

Бербец А.Н., Петренко С. А.

ПРИМЕНЕНИЕ БИОТОПЛИВА ДЛЯ АВТОМОБИЛЯ

Упомянуто, что представляют собой современные виды биотоплива, приведены виды биотоплива для автомобиля, перспективы его применения и проблемы использования. Ист. 3.

Что такое биотопливо

Введение. Рост тарифов на традиционные виды топлива мотивирует активное внедрение альтернативных видов топлива, одним из которых стали пеллеты или топливные гранулы, завоевавшие прочное место на мировом рынке биотоплива.

Топливные или древесные гранулы (пеллеты) представляют собой прессованные цилиндры диаметром 4-10 мм, длиной 2-5 см, переработанные из высушенных остатков отходов лесоперерабатывающего производства: древесные опилки, стружка, кора, сучки, ветки и т. д. Содержание энергии в одном килограмме древесных гранул соответствует 0,5 литра жидкого топлива.

Кроме экономического эффекта, использование пеллет способствует снижению вредных выбросов в атмосферу.

Основное содержание исследования. Различают 2 вида пеллет. Это гранулы для отопления жилых домов, которые из-за особой белизны называют <белыми>. Этот качественный вид гранул продается по более высоким ценам, чем гранулы для больших котельных – промышленные пеллеты, которые, как правило, большего диаметра, чем <белые>. Промышленные гранулы из-за наличия в них высокой доли коры не имеют такого белого цвета, как гранулы для жилых помещений. Соотношение потребления гранул для частного отопления и промышленными системами составляет примерно 1:10. Только небольшая часть всех выпускаемых в мире древесных гранул продается через торговые розничные сети.

Цена на пеллеты для отопления жилых помещений составляет от 140 до 160 евро за тонну. Они реализуются либо в мешках, либо в специальных контейнерах. Подача древесных гранул (пеллет) в котельные крупных производственных объектов и отопительных систем осуществляется автоматически. Цена на промышленные пеллеты составляет в среднем 85 евро за тонну.

Гранулы больших размеров называются брикетами. Топливные брикеты выпускаются на специальном оборудовании. Также серийно выпускаются прессы, которые могут выпускать одновременно и гранулы и брикеты, и они уже используются в России. Древесностружечные брикеты, как правило, используются для бытовых систем отопления и имеют различные размеры и форму.

Стоимость древесных брикетов на европейском рынке может быть иногда выше стоимости гранул, но они занимают и значительно меньший сегмент рынка сжатых топлив. Соотношение выпуска топливных брикетов и гранул в мире составляет примерно 1:20 [1].

Автомобили будут ездить на топливе из отходов

Проблема поиска топлива для автомобилей, которое станет достойной альтернативой бензину и дизелю, является одной из наиболее актуальных в мире. Заставляют искать новые виды горючего и все время растущая дороговизна нефти, и рост загрязнения окружающей среды. Ряд автомобилистов уже заправляют свои машины природным газом, кто-то ездит на

электромобилях, а наибольшей популярностью в настоящий момент пользуются так называемые автомобили-гибриды, в которых используется два источника энергии (обычно это электричество и бензин).

Однако точка в поиске новых видов топлива не поставлена. И, например, американские исследователи в данный момент лоббируют идею перевода автомобилей на спирт и растительное масло, для получения которых будет использоваться переработанная биомасса (любого органического вещества растительного или животного происхождения). На ее основе уже изготавливаются горючий газ и этиловый спирт (этанол). Дополнительным преимуществом производства топлива из биомассы является то, что исходным сырьем могут послужить в том числе пищевые и бытовые отходы, экскременты сельскохозяйственных животных, различные сельхозкультуры.

Таким образом, автомобильное топливо, изготовленное подобным способом, будет отличаться легкостью производства, а следовательно, и низкой стоимостью. В пользу того, чтобы начать увеличивать производство автомобильных двигателей, приспособленных к биотопливу, говорит также и то, что оно не требует специальной перестройки заправочных станций и может заливаться в баки традиционным и всем привычным способом. И, наконец, принципиальным плюсом биотоплива является то, что, в отличие от нефти, его запасам на Земле уж точно не грозит истощение [2].

Сейчас в мире уже существует несколько видов комбинированного горючего, как правило, представляющего сочетание бензина и спирта, произведенного из растительного сырья, а с 1990 г. этанол в небольшом количестве стал добавляться в бензин, дабы снизить вредоносность автомобильных выхлопов для окружающей среды. Также с 1991 г. началось массовое производство специального биодизельного топлива, которое вырабатывается из растительного и животного жира (главным образом используются пальмовое и соевое масла).

Основой для производства биодизеля может послужить даже растительное масло, использованное в пищевой промышленности. Национальный биодизельный совет США уверяет, что биодизель на 5% более экономичен, а его энергоемкость выше на 5%. В настоящий момент наиболее активно используют такое топливо для своих машин автоводители стран ЕС.

Однако значительное число аргументов выдвигается и против биотоплива. Никто не против того, чтобы воздух в мире стал чище, а горючее дешевле. Но это будет требовать внесения изменения в конструкцию автодвигателей, а следовательно, и в сам процесс их производства, что потребует значительных затрат и займет достаточно долгое время. Сложно пока предположить и то, насколько охотно начнут переходить на новое топливо рядовые водители [3].

Вывод. Применение биотоплива для автомобиля представляется весьма перспективным с экологической и, в какой-то мере, энергетической точки зрения, но для своего разрешения требует решения ряда вопросов технического и организационного характера и значительного времени.

Литература

1. Алексеев А. А. Экологический триптих. – М.: За рулем, № 6, 1998. – 22 с.
2. Гоголев Ю. А. Будут сверхчистые Mercedes. – М.: Автоцентр, № 6, 2004. – 18 с.
3. Мишин С. А. Дышите глубже – мы в Европе. – М.: За рулем, № 11, 2000. – С. 11-12.

Бодянский Е.В., Зубов Д.А.

**МОДИФИЦИРОВАННЫЙ САМОНАСТРАИВАЮЩИЙСЯ
АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ КВАЗИПРЯМОГО
АВТОМАТИЧЕСКОГО ДИСКРЕТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МИМО-
ОБЪЕКТАМИ С ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛЬЮ И
ЗАПАЗДЫВАНИЕМ**

Рассмотрен вопрос модификации самонастраивающегося адаптивного алгоритма квазипрямого автоматического дискретного управления МИМО-объектами с линейной моделью и запаздыванием. Представлены алгоритмы адаптивного дуального и активно-адаптивного управления указанным классом МИМО-объектов и аналитически показано их преимущество относительно известного подхода С.Хана (С.Han).

Введение

Разработка новых, более эффективных самонастраивающихся алгоритмов автоматического управления МИМО-объектами является актуальной задачей современной теории управления. Причем в настоящее время одно из основных направлений заключается в развитии квазипрямых адаптивных систем, которые отличаются присутствием настраиваемой прогнозирующей модели и сочетают в себе особенности не прямых (наличие адаптивного идентификатора) и прямых (наличие критериальной оптимизации) адаптивных систем [1-4]. Высокая вычислительная способность современной управляющей аппаратуры существенно упрощает указанную задачу на базе постоянной структурно-параметрической идентификации объектов управления (ОУ) в режиме реального времени, что позволяет рассматривать их как линейные и стационарные [5-7].

Первый самонастраивающийся регулятор был предложен Астромом (Astrom) и Виттенмарком (Wittenmark) в 1973 году [8], задачей которого было минимизация дисперсии выходного сигнала. Однако предложенный алгоритм был неработоспособным в случае присутствия временного запаздывания, что в дальнейшем было учтено Кларком (Clarke) и Гаутропом (Gawthrop) на базе соответствующего выбора весовых полиномов в алгоритме регулятора. Стандартный самонастраивающийся алгоритм включает рекурсивную двухшаговую процедуру, которая базируется на оценке параметров ОУ на основе рекуррентного метода наименьших квадратов (РМНК) с последующим вычислением соответствующих значений управляющего воздействия при помощи субоптимального метода [9]. Повышение точности оценки параметров ОУ является основным фактором улучшения функционирования самонастраивающихся регуляторов. В этом направлении в настоящее время ведутся многочисленные исследования (например, [1-4, 8-12]), однако практика показывает, что данную проблему в силу ее сложности, многофакторности еще предстоит решить. Цель данной статьи – разработка и исследование модифицированного самонастраивающегося адаптивного алгоритма квазипрямого автоматического управления МИМО-объектами с линейной моделью.

1. Описание объекта и алгоритма локально-оптимального управления

Объект управления представляется разностной схемой в виде стохастического линейного уравнения авторегрессии – скользящего среднего [8]:

$$A(z^{-1})y(t) = z^{-k}B(z^{-1})u(t) + C(z^{-1})\xi(t) + d(t), \quad (1)$$

где $y(t), d(t) \in \mathbb{R}^m$, $u(t) \in \mathbb{R}^r$ – векторы выходного сигнала, детерминированного возмущения и управляющего сигнала ОУ в t -й момент

времени; $k \geq 1$ – целочисленная константа, которая отображает время запаздывания в системе; z^{-1} – оператор сдвига на один такт назад; $\xi(t) \in \mathbb{R}^m$ – гауссовский белый шум с нулевым математическим ожиданием и ковариационной матрицей R ; $A(z^{-1}), B(z^{-1}), C(z^{-1})$ – λ -матрицы:

$$A(z^{-1}) = I + \sum_{i=1}^n A_i z^{-i}, \quad A_i \in \mathbb{R}^{m \times m}, \quad (2)$$

$$B(z^{-1}) = \sum_{j=0}^n B_j z^{-j}, \quad B_j \in \mathbb{R}^{m \times r}, \quad (3)$$

$$C(z^{-1}) = I + \sum_{s=1}^n C_s z^{-s}, \quad C_s \in \mathbb{R}^{m \times m}; \quad (4)$$

I – единичная матрица; n – порядок системы.

Пусть полиномиальная матрица $C(z^{-1})$ имеет обратную матрицу

$$M(z^{-1}) = C^{-1}(z^{-1}) \approx I + \sum_{s=1}^p M_s z^{-s}, \quad (5)$$

где p – конечное положительное число (в общем случае неизвестно); $M_s \in \mathbb{R}^{m \times m}$.

Критерий качества представляется квадратичной функцией

$$J_t = M \left\{ \left[y^*(t+k) - y(t+k) \right]^T Q_1 \left[y^*(t+k) - y(t+k) \right] + u^T(t) Q_2 u(t) \right\}, \quad (6)$$

где $y^*(t+k)$ – уставка выходного сигнала в момент времени $(t+k)$; $Q_1 \geq 0, Q_2 > 0$ – симметричные матрицы; $M\{\cdot\}$ – операция математического ожидания.

Введем следующее тождество на основе деления λ -матрицы $C(z^{-1})$ [8,11]:

$$I = E(z^{-1})M(z^{-1})A(z^{-1}) + z^{-k}F(z^{-1}), \quad (7)$$

где

$$E(z^{-1}) = I + \sum_{i=1}^{k-1} E_i z^{-i}, \quad E_i \in \mathbb{R}^{m \times m}; \quad (8)$$

$$F(z^{-1}) = \sum_{j=0}^{n+p-1} F_j z^{-j}, \quad F_j \in \mathbb{R}^{m \times m}. \quad (9)$$

В [11] показано, что использование тождества (7) позволяет получить предсказатель выходного сигнала на k тактов квантования вперед на основе минимизации критерия, в качестве которого применяется величина дисперсии ошибок предсказания.

Умножая уравнение (1) слева на $E(z^{-1})M(z^{-1})$, получим:

$$E(z^{-1})M(z^{-1})A(z^{-1})y(t) = z^{-k}E(z^{-1})M(z^{-1})B(z^{-1})u(t) + E(z^{-1})\xi(t) + E(z^{-1})M(z^{-1})d(t). \quad (10)$$

Используя (7), последнее уравнение можно записать в другом виде:

$$y(t) = F(z^{-1})y(t-k) + G(z^{-1})u(t-k) + \eta(t) + \delta \quad (11)$$

или

$$y(t+k) = F(z^{-1})y(t) + G(z^{-1})u(t) + \eta(t+k) + \delta, \quad (12)$$

где

$$G(z^{-1}) = E(z^{-1})M(z^{-1})B(z^{-1}) = \sum_{j=0}^{n+p+k-1} G_j z^{-j}, \quad G_j \in \mathbb{R}^{m \times r}; \quad (13)$$

$$\eta(t) = E(z^{-1})\xi(t) = \xi(t) + \sum_{i=0}^{k-1} E_i \xi(t-i); \quad (14)$$

$$\delta = E(z^{-1})M(z^{-1})d(t). \quad (15)$$

Таким образом, оптимальный прогноз на k шагов вперед выходного сигнала $y(t)$:

$$\hat{y}(t+k|t) = M\{y(t+k)\} = F(z^{-1})y(t) + G(z^{-1})u(t) + \delta. \quad (16)$$

В этом случае ошибка оптимального прогноза имеет следующее значение:

$$\eta(t+k) = y(t+k) - \hat{y}(t+k|t) = E(z^{-1})\xi(t+k). \quad (17)$$

Используя последнее уравнение, критерий качества (6) можно записать в виде:

$$\begin{aligned} J_t &= M \left\{ \left[y^*(t+k) - \hat{y}(t+k|t) - \eta(t+k) \right]^T Q_1 \times \right. \\ &\times \left. \left[y^*(t+k) - \hat{y}(t+k|t) - \eta(t+k) \right] + u^T(t) Q_2 u(t) \right\} = \\ &= \left[y^*(t+k) - \hat{y}(t+k|t) \right]^T Q_1 \left[y^*(t+k) - \hat{y}(t+k|t) \right] + \\ &+ u^T(t) Q_2 u(t) + Tr\{Q_1 R_\eta(t+k)\}, \end{aligned} \quad (18)$$

где $Tr\{\cdot\}$ – след матрицы;

$$R_\eta(t+k) = M\{\eta(t+k)\eta^T(t+k)\} = R + \sum_{i=1}^{k-1} E_i R E_i^T \quad (19)$$

– ковариационная матрица ошибки оптимального прогноза (не зависит от $u(t)$).

