2) \delta' - 2\lambda \delta = 0. \quad (7)$$

Условие (7) с учетом выражения (6) примет следующий вид:

$$\frac{d\delta}{d\lambda} = 0. \quad (8)$$

Обеспечим выполнение условия (5) путем подстановки выражения (1) в соотношение (4):

$$\frac{d\delta}{dm_x} = -2(1 - \lambda) \sum_{m=1}^N (x_{m+1} - m_x - \lambda(x_m - m_x)).$$

Преобразовав полученное выражение, получим, что условие (5) будет выполнено при

$$m_x = \frac{\sum_{m=1}^N (x_{m+1} - \lambda x_m)}{N(1-\lambda)}. \quad (9)$$

Введем обозначения:

$$\bar{x} = \frac{1}{N+1} \sum_{m=1}^{N+1} x_m, \quad (10)$$

$$x_m = x_m - \bar{x}.$$

Перепишем соотношение (9) в более простом виде:

$$m_x = \bar{x} + \frac{\lambda x_{N+1} - x_1}{N(1-\lambda)}. \quad (11)$$

Теперь обеспечим условие (8), которое с учетом выражения (4) примет вид

$$\sum_{m=1}^N (x_{m+1} - m_x - \lambda(x_m - m_x))(x_m - m_x) = 0.$$

С учетом выражений (10) и (11) будем иметь:

$$\sum_{m=1}^N (x_{m+1} - \lambda x_m)x_m + \frac{x_{N+1}(x_1 - \lambda x_{N+1})}{N} = 0.$$

Отсюда находим оценку значения параметра λ :

$$\hat{\lambda} = \frac{\sum_{m=1}^N x_{m+1}x_m + \frac{x_1x_{N+1}}{N}}{\sum_{m=1}^N x_m^2 + \frac{x_{N+1}^2}{N}}. \quad (12)$$

Обратимся к соотношению (4), которое на основании выражений (10) и (11) приведем к виду

$$\delta = \sum_{m=1}^N (x_{m+1} - \lambda x_m)^2 + \frac{(x_1 - \lambda x_{N+1})^2}{N}. \quad (13)$$

Тогда с учетом выражения (6) имеем следующую оценку дисперсии:

$$\hat{D}_x = \frac{\sum_{m=1}^N (x_{m+1} - \hat{\lambda} x_m)^2 + \frac{(x_1 - \hat{\lambda} x_{N+1})^2}{N}}{N(1 - \hat{\lambda}^2)}. \quad (14)$$

Таким образом, оценивание параметров процесса осуществляется по соотношениям (10), (12), (14) и (11).

Для определения статистических погрешностей необходимо вычислить среднеквадратическое отклонение полученных оценок. Так как полученные оценки максимального правдоподобия получаются путем усреднения, данный алгоритм оценивания является традиционным. Оценки, полученные такими методами, обладают общими свойствами и соответствуют основным свойствам метода правдоподобного оценивания.

Преимущества метода максимального правдоподобия общеизвестны, но его широкое использование сдерживается сложностью вычислений. Данный подход позволяет существенно сократить вычислительную сложность и сделать метод максимального правдоподобия приемлимым для широкого использования в вопросах оценивания. Преимущество разработанного алгоритма заключается в

уменьшении количества вычислительных процедур, а также в исключении погрешностей, которые неизбежно возникают при решении системы уравнений численными методами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Крамер Г.* Методы математической статистики. – М., 1975. – 648 с.
2. *Батищев В.И.* Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики / В.И. Батищев, В.С. Мелентьев. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 393 с.

Статья поступила в редакцию 14 октября 2013 г.

ON MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION OF CHARACTERISTICS OF STATIONARY STOCHASTIC PROCESS WITH EXPONENTIAL CORRELATION FUNCTION

I.I. Volkov, S.V. Fedorov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

We discuss a simple algorithm for evaluating the characteristics of a stationary stochastic process with exponential correlation function which does not require solving a system of nonlinear equations.

Keywords: *stationary stochastic process, maximum likelihood estimation, exponential distribution, correlation function*

*Igor I. Volkov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Sergey V. Fedorov, Teacher.*

ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА С РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

И.А. Данилушкин

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244
E-mail: idanilushkin@mail.ru

Рассматривается задача реализации численно-аналитической модели процесса диффузии, протекающей в реакторе с переменной скоростью движения потока. Предлагается подход к реализации модели в пакете численного моделирования динамических систем с сосредоточенными параметрами, основанный на смене ортогонального базиса в момент изменения скорости потока.

Ключевые слова: объект с распределёнными параметрами, диффузия, численно-аналитическая модель, ортогональный базис, пространство состояний.

В работе [1] предложена математическая модель процесса изменения концентрации вещества по длине реактора в течение времени. Процесс описывается одномерным параболическим уравнением, учитывающим движение среды. Постановка задачи предполагает, что с начального момента времени $t = 0$ до некоторого времени t_0 , вещество с известной концентрацией $C_{ex}(t) = C_{ex}$ поступает на вход реактора и движется по нему с постоянной скоростью $V(t) = V_0$. При этом в реакторе протекают и диффузионные процессы, вызывающие изменение концентрации по длине реактора.

Начиная с момента времени t_0 , вещество перестаёт поступать на вход реактора, $V(t) = 0$, $t > t_0$. Движение среды в реакторе прекращается, и изменение концентрации вещества по длине реактора определяются только процессом диффузии.

Предложенная модель позволяет получить аналитическое решение, но не может быть использована для исследования системы автоматического управления концентрацией вещества в реакторе за счёт произвольного изменения скорости поступления вещества. Необходимо отметить, что исследование подобной системы автоматического управления возможно лишь с помощью современных пакетов компьютерного моделирования динамических систем, например Matlab/Simulink [2]. При этом объект управления может быть реализован либо с помощью конечно-элементного моделирования [3], либо путём реализации модели, основанной на аналитическом решении уравнения. Далее предлагается подход, позволяющий реализовать модель объекта в пакете компьютерного моделирования сосредоточенных динамических систем с сохранением особенностей поведения объектов с распределёнными параметрами.

Уравнение, описывающее изменение концентрации вещества в реакторе имеет вид [1]

$$\frac{\partial C(l,t)}{\partial t} + V(t) \frac{\partial C(l,t)}{\partial l} = D \frac{\partial^2 C(l,t)}{\partial l^2}; \quad 0 < l < L; \quad t > 0, \quad (1)$$

с граничными и начальными условиями

$$-D \frac{\partial C(0,t)}{\partial l} = V(t)(C_{ex}(t) - C(0,t)); \quad \frac{\partial C(L,t)}{\partial l} = 0; \quad (2)$$

$$C(l,0) = 0, \quad (3)$$

где $C(l,t)$ – распределение концентрации вещества по длине реактора; $V(t)$ – скорость среды в реакторе; D – коэффициент диффузии; $C_{ex}(t)$ – концентрация вещества на входе в реактор; L – длина реактора.

Среда в реакторе принята несжимаемой, поэтому её скорость в каждый момент времени в любой точке реактора одинакова.

При постоянной скорости движения среды,

$$V(t) = V_0 = const, \quad (4)$$

решение задачи (1)–(3) может быть найдено с помощью интегрирования по пространственной координате передаточной функции объекта $W(l, \eta, p)$, описывающегося уравнением (1) и стандартизирующей функции $\omega(l, p)$, учитывающей неоднородные граничные (2) и начальные условия (3) [4, 5].

$$C(l, p) = \int_0^L W(l, \eta, p) \omega(\eta, p) d\eta. \quad (5)$$

Передаточная функция объекта $W(l, \eta, p)$ может быть представлена в виде бесконечной суммы [1, 6]

$$W(l, \eta, p) = \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n(\lambda_n, l) \varphi_n(\lambda_n, \eta) \frac{K_n}{T_n p + 1}, \quad (6)$$

где $\varphi_n(\lambda_n, l)$ – собственные функции, λ_n – собственные числа, K_n – коэффициенты усиления, T_n – постоянные времени, p – оператор Лапласа. Собственные числа λ_n краевой задачи (1)–(3) с учётом условия (4) являются бесконечно возрастающей последовательностью корней уравнения [1, 6]

$$\frac{tg(\lambda l)}{\lambda} = \frac{4DV_0}{4D^2\lambda^2 - V_0^2}. \quad (7)$$

Собственные функции представляют собой ортогональный базис, т.е.

$$\int_0^L \varphi_n(\lambda_n, \eta) \varphi_m(\lambda_m, \eta) d\eta = \begin{cases} const, & \text{при } n = m; \\ 0, & \text{при } n \neq m, \end{cases} \quad (8)$$

коэффициенты K_n и постоянные времени T_n зависят от собственных чисел λ_n .

Благодаря свойству ортогональности собственных функций, можно перейти к рассмотрению временных мод объекта управления, зная, что каждая из них не зависит от остальных

$$C_n(p) = \frac{K_n}{T_n p + 1} \omega_n(p), \quad n \in \{1, 2, \dots, \infty\} \quad (9)$$

где $C_n(p)$, $\omega_n(p)$ – изображения по Лапласу временных мод выходного $C(l, p)$ и входного $\omega(l, p)$ сигналов объекта с распределёнными параметрами соответственно.

$$\omega_n(p) = \int_0^L \omega(\eta, p) \varphi_n(\lambda_n, \eta) d\eta, \quad n \in \{1, 2, \dots, \infty\}. \quad (10)$$

Временные моды выходного сигнала используются для расчёта распределения концентрации вещества по длине реактора

$$C(l, p) = \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n(\lambda_n, l) C_n(p). \quad (11)$$

В основе современных пакетов компьютерного моделирования сосредоточенных динамических систем лежит алгоритм численного решения системы дифференциальных уравнений. Реализация математической модели объекта управления с распределёнными параметрами в подобном пакете осуществляется следующим образом:

1) ограничивается количество учитываемых слагаемых бесконечного ряда (11) $N = const < \infty$;

2) реализуется процедура расчёта временных мод входного сигнала $\omega(l, p)$, в каждый момент времени согласно уравнению (9). В большинстве практических случаев распределённый входной сигнал $\omega(l, p)$ может быть представлен в виде произведения двух функций, определяющих фиксированное пространственное распределение, $f(l)$, и изменение его амплитуды во времени, $u(p)$,

$$\omega(l, p) = f(l)u(p). \quad (12)$$

При таком фиксированном пространственном распределении входного сигнала процедура вычисления временных мод входного сигнала сводится к вычислению произведений функции $u(p)$ и соответствующих коэффициентов (из (11), с учётом (12)):

$$\omega_n(p) = u(p) \int_0^L f(\eta) \varphi_n(\lambda_n, \eta) d\eta = u(p) F_n, \quad n \in \{1, 2, \dots, \infty\}; \quad (13)$$

3) формулируется задача вычисления поведения во времени N временных мод выходного сигнала $C_n(p)$, согласно (9);

4) для каждой точки l_i , $l_i \in [0, L]$, $i \in \{1, 2, \dots, M\}$ в которой должно быть рассчитано значение выходного сигнала $C(l_i, p)$ реализуется расчёт согласно (11).