Для получения локально-оптимального управления продифференцируем J_t по $u(t)$ (используется так называемая аргументная оптимизация, из которой автоматически следует критериальная оптимизация):

$$\begin{aligned} \frac{\partial J_t}{\partial u(t)} &= \nabla_u J_t = 2 \left\{ \left[y^*(t+k) - \hat{y}(t+k|t) - \eta(t+k) \right]^T Q_1 \times \right. \\ &\times \left. \nabla_u \hat{y}(t+k|t) + u^T(t) Q_2 \right\}. \end{aligned} \quad (20)$$

Так как $\nabla_u \hat{y}(t+k|t) = G_0$, то приравнение (20) нулю дает тождество

$$G_0^T Q_1 \left[\hat{y}(t+k|t) - y^*(t+k) \right] + Q_2 u(t) = 0 \quad (21)$$

и локально-оптимальное управление можно записать в виде:

$$u^*(t) = \left[G_0^T Q_1 G_0 + Q_2 \right]^{-1} G_0^T Q_1 \left[y^*(t+k) - F(z^{-1})y(t) - G'(z^{-1})u(t-1) - \delta \right], \quad (22)$$

где

$$G'(z^{-1}) = \sum_{i=1}^{n+p+k-1} G_i z^{-i+1} = \sum_{i=0}^{n+p+k-2} G_i z^{-i}. \quad (23)$$

Следует отметить, что локально-оптимальное управление (23) можно реализовать при известных параметрах ОУ (1) и константе p .

2. Модифицированный самонастраивающийся адаптивный алгоритм квазипрямого автоматического дискретного управления МИМО-объектами с линейной моделью и запаздыванием (1).

Введем составные матрицу $L \in \mathbb{R}^{m \times ((n+p+k)r + (n+p)m + m)}$

$$L = (G_0, G_1, \dots, G_{n+p+k-1}, F_0, \dots, F_{n+p-1}, \delta)$$

и вектор-столбец $\varphi \in \mathbb{R}^{((n+p+k)r + (n+p)m + m) \times 1}$

$$\varphi(t+k) = (u^T(t), \dots, u^T(t-n-p-k+1), y^T(t), \dots, y^T(t-n-p+1), 1)^T.$$

Представим (16) в виде:

$$\hat{y}(t+k|t) = L\varphi(t+k) = G_0 u(t) + L'\psi(t), \quad (24)$$

где $L = (G_0, L')$, $\varphi(t+k) = (u^T(t), \psi^T(t))^T$.

Тогда (12) можно представить в виде:

$$y(t+k) = L\varphi(t+k) + \eta(t+k). \quad (25)$$

Рассмотрим процедуру идентификации параметров ОУ (25).

В момент времени t :

$$\varphi(t) = (u^T(t-k), \psi^T(t-k))^T. \quad (26)$$

Настраиваемый прогноз (упредитель):

$$\hat{y}(t+k) = \hat{L}(t)\varphi(t+k) = \hat{G}_0(t)\hat{u}(t) + \hat{L}'(t)\psi(t). \quad (27)$$

Стохастическое эквивалентное управление:

$$\hat{u}(t) = \left[\hat{G}_0^T(t)Q_1\hat{G}_0(t) + Q_2 \right]^{-1} \hat{G}_0^T(t)Q_1 [y^*(t+k) - \hat{F}(t, z^{-1})y(t) - \hat{G}'(t, z^{-1})u(t-1) - \hat{\delta}(t)]. \quad (28)$$

Последнее уравнение можно представить в виде:

$$\hat{u}(t) = \left[\hat{G}_0^T(t)Q_1\hat{G}_0(t) + Q_2 \right]^{-1} \hat{G}_0^T(t)Q_1 [y^*(t+k) - \hat{L}'\psi(t)]. \quad (29)$$

В этом случае ошибка оптимального прогноза имеет следующее значение:

$$\tilde{y}(t+k) = y(t+k) - \hat{y}(t+k) = [L - \hat{L}(t)]\varphi(t+k) + \eta(t+k) = \tilde{L}(t)\varphi(t+k) + \eta(t+k). \quad (30)$$

Используя последнее уравнение, критерий качества (6) можно записать в виде:

$$\begin{aligned} J_t &= M \left\{ \left[y^*(t+k) - \hat{y}(t+k) - \tilde{y}(t+k) \right]^T Q_1 \times \right. \\ &\times \left[y^*(t+k) - \hat{y}(t+k) - \tilde{y}(t+k) \right] + u^T(t)Q_2 u(t) \Big\} = \\ &= \left[y^*(t+k) - \hat{y}(t+k) \right]^T Q_1 \left[y^*(t+k) - \hat{y}(t+k) \right] + \\ &+ u^T(t)Q_2 u(t) + Tr\{Q_1 R_{\tilde{y}}(t+k)\}; \end{aligned} \quad (31)$$

В последнем уравнении след матрицы $Q_1 R_{\tilde{y}}(t+k)$ можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \text{Tr}\{Q_1 R_{\tilde{y}}(t+k)\} &= M \left\{ \left[\tilde{L}(t)\varphi(t+k) + \eta(t+k) \right]^T Q_1 \times \right. \\ &\times \left. \left[\tilde{L}(t)\varphi(t+k) + \eta(t+k) \right] \right\} = M \left\{ \varphi^T(t+k) \tilde{L}^T(t) Q_1 \tilde{L}(t) \varphi(t+k) \right\} + \\ &+ \text{Tr}\{Q_1 R_{\eta}(t+k)\} = \varphi^T(t+k) P_L \varphi(t+k) + \text{Tr}\{Q_1 R_{\eta}(t+k)\}, \end{aligned} \quad (32)$$

где $P_L(t) \in \mathbb{R}^{((n+p+k)r+(n+p)m+m) \times ((n+p+k)r+(n+p)m+m)}$ – блочная матрица $(P_{G_0}(t), P_{L'}(t) \in \mathbb{R}^{rxr}$, $P_{G_0 L'}(t) \in \mathbb{R}^{((n+p+k-1)r+(n+p)m+m) \times r}$):

$$P_L(t) = M \left\{ \begin{pmatrix} P_{G_0}(t) & P_{G_0 L'}^T(t) \\ P_{G_0 L'}(t) & P_{L'}(t) \end{pmatrix} \right\}. \quad (33)$$

Также можно записать:

$$\begin{aligned} \varphi^T(t+k) P_L \varphi(t+k) &= u^T(t) P_{G_0}(t) u(t) + \\ &+ 2u^T(t) P_{G_0 L'}^T(t) \psi(t) + \psi^T(t) P_{L'}(t) \psi(t). \end{aligned} \quad (34)$$

Тогда критерий качества (31) можно записать в виде:

$$\begin{aligned} J_t &= \left[y^*(t+k) - \hat{G}_0(t)u(t) - \hat{L}'(t)\psi(t) \right]^T Q_1 \times \\ &\times \left[y^*(t+k) - \hat{G}_0(t)u(t) - \hat{L}'(t)\psi(t) \right] + u^T(t) Q_2 u(t) + u^T(t) P_{G_0}(t) u(t) + \\ &+ 2u^T(t) P_{G_0 L'}^T(t) \psi(t) + \psi^T(t) P_{L'}(t) \psi(t) + \text{Tr}\{Q_1 R_{\eta}(t+k)\}, \end{aligned} \quad (35)$$

Для нахождения локально-оптимального управления аналогично (21) приравняем $\nabla_u J_t$ нулю:

$$\begin{aligned} \nabla_u J_t &= 2 \left\{ \left[y^*(t+k) - \hat{G}_0(t)u(t) - \hat{L}'(t)\psi(t) \right]^T Q_1 \hat{G}_0(t) + \right. \\ &+ \left. u^T(t) Q_2 + u^T(t) P_{G_0}(t) + \psi^T(t) P_{L'}(t) \right\} = 0. \end{aligned} \quad (36)$$

Решая (36) относительно $u(t)$, получим локально-оптимальное адаптивное осторожное управление:

$$\begin{aligned} u^c(t) &= \left[\hat{G}_0^T(t) Q_1 \hat{G}_0(t) + P_{G_0}(t) + Q_2 \right]^{-1} \times \\ &\times \left[y^*(t+k) - \hat{G}_0(t)u(t) - \hat{L}'(t)\psi(t) \right] Q_1 \hat{G}_0(t). \end{aligned} \quad (37)$$

Раскрывая скобки в (35), получим:

$$\begin{aligned} J_t &= u^T(t) \hat{G}_0^T(t) Q_1 \hat{G}_0(t) u(t) + \psi^T(t) \hat{L}'^T(t) Q_1 \hat{L}'(t) \psi(t) + y^{*T}(t+k) Q_1 y^*(t+k) + 2u^T(t) \hat{G}_0^T(t) Q_1 \hat{L}'(t) \psi(t) - \\ &- 2u^T(t) \hat{G}_0^T(t) Q_1 y^*(t+k) - 2\psi^T(t) \hat{L}'^T(t) Q_1 y^*(t+k) + u^T(t) Q_2 u(t) + u^T(t) P_{G_0}(t) u(t) + 2u^T(t) P_{G_0 L'}^T(t) \psi(t) + \\ &+ \psi^T(t) P_{L'}(t) \psi(t) + \text{Tr}\{Q_1 R_{\eta}(t+k)\} = u^T(t) \left[\hat{G}_0^T(t) Q_1 \hat{G}_0(t) + P_{G_0}(t) + Q_2 \right] u(t) + \\ &+ 2u^T(t) \left[\hat{G}_0^T(t) Q_1 \hat{L}'(t) + P_{G_0 L'}^T(t) \right] \psi(t) - 2u^T(t) \hat{G}_0^T(t) Q_1 y^*(t+k) + \chi(t), \end{aligned} \quad (38)$$

где $\chi(t)$ – члены не зависящие от $u(t)$.

Введем обозначения:

$$\begin{aligned}\tilde{y}^*(t+k) &= \hat{G}_0^T(t) Q_1 y^*(t+k); \\ \alpha(t) &= \hat{G}_0^T(t) Q_1 \hat{G}_0(t) + Q_2; \\ \beta(t) &= \hat{G}_0^T Q_1 \hat{L}'(t); \\ \gamma(t) &= \hat{G}_0^T(t) Q_1 \hat{G}_0(t) + Q_2 + P_{G_0}(t); \\ \zeta(t) &= \hat{G}_0^T Q_1 \hat{L}'(t) + P_{G_0 L}^T(t).\end{aligned}$$

Тогда (38) можно записать в виде:

$$J_t = u^T(t) \gamma(t) u(t) + 2u^T(t) \zeta(t) \psi(t) - 2u^T(t) \tilde{y}^*(t+k) + x(t). \quad (39)$$

Соответственно уравнения (29) и (37) можно записать в виде:

$$\hat{u}(t) = \alpha^{-1}(t) [\tilde{y}^*(t+k) - \beta(t) \psi(t)] \quad (40)$$

$$u^c(t) = \gamma^{-1}(t) [\tilde{y}^*(t+k) - \zeta(t) \psi(t)] \quad (41)$$

С учетом (41) запишем (39) в виде:

$$\begin{aligned}J_t(u^c(t)) &= [\tilde{y}^*(t+k) - \zeta(t) \psi(t)]^T \gamma^{-1}(t) \gamma(t) \gamma^{-1}(t) [\tilde{y}^*(t+k) - \zeta(t) \psi(t)] + \\ &+ 2[\tilde{y}^*(t+k) - \zeta(t) \psi(t)]^T \gamma^{-1}(t) \zeta(t) \psi(t) - \\ &- 2[\tilde{y}^*(t+k) - \zeta(t) \psi(t)]^T \gamma^{-1}(t) \tilde{y}^*(t+k) + x(t) = \\ &= [\tilde{y}^*(t+k) - \zeta(t) \psi(t)]^T \gamma^{-1}(t) [\tilde{y}^*(t+k) - \zeta(t) \psi(t)] + \\ &+ 2[\tilde{y}^*(t+k) - \zeta(t) \psi(t)]^T \gamma^{-1}(t) [\zeta(t) \psi(t) - \tilde{y}^*(t+k)] + x(t) = \\ &= -[\tilde{y}^*(t+k) - \zeta(t) \psi(t)]^T \gamma^{-1}(t) [\tilde{y}^*(t+k) - \zeta(t) \psi(t)] + x(t) = \\ &= u^{cT}(t) \gamma(t) u^c(t) + x(t).\end{aligned} \quad (42)$$

С учетом (40) запишем (39) в виде:

$$\begin{aligned}J_t(\hat{u}(t)) &= [\tilde{y}^*(t+k) - \beta(t) \psi(t)]^T \alpha^{-1}(t) \gamma(t) \alpha^{-1}(t) [\tilde{y}^*(t+k) - \beta(t) \psi(t)] + \\ &+ 2[\tilde{y}^*(t+k) - \beta(t) \psi(t)]^T \alpha^{-1}(t) \zeta(t) \psi(t) - \\ &- 2[\tilde{y}^*(t+k) - \beta(t) \psi(t)]^T \alpha^{-1}(t) \tilde{y}^*(t+k) + x(t) = \\ &= [\tilde{y}^*(t+k) - \beta(t) \psi(t)]^T \alpha^{-1}(t) \gamma(t) \alpha^{-1}(t) [\tilde{y}^*(t+k) - \beta(t) \psi(t)] - \\ &- 2[\tilde{y}^*(t+k) - \beta(t) \psi(t)]^T \alpha^{-1}(t) \gamma(t) \gamma^{-1}(t) [\tilde{y}^*(t+k) - \zeta(t) \psi(t)] + x(t) = \\ &= \hat{u}^T(t) \gamma(t) \hat{u}(t) - 2\hat{u}^T(t) \gamma(t) u^c(t) + x(t).\end{aligned} \quad (43)$$

На основе (42) и (43) можно записать:

$$\begin{aligned}J_t(\hat{u}(t)) - J_t(u^c(t)) &= \hat{u}^T(t) \gamma(t) \hat{u}(t) - 2\hat{u}^T(t) \gamma(t) u^c(t) + \\ &+ u^{cT}(t) \gamma(t) u^c(t) = \left[\hat{u}(t) - u^c(t) \right]^T \gamma(t) \left[\hat{u}(t) - u^c(t) \right] \geq 0,\end{aligned} \quad (44)$$

т.е. $u^c(t)$ всегда лучше $\hat{u}(t)$.

Далее рассмотрим алгоритм идентификации $\hat{L}(t)$ и $P_L(t)$.

Объект представляется в виде (25), настраиваемый упредитель – в виде

(27). В момент времени t известно $y(t), \varphi(t), \hat{L}(t-1)$:

$$\hat{L}(t) = \hat{L}(t-1) + \left[y(t) - \hat{L}(t-1)\varphi(t) \right] \varphi^T(t) \Gamma(t), \quad (45)$$

где $\Gamma(t)$ – коэффициент усиления процедуры аргументной оптимизации [1].

Рекуррентное уравнение (45) порождается критерием идентификации:

$$J'_t = M \left\{ \left\| y(t) - \hat{L}(t)\varphi(t) \right\|^2 \right\}. \quad (46)$$

Пусть

$$\tilde{L}(t) = L - \hat{L}(t). \quad (47)$$

Тогда (45) на основе (25), (47) можно записать в виде:

$$\begin{aligned} \tilde{L}(t) &= \tilde{L}(t-1) - \left[L\varphi(t) + \eta(t) - \hat{L}(t-1)\varphi(t) \right] \varphi^T(t) \Gamma(t) = \\ &= \tilde{L}(t-1) - \left[\tilde{L}(t-1)\varphi(t) + \eta(t) \right] \varphi^T(t) \Gamma(t). \end{aligned} \quad (48)$$

Блочная матрица $P_L(t)$ может быть рекуррентно вычислена в виде:

$$\begin{aligned} P_L(t) &= M \left\{ \tilde{L}^T(t) Q_1 \tilde{L}(t) \right\} = M \left\{ \left[\tilde{L}(t-1) - \tilde{L}(t-1)\varphi(t)\varphi^T(t)\Gamma(t) - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \eta(t)\varphi^T(t)\Gamma(t) \right]^T Q_1 \left[\tilde{L}(t-1) - \tilde{L}(t-1)\varphi(t)\varphi^T(t)\Gamma(t) - \eta(t)\varphi^T(t)\Gamma(t) \right] \right\} = \\ &= P_L(t-1) - P_L(t-1)\varphi(t)\varphi^T(t)\Gamma(t) - \Gamma(t)\varphi(t)\varphi^T(t)P_L(t-1) + \\ &+ \left[\text{Tr} \{ Q_1 R_\eta(t) \} + \varphi^T(t)P_L(t-1)\varphi(t) \right] \Gamma(t)\varphi(t)\varphi^T(t)\Gamma(t). \end{aligned} \quad (49)$$

Введем функцию Ляпунова:

$$V(t) = \text{Tr} \{ P_L(t) - P_L(t-1) \} = \text{Tr} \left\{ \Gamma(t)\varphi(t)\varphi^T(t)\Gamma(t) \left[\text{Tr} \{ Q_1 R_\eta(t) \} + \right. \right. \\ \left. \left. \varphi^T(t)P_L(t-1)\varphi(t) \right] - P_L(t-1)\varphi(t)\varphi^T(t)\Gamma(t) - \Gamma(t)\varphi(t)\varphi^T(t)P_L(t-1) \right\}; \quad (50)$$

$$\frac{\partial V(t)}{\partial \Gamma(t)} = 0. \quad (51)$$

Из (50) и (51) получаем:

$$\Gamma(t) = \frac{P_L(t-1)}{\text{Tr} \{ Q_1 R_\eta(t) \} + \varphi^T(t)P_L(t-1)\varphi(t)}. \quad (52)$$

Тогда на основе (45) и (52) можно записать:

$$\hat{L}(t) = \hat{L}(t-1) + \frac{\left[y(t) - \hat{L}(t-1)\varphi(t) \right] \varphi^T(t) P_L(t-1)}{\text{Tr} \{ Q_1 R_\eta(t) \} + \varphi^T(t) P_L(t-1) \varphi(t)}. \quad (53)$$

Аналогично можно записать:

$$P_L(t) = P_L(t-1) + \frac{P_L(t-1)\varphi(t)\varphi^T(t)P_L(t-1)}{\text{Tr}\{Q_1R_\eta(t)\} + \varphi^T(t)P_L(t-1)\varphi(t)}. \quad (54)$$

Найдем процедуру рекуррентного вычисления $\hat{L}(t)$ и $P_L(t)$ на базе РМНК. Пусть:

$$\hat{L}(t) = \hat{L}(t-1) + \frac{\left[y(t) - \hat{L}(t-1)\varphi(t) \right] \varphi^T(t)k^{-1}(t)K(t-1)}{k^{-1}(t)[1 + \varphi^T(t)K(t-1)\varphi(t)]}; \quad (55)$$

$$k^{-1}(t)K(t) = k^{-1}(t)K(t-1) - \frac{k^{-1}(t)K(t-1)\varphi(t)\varphi^T(t)K(t-1)}{k^{-1}(t)[1 + \varphi^T(t)K(t-1)\varphi(t)]}; \quad (56)$$

$$k(t) = [\text{Tr}\{Q_1R_\eta(t)\}]^{-1}. \quad (57)$$

Таким образом, процедура рекуррентного вычисления $\hat{L}(t)$ в совместном определении (55) и

$$K(t) = K(t-1) - \frac{K(t-1)\varphi(t)\varphi^T(t)K(t-1)}{1 + \varphi^T(t)K(t-1)\varphi(t)}. \quad (58)$$

Из (54), (57) и (58) следует, что:

$$K(t) = k(t)P_L(t). \quad (59)$$

Таким образом, процедура рекуррентного вычисления $P_L(t)$ имеет вид:

$$P_L(t) = K(t)\text{Tr}\{Q_1R_\eta(t)\}. \quad (60)$$

После построения рекуррентной процедуры вычисления $\hat{L}(t)$ и $P_L(t)$ перейдем к активной адаптации. Сначала определим величины идентифицирующих управляющих воздействий – для этого воспользуемся процедурой D-оптимального планирования.

$$P_L(t+k) = P_L(t+k-1) + \frac{P_L(t+k-1)\varphi(t+k)\varphi^T(t+k)P_L(t+k-1)}{\text{Tr}\{Q_1R_\eta(t+k)\} + \varphi^T(t+k)P_L(t+k-1)\varphi(t+k)}. \quad (61)$$

$$\det P_L(t+k) = \frac{\det P_L(t+k-1)}{\text{Tr}\{Q_1R_\eta(t+k)\} + \varphi^T(t+k)P_L(t+k-1)\varphi(t+k)}. \quad (62)$$

$$\frac{\det P_L(t+k-1)}{\det P_L(t+k)} = \text{Tr}\{Q_1R_\eta(t+k)\} + \varphi^T(t+k)P_L(t+k-1)\varphi(t+k) = \quad (63)$$

$$= k^{-1} [1 + \varphi^T(t+k)K(t+k-1)\varphi(t+k)]$$

Максимум этого выражения достигается при $\max \varphi^T(t+k)K(t+k-1)\varphi(t+k)$.

Аналогично (34) можно записать:

$$\begin{aligned} \varphi^T(t+k)K(t+k-1)\varphi(t+k) &= u^T(t)K_{G_0}(t+k-1)u(t) + \\ &+ 2u^T(t)K_{G_0L'}^T(t+k-1)\psi(t) + \psi^T(t)K_{L'}(t+k-1)\psi(t). \end{aligned} \quad (64)$$

Минимум этого выражения достигается при

$$\check{u}(t) = -K_{G_0}^{-1}(t+k-1)K_{G_0L'}^T(t+k-1)\psi(t). \quad (65)$$

Тогда идентифицирующее управляющее воздействие имеет вид:

$$u'_i(t) = \begin{cases} u_i^{\max}, & \check{u}_i(t) \geq \frac{u_i^{\max} - u_i^{\min}}{2}; \\ u_i^{\min}, & \check{u}_i(t) < \frac{u_i^{\max} - u_i^{\min}}{2}. \end{cases} \quad (66)$$

Рассмотрим модифицированный адаптивный дуальный регулятор (IDC – Innovative adaptive Dual Controller). Пусть

$$J_t^{IDC} = J_t - \lambda M \{ \tilde{y}^T(t+k) Q_1 \tilde{y}(t+k) \}, \quad 0 \leq \lambda \leq 1. \quad (67)$$

$$\begin{aligned} M \{ \tilde{y}^T(t+k) Q_1 \tilde{y}(t+k) \} &= M \{ \varphi^T(t+k) \tilde{L}^T(t) + \eta^T(t+k) \} Q_1 \times \\ &\times \left[\tilde{L}(t) \varphi(t+k) + \eta(t+k) \right] = \varphi^T(t+k) P_L(t) \varphi(t+k) + Tr \{ Q_1 R_\eta(t+k) \} = \\ &= u^T(t) P_{G_0}(t) u(t) + 2u^T(t) P_{G_0 L'}^T(t) \psi(t) + \psi^T(t) P_{L'}(t) \psi(t) + Tr \{ Q_1 R_\eta(t+k) \}. \end{aligned} \quad (68)$$

Для нахождения локально-оптимального управления $\tilde{u}(t)$ приравняем $\nabla_u J_t^{IDC}$ нулю и получим:

$$\begin{aligned} \tilde{u}(t) &= \left[\hat{G}_0^T(t) Q_1 \hat{G}_0(t) + (1-\lambda) P_{G_0}(t) + Q_2 \right]^{-1} \times \\ &\times \left[\hat{G}_0^T(t) Q_1 \left[y^*(t+k) - \hat{L}'(t) \psi(t) \right] - (1-\lambda) P_{G_0 L'}^T(t) \psi(t) \right]. \end{aligned} \quad (69)$$

Таким образом, при $\lambda=0$ и $\lambda=1$ получим следующие зависимости:

$$\tilde{u}(t) = \begin{cases} u^c(t), & \lambda = 0; \\ \hat{u}(t), & \lambda = 1. \end{cases} \quad (70)$$

Определим условия оптимальности. Аналогично (43) запишем:

$$J_t(\tilde{u}(t)) = \tilde{u}^T(t) \gamma(t) \tilde{u}(t) - 2\tilde{u}^T(t) \gamma(t) u^c(t) + x(t). \quad (71)$$

Тогда

$$\begin{aligned} J_t(\hat{u}(t)) - J_t(\tilde{u}(t)) &= \hat{u}^T(t) \gamma(t) \hat{u}(t) - 2\hat{u}^T(t) \gamma(t) u^c(t) - \tilde{u}^T(t) \gamma(t) \tilde{u}(t) + \\ &+ 2\tilde{u}^T(t) \gamma(t) u^c(t) + u^{cT}(t) \gamma(t) u^c(t) - u^{cT}(t) \gamma(t) u^c(t) = \\ &= \left\| \hat{u}(t) - u^c(t) \right\|_{\gamma(t)}^2 - \left\| \tilde{u}(t) - u^c(t) \right\|_{\gamma(t)}^2. \end{aligned} \quad (72)$$

Анализ (72) показывает, что при

$$\left\| \hat{u}(t) - u^c(t) \right\|_{\gamma(t)}^2 > \left\| \tilde{u}(t) - u^c(t) \right\|_{\gamma(t)}^2 \quad (73)$$

$\tilde{u}(t)$ всегда лучше $\hat{u}(t)$.