Более компактное представление модели можно получить, если сформулировать задачу моделирования в терминах пространства состояний. Для рассматриваемого случая, чтобы избежать путаницы в обозначениях, модель объекта в пространстве состояний будет записана в виде

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A1} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{w}; \\ \mathbf{y} = \mathbf{C1} \cdot \mathbf{x}, \end{cases} \quad (14)$$

где \mathbf{x} – вектор состояния, $\mathbf{x} = [C_n(t)]_{N \times 1}$, \mathbf{w} – вектор входных воздействий, $\mathbf{w} = [\omega_n(t)]_{N \times 1}$, \mathbf{y} – вектор выходных сигналов, $\mathbf{y} = [C(l_i, t)]_{M \times 1}$. Матрица системы $\mathbf{A1}$ и матрица входа \mathbf{B} определяются, исходя из выражения (9):

$$\mathbf{A1} = \text{diag}\{-1/T_1, -1/T_2, \dots, -1/T_N\}, \quad \mathbf{B} = \text{diag}\{K_1/T_1, K_2/T_2, \dots, K_N/T_N\}. \quad (15)$$

Матрица выхода $\mathbf{C1}$ определяется, согласно (11), как

$$\mathbf{C1} = [c1_{i,n}]_{M \times N} = [\varphi_n(\lambda_n, l_i)]_{M \times N}. \quad (16)$$

Если входное распределённое воздействие представлено в виде (12), то систему (14), с учётом (13) можно представить в виде

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A1} \cdot \mathbf{x} + \mathbf{B1} \cdot u(t); \\ \mathbf{y} = \mathbf{C1} \cdot \mathbf{x}, \end{cases} \quad (17)$$

где

$$\mathbf{B1} = [K_n F_n / T_n]_{N \times 1}. \quad (18)$$

Ненулевые начальные условия расчёта определяются значением вектора состояния \mathbf{x} и могут быть рассчитаны в любой момент времени аналогично (10):

$$C_n(0) = \int_0^L C(\eta, 0) \varphi_n(\lambda_n, \eta) d\eta, \quad n \in \{1, 2, \dots, N\}. \quad (19)$$

Скачкообразное изменение скорости $V(t)$ в произвольный момент времени t_0 приведёт к изменению значений собственных чисел λ_n и всех зависящих от них значений элементов матриц $\mathbf{A1}$, $\mathbf{B1}$, $\mathbf{C1}$.

Обозначив новый ортогональный базис решения через $\hat{\varphi}_j(\hat{\lambda}_j, l)$, $j \in \{1, 2, \dots, \infty\}$, можно сказать, что распределение концентрации $\hat{C}(l, t)$ после t_0 , будет описываться бесконечным рядом

$$\hat{C}(l, t) = \sum_{j=1}^{\infty} \hat{\varphi}_j(\hat{\lambda}_j, l) \hat{C}_j(t). \quad (20)$$

При этом начальные условия для новой функции распределения определяется «старым» распределением в момент времени t_0 :

$$\hat{C}(l, t_0) = C(l, t_0), \quad (21)$$

тогда разложение в ряд по собственным функциям нового базиса начального условия будет выглядеть так:

$$\begin{aligned} \hat{C}_j(t_0) &= \int_0^L C(\eta, t_0) \hat{\varphi}_j(\hat{\lambda}_j, \eta) d\eta = \int_0^L \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n(\lambda_n, \eta) C_n(t_0) \hat{\varphi}_j(\hat{\lambda}_j, \eta) d\eta = \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} C_n(t_0) \int_0^L \varphi_n(\lambda_n, \eta) \hat{\varphi}_j(\hat{\lambda}_j, \eta) d\eta, \quad j \in \{1, 2, \dots, \infty\}. \end{aligned} \quad (22)$$

И, с учётом ограничений на количество учитываемых в расчёте членов ряда,

$$\hat{C}_j(t_0) = \sum_{n=1}^N C_n(t_0) \int_0^L \varphi_n(\lambda_n, \eta) \hat{\varphi}_j(\hat{\lambda}_j, \eta) d\eta, \quad j \in \{1, 2, \dots, N\}. \quad (23)$$

Таким образом, предложенный подход к моделированию объекта с распределёнными параметрами в пакете компьютерного моделирования сосредоточенных динамических систем предполагает, что в каждый момент изменения скорости потока будет производиться пересчёт собственных чисел решения и всех зависящих от

них элементов матриц **A1**, **B1**, **C1**. Начальное значение вектора состояния на момент переключения будет определяться с помощью (23).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мандра А.Г. Математическое моделирование процесса диффузии как распределенного объекта управления с переменной структурой// Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». Выпуск №4(32)–2011: Самара: СамГТУ, 2011. С. 229–232.
2. Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений/ Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина.– М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.
3. Дудников Е.Е. Универсальные программные пакеты для моделирования систем с распределенными параметрами// Автоматика и телемеханика, №1.– 2009.– С. 3–24.
4. Бутковский А.Г. Структурная теория распределенных систем.– М.: Наука, 1977.– 320 с.
5. Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами. – М.: Высш. шк., 2003. – 299 с.
6. Полянин А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 576 с.

Статья поступила в редакцию 31 октября 2013 г.

NUMERICAL-ANALYTICAL MODEL OF A DISTRIBUTED PARAMETER PLANT WITH VARIABLE STRUCTURE

I.A. Danilushkin

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The paper is about the problem of implementation of the numerical-analytical model of the diffusion process that flows in a reactor with a variable rate of flow. The author offers an approach to the implementation of the model in simulating software for dynamic systems with lumped parameters based on a change of orthogonal basis in the moment of changing the flow rate.

Keywords: *plant with distributed parameters, diffusion, numerical-analytical model, orthogonal basis, state space.*

ИНИЦИИРОВАНИЕ ДЕТОНАЦИИ УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ В НАСЫПНОМ И ВОДОНАПОЛНЕННОМ ПРОМЫШЛЕННОМ ГЕКСОГЕНЕ

А.Л. Кривченко¹, И.А. Клюстер²

¹ Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

² Самарский государственный университет путей сообщения
443066, г. Самара, 1-й Безымянный пер., д. 18

Рассмотрены особенности детонации насыпного и водонаполненного промышленного гексогена. Определены критический диаметр и критическое давление инициирования промышленного гексогена. Показано, что эти параметры практически идентичны параметрам перекристаллизованного гексогена, а незначительное повышение чувствительности естественно связано с наличием воздушных включений в зернах промышленного гексогена.

Ключевые слова: гексоген, критическое давление, детонация, инициирование.

Введение

Для безопасной транспортировки мощных взрывчатых веществ (ВВ) согласно рекомендациям ООН используется их флегматизация, в частности транспортировка в водонаполненном состоянии [1]. Особый интерес представляет изучение вопросов инициирования таких ВВ, т. е. развития ударной волны до скорости, равной скорости детонации, или ее затухания. В работе [2] проводилось исследование инициирования ударными волнами зарядов насыпного и водонаполненного гексогена плотностью 0,95 и 1,42 г/см³ соответственно. Инициирование создавалось ударными волнами треугольного профиля активного заряда через преграду из оргстекла. В работе использовался перекристаллизованный гексоген размером 0,1–0,3 мм с минимальным количеством дефектов. Были определены критические диаметры насыпного и водонаполненного гексогена, которые составляли 3 и 24 мм соответственно; критическое давление инициирования составляло 0,2±0,02 и 4,5±0,3 ГПа соответственно.

При водоразбавлении ВВ, в том числе гексогена, в промышленных условиях для перевозок и хранения в данных смесях содержатся воздушные включения и дефектные зерна. Именно это может сказаться на критических условиях инициирования и характере развития процесса.

Целью настоящей работы является определение критического диаметра водонаполненного промышленного гексогена и критического давления инициирования зарядов насыпного и водонаполненного гексогена. Результаты экспериментов показали, что данные характеристики практически идентичны характеристикам перекристаллизованного гексогена. Критический диаметр водонаполненного промышленного гексогена составил 19 мм. Критическое давление также уменьшилось до 3,4±0,3 ГПа. Критическое давление инициирующей ударной волны определялось как среднее значение между наименьшим давлением на фронте ударной волны, которая су-

Александр Львович Кривченко (д.т.н.), профессор кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях».

Иван Александрович Клюстер, аспирант.

может вызвать детонацию, и наибольшим давлением волны, которая не возбуждает ВВ.

Описание эксперимента

Измерения проводились электромагнитным методом на установке Института проблем химической физики РАН. Схема эксперимента, предложенная в работах [3, 4, 5], приведена на рис. 1. Активный заряд, состоящий из взрывной линзы и двух таблеток ВВ диаметром 80 мм, при взрыве через экран воздушного зазора и парафиновой прослойки генерировал в исследуемом взрывчатом веществе ударную волну прямоугольного профиля, что позволяло существенно повысить информативность процесса. Исследовались насыпные и наполненные заряды из кристаллических частиц промышленного гексогена плотностью 1,0 и 1,42 г/см³ соответственно. Электромагнитный датчик, фиксировавший развитие ударной волны до детонационной или ее затухание, размещался в пассивном заряде диаметром 60 мм, что позволяло уменьшить влияние боковой волны разряджения, а прямоугольный профиль входящей ударной волны позволял более детально прорисовать картину инициирования сухого и водонаполненного гексогена. В эксперименте по всей глубине развития ударной волны в детонационную электромагнитным методом записывался профиль $u(t)$ и измерялась скорость ударного фронта D , для чего использовался ступенчатый датчик с базой 3 мм. Датчик размещался на разных расстояниях L от границы парафиновой прослойки до исследуемого ВВ. Давление в волне рассчитывалось по гидродинамической формуле

$$P = \rho_0 D U, \quad (1)$$

где ρ_0 – плотность заряда; D – скорость фронта; U – массовая скорость на фронте.