Далее рассмотрим вариант упредителя, в котором отсутствует обращение λ -матрицы $C(z^{-1})$. На основе теоремы о делении λ -матрицы представим $C(z^{-1})$ в виде:

$$C(z^{-1}) = A(z^{-1})E(z^{-1}) + z^{-k}F(z^{-1}), \quad (74)$$

где

$$F(z^{-1}) = \sum_{j=0}^{n-1} F_j z^{-j}. \quad (75)$$

Пусть есть такие λ -матрицы $E'(z^{-1})$, $F'(z^{-1})$ и $C'(z^{-1})$, что:

$$\begin{aligned} E'(z^{-1})F'(z^{-1}) &= F'(z^{-1})E'(z^{-1}), \quad E'(0) = I, \quad \det E'(z^{-1}) = \det E(z^{-1}); \\ C'(z^{-1})E'(z^{-1}) &= E'(z^{-1})C'(z^{-1}), \quad C'(z^{-1}) = I, \quad \det C'(z^{-1}) = \det C(z^{-1}); \end{aligned} \quad (76)$$

$$C'(z^{-1}) = E'(z^{-1})A(z^{-1}) + z^{-k}F'(z^{-1}). \quad (77)$$

Умножив слева (1) на $E'(z^{-1})$, получим:

$$E'(z^{-1})A(z^{-1})y(t) = E'(z^{-1})B(z^{-1})u(t-k) + E'(z^{-1})C'(z^{-1})\xi(t) + E'(z^{-1})d(t). \quad (78)$$

Преобразуя (78), получим:

$$\begin{aligned} (C'(z^{-1}) - z^{-k}F'(z^{-1}))y(t) &= \\ &= E'(z^{-1})B(z^{-1})u(t-k) + E'(z^{-1})C'(z^{-1})\xi(t) + E'(z^{-1})d(t), \end{aligned} \quad (79)$$

$$\begin{aligned} C'(z^{-1})y(t) &= z^{-k}F'(z^{-1})y(t) + \\ &+ E'(z^{-1})B(z^{-1})u(t-k) + E'(z^{-1})C'(z^{-1})\xi(t) + E'(z^{-1})d(t), \end{aligned} \quad (80)$$

$$\begin{aligned} C'(z^{-1})y(t+k) &= F'(z^{-1})y(t) + \\ &+ E'(z^{-1})B(z^{-1})u(t) + E'(z^{-1})C'(z^{-1})\xi(t+k) + E'(z^{-1})d(t). \end{aligned} \quad (81)$$

Введем обозначения:

$$G(z^{-1}) = E'(z^{-1})B(z^{-1}) = \sum_{j=0}^{n+k-1} G_j z^{-j}; \quad (82)$$

$$\eta(t) = E'(z^{-1})\xi(t) = \xi(t) + \sum_{i=1}^{k-1} E_i \xi(t-i); \quad (83)$$

$$\delta = E'(z^{-1})d. \quad (84)$$

Тогда (81) можно записать в виде:

$$C'(z^{-1})y(t+k) = F'(z^{-1})y(t) + G(z^{-1})u(t) + C'(z^{-1})\eta(t+k) + \delta, \quad (85)$$

а оптимальный упредитель:

$$C'(z^{-1})\hat{y}(t+k) = F'(z^{-1})y(t) + G(z^{-1})u(t) + \delta. \quad (86)$$

Настраиваемый упредитель соответственно имеет вид:

$$\hat{C}'(t, z^{-1})\hat{y}(t+k) = \hat{F}'(t, z^{-1})y(t) + \hat{G}(t, z^{-1})u(t) + \hat{\delta}(t); \quad (87)$$

$$C'(z^{-1})y(t+k) - C'(z^{-1})\eta(t+k) - \hat{C}'(t, z^{-1})\hat{y}(t+k) = \quad (88)$$

$$= F'(z^{-1})y(t) - \hat{F}'(t, z^{-1})y(t) + G(z^{-1})u(t) - \hat{G}(t, z^{-1})u(t) + \delta - \hat{\delta}(t);$$

$$\tilde{C}'(t, z^{-1}) = C'(z^{-1}) - \hat{C}'(t, z^{-1}), \quad (89)$$

$$\hat{C}'(t, z^{-1}) = C'(z^{-1}) - \tilde{C}'(t, z^{-1}), \quad (90)$$

$$C'(0) = \hat{C}'(0) = I; \quad \tilde{C}'(0) = 0; \quad (91)$$

$$C'(z^{-1})y(t+k) - C'(z^{-1})\eta(t+k) - C'(t, z^{-1})\hat{y}(t+k) + \quad (92)$$

$$+ \tilde{C}'(t, z^{-1})\hat{y}(t+k) = \tilde{F}'(t, z^{-1})y(t) + \tilde{G}(t, z^{-1})u(t) + \tilde{\delta}(t);$$

$$C'(z^{-1}) \left[y(t+k) - \eta(t+k) - \hat{y}(t+k) \right] = \tag{93}$$

$$= \tilde{F}'(t, z^{-1})y(t) + \tilde{G}'(t, z^{-1})u(t) + \tilde{\delta}(t) - \tilde{C}'(t, z^{-1})\hat{y}(t+k).$$

Введем вектор

$$\varphi(t+k) = \left(u^T(t), \dots, u^T(t-n-k+1), y^T(t), \dots, y^T(t-n+1), 1, \right. \\ \left. - \hat{y}^T(t+k-1|t-1), \dots, -\hat{y}^T(t+k-n|t-n) \right) \in \mathbb{R}^{((n+k)r+nm+m+nm) \times 1}$$

и составную матрицу

$$L = (G_0, G_1, \dots, G_{n+k-1}, F_0, \dots, F_{n-1}, \delta, C_1, \dots, C_n) \in \mathbb{R}^{m \times ((n+k)r+nm+m+nm)}.$$

Прогнозируемое значение $\varphi(t+k)$ можно записать в виде:

$$\hat{\varphi}(t+k) = \left(u^T(t), \dots, u^T(t-n-k+1), y^T(t), \dots, y^T(t-n+1), 1, \right. \\ \left. - \hat{y}^T(t+k-1), \dots, -\hat{y}^T(t+k-n) \right) = \left[u^T(t), \hat{\psi}(t) \right]^T.$$

Пусть

$$\hat{y}(t+k|t) = L\varphi(t+k) = G_0 u(t) + L'\psi(t), \tag{94}$$

$$\hat{y}(t+k) = \hat{L}\hat{\varphi}(t+k) = \hat{G}_0 u(t) + \hat{L}'\hat{\psi}(t). \tag{95}$$

Тогда

$$C'(z^{-1})[\tilde{y}(t+k) - \eta(t+k)] = \tilde{L}(t)\hat{\varphi}(t+k). \tag{96}$$

Для идентификации \hat{L}' используется РМНК:

$$\begin{cases} \hat{L}(t) = \hat{L}(t-1) + \frac{\left[y(t) - \hat{L}(t-1)\hat{\varphi}(t) \right] \hat{\varphi}^T(t) K(t-1)}{1 + \hat{\varphi}^T(t) K(t-1) \hat{\varphi}(t)}; \\ K(t) = K(t-1) - \frac{K(t-1)\hat{\varphi}(t)\hat{\varphi}^T(t)K(t-1)}{1 + \hat{\varphi}^T(t)K(t-1)\hat{\varphi}(t)}. \end{cases} \tag{97}$$

Значение локально-адаптивного управления $\tilde{u}(t)$ в активно-адаптивном регуляторе (AAC – Active Adaptive Control) вычисляется из уравнения:

$$\nabla_u J_t^{AAC} = \nabla_u \left[\hat{J}_t - \lambda \hat{\varphi}^T(t+k) K(t) \hat{\varphi}(t+k) \right] = 0, \tag{98}$$

где

$$\hat{J}_t = M \left\{ \left[y^*(t+k) - \hat{y}(t+k) \right]^T Q_1 \left[y^*(t+k) - \hat{y}(t+k) \right] + u^T(t) Q_2 u(t) \right\}; \tag{99}$$

$$\begin{aligned} \tilde{u}(t) = & \left[\hat{G}_0^T(t) Q_1 \hat{G}_0(t) - \hat{\lambda} K_{G_0}(t) + Q_2 \right]^{-1} \times \\ & \times \left[\hat{G}_0^T(t) Q_1 \left[y^*(t+k) - \hat{L}'(t) \hat{\psi}(t) \right] + \hat{\lambda} K_{G_0 L'}^T(t) \hat{\psi}(t) \right]. \end{aligned} \quad (100)$$

Сравним адаптивное дуальное $\tilde{u}(t)$ и активно-адаптивное $\hat{u}(t)$ управления с учетом (59). Если $\hat{\lambda} = [1 - \lambda]/k(t)$, то регуляторы совпадают. При $\lambda=0$ получаем $\hat{\lambda} = k^{-1}(t)$ и $\tilde{u}(t) = u^c(t)$; при $\lambda=1$ получаем $\hat{\lambda} = 0$ и $\tilde{u}(t) = \hat{u}(t)$. Следуя выкладкам для адаптивного дуального управления, для активно-адаптивного управления получаем, что при $0 < \hat{\lambda} < k^{-1}(t)$ $\tilde{u}(t)$ лучше, чем $\hat{u}(t)$.

Выводы

В статье рассмотрен вопрос модификации самонастраивающегося адаптивного алгоритма квазипрямого автоматического дискретного управления МИМО-объектами с линейной моделью и запаздыванием (1). Представлены алгоритмы адаптивного дуального $\tilde{u}(t)$ и активно-адаптивного $\hat{u}(t)$ управления ОУ (1) и аналитически показано их преимущество относительно известного подхода (22) С.Хана (С.Han) [8].

Перспективой дальнейших исследований представляется разработка метода гомеоморфного преобразования нелинейных моделей МИМО-объектов управления на базе метода решения системы нелинейных алгебраических уравнений теории самоорганизации [13] с целью получения инволютивного распределения векторных полей, что позволит использовать эффективный математический аппарат дифференциальной геометрии для синтеза систем автоматического управления нелинейными неинволютивными МИМО-объектами [2, 14].

Литература

1. Бодянский Е.В., Руденко О.Г. Адаптивные модели в системах управления техническими объектами. – К.: УМК ВО, 1988. – 212 с.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-т.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.5: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А.Пупкова, Н.Д.Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2004. – 784 с.
3. Адонин О.В. Активно-адаптивное управление динамическими объектами при наличии ограничений на фазовые переменные: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.03 / Харьковский нац. ун-т радиоэлектроники. – Харьков, 2005. – 151 с.
4. Островская Ж.Н. Алгоритмы адаптивного управления многомерными стохастическими объектами при наличии ограничений на фазовые переменные: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.03 / Харьковский гос. технический ун-т радиоэлектроники. – Харьков, 1999. – 163 с.
5. Управляющие вычислительные комплексы: Учеб. пособие / Под ред. Н.Л.Прохорова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 352 с.
6. Назаренко М.В. Розвиток теорії інтегрованого управління технологічними комплексами залізничного гірничо-збагачувального комбінату: Дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / Національний гірничий ун-т. – Дніпропетровськ, 2007. – 350 с.
7. Зубов Д.А. Развитие методов и средств адаптивного автоматизированного управления комплексом технологических процессов углеобогатительной

- фабрики: Дис. ... докт. техн. наук: 05.13.07 / Криворожский технический ун-т. – Кривой Рог, 2005. – 534 с.
8. Han C., Chen S., Roberts P.D. Modified algorithm for MIMO-self-tuning control // *Int. J. Control.* – 1987. – Vol. 45. – № 5. – P. 1515-1526.
 9. Shankar S., Bodson M. *Adaptive control: stability, convergence and robustness.* – Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1989. – 378 p.
 10. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-т.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.2: Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления / Под ред. К.А.Пупкова, Н.Д.Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2004. – 640 с.
 11. Романенко В.Д., Игнатенко Б.В. Адаптивное управление технологическими процессами на базе МикроЭВМ: Учеб. пособие. – К.: Выща шк., 1990. – 334 с.
 12. Многосвязные системы управления / М.В.Мееров, А.В.Ахметзянов, Я.М.Берщанский и др.; Под ред. М.В.Меерова. – М.: Наука, 1990. – 264 с.
 13. Справочник по типовым программам моделирования / А.Г.Ивахненко, Ю.В.Коппа, В.С.Степашко и др.; Под ред. А.Г.Ивахненко. – К.: Техніка, 1980. – 184 с.
 14. Краснощёченко В.И., Крищенко А.П. Нелинейные системы: геометрические методы анализа и синтеза. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. – 520 с.

УДК 519.6

Бунь Р.А., Гамаль Х.В.

ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОСТОРОВОЇ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В ЕНЕРГЕТИЧНІЙ ГАЛУЗІ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ

Представлено математичну модель та геоінформаційну технологію просторової інвентаризації парникових газів в енергетичній галузі на регіональному рівні. Описано основні компоненти геоінформаційної технології. На основі здійснених числових експериментів з просторової інвентаризації парникових газів прямої дії на рівні елементарних ділянок (10x10 км) проаналізовано структуру сумарних емісій по галузях економіки за результатами господарської діяльності Львівської обл. в 2004 р. та оцінено внесок кожного адміністративного району, а також міст обласного підпорядкування у сумарні емісії. Рис. 5, дж. 10.

Вступ. Інвентаризація парникових газів – важлива проблема в плані реалізації механізмів Кіотського протоколу. Міжнародна група експертів розробила Методики національних інвентаризацій парникових газів, які мають використовуватись учасниками Кіотського протоколу при підготовці національних звітів про емісії парникових газів. Ці методики є загальними і передбачають здійснення інвентаризації, в принципі, для будь-якої країни, незважаючи на те, що країни розміщені в різних кліматичних зонах та мають істотні відмінності в рівнях економічного розвитку. Але через свою універсальність, ці методики не пристосовані до повноцінного врахування регіональних особливостей, що веде до збільшення похибки інвентаризації. Тому актуальними є розробки регіональних підходів, які враховують особливості окремих територій, детальніше відображають відмінності між екосистемами, способами та нормами спалювання всіх видів палива в різних галузях економіки тощо [1].

В енергетичному секторі економіки мають місце найбільші емісії парникових газів CO_2 , CH_4 , N_2O , NO_x , CO , $NMVOС$ порівняно з іншими секторами. Тому в статті представлено методи та засоби просторової (георозподіленої) інвентаризації парникових газів, які відображають питомі емісії на рівні регіону (адміністративної області) саме в цьому секторі господарської діяльності. Надані в такому вигляді результати інвентаризації є корисні для владних структур – тих,

хто приймає стратегічні рішення щодо економічного розвитку чи природоохоронної діяльності.

Модель інвентаризації парникових газів в секторі „Енергетика” на регіональному рівні. Запропонований підхід полягає у почерговому знаходженні емісій парникових газів для всіх елементарних об’єктів, на які розбито райони Львівської обл. При цьому модель інвентаризації в секторі „Енергетика” представлено у вигляді

$$\Delta Y_n = \sum_{m=1}^M a_{nm} \Delta x_{nm}, \quad n = 1, \dots, N, \quad (1)$$

де a_{nm} – коефіцієнт для обчислення викидів, для m -го роду діяльності сектору „Енергетика”, для n -ї елементарної ділянки, N – загальне число елементарних ділянок, Δx_{nm} – дані щодо господарської діяльності на n -й ділянці для m -го роду діяльності з цього сектору, ΔY_n – результати інвентаризації в цілому для цієї ділянки. В такій моделі інвентаризації найнижчого рівня вхідні та вихідні дані представляють у вигляді георозподіленої бази даних.

Сектор „Енергетика” відповідно до методик [2] та враховуючи специфіку національної статистики розділено на п’ять категорій джерел емісій (підсекторів) ($M = 5$): енергетика – видобуток, переробка та спалювання палива; переробна промисловість та будівництво; транспорт; житловий сектор – споживання палива населенням (та витрати палива на приватний транспорт); спалювання палива в інших секторах.

Вхідними даними моделі є георозподілені дані щодо господарської діяльності, віднесені до кожного елементарного об’єкту для кожного роду діяльності. Розроблено алгоритми формування таких даних. В моделі враховано лише найбільш впливові види палива (за 2004 р.) [3], а саме: природний газ (40,2%), нафта (38,4%), кам’яне вугілля (8,5%), автомобільний бензин (4,8%), дизельне пальне (4,8%). Інші види палива (дрова для опалення, мазут топковий, паливо пічне побутове, скраплений газ), що становлять лише 3,3% від загальної кількості використаного палива, в моделі інвентаризації не враховано.

Також в моделі використано ряд коефіцієнтів (коефіцієнти емісій парникових газів, теплотворні значення деяких видів палива, коефіцієнти нагромадження та ін.), які взято із спеціалізованих довідників [4,5], робочої книги IPCC [2] чи інших джерел.

Принциповим результатом такої інвентаризації є те, що з точки зору області в цілому результати не є зосередженими, вони відносяться до відповідних елементарних ділянок. Представлені в такому вигляді результати відображають регіональну специфіку процесів емісії парникових газів і тому є вкрай важливими для тих, хто приймає управлінські рішення щодо стратегічних напрямків розвитку економіки чи природоохоронної діяльності [6]. Позитивним також є те, що відповідне підсумовування отриманих результатів по елементарних ділянках дає результат інвентаризації для певного окремо взятого регіону (наприклад, південної частини області). Отриманий результат відображає внесок цього регіону в плані емісії парникових газів.

Геоінформаційна технологія просторової інвентаризації. Запропоновано геоінформаційну технологію, що поєднує в собі цифрові карти [1], геоінформаційну систему MapInfo та визнані на міжнародному рівні методики інвентаризації IPCC [2] у вигляді Microsoft Excel програми [7]. Технологія розподіленої інвентаризації вимагає почергового здійснення інвентаризації викидів парникових газів для всіх елементарних ділянок. При цьому цифрові карти використовуються як для формування бази вхідних даних, так і для відображення чи інтерпретації результатів інвентаризації. Методики [2] використовуються для здійснення інвентаризації на кожній елементарній ділянці,

а підсумовування результатів інвентаризації по всіх елементарних ділянках дає результати традиційної інвентаризації на регіональному рівні.

Структура створеної геоінформаційної системи включає три основні модулі: Mod0_MapInfoServer, Mod1_Inventaryz і Mod2_Maps.

Модуль Mod0_MapInfoServer. В цьому модулі створюється компонент TKDMapInfoServer для запуску та керування програмою MapInfo. За допомогою модуля вікно MapInfo та інші вікна (легенда, вікно інформації і т.д.) вбудовано в програму Inventaryzacija і відбувається обмін інформацією між ними за допомогою команд MapBasic.

Модуль Mod1_Inventaryz – програмний модуль, основними функціями якого є: запис вхідних даних у відповідні комірки Excel-таблиці методик Міжурядової групи експертів зі зміни клімату [7]; здійснення інвентаризації парникових газів, які утворились внаслідок спалювання палива у вибраному користувачем секторі господарської діяльності чи внаслідок видобутку та переробки нафти, вугілля та газу.

Для формування таблиць вхідних даних використовується інформація з відповідних шарів цифрової карти, а також статистичні дані та результати відповідних наукових досліджень. На основі цієї інформації заповнюється база даних за певними алгоритмами, тобто формуються нові шари електронної карти, що відповідають певним розділам міжнародних методик інвентаризації (енергетика, переробна промисловість, будівництво і т.д.). Геоінформація з цих сформованих шарів електронної карти використовується як вхідні дані для модуля Mod1_Inventaryz.

Геоінформація для елементарної ділянки за допомогою технології OLE та запитів мовою MapBasic записується у відповідні комірки, які використовуються програмою Excel. З отриманих за допомогою методик IPCC даних цим же модулем формуються вихідні таблиці, які відповідають результатам інвентаризації парникових газів: емісії вуглекислого газу, метану і т.д. у вибраному користувачем секторі господарської діяльності.

Модуль Mod2_Maps. Основними функціями цього модуля є формування запитів до таблиць результатів інвентаризації, формування нових геоінформаційних шарів з результатами інвентаризації по елементарних ділянках та відображення їх на цифровій карті Львівської обл., побудова 3D-карт. Вхідними даними для цього модуля є сформовані модулем Mod1_Inventaryz таблиці результатів інвентаризації та топографічна інформація з електронної карти області.

В результаті виконання програми для кожного елементарного об'єкту обчислюються емісії парникових газів по секторах економіки. Ці результати представляються у вигляді таблиці MapInfo. За допомогою IDW-інтерполяції результати інвентаризацій розподіляються по електронній карті Львівської обл. у зручному для візуального сприйняття вигляді.

Остаточно, формується шар електронної карти, який відповідає сумарній емісії парникових газів в еквіваленті вуглекислого газу. Всі шари містять інформацію про питомі (віднесені до одиниці площі) емісії парникових газів. Отже, кожному роду господарської діяльності, охопленому методиками IPCC, відповідає окремий шар цифрової карти. Це забезпечує добру наочність представлення результатів інвентаризації та гарантує прозорість інвентаризаційного процесу [8].

Результати розрахунку питомих емісій парникових газів для елементарних об'єктів подаються у вигляді таблиці MapInfo, що дає можливість будувати георозподілені кадастри викидів в процесі переробки палива та виробництва електроенергії, в житловому секторі, в промисловості та будівництві, на транспорті та інших галузях господарської діяльності. Представлені в такій формі вихідні результати дають можливість

використовувати широкі можливості програми MapInfo Professional 6.0 для отримання сумарних емісій по районах, аналізувати внесок кожного району в загальні процеси емісії парникових газів, досліджувати структуру викидів для окремих регіонів (центральний регіон, південний регіон) і т.д.

Розбиття районів Львівської області на елементарні об'єкти. Для здійснення розподіленої просторової інвентаризації парникових газів необхідно насамперед сформувані елементарні об'єкти, в межах яких здійснюватиметься інвентаризація парникових газів. Під такими об'єктами розуміємо ділянки розміром $l \times l$ км, але обмежені границями адміністративних районів. Тобто, в межах кожного району створюється множина елементарних об'єктів розміром $l \times l$ км. Частина з цих об'єктів є "повноцінними", оскільки вони мають правильну форму і їх площа дорівнює l^2 км². Решта об'єктів мають неправильну форму, оскільки їх обмежує границя відповідного району. Крім цього слід сформувані ряд об'єктів, які відповідають містам обласного підпорядкування. Загальне число елементарних об'єктів в межах області визначається формулою:

$$N = \sum_{r=1}^R N_r + N_M,$$

де N – загальне число об'єктів; r – порядковий номер адміністративного району, $r = 1, \dots, R$; R – число районів в області; N_r – число елементарних об'єктів в r -му районі; N_M – число об'єктів, які відповідають містам обласного підпорядкування.

Якщо v_{ri} – i -та елементарна ділянка (елементарний об'єкт цифрової карти) r -го району, а d_{ri} – її площа, то площу району D_r визначаємо як:

$$D_r = \sum_{i=1}^{N_r} d_{ri},$$

а множину всіх елементарних об'єктів Львівської обл. V представляємо як об'єднання множин елементарних об'єктів районного рівня та об'єктів V_m для міст обласного підпорядкування:

$$V = \left[\bigcup_{r=1}^R \{v_{ri}, i = \overline{1, N_r}\} \right] \cup \{v_m, m = \overline{1, N_M}\}.$$

Виходячи із вказаного вище запропоновано територію Львівської обл. „розрізати” на елементарні ділянки розміром 10×10 км. Цю операцію здійснено за допомогою системи MapInfo Professional 6.5. Для цього карту області спочатку розбито на адміністративні райони (Бродівський, Буський, Радехівський і т.д.), а далі для кожного району окремо виконано розбиття на елементарні ділянки. В результаті цих операцій сформовано множину елементарних об'єктів на карті Львівської обл. Загальне число об'єктів $N = 420$. Сюди входять об'єкти $R = 20$ адміністративних районів та $N_M = 9$ об'єктів для міст обласного підпорядкування.

Формування електронної карти з георозподіленими вхідними даними. При моделюванні і просторовому аналізі процесів емісії парникових газів необхідно мати вхідні дані про споживання кожного виду палива, віднесені до окремої елементарної ділянки, причому обсяг спожитого палива необхідно додатково розподілити по п'яти родах господарської діяльності. Дані про споживання палива енергетичним сектором за 2004 р. (останній рік, за який опубліковано статистичний матеріал) по адміністративних районах та містах обласного підпорядкування взято із статистичних збірників [3,9] та розподілено по елементарних об'єктах за певними алгоритмами. Наприклад, для житлового сектору вхідні дані по споживанню паливних продуктів розподіляються по

елементарних ділянок пропорційно до кількості населення, що в них проживає. Для формування георозподілених вхідних даних для аналізу емісій парникових газів в секторі „Переробна промисловість і будівництво” пропонується підхід, у відповідності з яким для кожного виду палива обсяг спожитого палива розділено між елементарними об'єктами пропорційно до частки реалізованої промислової продукції, що припадає на цей об'єкт. Обсяг реалізованої промислової продукції в статистичних збірниках [9,10] узагальнено по адміністративних районах та містах обласного підпорядкування. Ці значення розподілено по елементарних об'єктах за наступною схемою.

Для елементарних об'єктів v_m , $m = \overline{1, N_M}$, що відповідають містам обласного підпорядкування, обсяг реалізованої промислової продукції w_m встановлюється точно.

Для кожного адміністративного району $r = \overline{1, R}$ для елементарних об'єктів $k = \overline{1, N_{Mr}}$, що відповідають містам та селищам міського типу (N_{Mr} – число таких населених пунктів в r -му районі), обсяг реалізованої промислової продукції w_{rk} встановлюється пропорційно до кількості населення, наявного в цьому елементарному об'єкті. Тобто розподіл проводиться за такою моделлю:

$$w_{rk} = \frac{w_r z_{rk}}{\sum_{i=1}^{N_{Mr}} z_{ri}}, \quad k = \overline{1, N_{Mr}}, \quad r = \overline{1, R},$$

де w_r – обсяг реалізованої промислової продукції в r -му адміністративному районі, z_{ri} – кількість населення, що проживає в i -му елементарному об'єкті r -го району.

Подібно формуються вхідні дані для решти підсекторів сектору „Енергетика”.

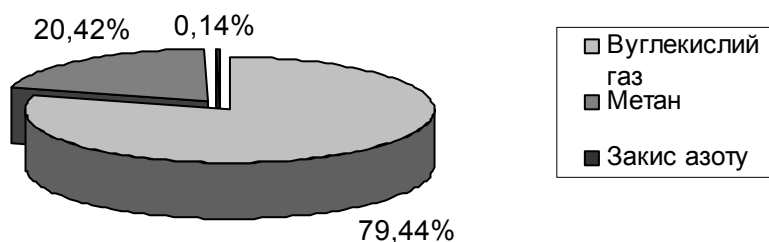


Рис. 1. Структура викидів парникових газів у Львівській обл. від діяльності енергетичного сектору у 2004 р. (CO₂-еквівалент).

Результати просторової інвентаризації. На основі сформованих вхідних даних про споживання паливних продуктів геоінформаційна технологія просторової інвентаризації дає можливість будувати кадастри емісій парникових газів у відповідності з узгодженою на міжнародному рівні методикою на рівні елементарних об'єктів. Загальні емісії парникових газів прямої дії (CH_4, N_2O, CO_2) в результаті спалювання палива та витоку метану при видобутку нафти, газу та вугілля, а також внаслідок переробки нафти обчислено з врахуванням коефіцієнту глобального потепління. Поняття глобального потенціалу потепління (ГПП) було введено для можливості порівняння здатності кожного з парникових газів відбивати теплове випромінювання. Вуглекислий газ був обраний як газ-еталон. Для метану цей коефіцієнт становить 21, для закису азоту – 310. Порівняння величин внеску викидів цих газів (у відсотках) за результатами, отриманими з використанням геоінформаційної технології, зображено на діаграмі (рис. 1). Розподіл загальних питомих емісій парникових

газів прямої дії в еквіваленті вуглекислого газу по території області зображено на рис. 2 за допомогою інтерполяції. Використовується метод IDW-інтерполяції, який полягає у використанні середньозважених значень з вагами, обернено пропорційними до віддалі.