Давление входящей ударной волны регулировалось активным зарядом (две таблетки ТНТ/талък 50/50), толщиной парафиновой прослойки и величиной воздушного зазора.

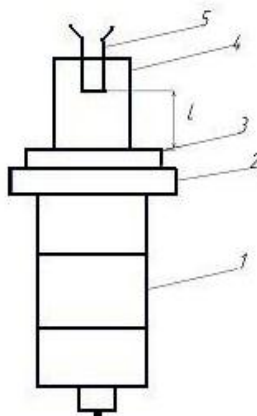


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – активный заряд; 2 – экран с воздушным зазором; 3 – парафиновая прослойка; 4 – исследуемое ВВ; 5 – электромагнитный датчик

Экспериментальные результаты

В таблице приведены параметры развивающихся ударных волн (скорость фронта, значения массовой скорости и давления на фронте). Данные значения были получены путем усреднения данных 4–6 опытов.

Давление входящей ударной волны P, ГПа	Положение датчика, мм	Массовая скорость U, км/сек	Скорость фронта D, км/сек	Давление, ГПа
Промышленный гексоген				
0,2	0	0,16	1,22	0,2
	4,0	0,87	2,62	2,3
	6,0	1,22	3,7	4,5
	10,0	1,61	4,7	7,6
	12,0	2,1	5,3	11,1
	20,0	2,1	5,3	11,1
Водонаполненный промышленный гексоген				
3,4	0	0,63	3,8	4,0
	4,0	0,95	4,4	5,9
	6,0	1,1	4,5	7,0
	10,0	1,2	4,75	8,1
	12,0	1,3	6,3	11,6
	20,0	1,5	6,7	14,3
	30	2,0	7,1	20,2

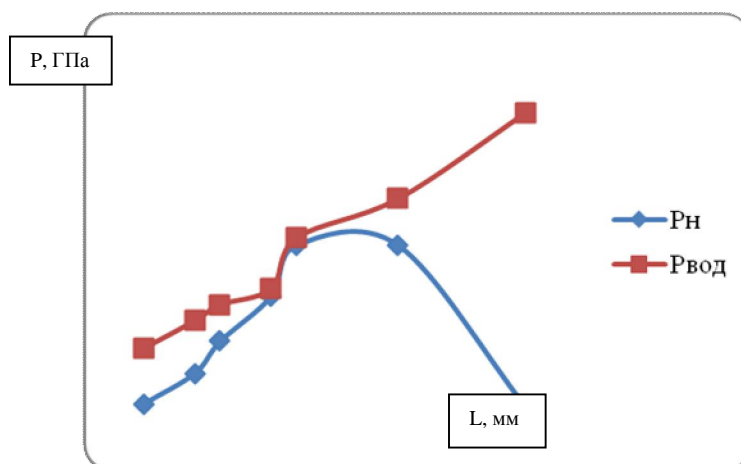


Рис. 2. Зависимости давлений на фронте развивающейся детонационной волны от расстояния до границы раздела «инертный барьер – ВВ»

На рис. 2 приведены параметры развития входящей ударной волны в образцы насыпного и водонаполненного гексогена. В опытах с насыпным гексогеном наблюдался треугольный профиль процесса с растущими параметрами на расстояниях 4,0 и 6,0 мм от входа ударной волны. На расстоянии 10,0 мм появился профиль с изломом «Химпиком», а на расстоянии 12,0 мм параметры процесса достигли максимальных значений и дальше не росли.

В случае с водонаполненным гексогеном на расстояниях от 0,0 до 4,0 мм наблюдался прямоугольный профиль с растущими параметрами, который на 6,0 мм трансформировался в треугольный, а на 10,0 мм появился излом. Развитие процесса продолжалось вплоть до 30,0 мм, детонационные параметры которого приблизились к характерным параметрам скорости детонации ~ 7,1 км/с. Схожие результаты были получены в работе [6], где скорость фронта ~ 7,5 км/с.

Детонационные параметры продуктов взрыва промышленного гексогена несколько отличаются от параметров продуктов взрыва перекристаллизованного гексогена. По сравнению с перекристаллизованным гексогеном промышленный гексоген более чувствителен. Наблюдения повышения чувствительности естественно связаны с наличием воздушных включений в зернах промышленного гексогена.

Выводы

Введение воды в насыпное ВВ изменяет процесс инициирования. В частности, энергия взрыва передается очередным слоям веществ не через продукты взрыва, а через ударную волну в воде. Поэтому слои ВВ сжимаются ударной волной с большей интенсивностью, чем в сухом материале. Следовательно, при наличии внутри зерен гексогена воздушных включений, играющих роль горячих точек, чувствительность гексогена выше, чем у перекристаллизованного гексогена правильной формы, хотя чувствительность промышленного гексогена остается на достаточно низком уровне. Влияние природы наполнителя на процесс инициирования подлежит дальнейшему изучению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Типовые правила перевозки опасных грузов. Рекомендации ООН по перевозке опасных грузов.
2. *Зыгмунт Б.* Иницирование ударными волнами детонации водонаполненных ВВ с различной структурой зерна. – ФГВ, 1980. Т 4. – С. 89-93.
3. *Дремин А.Н., Колдунов С.А., Шведов К.К.* Иницирование детонации ударными волнами в насыпных зарядах ВВ. – ФГВ, 1971. Т 1. – С. 103-11.
4. *Шведов К.К., Кривченко А.Л., Сальников В.Н.* Влияние природы наполнителя на разложение наполненных систем тротила и гексогена в ударных и детонационных волнах. – ФГВ, 1978. Т 5. – С. 127-131.
5. *Шведов К.К., Дремин А.Н.* Влияние агрегатного состояния и структуры заряда на разложение тротила в ударных волнах // Горение и взрыв. IV симпозиум по горению и взрыву. – 1977. – С. 440-446.
6. *Кривченко А.Л., Шведов К.К., Дремин А.Н., Козлов В.С.* Исследование детонационных характеристик систем гексоген – наполнитель. – ФГВ, 1972. Т 4. – С. 463-470.

Статья поступила в редакцию 3 сентября 2013 г.

INITIATION OF DETONATION BY COLLISIONAL WAVES IN FILL-UP AND WATER-FILLED INDUSTRIAL CYCLONITE

A.L. Krivchenko¹, I.A. Klyuster²

¹ Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

² Samara State University of Transport
18, 1 Bezimyanii per., Samara, 443066

The paper deals with the detonation of fill-up and water-filled industrial cyclonite. The critical diameter and pressure for the initiation of industrial cyclonite detonation have been determined. It is shown that these parameters are almost identical to those of crystallized RDX, a slight change in sensibility being due to air inclusions in the RDX grains .

Keywords: RDX, critical pressure, detonation and initiation.

*Alexander L. Krivchenko (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Ivan A. Klyuster, Postgraduate Student.*

МЕТОД И СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ*

В.С. Мелентьев, В.В. Муратова, Е.Е. Ярославкина

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: vs_mel@mail.ru.

Рассматривается новый метод измерения интегральных характеристик гармонических сигналов, основанный на сравнении ортогональных составляющих напряжения. Приводится структурная схема информационно-измерительной системы, реализующей метод. Анализируется влияние квантования мгновенных значений сигналов на погрешность результата измерения интегральных характеристик.

Ключевые слова: интегральные характеристики сигналов, гармонические сигналы, ортогональные составляющие, мгновенные значения, погрешность квантования.

При измерении параметров сигналов, вид которых строго обусловлен физическими законами исследуемых явлений, а погрешности измерений пренебрежимо малы, может быть успешно использован аппроксимационный подход, заключающийся в определении информативных параметров по отдельным мгновенным значениям сигналов в предположении их соответствия известным моделям с последующей оценкой погрешностей, обусловленных отклонением принятых моделей от реальных сигналов [1].

Данный подход может быть успешно применен при измерении интегральных характеристик гармонических сигналов (ИХГС).

При определении интегральных характеристик гармонических сигналов значительное сокращение времени измерения достигается за счет формирования дополнительных сигналов, сдвинутых по фазе относительно входных, и определения ИХГС по мгновенным значениям как входных, так и дополнительных сигналов [2].

Значительное упрощение реализации могут обеспечить методы измерения ИХГС, в которых в качестве дополнительных сигналов используются их ортогональные составляющие. Сокращение аппаратных затрат достигается за счет использования сравнения ортогональных составляющих сигналов [3].

Авторами разработан метод, использующий такой подход и основанный на формировании только дополнительного напряжения, сдвинутого относительно входного на 90° , и измерении мгновенных значений сигналов напряжений и тока в момент равенства входного и дополнительного напряжений [4]. Однако реализация метода предусматривает измерение мгновенных значений входного и дополнительного напряжений и тока, что требует использования трех аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и увеличивает погрешность определения ИХГС.

Владимир Сергеевич Мелентьев (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Информационно-измерительная техника».

Вера Владимировна Муратова, аспирант.

Екатерина Евгеньевна Ярославкина (к.т.н.), доцент кафедры «Информационно-измерительная техника».

В статье рассматривается новый метод определения ИХГС, в котором формируются дополнительный сигнал напряжения и производится измерение только мгновенных значений входного напряжения и тока.

В соответствии с разработанным авторами методом формируют дополнительный сигнал напряжения, сдвинутый относительно входного на 90° ; в момент равенства входного и дополнительного сигналов напряжения измеряют мгновенные значения входного напряжения и тока; через произвольный (в общем случае) интервал времени Δt одновременно измеряют мгновенные значения входного напряжения и тока и определяют ИХГС по измеренным значениям.

Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 1.

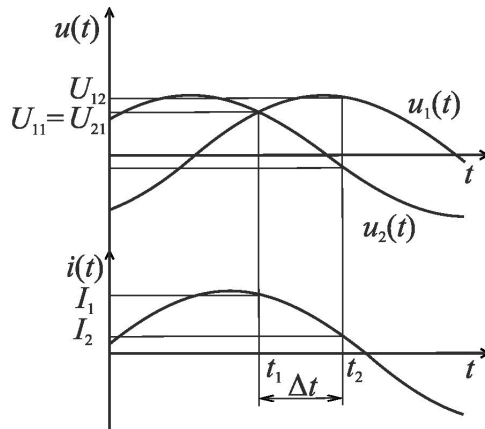


Рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод

Входные гармонические сигналы напряжения и тока и дополнительный сигнал напряжения имеют вид

$$u_1(t) = U_m \sin \omega t; i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi); u_2(t) = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U_m \cos \omega t,$$

где U_m , I_m – амплитудные значения сигналов напряжения и тока; ω – угловая частота входного сигнала; φ – угол сдвига фаз между входными напряжением и током.

В момент времени t_1 , когда основной и дополнительный сигналы напряжения будут равны, выражения для мгновенных значений сигналов примут вид

$$U_{11} = U_m \sin \alpha_1; U_{21} = U_m \cos \alpha_1; I_{11} = I_m \sin \alpha_2,$$

где α_1 , α_2 – фазы сигналов напряжения и тока в момент времени t_1 .

Мгновенные значения U_{11} и U_{21} будут равны при угле $\alpha_1 = \frac{\pi}{4} + \pi l$, где $l = 0, 1$.

В этом случае мгновенные значения сигналов примут вид

$$U_{11} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; I_{11} = I_m \sin\left(\varphi + \frac{\pi}{4}\right).$$

Через интервал времени Δt (момент времени t_2) мгновенные значения сигналов будут равны $U_{12} = U_m \sin\left(\frac{\pi}{4} + \omega \Delta t\right); I_{12} = I_m \sin\left(\varphi + \frac{\pi}{4} + \omega \Delta t\right)$.

Используя мгновенные значения сигналов и считая, что $\omega \Delta t \leq \frac{\pi}{4}$, можно получить выражения для определения основных ИХГС:

– среднеквадратические значения (СКЗ) напряжения и тока

$$U_{СКЗ} = |U_{11}|; \quad (1)$$

$$I_{СКЗ} = \frac{\sqrt{(I_1 U_{12} - I_2 U_{11})^2 + \left(I_2 U_{11} - I_1 \sqrt{2U_{11}^2 - U_{12}^2} \right)^2}}{U_{12} - \sqrt{2U_{11}^2 - U_{12}^2}}; \quad (2)$$

– активная (АМ) и реактивная (РМ) мощности

$$P = \frac{|U_{11}| \left(I_2 U_{11} - I_1 \sqrt{2U_{11}^2 - U_{12}^2} \right)}{U_{12} - \sqrt{2U_{11}^2 - U_{12}^2}}; \quad (3)$$

$$Q = \frac{|U_{11}| (I_1 U_{12} - I_2 U_{11})}{U_{12} - \sqrt{2U_{11}^2 - U_{12}^2}}. \quad (4)$$

Схема информационно-измерительной системы (ИИС), реализующей метод, представлена на рис. 2.

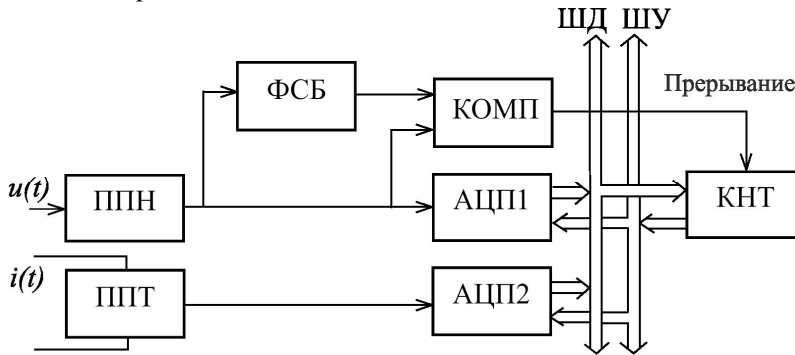


Рис. 2. Схема ИИС, реализующей метод

В состав ИИС входят: первичные преобразователи напряжения ППН и тока ППТ, аналого-цифровые преобразователи АЦП1 и АЦП2, фазосдвигающий блок ФСБ, компаратор КОМП, контроллер КНТ, шины управления ШУ и данных ШД.

Для анализа влияния квантования на погрешность результата определения ИХГС воспользуемся известным подходом, заключающимся в оценке погрешности вычисления значения функции, аргументы которой заданы приближенно, с помощью дифференциала этой функции [1].

Используя выражения (1) – (4), определим относительные погрешности измерения СКЗ напряжения и тока и приведенные погрешности измерения АМ и РМ:

$$\delta_{U_{СКЗ}} = \frac{\sqrt{2}}{2^n}; \quad (5)$$

$$\delta_{I_{СКЗ}} = \frac{|\sin \varphi (\sin \omega \Delta t + \cos \omega \Delta t) - \cos \varphi (\cos \omega \Delta t - \sin \omega \Delta t)| + |\cos \varphi - \sin \varphi|}{2^{n-1} \sqrt{2} |\sin \omega \Delta t|} + \frac{|\cos \varphi - \sin \varphi| [\cos(2\omega \Delta t + \varphi) - \sin \varphi] + |\sin \omega \Delta t \cos 2\varphi + \cos \omega \Delta t (\sin 2\varphi - 1)|}{2^n \sqrt{2} |\sin \omega \Delta t (\cos \omega \Delta t - \sin \omega \Delta t)|}; \quad (6)$$

$$\gamma_P = \frac{|\cos \omega \Delta t - \sin \omega \Delta t| + 1}{2^{n+1} \sqrt{2} |\sin \omega \Delta t|} + \frac{1}{2^{n+1} \sqrt{2} |\sin \omega \Delta t (\cos \omega \Delta t - \sin \omega \Delta t)|} \left[\sin 2\omega \Delta t \times \right.$$

$$\begin{aligned} & \times (\cos \varphi - \sin \varphi) + \cos \varphi (\cos^2 \omega \Delta t - 3 \sin^2 \omega \Delta t) - \sin \varphi \Big| + \\ & + \Big| \sin \varphi (\cos \omega \Delta t + \sin \omega \Delta t) - \cos \varphi (\cos \omega \Delta t - \sin \omega \Delta t) \Big| \Big]; \quad (7) \\ \gamma_Q = & \frac{|\cos \omega \Delta t + \sin \omega \Delta t| + 1}{2^{n+1} \sqrt{2} |\sin \omega \Delta t|} + \frac{1}{2^{n+1} \sqrt{2} |\sin \omega \Delta t (\cos \omega \Delta t - \sin \omega \Delta t)|} \Big[\cos 2\omega \Delta t \times \\ & \times (\cos \varphi + \sin \varphi) - 2 \sin \varphi \Big| + \Big| \sin \varphi (\cos \omega \Delta t + \sin \omega \Delta t) + \cos \varphi (\cos \omega \Delta t - \sin \omega \Delta t) \Big| \Big], \quad (8) \end{aligned}$$

где n – число двоичных разрядов АЦП.

Погрешность измерения СКЗ напряжения, определяемая в соответствии с (5), зависит только от разрядности АЦП. Погрешности измерения СКЗ тока, АМ и РМ, которые определяются согласно выражениям (6) – (8) соответственно, зависят от угла сдвига фаз между напряжением и током φ и интервала времени Δt .

Полученные в работе результаты позволяют выбирать соответствующие аппаратные средства и параметры измерительного процесса в зависимости от предъявляемых требований по точности и времени измерения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мелентьев В.С., Батищев В.И. Аппроксимационные методы и системы измерения и контроля параметров периодических сигналов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 240 с.
2. Мелентьев В.С., Иванов, Ю.М., Сеницын А.Е. Методы измерения интегральных характеристик на основе формирования дополнительных сигналов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2013. – № 2 (38). – С. 56-63.
3. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Сеницын А.Е. Синтез методов измерения интегральных характеристик по мгновенным значениям ортогональных составляющих гармонических сигналов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 3 (35). – С. 84-89.
4. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Симонов А.В. Метод измерения интегральных характеристик на основе сравнения ортогональных составляющих гармонических сигналов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2013. – № 2(4). – С. 58-62.

Статья поступила в редакцию 30 сентября 2013 г.

THE METHOD AND SYSTEM OF MEASUREMENT OF INTEGRATED CHARACTERISTICS WITH USE OF ORTHOGONAL MAKING SIGNALS

V.S. Melent'ev, V.V. Muratova, E.E. Jaroslavkina

Samara State Technical University,
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The new method of measurement of integrated characteristics of the harmonious signals, based on comparison orthogonal making voltage is considered. The block diagram of the information-measuring system realizing a method is resulted. Influence of quantization of instant values of signals on an error of result of measurement of integrated characteristics is analyzed.

Keywords: *in tegrated characteristics of signals, harmonious signals, orthogonal components, instant values, an error of quantization.*

Vladimir S. Melent'ev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.

Vera V. Muratova, Postgraduate Student.

Ekaterina E. Jaroslavkina (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОНОМНЫХ РОБОТОВ, ЗАПОМИНАЮЩЕЙ И ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕЙ ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ

М.Л. Паткин, А.А. Юдашкин

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассматривается способ синтеза системы коммуницирующих мобильных роботов, способной запоминать и восстанавливать свои конфигурации на плоскости. Конфигурации задаются координатами роботов. Динамика совокупности роботов задается нелинейными дифференциальными уравнениями в комплексных числах. Выполнено конструирование и физическое моделирование системы мобильных роботов с ультразвуковой системой навигации, которая реализует связи между отдельными роботами. Получены предварительные оценки возможности использования подобной навигации для синтеза системы мобильных роботов с памятью нескольких конфигураций.