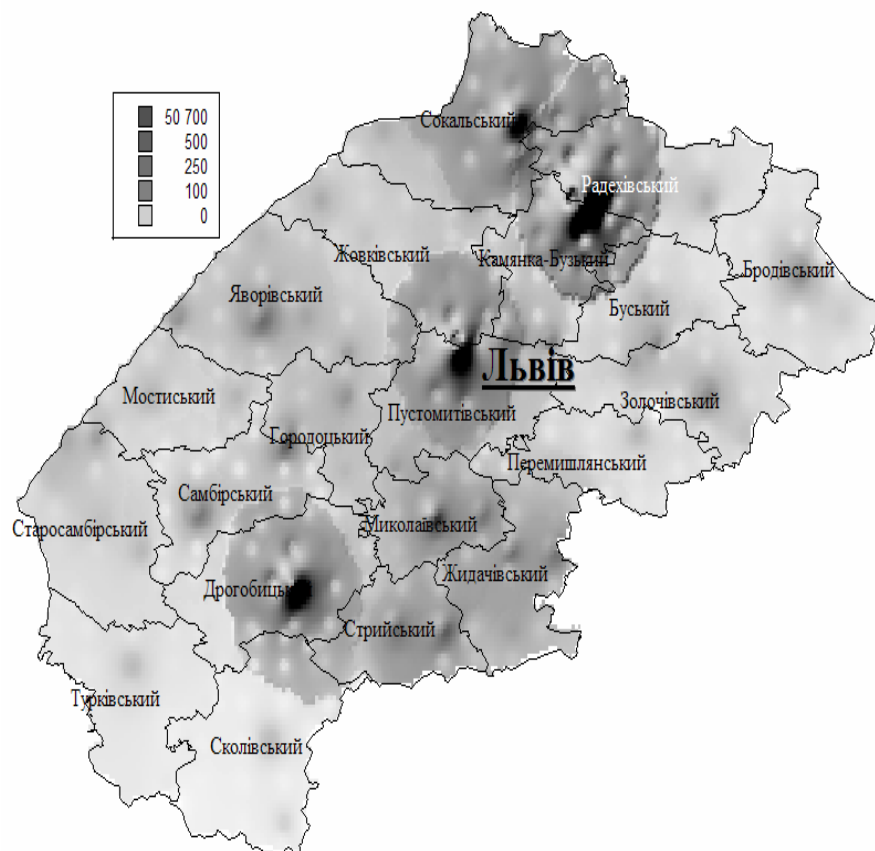


Рис. 2. Карта питомих емісій парникових газів прямої дії в еквіваленті вуглекислого газу в енергетичному секторі у 2004 р. (Mt/km^2)

Геоінформаційна технологія просторової інвентаризації дозволяє досліджувати структуру викидів парникових газів по родах діяльності на рівні елементарних об'єктів, певних ділянок території, адміністративних одиниць та на рівні області загалом. Наприклад, на рис. 3 та 4 зображено структуру викидів вуглекислого газу та метану по родах діяльності енергетичного сектору.

З рисунків видно, що основні викиди вуглекислого газу та метану в досліджуваних галузях відбуваються в секторі „Енергетика” – видобуток, переробка та спалювання палива для перетворення в інші види енергії. Тому заходи щодо зменшення емісій необхідно проводити переважно в цьому секторі. Причому лідерами щодо емісій парникових газів у цій галузі є Кам'янка-Бузький та Сокальський райони. Саме в енергетичну галузь цих адміністративних районів необхідно здійснювати інвестиції для зменшення невизначеності статистичних даних. На другому місці – емісії, внаслідок споживання палива населенням (включаючи витрати палива на приватний транспорт), які становлять 27,4% від загальних емісій вуглекислого газу та метану в області.

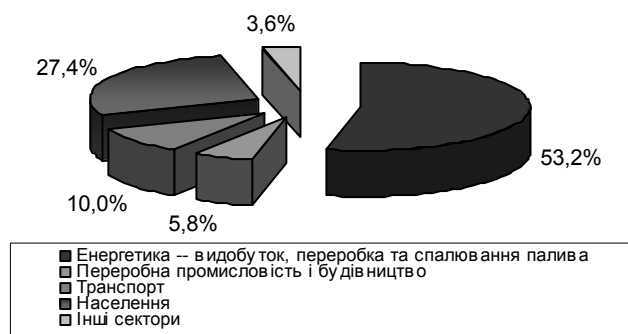


Рис. 3. Структура викидів вуглекислого газу та метану по галузях економіки у Львівській обл. загалом.

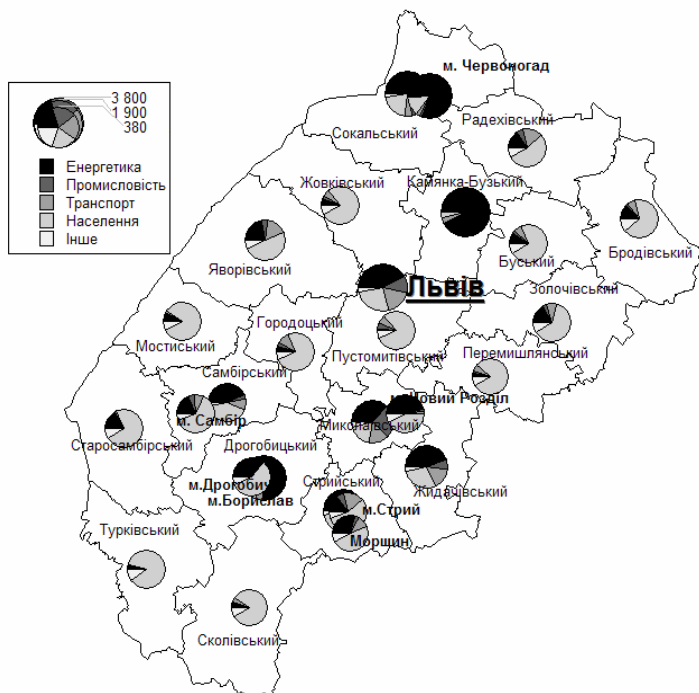


Рис. 4 Структура викидів вуглекислого газу та метану (в логарифмічній шкалі) по галузях економіки по районах та містах обласного підпорядкування (CO_2 -еквівалент, Гг).

Для оцінки внеску кожного адміністративного району та міст обласного підпорядкування в сумарні емісії у Львівській обл. за 2004 р. побудовано відповідну карту (рис. 5). Нерівномірність розподілу джерел емісій є значною, тому для наочності зіставлення результатів на рис. 5 використано функцію кореня квадратного (висота стовпчика є пропорційною кореню квадратному від величини емісії).

Видно, що беззаперечними лідерами по емісіях парникових газів в енергетичному секторі є: м. Львів, Кам'янка-Бузький район, агломерація Дрогобич – Борислав, м. Червоноград та Сокальський район. Емісії інших районів та міст обласного підпорядкування не перевищують 500 Гг CO_2 -еквіваленту в рік.

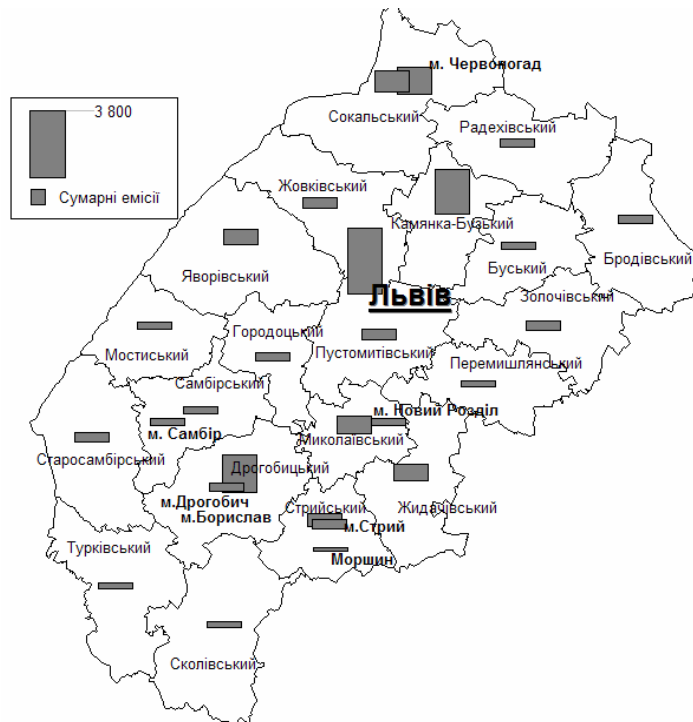


Рис. 5. Структура загальних емісій парникових газів по районах та містах обласного підпорядкування Львівської обл. (CO_2 -еквівалент, Гг).

Висновки. Результати інвентаризації парникових газів для енергетичного сектору у Львівській обл. наочно показали велику нерівномірність у викидах в різних адміністративних районах та містах обласного підпорядкування. Це засвідчило доцільність здійснення просторової інвентаризації для області. Такий підхід до обліку викидів парникових газів краще враховує відмінності в економічній діяльності окремих адміністративних районів чи міст. Результати просторової інвентаризації у вигляді поверхні на цифровій карті чи у вигляді таблиці наочно ілюструють внесок окремого регіону чи адміністративного району в загальні емісії парникових газів, дають змогу виявити найбільш забруднені території, а також досліджувати структуру викидів по категоріях джерел емісій. Одержані розподілені оцінки викидів дають змогу планувати та впроваджувати заходи щодо зниження викидів парникових газів в тих місцях, де вони є найбільш вагомі.

Література

1. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України / Р.А.Бунь, М.І.Густі, В.С.Дачук та ін.; За ред. Р.А.Буна.- Львів: УАД, 2004.- 376 с.
2. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reporting instructions.- Vol. 1.- IPCC, 1996.
3. Паливно-енергетичні ресурси Львівщини: Статистичний збірник.- Львів: Головне управління статистики у Львівській обл., 2005.- 73с.
4. Електроенергетика України: 1991-2000 рр. Довідник. К: Укрінформенергосервіс, 2002.- 340 с.
5. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник / Под. общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. М: Энергоиздат, 1982.- 624 с.
6. Bun R., Gusti M., Bun A., Hamal Kh. Multilevel model for greenhouse gas inventory and uncertainty analysis concerning the Kyoto protocol implementation / Intern. Conf. on Ecological Modelling "ICEM 2006".- Yamaguchi, Japan, 2006.- P. 141.

7. The IPCC software for estimating GHG emissions. IPCC Version 1.1, 1998.- <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/software.htm>.
8. Гамаль Х., Терлецька Н. Геоінформаційний підхід до інвентаризації парникових газів на Львівщині / Комп'ютерні науки та інженерія: Матеріали 1-ї Міжнар. конф. молодих науковців (CSE-2006).-Львів: НУ „ЛП”, 2006.- С. 88-90.
9. Статистичний щорічник Львівської області за 2005 рік. Частина II. Райони та міста Львівської області.- Львів: обласне статистичне управління, 2005.- 400 с.
10. Промисловість Львівщини: Статистичний збірник. - Львів: Обласне статистичне управління, 2005.- 170 с.

УДК 519.6

Бунь А.Р., Йонас М.

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ВЕРИФІКАЦІЇ ВИКОНАННЯ ЗОБОВ'ЯЗАНЬ ЩОДО ЕМІСІЙ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ: ПОРІВНЯННЯ УКРАЇНИ ТА КРАЇН ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

Представлено інформаційну систему для аналізу невизначеностей при інвентаризації парникових газів, яка дає можливість проводити детальне дослідження емісій парникових газів. З використанням запропонованого інструментарію проведено аналіз емісій парникових газів в країнах Європейського Союзу та України за період 2002–2004 р. Рис. 3, дж. 10.

Вступ. Індустріальний розвиток останніх десятиліть спричинив значне підвищення концентрації парникових газів в атмосфері. У відповідності із Кіотським протоколом до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату кожна країна повинна налагодити регулярні інвентаризації парникових газів і слідкувати за дотриманням їх викидів на встановленому Протоколом рівні.

Для уніфікації підходів до інвентаризації Міжурядова група експертів зі зміни клімату розробила основні принципи національних інвентаризацій парникових газів та відповідне програмне забезпечення (методики IPCC) [1,2], які повинні використовуватися учасниками Кіотського протоколу при підготовці національних повідомлень про емісії парникових газів. Проте, ці методики є надто загальними і слабо враховують особливості окремих регіонів планети, що веде до збільшення невизначеності інвентаризації [3,4].

При здійсненні національних інвентаризацій і реалізації торгівлі квотами необхідно мати гарантії того, що використовувані в цих процесах величини (результати інвентаризацій) є достатньо точними. Проте, всі використовувані в процесі інвентаризації дані (коефіцієнти викидів, теплотворні здатності різного виду палив, статистичні дані про діяльність тощо) мають певну невизначеність, що може значно сповільнити процес впровадження механізмів Кіотського протоколу. Метою цієї статті є представлення підходів, що дають можливість враховувати та аналізувати невизначеність результатів інвентаризації парникових газів на національному рівні. Використання таких підходів дозволить верифікувати готовність країн до участі в процесі торгівлі емісіями.

Інвентаризація парникових газів. Методики IPCC [2, 5] є загальні (універсальні) і дають можливість здійснювати інвентаризацію парникових газів, в принципі, щодо будь-якої країни (якщо є відповідні вхідні дані). Ці методики охоплюють ряд секторів людської діяльності, пов'язаних з емісією/поглинанням парникових газів, зокрема, спалювання викопного палива, промисловість та сільське господарство, лісове господарство та зміни в землекористуванні, відходи. На основі цих методик створено інформаційну технологію, яка

відображає процеси інвентаризації парникових газів на трьох рівнях (національний, регіональний та рівень елементарних ділянок) [6]. Така модель інвентаризації відображає регіональну специфіку процесів емісії/стоку парникових газів і може служити ефективним інструментарієм для прийняття зважених рішень на регіональному рівні.

Невизначеність інвентаризацій. Зобов'язання Кіотського протоколу полягають у налагодженні в кожній країні системи національних інвентаризацій і дотриманні емісій парникових газів на дозволеному рівні. Разом з тим запроваджуються різноманітні варіанти міждержавної “торгівлі квотами на викиди”, у відповідності з якими країни, що перевищують дозволені рівні викидів, могли б купувати необхідні їм квоти в інших країн. Тому як при здійсненні національних інвентаризацій, так і при здійсненні торгівлі квотами, необхідно мати гарантії того, що використовувані в цих процесах величини (результати інвентаризацій) є достатньо точними.

Невизначеність стосовно інвентаризації парникових газів – це величина, яка вказує на відсутність визначеності в компонентах кадастру в результаті довільних випадкових факторів, таких як невизначеність джерел емісій, відсутність прозорості інвентаризаційного процесу тощо [5]. Найчастіше використовують відносну невизначеність, яка характеризується 95-процентним довірчим інтервалом. Це означає, що ймовірність попадання істинного значення параметру в цей інтервал становить 95%. Відносна невизначеність вимірюється в процентах як відношення величини довірчого інтервалу до середнього значення параметра.

Оцінки невизначеності становлять важливий елемент повної оцінки викидів. Однак до цього часу інвентаризація парникових газів та оцінка невизначеності проводились окремо, хоча для налагодження ефективних систем торгівлі емісіями необхідна наявність чітких підходів до врахування невизначеності при інвентаризації емісій.

Невизначеність результатів інвентаризації на національному рівні є дуже важливим питанням, оскільки вона може значно вплинути на процеси торгівлі квотами на емісії. Як видно з показаного на рис. 1 прикладу, дві країни, які мали однаковий рівень емісій на початку періоду спостереження, і мали однакові зобов'язання згідно з Кіотським протоколом, наприкінці періоду вони показують дещо різні рівні емісій. Проте Країна 1, що демонструє нижчий рівень викидів має значно більшу невизначеність цих емісій. Постає природне запитання: яка з країн є надійнішим продавцем квот в такому випадку?

На даний час розроблено ряд методів для кількісної оцінки емісій парникових газів з врахуванням невизначеності. Деякі з цих методів детально описані в [7] і [8]. На основі одного з цих методів, а саме – об'єднаних методі часу верифікації та методі недобору, розроблено комп'ютерну систему для аналізу невизначеностей інвентаризації парникових газів і верифікації виконання зобов'язань.

Математичний апарат для врахування невизначеності. Використаємо метод аналізу невизначеностей при інвентаризації парникових газів, який є поєднанням методів *Undershooting (недобір)* і *Verification time concept (час верифікації)*, описаних в [7], і який має переваги обох методів.

При розробці цього методу зроблено припущення, що:

невизначеності інвентаризацій в моменти часу t_1 (початок періоду спостереження) і t_2 (кінець періоду) задані у вигляді інтервалів і це означає, що оцінене значення може відрізнитись від істинного;

випадкова величина, що відповідає істинному рівню емісій, характеризується розподілом, який є симетричним відносно математичного сподівання;

значення відносної невизначеності результатів інвентаризації ρ не залежить від часу ($\rho = const$).

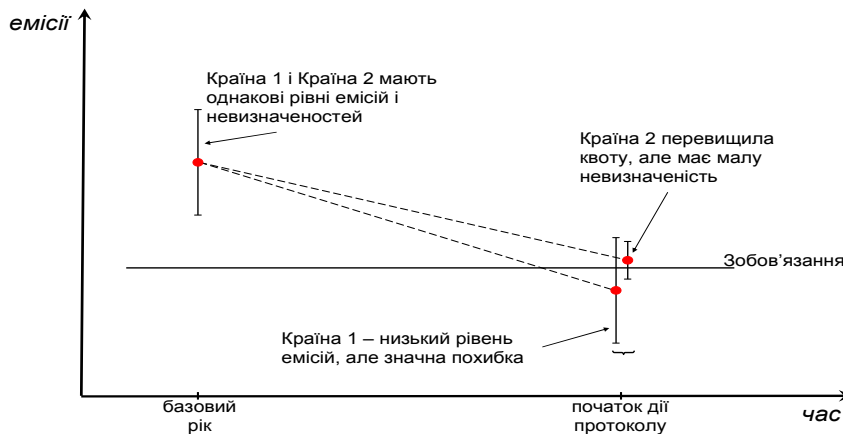


Рис. 1 Невизначеність результатів інвентаризації парникових газів і верифікація виконання зобов'язань згідно з Кіотським протоколом

Нехай δ_{KP} – відносне зниження емісій, передбачене Кіотським протоколом, порівняно з рівнем 1990 р. Цю величину прийнято називати квотою. Якщо, Протокол дозволяє деяке підвищення емісій, то $\delta_{KP} < 0$.

Вводимо поняття критичної квоти:

$$\delta_{crit} = \begin{cases} \frac{\rho}{1 + \rho}, & \text{для } x_2 < x_1 (\delta_{KP} > 0); \\ -\frac{\rho}{1 - \rho}, & \text{для } x_2 \geq x_1 (\delta_{KP} \leq 0), \end{cases}$$

де δ_{crit} – критична квота, δ_{KP} – квота, встановлена Кіотським протоколом (це – дозволена зміна в емісіях, порівняно з базовим роком, у процентах, якщо $\delta_{KP} > 0$, то країна повинна знизити емісії до рівня $x_2 = x_1(1 - \delta_{KP})$, якщо $\delta_{KP} \leq 0$, то країні дозволено, щоб емісії не перевищували значення $x_2 = x_1(1 - \delta_{KP})$), x_i – оцінка рівня емісій в момент часу i .

За своїм змістом критична квота – це така квота, для якої верхня межа коридору невизначеності емісій в момент часу t_2 перетинає горизонтальну пряму $x = x_1$ для випадку зниження емісій. Аналогічно і для випадку зростання: коли нижня межа коридору емісій перетинає горизонтальну пряму $x = x_1$ в момент часу t_2 . Таким чином, різниця між емісіями на початку та в кінці дорівнює абсолютній невизначеності.

При застосуванні методу розрізняють чотири випадки, залежно від квоти, встановленої Кіотським протоколом, та її співвідношення з критичною квотою. Суть методу полягає в застосуванні величини U , яку прийнято називати недобором. Тобто, обчислюється нова модифікована квота $\delta_{mod} = \delta_{KP} + U$. Таким чином, якщо оцінений рівень емісій нижчий від дозволеного на деяку величину, то знижується ймовірність того, що фактичний рівень емісій перевищує дозволений.

Наприклад, для випадку, коли $\delta_{KP} > 0$, і $\delta_{KP} \geq \delta_{crit}$, модифіковану квоту

обчислюють за формулою:

$$\delta_{\text{mod}} = \delta_{\text{KP}} + U = \delta_{\text{KP}} + (1 - \delta_{\text{KP}}) \cdot \frac{(1 - 2\alpha)\rho}{1 + (1 - 2\alpha)\rho},$$

де α – ймовірність того, що фактичний рівень емісії перевищує дозволений.

Для всіх інших випадків, модифіковану квоту обчислюють за формулою:

$$\delta_{\text{mod}} = \delta_{\text{KP}} + U + U_{\text{gap}},$$

де U_{gap} називають початковим недобором, який призначений для того, щоб на кінець періоду спостереження можна було верифікувати зміни в емісіях. Він залежить від того, який випадок розглядають.

Програмне забезпечення. Описану вище методику аналізу невизначеностей при інвентаризації парникових газів та верифікації зобов'язань на національному рівні покладено в основу створеного програмного забезпечення, яке дає можливість:

знаходити модифіковані квоти для країн, залежно від квот, встановлених Кіотським протоколом, невизначеностей інвентаризацій та допустимого рівня ймовірності α ;

порівнювати наявний рівень емісій з бажаним (згідно з цією методикою);

проводити аналіз невизначеностей та оцінювати необхідний рівень емісій для різних рівнів невизначеності.

Вхідними даними для програми є результати інвентаризації парникових газів на національному рівні за два роки (базовий рік та рік, для якого проводять обчислення), їх невизначеності, а також – квоти, встановлені Кіотським протоколом. Для початку слід сформувані базу вхідних даних у таблиці Excel. Потім програма імпортує дані з цієї таблиці, використовуючи розроблений метод проводить необхідні обчислення та експортує дані в таблицю Excel. На основі цих даних проводиться аналіз результатів.

Алгоритм роботи програми полягає в почерговому застосуванні методики, до кожної з країн. Тобто для кожної країни, враховуючи квоту, встановлену Кіотським протоколом, та рівень невизначеності, обчислюється необхідний недобір. Потім цей недобір зіставляється з фактичним значенням (параметр *DTI* – від англ. *Distance to target indicator*). На основі отриманих таблиць Excel можна аналізувати отримані результати та досліджувати вплив невизначеності на бажані рівні емісій для різних країн.

Вплив невизначеності на результати інвентаризацій на національному рівні. Розглянуту методику та програмне забезпечення застосовано для аналізу невизначеностей інвентаризації в країнах Європейського Союзу, а також зіставлено отримані результати з результатами для України. Для цього використано дані про інвентаризацію парникових газів для Євросоюзу [9] та України [10] за 2002–2004 рр. Слід зауважити, що для таких країн, як Кіпр та Мальта, Кіотським протоколом не встановлено обмежень на емісії парникових газів, оскільки вони не входять до групи країн-учасників Протоколу. Таким чином, розрахунки для цих країн не проводились. Відповідно, під Європейським Союзом слід розуміти склад Європейського Союзу після 2004 року, після набуття членства 10-ма країнами, не враховуючи Кіпр та Мальту. В [9] та [10] наведено інформацію про невизначеності національних інвентаризацій для більшості країн. Ці дані теж використано як вхідні дані для програми. Проте, такі країни, як Естонія, Литва, Люксембург та Португалія не звітували про невизначеності в 2004 р., тому для цих країн було зроблено припущення, що невизначеність інвентаризацій в них становить 10%. Для деяких інших країн були дані про невизначеність за попередні роки.

Приклад результатів застосування методики (для рівня ризику α , що складає 10%) наведено на рис. 2. Світло-сірі смужки відповідають показнику DTI, який характеризує різницю між дозволеним рівнем емісій та оціненим відносно

емісій за базовий рік. Якщо цей показник більший нуля, то рівень емісій в країні перевищує дозволений Кіотським Протоколом, якщо нижчий, то – навпаки. Необхідний недобір, згідно з описаною методикою, зображений у вигляді темно-сірих смужок.

Таким чином, якщо показник DTI менший ніж необхідний недобір, то це означає, що емісії країни достатньо низькі, притому, навіть враховуючи невизначеність, вона може продавати свою квоту. В протилежному випадку необхідно знижувати емісії, зменшувати невизначеність або купувати квоту в іншій країні.

У 2004 р. емісії 11 країн-членів ЄС були нижчими, ніж лінійна квота для 2004 р. (див. рис. 2). Але, хоча показник DTI для цих країн був від'ємним, не всі країни можуть бути надійними продавцями квот на емісії. Це пов'язано з тим, що з урахуванням невизначеності, емісії деяких країн з певною ймовірністю можуть перевищувати квоту. Так, наприклад, Франція, Швеція та Великобританія демонструють від'ємний DTI, але недобір для цих країн з урахуванням невизначеності має бути нижчим. Решта країн з від'ємним DTI мають достатньо низький рівень емісій. Таким чином, їх емісії з великою ймовірністю нижчі, ніж дозволений Кіотським Протоколом рівень.

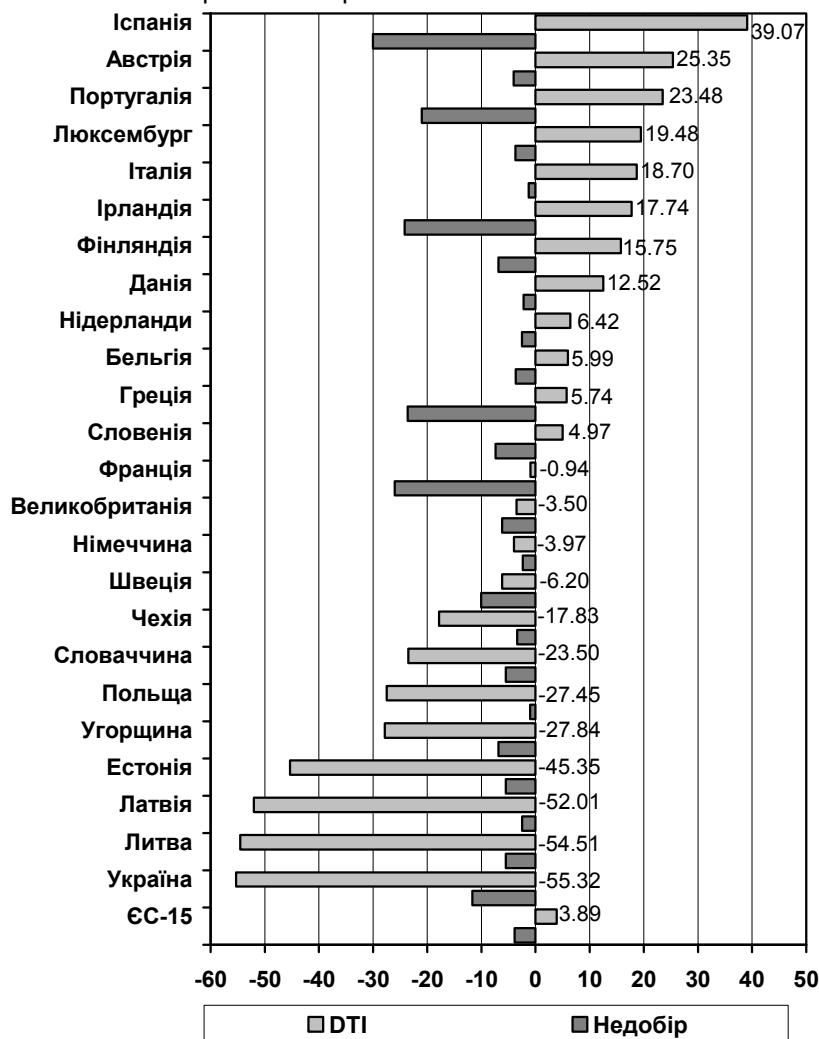


Рис. 2. Бажаний недобір у порівнянні з фактичним значенням показника DTI

Як видно з рис. 2, емісії в Україні значно нижчі встановленої квоти (DTI = 55,5%). Разом з тим, такий показник є найнижчим з усіх проаналізованих країн, і навіть з урахуванням невизначеностей, емісії в Україні є значно нижчими доведеного рівня. Таким чином, за умови збереження поточної ситуації, Україна може продавати значну частину квоти на емісії парникових газів.