Ключевые слова: *самоорганизующиеся системы, мобильный робот, ультразвуковой сенсор.*

Мобильные роботы имеют широчайший спектр применений в быту, промышленности и науке. Эта область бурно развивается в настоящее время. Существует две концепции для выполнения задач с помощью мобильных роботов: использование одного робота и использование нескольких взаимодействующих схожих по конфигурации роботов. Системы, использующие взаимодействие нескольких роботов, имеют ряд преимуществ. Они более живучи, так как выход из строя одного юнита не должен приводить к прекращению работы всей системы; также такие системы имеют потенциал для масштабирования. На практике ряд задач требует построения такой системы роботов, которая должна запоминать и восстанавливать свои пространственные положения. Например, в работе [1] разработаны роботы-кубики, которые могут выстраиваться нужной формой, – это может применяться при ремонтных работах в труднодоступных местах. В работе [2] разрабатывается самоорганизующаяся система роботов, которая моделирует роевое поведение в живом мире и служит для решения задач оптимизации маршрутов движения, объезда препятствий в условиях неизвестной местности. В работе [3] были созданы самоорганизующиеся микророботы, управляемые магнитным полем, которые могут перемещать микрогрузы. В будущем подобные микророботы могут быть применены в медицине для доставки химических препаратов непосредственно к раковым опухолям.

В данной работе ставится задача построения самоорганизующейся системы автономных роботов, способной запоминать и восстанавливать свои расположения в пространстве инвариантно к масштабам и поворотам, а также физической модели – то есть мобильных роботов. Эта задача подводит нас к необходимости решения другой задачи, а именно нахождения приемлемого метода координации мобильных роботов в пространстве внутри помещений. Для постановки эксперимента был выбран метод на основе ультразвуковых приемопередатчиков (УПП) из-за простоты опреде-

Михаил Львович Паткин, аспирант.

Александр Анатольевич Юдашкин (д.т.н.), профессор кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

ления расстояния прохождения ультразвуковой волны. В данной работе ставился эксперимент по применимости ультразвукового метода навигации.

Математическая модель

Математическая модель самоорганизующейся системы задается системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений в комплексных числах, введенной в [4]. Сохраненные состояния системы задаются вектором комплексных чисел. Уравнение динамики модели в полярных координатах относительно центра масс имеет вид

$$\begin{cases} \dot{\sigma} = J_R \sigma - J_1 \omega - \sum_{k=1}^M \sum_{l \neq k} (A_k \sigma - B_k \omega) (\bar{q} u^{(l)} \bar{u}^{(l)} q) - (\bar{q} q) \sigma; \\ \dot{\omega} = J_1 \sigma - J_R \omega - \sum_{k=1}^M \sum_{l \neq k} (B_k \sigma - A_k \omega) (\bar{q} u^{(l)} \bar{u}^{(l)} q) - (\bar{q} q) \omega, \end{cases}$$

где $J_R = \text{Re}(J)$, $J_1 = \text{Im}(J)$ – матрица «памяти» системы;

$A_k = \text{Re}(u^{(k)} \bar{u}^{(k)})$, $B_k = \text{Im}(u^{(k)} \bar{u}^{(k)})$, $q = \sigma + i\omega$ – координаты относительно центра масс.

Математическая модель позволяет создать систему из N элементов, которая может запомнить $N - 2$ состояний.

Решение дифференциального уравнения производится методом Эйлера первого порядка. Из произвольного начального состояния совокупность элементов на плоскости переходит с течением времени в одно из запомненных состояний, которое наиболее близко к исходному.

Физическое моделирование

Для физического моделирования были сконструированы 4 мобильных робота на основе контроллера Arduino Mega, то есть $N = 4$. Робот представляет собой трехколесную платформу с двумя ведущими колесами и двумя независимыми электроприводами на каждом колесе. В качестве сенсоров использовались гироскоп, магнитометр, акселерометр – с помощью этих сенсоров определялись углы наклона робота относительно центра земли, а также азимут [5, 6]. На каждом из ведущих колес робота был установлен тахометр для синхронизации их вращения. Для задач синхронизации вращения колес, а также поворота робота на нужный угол были использованы цифровые ПИД-регуляторы, которые настраивались по критерию максимального быстродействия. Для управления роботами и расчета математической модели была разработана программа на языке C#. Связь с роботами осуществлялась по протоколу Bluetooth. Координация роботов друг с другом осуществлялась при помощи ультразвуковых приемопередатчиков (УПП), которые были спроектированы специально для эксперимента. Роботы должны были перемещаться в соответствии с математической моделью. Алгоритм определения положения роботов на плоскости относительно друг друга следующий:

- с компьютера на одного из роботов посылается команда, переводящая его в состояние «Передатчик»; на остальные же – команды, переводящие их в «Отражатель»;

- с «Передатчика» со всех УПП посылается ультразвуковой импульс по очереди в каждую сторону; засекается время;

- на всех «Отражателях», на которые дошел этот импульс, измеряется амплитуда этого импульса, далее формируется ответный импульс со стороны, принявшей

наиболее высокую амплитуду. Ответный импульс посылается спустя константное время, требующееся для погашения всех ультразвуковых отраженных волн, которые в данном случае будут являться помехами. Также соответствующая информация посылается на компьютер;

– передатчик принимает ответные импульсы; на основе времени, прошедшего от пункта 1, и константного времени рассчитывается время прохождения звуковой волны и, следовательно, расстояние.

Процедура восстановления конфигурации состоит из нескольких этапов:

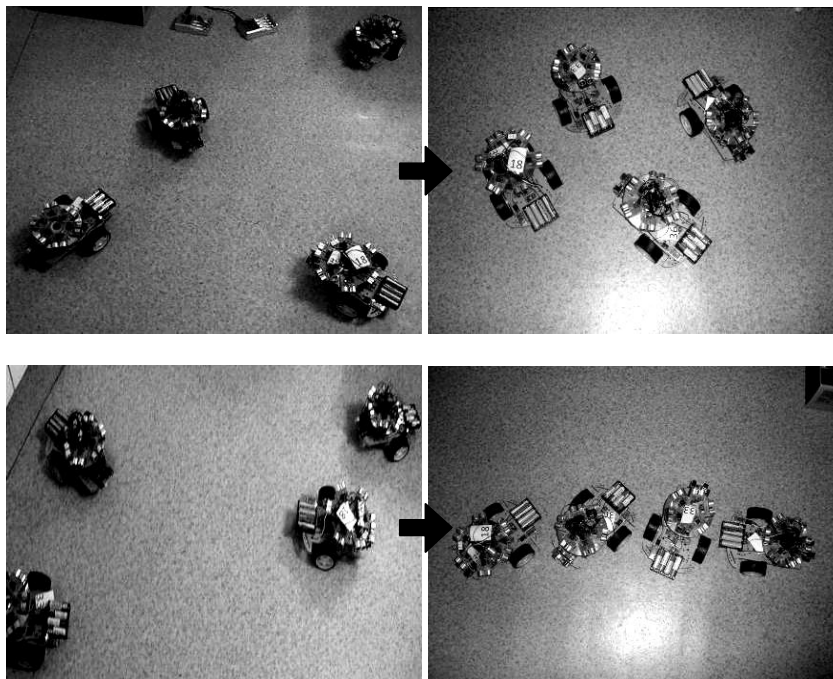
– с помощью ультразвукового метода определяется начальное положение роботов;

– модель возвращает координаты, по которым происходит трансформация в одно из двух сохраненных состояний;

– посылаются управляющие команды на роботы типа «Проедь 5 см» или «Поверни на 30 градусов»;

– определяется конечное положение роботов.

В случае если конечная конфигурация сильно отличалась от сохраненной, алгоритм повторялся. На рисунке изображены результаты восстановления структуры «линия» и «квадрат».



Результаты физического моделирования

Заключение

В статье предложен метод построения самоорганизующейся системы автономных роботов, восстанавливающей свои структуры, с использованием ультразвукового метода нахождения относительных координат. Полученное в результате физического моделирования качество восстановления конфигурации после воздействия является достаточно низким (ошибка восстановления составляет 30 %) из-за невысокого качества навигационной системы, но в качестве тестового результата вполне приемлемо.

Такие системы могут найти применение в сфере доставки грузов дроидами. В тех случаях, когда одному роботу не под силу переместить груз, может применяться кооперация, причем дроиды могут перестраиваться самостоятельно в зависимости от текущих условий и решаемой задачи.

В дальнейшем планируется продолжать работу над совершенствованием навигационной системы, использовать другие методы определения координат внутри помещений. Планируется построить улучшенных мобильных роботов, а также усовершенствовать математическую модель.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. John W. Romanishin, Kyle Gilpin, Daniela Rus. M-Blocks: Momentum-driven, Magnetic Modular Robots, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, November, 2013.
2. Marco Dorigo, Vito Trianni, Erol Sahin. Evolving Self-Organizing Behaviors for a Swarm-bot, Autonomous Robots, special Issue on Swarm Robotics, vol. 17, num. 2-3, p. 223-245, 2004.
3. Gwangjun Goa, Dohyun Kwaka, Linfeng Piao. Manipulation of micro-particles using a magnetically actuated microrobot, Dept. of Mechanical Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Republic of Korea, December 2013.
4. Юдашкин А.А. О подходе к построению трансформирующихся систем с несколькими устойчивыми состояниями // Дифференциальные уравнения и их приложения: Межвуз. сб. науч. тр. – 2002. – № 1. – С. 64-68.
5. Seong Y.C., Chan G.P. A Calibration Technique for a Two-Axis Magnetic Compass in Telematics Devices // ETRI Journal. – № 27. – 2005. – P. 280-288.
6. Pedley M. Tilt Sensing Using a Three-Axis Accelerometer [Электронный ресурс, 580 Кб] – 2013. – http://www.freescale.com/files/sensors/doc/app_note/AN3461.pdf.

Статья поступила в редакцию 1 ноября 2013 г.

BUILDING SYSTEMS OF AUTONOMOUS ROBOTS, WITH ABILITY TO MEMORIZE AND RESTORE THEIR STRUCTURES IN THE SPACE

M.L. Patkin, A.A. Yudashkin

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The solution describes the methods of synthesis the communicating mobile robot capable to memorize and restore configuration on the plane. Configuration sets the coordinates of the robots. Population of robots dynamics sets nonlinear differential equations in complex numbers. Achieved design and physical parameter modeling system of mobile robots with ultrasonic navigation system that implements the connection between the individual robots and obtained preliminary estimates using such a navigation system for the synthesis of mobile robots with multiple memory configurations.

Keywords: *self-organization, mobile robots, ultrasound sensor.*

*Mihail L. Patkin, Postgraduate Student.
Alexander A. Yudashkin (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.*

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ ЦИФРОВЫХ САУ С ПРОДУКЦИОННЫМИ АЛГОРИТМАМИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Г.Н. Рогачев

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Представлен метод синтеза регуляторов цифровых САУ в виде системы правил их работы. Рассматриваются основные этапы процедуры синтеза, описываются преимущества такого подхода.

Ключевые слова: *оптимальный синтез, система правил работы регулятора, непрерывно-дискретная система управления.*

Одним из важных направлений современного развития теории управления является исследование непрерывно-дискретных систем [1, 2]. В таких системах компоненты с непрерывными сигналами отражают физические законы, технологические или технические принципы, которым подчинено функционирование объектов управления, а дискретные элементы моделируют работу цифровых управляющих устройств.

В статье рассмотрена постановка нового класса актуальных задач структурного и параметрического синтеза непрерывно-дискретных систем управления, отличающаяся тем, что определению подлежит алгоритм функционирования регулятора, представленный в явной продукционной форме – в виде системы правил вида «условие – действие». Наполнение системы правил работы регулятора и, возможно, их количество находятся в процессе синтеза посредством автоматически формируемых специализированных вычислительных операций.

Известные методы формирования и использования продукционных вариантов описания регулятора (в частности, на основе четкой и нечеткой логики) [3] не предполагают формирования алгоритма управления с учетом всего комплекса взаимосвязанных принципиальных особенностей, присущих цифровым характером управляющих устройств, сетевым способом обмена информацией между ними и необходимостью построения вычислительной технологии с учетом указанных факторов. Кроме того, известные алгоритмы с фиксированной логикой не обеспечивают автоматического формирования алгоритма управления в темпе с управляемым процессом на основе рабочей информации о поведении объекта, получаемой по сигналам обратных связей.

Продукционная (алгоритмическая) форма описания регуляторов позволяет унифицировать задачу их синтеза. Действительно, процедура синтеза регулятора может быть описана единообразно: вне зависимости от конкретной задачи определению подлежат количество элементов системы продукций (пар типа «условие – действие») и ее наполнение (рис. 1).

При этом вместо классической многоступенчатой процедуры синтеза системы продукций регулятора (рис. 2), включающей последовательность операций по выбору структуры регулятора, определению его параметров, разработке реализующих этот регулятор алгоритма и программного кода, используется прямой синтез (рис. 3)

Геннадий Николаевич Рогачев (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

программы действий регулятора – системы правил, т. е. алгоритма его работы в виде псевдокода.

Элементами продукционной модели регулятора, изменяющимися в процессе поиска оптимальных решений и, возможно, в процессе работы регулятора, являются: количество n правил; antecedent A_i каждого i -того правила и консеквент C_i каждого i -того правила.



Рис. 1. Блок-схема системы управления с продукционной моделью регулятора

Существенной особенностью предлагаемого метода является допущение вариативности не только консеквентной части системы правил, но и antecedентной их части, условий срабатывания регулятора. Этим наряду с непрерывно-дискретными системами с переключениями в заранее заданные тактовые моменты времени (time-based control) в число потенциальных решений включаются также логико-динамические системы с переключениями в произвольные (обусловленные наступлением некоторых событий) моменты времени (event-based control). А для непрерывно-дискретных систем допустимой становится аритмия, колебания шага квантования регулятора по времени вследствие изменений условий работы системы. Причем такие колебания могут быть следствием изменения времени вычисления и передачи информации по каналам связи и иметь негативные последствия либо обуславливаться алгоритмом управления, носить детерминированный характер и повышать качество работы системы управления. Классическая схема требует $k \cdot m \cdot n$ циклов итерационного процесса синтеза регулятора; в предлагаемом варианте необходимо лишь $k \cdot m$ циклов – исключается выделенный серым цветом на рис. 2 цикл выбора структуры регулятора.

Предельно универсальная форма описания обеспечивает полную свободу выбора структуры регулятора и закона управления. Любой иной подход предполагает, что мы заранее определяем вид регулятора. Как правило, решающим фактором при

этом является то, какой метод решения задачи синтеза планируется использовать. Применение продукционного метода синтеза такое ограничение снимает. Выбор структуры регулятора и законов управления осуществляется в зависимости от поставленной задачи, а не от метода ее решения. Более того, в ходе синтеза структура регулятора и законы управления могут многократно меняться. При определении в процессе синтеза системы продукции можно заранее задать разрешенный набор составляющих ее компонентов (допустимый тезаурус элементов-«условий» и элементов-«действий»). Все это выгодно отличает рассматриваемый метод от известных.

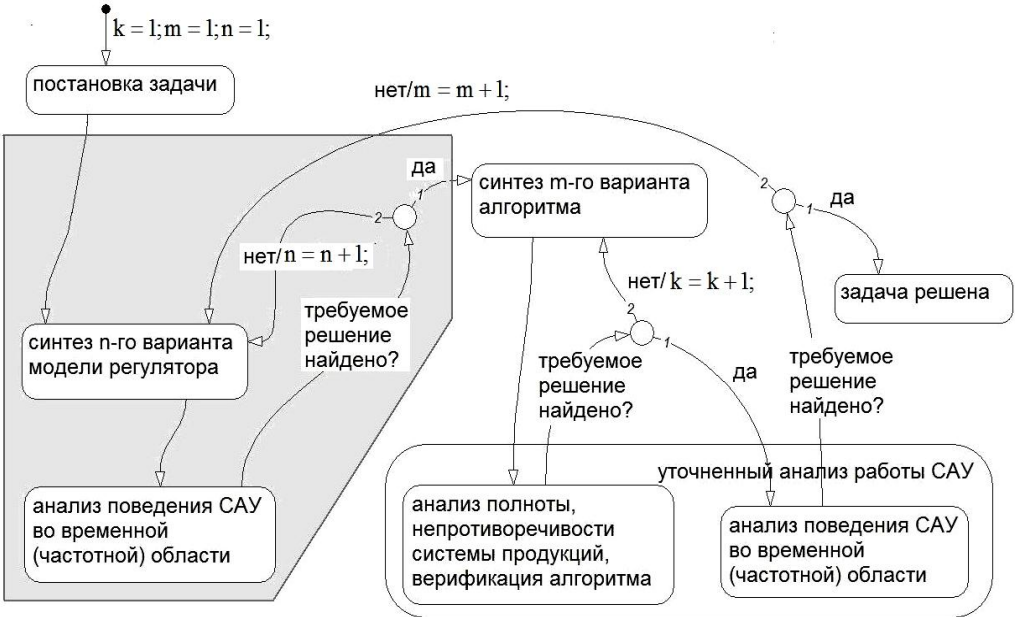


Рис. 2. Блок-схема традиционного варианта синтеза регуляторов

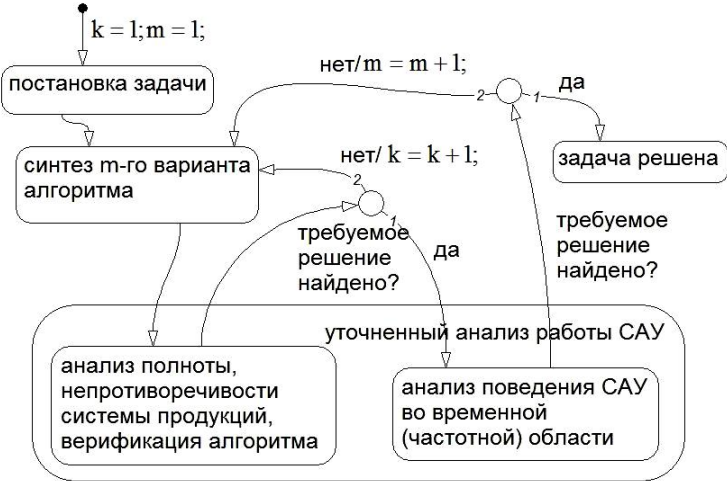


Рис. 3. Блок-схема продукционного варианта синтеза регуляторов

Не исключено привнесение неформального творческого элемента в практику проектирования систем управления. Процесс синтеза можно организовать с исполь-

216

зованием знаний эксперта. В качестве системы продукций могут использоваться правила, полученные эмпирически или аналитически. За счет применения этого подхода обеспечивается учет принципиальных особенностей, привносимых цифровым характером устройств управления и сетевым способом обмена информацией между ними.

Вместе с тем следует подчеркнуть, что в настоящее время общий формализованный метод решения задачи синтеза регуляторов в продукционной форме отсутствует. Здесь можно пока указать лишь некоторые частные способы, базирующиеся на различных подходах к синтезу системы продукций (т. е. определение количества пар типа «условие – действие» и конкретного содержания каждого элемента-условия и каждого элемента-действия) [4-7]. Поскольку большинство задач науки и техники относятся к обширному классу проблем поиска оптимальных решений, в основе этих подходов к синтезу системы правил работы регулятора лежит процедура оптимизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Murray R.M.* Future Directions in Control in an Information-Rich World / R.M. Murray [et al.] // IEEE Control Systems Magazine. – 2003. – Vol. 23, No. 2. – P. 20-33.
2. *Caspi P.* From Control Loops to Real-Time Programs / P. Caspi, O. Maler // Handbook of Networked and Embedded Control Systems. – Basel: Birkhauser, 2008. – P. 395-418.
3. *Беллман Р., Заде Л.* Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976. – С. 172-215.
4. *Рогачев Г.Н.* Численно-аналитическая процедура оптимального синтеза гибридных систем / Г.Н. Рогачев, В.А. Егоров // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2010. – № 7 (28). – С. 32-36.
5. *Рогачев Г.Н.* Использование генетического алгоритма с отсечением по времени в задаче синтеза программного регулятора для машины Дубинса / Г.Н. Рогачев // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2011. – № 3 (31). – С. 27-33.
6. *Рогачев Г.Н.* Синтез системы правил работы регулятора в задаче управления с нечеткими целями и ограничениями / Г.Н. Рогачев // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2011. – № 4 (32). – С. 34-42.
7. *Продукционный метод синтеза регуляторов систем управления непрерывно-дискретными объектами / Г.Н. Рогачев // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2013. – № 1 (37). – С. 22-27.*

Статья поступила в редакцию 30 сентября 2013 г.

SYNTHESIS PRODUCTION RULE SYSTEM OF DIGITAL CONTROLLERS

G.N. Rogachev

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The article is devoted to the synthesis of digital controllers as systems of their rules. The article considers the main stages of the synthesis procedure, describes the benefits of such an approach.

Keywords: *optimal synthesis, the system of rules of the controller, continuous-discrete control system.*

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СДВИГА ЗАСТЫВШЕЙ ПАРАФИНОВОЙ НЕФТИ В ТРУБОПРОВОДЕ

В.К. Тян, А.В. Пименов

*Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244*

Представлен системный подход к синтезу пусковых давлений сдвига, основанный на экспериментальных данных.

***Ключевые слова:** высокопарафиновая нефть, пусковые давления, напряжение сдвига, обратная задача, фундаментальные структуры.*

Постоянно растущий спрос на нефть и иссякающие запасы легкой нефти привели к увеличению добычи высокопарафиновых застывающих нефтей.

При плановых или аварийных остановках трубопроводов, когда температура нефти опускается до температуры ее застывания и ниже, она начинает представлять собой структурированную жидкость, проявляющую свойства твердых тел. Это обусловлено высокой прочностью объемной решетки парафина. При остановке перекачки прочность парафиновой решетки за счет тиксотропии вырастает, нефть теряет «текучесть» и застывает.

Для пуска трубопроводов с застывшей парафиновой нефтью необходимо приложить к ней определенное давление, обеспечивающее ее сдвиг и частичное разрушение решетки парафина в нефти. Такая ситуация может возникнуть как на изотермических, так и на «горячих» нефтепроводах, где застывание высокопарафиновой нефти происходит на конечных участках трубопровода (перед промежуточными станциями подогрева нефти).

Вопросами возобновления перекачки застывших парафиновых нефтей занимались В.И. Черников, П.И. Тугунов, М.В. Лурье, С.Н. Челинцев, В.Ф. Новоселов, В.Е. Губин, Л.С. Абрамзон, К.В. Мукук, В.Н. Дегтярев, А.Ф. Юкин и другие исследователи. Был внесен существенный вклад в проблему оценки возможных механизмов сдвига застывшей нефти, получены эмпирические формулы для расчета пускового давления как для изотермических, так и для «горячих» трубопроводов с учетом охлаждения их после остановки.

Однако проблема совершенствования технологии и надежности пуска «замороженных» трубопроводов с парафиновыми высокозастывающими нефтями после их длительной остановки остается актуальной [1].

Для достижения поставленной цели были проведены экспериментальные исследования застывающей нефти в лабораторных условиях на специальном трубном стенде (рис. 1).

Величина пускового давления ограничена прочностными характеристиками насоса и трубы. Поэтому стоит задача нахождения оптимальной программы изменения во времени пускового давления с ограниченной скоростью его нарастания.

Владимир Константинович Тян (д.т.н., доц.), заведующий кафедрой «Трубопроводный транспорт».

Алексей Вячеславович Пименов, ассистент.

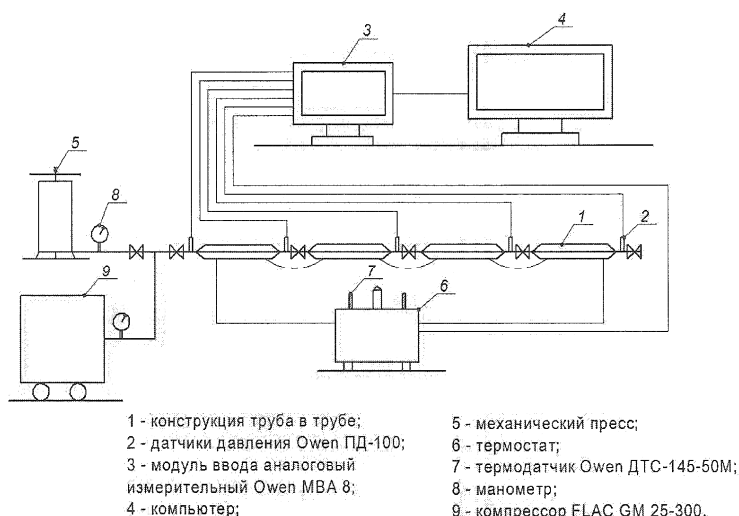


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

Нахождение оптимального решения связано с получением математических зависимостей величины пускового давления от температуры нефти и времени тиксотропного упрочнения парафина в ней на основании экспериментальных зависимостей, полученных на трубном стенде.

На рис. 2 представлена зависимость начального напряжения сдвига от температуры нефти.

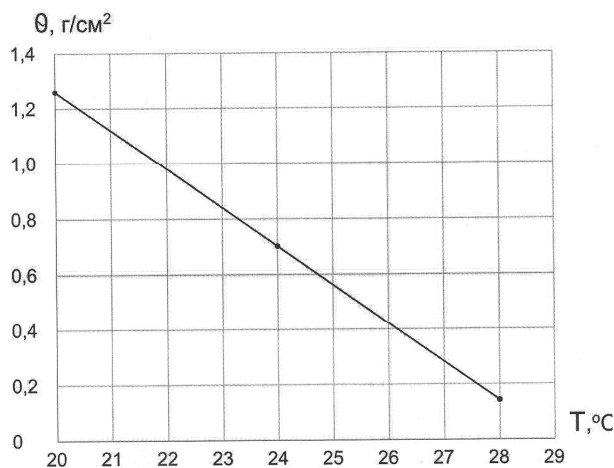


Рис. 2. Зависимость начального напряжения сдвига от температуры нефти

Как следует из рис. 2, приведенная зависимость носит линейный характер в рассмотренном диапазоне температур и позволяет определить минимальные пусковые давления.

Также линейный характер имеет зависимость начального напряжения сдвига от времени нахождения нефти в покое (рис. 3).

Для определения оптимальных сдвиговых давлений адекватной и удобной формой описания застывшей нефти, передающей сдвиговые давления вдоль трубы, являются математические модели типа «вход – выход». Как показывают результаты

идентификации объектов управления – объемов нефти между двумя последовательными датчиками давления, они с высокой точностью описываются апериодическими звеньями первого порядка [2, 3]. Очевидно, что давление сдвига в виде единичной функции с максимальной амплитудой, близкой к предельной, определяемой прочностными свойствами трубопроводной арматуры, является наиболее эффективным для создания первоначального сдвига. Но, с другой стороны, скачкообразное давление является критическим предельно допустимым с точки зрения обеспечения безопасной эксплуатации магистрального трубопровода.

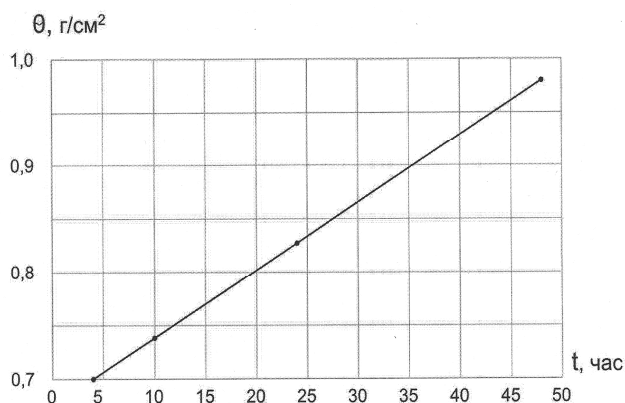


Рис. 3. Зависимость начального напряжения сдвига от времени нахождения нефти в покое (при 24 °С)

Возникает необходимость формирования давления сдвига на входе трубы, отличного от прямоугольной волны, но вызывающего такую же реакцию.

Таким образом, должна быть решена следующая обратная задача: по заданной реакции ОУ на единичную ступенчатую функцию, т. е. по переходной функции, определить входной сигнал иной формы, но вызывающий ту же реакцию.

Сформулированная обратная задача решена с использованием представления обратной передаточной функции в виде фундаментальной структуры (ФС) [4] (рис. 4).

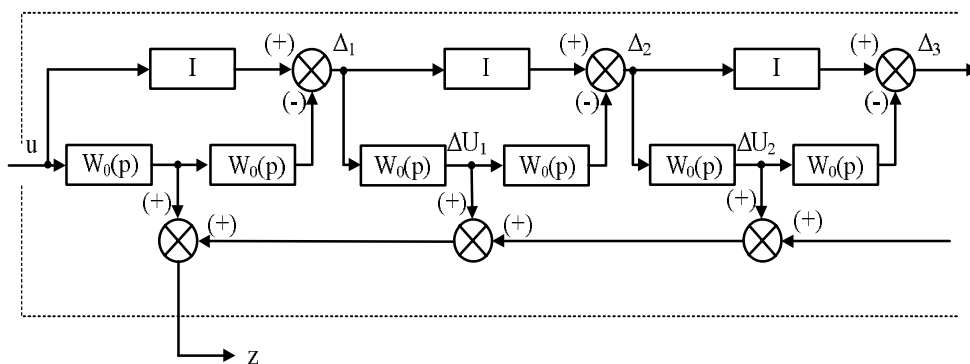


Рис. 4. Представление обратной передаточной матрицы в виде фундаментальной структуры

Искомый сигнал формируется на выходе ФС при подаче на ее вход требуемой переходной функции ОУ.

Сравнение реакции ОУ на синтезированный сигнал с его переходной функцией (разница не превышает 0,1 %) подтверждает правильность решения сформулированной обратной задачи.

Таким образом, возможна реализация давлений сдвига застывшей парафиновой нефти, не являющихся критическими в указанном выше смысле, но по эффективности им не уступающих.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Пименов А.В., Дегтярев В.Н.* О возможных механизмах распространения давления в нефтепроводе с застывшей парафиновой нефтью // Нефтегазовые технологии: сб. трудов Международной научно-практической конференции. Т. II. – Самара: Самарский гос. тех. ун-т, 2010. – С. 107-112.
2. *Тян В.К., Дегтярев В.Н., Тянь П.В., Пименов А.В.* Математическое моделирование застывшей парафиновой нефти при транспортировке по трубам // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 11 (27), 5(2), 2009. – С. 358-361.
3. *Тян В.К., Пименов А.В., Дегтярев В.Н.* Идентификация застывшей парафиновой нефти как объекта управления при транспортировке по трубам // Нефтегазовые технологии: сб. трудов Международной научно-практической конференции. Т. II. – Самара: Самарский гос. тех. ун-т, 2010. – С. 141-143.
4. *Тян В.К.* Редукция процедуры синтеза многомерных линейных систем управления к синтезу одномерных с типовым объектом // Новые технологии, мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 4 (85). – С. 2-7.

Статья поступила в редакцию 31 октября 2013 г.

COMPREHENSIVE STUDY OF SOLIDIFIED PARAFFIN OIL SHEAR PROCESS IN A PIPELINE

V.K. Tian, A.V. Pimenov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

This paper presents a systematic approach to synthesis of starting pressure shifts, based on experimental data.

Keywords: *high-paraffin oil, starting pressure, shear stress, inverse problem, fundamental structures.*

*Vladimir K. Tian (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Aleksey V. Pimenov, Assistant.*

ПРИБЛИЖЕННЫЕ МОДЕЛИ РЕГРЕССИОННОГО ТИПА ДЛЯ АНАЛИЗА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ СЛИТКОВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Е.А. Якубович

Самарский государственный технический университет
443110, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: ensave@samgtu.ru

Приведены результаты синтеза приближенных моделей для прогнозирования характеристик процесса затвердевания непрерывных слитков.

Ключевые слова: *приближенные модели, непрерывный слиток, алюминиевые сплавы.*

Процесс формирования слитка на машинах непрерывного литья является многофакторным и многовариантным, причем многие технологические параметры устанавливаются приближенно. Реальная производственная ситуация усложняется также из-за неконтролируемых колебаний давления и расхода охлаждающей воды и некоторых других технологических параметров. Соответственно одной из главных задач управления формированием слитка является установление связи между показателями процесса затвердевания и внешними технологическими и режимными параметрами для достижения повышенных выходов годного.

В основе разработки и совершенствования технологического процесса непрерывного литья алюминиевых сплавов для получения разнообразной номенклатуры заготовок для последующего использования с целью производства полуфабрикатов методами обработки металлов давлением лежат исследования взаимосвязи между параметрами литья и основными характеристиками процесса, определяющими качество затвердевшего металла. Результаты подобных исследований обычно представляют и систематизируют в виде таблиц, дающих исходный статистический материал для анализа процесса путем построения математических моделей.

Однако в силу сложности моделируемого объекта структура искомых приближенных моделей не может быть заранее определена, поэтому классические методы регрессионного анализа оказываются недостаточно эффективными. Это обстоятельство привело к необходимости разработки методов получения приближенных моделей регрессионного типа на базе структурной и параметрической идентификации [1, 2]. Их преимуществами являются отказ от априорного задания структуры модели и возможность получения моделей с достаточной прогнозирующей силой даже при небольшом количестве точек в пространстве независимых переменных.

Согласно методу прямого моделирования [2, 3] искомая модель зависимости выходной переменной y от вектора независимых переменных \bar{x} синтезируется на ЭВМ в ходе эволюции промежуточных моделей

$$y_i = f_i(\bar{x}), \quad (1)$$

которые ищутся в виде

$$y_i = \sum_{j=1}^m c_j \varphi_j(\bar{x}), \quad (2)$$

где $\varphi_j(\bar{x})$ – базовые функции;

c_j – коэффициенты;

m – число функций в i -ой модели.

Синтез начинается с наиболее простых исходных моделей ($m = 2$) и завершается нахождением модели, которая по определенному критерию признается наилучшей. В ходе этой процедуры реализуется последовательный отбор лучших из множества заданных базовых функций φ_k ($1 \leq k \leq p$, $p \gg m$). Полная аппроксимирующая формула получается постепенным усложнением описания объекта с увеличением числа полиномов (2) и переопределением входящих в них коэффициентов c_j .

При разработке алгоритма и программы задание базовых функций и выбор критериев для сравнительной оценки моделей являются компетенцией составителя. Обычно используются базовые функции вида

$$\varphi_k = \prod_{l=1}^s x_l^{\gamma_{kl}}, \quad (3)$$

где x_l – независимые переменные;

γ_{kl} – заданные значения показателей степеней, набором которых каждая базовая функция отличается от других.

Все табличные данные об объекте разделяются на две совокупности: обучающую и проверочную. В рассматриваемом случае объектом является процесс формирования непрерывного слитка, и обе совокупности образуются из данных об исследованных режимах литья экспериментального и расчетного характера. В ходе работы программы определение коэффициентов моделей (2) проводится с использованием данных обучающей совокупности, а для оценки точности и отбора моделей используются обе совокупности. Такой прием повышает прогнозирующую способность приближенных моделей за счет снижения информации о «шумовом поле» объекта.

Для процесса непрерывного литья алюминиевых сплавов с получением крупногабаритных плоских слитков получены приближенные модели по результатам численного исследования температурных полей слитков с использованием теории квазиравновесной двухфазной зоны (для сплавов АМг6, В95, Д16). Найдены формулы для определения глубины лунки h , максимального вертикального размера двухфазной зоны δ , т. е. величин, определяющим образом связанных с качеством центральной области слитка, а также температуры поверхности в зоне наиболее интенсивного теплоотвода $t_n(z^*)$. В качестве входных параметров выбраны толщина слитка b , скорость литья v и параметры режима охлаждения поверхности: значение коэффициента теплоотдачи α^* , соответствующее пику кривой $\alpha(z)$ в поясе интенсивного охлаждения за кристаллизатором, z^* – координата этого пика, t^* – температура поверхности в выбранном поперечном сечении, соответствующем полностью затвердевшей части слитка.

Полученные модели удобны в применении и могут использоваться при решении важных практических задач, в том числе для количественной оценки влияния различных факторов на процесс затвердевания слитка. При небольшом числе критериев

оптимизации становится возможным графически изобразить эффективные действия, представляя проектировщику возможность выбрать по этим графикам наилучшую точку, характеризующую наиболее рациональный режим. В качестве примера рассмотрен слиток толщиной 400 мм при фиксированных z^* и t^* для различных скоростей литья v . На основе допустимых и технологически обоснованных величин h и δ с использованием полученных аппроксимирующих зависимостей определены максимально возможные значения $t_n(z^*)$ и соответствующие им величины α^* .

Для улучшения качества центральной зоны слитка важно уменьшить h и δ , а с точки зрения снижения термических напряжений и предотвращения трещинообразования предпочтительнее режимы охлаждения, допускающие более высокие температуры поверхности t_n , в том числе в точке z^* . При заданной толщине слитка с учетом технологических ограничений можно минимизировать h_l и δ , одновременно обеспечивая температуру $t_n(z^*)$ выше заданного уровня. Во многих случаях полезную в технологическом отношении информацию можно получить из анализа изолиний h_l , δ и $t_n(z^*)$ в плоскости (v, α^*) , т. к. два других параметра z^* и t^* определяются реальными возможностями системы охлаждения слитка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дюдкин Д.А., Токарев В.Л., Ильин А.А. и др. Оптимизация режима вторичного охлаждения непрерывного слитка с помощью приближенной модели // Сталь. – 1981. – № 9. – С. 30-32.
2. Клявинь Я.Я., Клявиня И.Я., Позняк А.А. Методика синтеза регрессионных моделей на основе данных о влиянии параметров литья на критерии качества // Изв. АН ЛатвССР. Сер. Физ. и техн. науки. – 1982. – № 1. – С. 65-71.
3. Брока М.Э., Клявинь Я.Я., Шадрин Г.Г., Якубович Е.А. Численное исследование затвердевания плоских слитков из высоколегированных алюминиевых сплавов при непрерывном литье // Цветные металлы. – 1986. – № 4. – С. 75-77.

Статья поступила в редакцию 3 октября 2013 г.

APPROXIMATE REGRESSION-TYPE MODELS FOR ANALYSIS OF ALUMINIUM ALLOYS CONTINUOUS INGOTS SOLIDIFICATION

E.A. Yakubovich

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The paper deals with the technique of approximate mathematical models production based on the data of the aluminium alloys ingots cooling regime parameters in the continuous casting process

Keywords: *approximate models, continuous ingot, aluminium alloys.*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Представленная в журнал работа **должна обязательно содержать новые научные результаты**, нигде ранее не публиковавшиеся и не представленные к публикации в других изданиях.

В журнале предполагается публикация статей объемом до 7 страниц (включая рисунки и таблицы), а также кратких сообщений по соответствующим разделам (объем 2-4 стр. вместе с рисунками и таблицами).

В приоритетном порядке будут рассматриваться материалы докторских и кандидатских диссертаций. Аспирантские работы рекомендуется представлять в форме кратких сообщений.

Требования к оформлению статей находятся на сайте университета

www.samgtu.ru → Наука → Вестник СамГТУ → Серия «Технические науки».

К статье прилагаются:

- экспертное заключение;
- авторская справка;
- лицензионный договор передачи авторского права на публикацию;
- акт приема-передачи к договору;
- направление от организации (если авторы не работают в СамГТУ).

Статьи, не удовлетворяющие указанным правилам оформления, будут возвращены авторам без рассмотрения.

Статьи и краткие сообщения передаются ответственному секретарю серии «Технические науки» И.Г. Минаковой (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, корп. 8, комн. 519).

Справки по телефонам:

337 07 00 – Эдгар Яковлевич Рапопорт

337 03 42 – Ирина Григорьевна Минакова (e-mail: vest_teh@samgtu.ru)

Редколлегия журнала