На рис. 3 зображено потреби у купівлі квот для країн Євросоюзу за період 2002–2004 рр. та можливості продажу квот для України та тих країн Євросоюзу, емісії яких нижчі доведеного рівня. Білі стовпчики відповідають сумарній кількості викидів, які можуть бути продані в тих країнах Євросоюзу, які можуть продавати свої квоти (тобто їх емісії є нижчими, ніж дозовані). Чорні стовпчики показують сумарну кількість емісій, які потрібно купити у тих країнах, емісії в яких перевищують дозовані рівні. Сірі стовпчики відповідають тій кількості емісій, яку може продавати Україна, у випадку участі у торгівлі квотами на емісії парникових газів.

Як видно з рис. 3, країни Європейського Союзу загалом за період 2002–2004 рр. показували чітку тенденцію до підвищення рівнів викидів парникових газів. Емісії в Україні теж зростали, проте, не настільки сильно. Разом з тим, для Євросоюзу недостатньо внутрішніх програм торгівлі квотами і деяким країнам доведеться купувати квоти від сторонніх країн. Емісії в Україні значно нижчі доведеного рівня, і навіть, з урахуванням невизначеності, вона може продавати значну частину квоти на викиди парникових газів. Лише за рахунок купівлі квоти в Україні, Євросоюз міг би забезпечити виконання умов Кіотського протоколу.

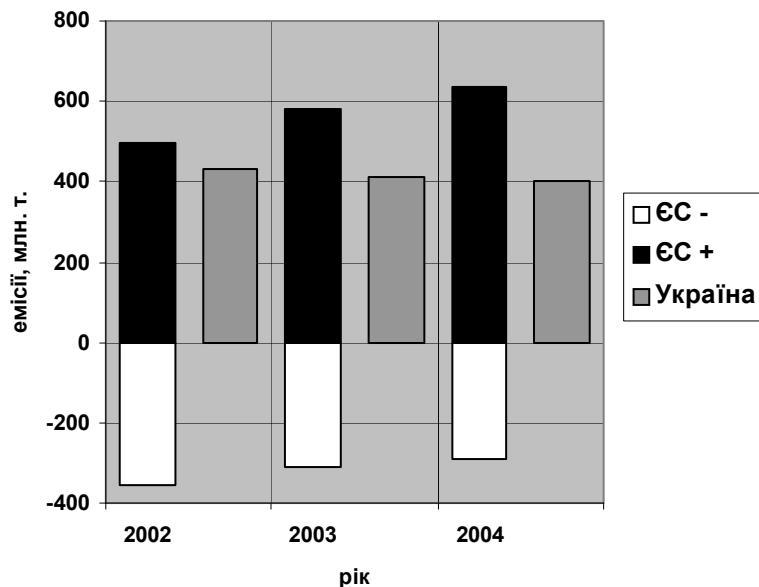


Рис. 3. Потреби в купівлі квот для країн Євросоюзу та можливості продажу

Висновки. Створена інформаційна система дозволяє аналізувати невизначеності при інвентаризації парникових газів на національному рівні. У зв'язку з тим, що Кіотським протоколом передбачено врахування невизначеностей, але не прийнято відповідних методик, питання розробки інструментарію для цього є дуже актуальним. На основі даних про інвентаризацію парникових газів на національному рівні проаналізовано емісії в країнах Євросоюзу та в Україні. Виявлено, що не всі країни емісії, яких є нижчими доведеного рівня, з урахуванням невизначеностей, можуть продавати квоти на викиди парникових газів. Показано, що ряд країн, навіть з урахуванням невизначеностей, можуть продавати значну частину своїх квот на емісії парникових газів. Зокрема, Україна може продавати значну частину власної

квоти, яка повністю покриває необхідну для Європейського Союзу квоту.

Література

1. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.- Vol. 1: Reporting instructions.- Vol. 2: The Workbook.- Vol. 3: Reference Manual.- IPCC, 1996.- <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>
2. The IPCC software for estimating GHG emissions. IPCC Version 1.1, 1998. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/software.htm>).
3. Бунь Р.А. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів: екосистеми Карпатського регіону / Гори і люди: у контексті сталого розвитку: Матер. Міжнар. конф.- Т.2.- Рахів: КБЗ, 2002.- С. 17-21.
4. Токар О.Є., Густі М.І. Математичні моделі інвентаризації парникових газів в секторі лісового господарства // Інформаційні технології і системи.- 2003.- Т. 6.- № 1-2.- С. 211-217.
5. IPCC: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.- IPCC, 2002.- http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/russian/gpgaum_ru.htm
6. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України / Р.А.Бунь, М.І.Густі, В.С.Дачук та ін.; За ред. Р.А.Буна.- Львів: УАД, 2004.- 376 с.
7. Jonas M., Nilsson S., Bun R., et al. Preparatory Signal Detection for Annex I Countries under the Kyoto Protocol — A Lesson for the Post-Kyoto Policy Process. Interim Report IR-04-024. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 2004. – 91 p. (<http://www.iiasa.ac.at/Publications/Documents/IR-04-024.pdf>)
8. Gillenwater M., Sussman F., Cohen J. Practical applications of uncertainty analysis for national greenhouse gas inventories / GHG Uncertainty Workshop. – Warsaw, 2004. – 14 p.
9. Mueller L., Jol A., Barkman A., et al. Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990–2003 and Inventory Report 2005. Technical Report No. 4. European Commission, DG Environment, EEA, Brussels. – (http://reports.eea.europa.eu/technical_report_2005_4/en/)
10. Национальный отчет о кадастре выбросов парниковых газов и их поглощения в Украине за 1990–2004 гг.– К: Арена-Эко, 2006.- 270 с.

УДК 621.316

Голенков Г.М., Веремеенко А.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОММУТАЦИОННОГО АППАРАТА С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБМОТКОЙ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Рассмотрены коммутационные аппараты и проанализирована работа приводов исполнительных механизмов разъединителей. Предложены конструкция разъединителя, приводом которого является коаксиально-линейный асинхронный электродвигатель с комбинированной обмоткой бегуна, его схема замещения, промоделированы электромеханические переходные процессы коммутатора.

Существующие разъединители [1] имеют ряд недостатков, а именно: недостаточно высокий уровень автоматизации процессов управления разъединителей токоведущих частей, управление по минимуму времени и токосрабатыванию исполнительного механизма. Применение данных коммутационных аппаратов в стесненных труднодоступных местах, а также в агрессивных средах требует дополнительных затрат. Например, защиты от влаги, высокой температуры и т. д.

Целью данной работы является разработка такого вида защитного разъединителя, который бы улучшил надежность работы, технико-экономические и энергетические показатели системы энергоснабжения предприятий.

Эта цель достигается тем, что предложенный коммутационный аппарат состоит из устройства защитного отключения (УЗО) [2], приводом которого является коаксиально-линейный асинхронный электродвигатель (ЛАД) с комбинированной обмоткой во вторичном контуре (бегуне) (в дальнейшем УЗО-ЛАД) (рис.1).

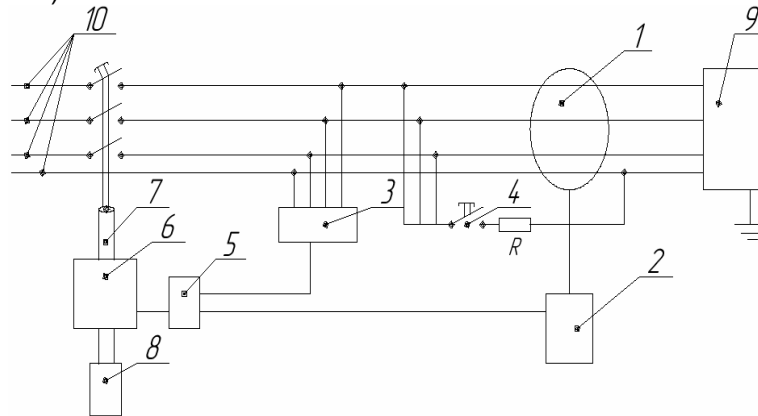


Рис.1. Устройство защитного отключения (УЗО-ЛАД)

УЗО-ЛАД состоит из трансформатора тока нулевой последовательности 1, пускового органа (порогового элемента) 2 (который выполняется, как правило, на чувствительных магнитоэлектрических реле прямого действия или электронных компонентах), реле контроля фаз 3, цепи тестирования 4, блока управления разъединителя 5, статора коаксиально-линейного асинхронного двигателя 6, бегуна с комбинированной обмоткой 7, бесконтактного коммутатора ЭДС (в дальнейшем БКЭ) 8, потребителя 9, системы энергоснабжения 10.

При изменении электромеханических параметров на потребителе 9 (перекос фаз, короткое замыкание и т.п.) срабатывает УЗО-ЛАД, которое при помощи бегуна 7 ЛАД 6 разрывает систему энергоснабжения 10. При этом бесконтактный коммутатор ЭДС 8 поддерживает максимальное тяговое усилие и пусковой ток ЛАДа по заданной программе.

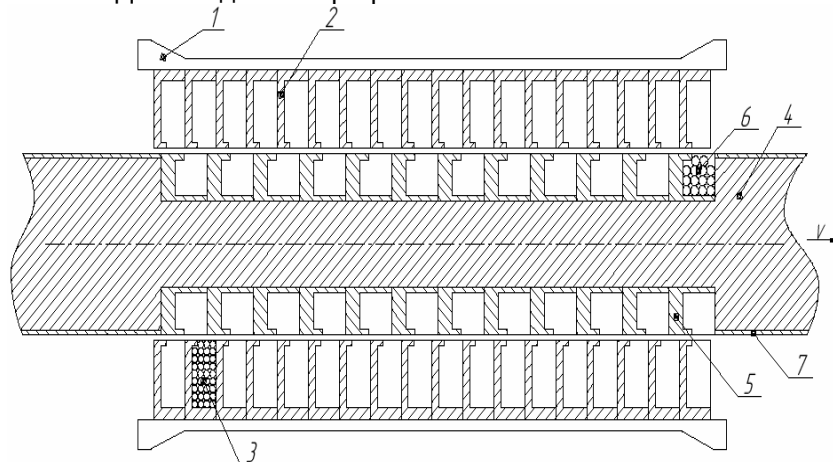


Рис.2. Линейный асинхронный двигатель с комбинированной обмоткой
 Схема замещения ЛАД с бесконтактным коммутатором ЭДС (в дальнейшем ЛАД-БКЭ)
 представлена на рис.3.

Моделирование работы переходных процессов ЛАД с комбинированной обмоткой во вторичном контуре. Коаксиально-линейный асинхронный двигатель с комбинированной обмоткой бегуна (рис.2) состоит из: индуктора 1, зубцов магнитопровода статора 2, обмотки статора 3, стержня бегуна 4, зубцов магнитопровода бегуна 5, обмотки бегуна 6, медного покрытия вторичного элемента (бегуна) 7.

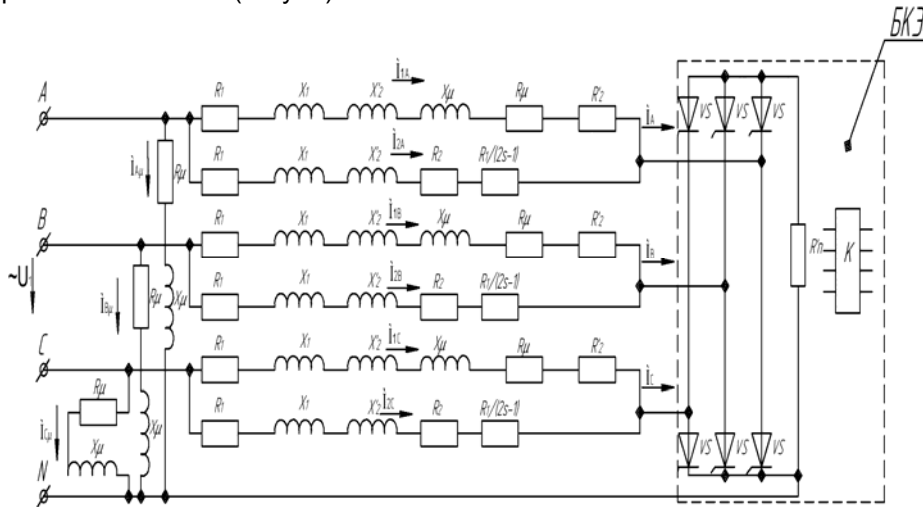


Рис.3. Трехфазная схема замещения ЛАД-БКЭ

Здесь $\sim U_1$ – подводимое напряжение сети, В; R_1 – активное сопротивление обмотки статора, Ом; X_1 – индуктивное сопротивление обмотки статора, Ом; R_2' – приведенное активное сопротивление вторичного контура, Ом; X_2' – приведенное индуктивное сопротивление вторичного контура, Ом; R_μ , X_μ – активное и индуктивное сопротивления намагничивающего контура ЛАД, Ом; s – скольжение; VS – тиристор; R_n – приведенное пусковое сопротивление, Ом; $БКЭ$ – бесконтактный коммутатор ЭДС; I_{1A} , I_{1B} , I_{1C} – рабочие токи ЛАД прямой последовательности, А; I_{2A} , I_{2B} , I_{2C} – рабочие токи ЛАД обратной последовательности, А; $I_{A\mu}$, $I_{B\mu}$, $I_{C\mu}$ – токи намагничивания, А.

На основании схемы замещения (рис.3) и результатов исследования [3] предложено выражение тягового усилия, развиваемого ЛАД-БКЭ:

$$F_{em} = \frac{m_1 U_1^2 R_n' / s}{V_1 ((R_1 + R_2' / s + R_n' / s + \xi R_\mu)^2 + (X_1 + X_2' + \xi X_\mu)^2)} + \xi \frac{m_1 U_1^2 (R_n' / s + R_1 / (2s - 1))}{V_1 ((R_1 + R_2' + R_n' / s + R_1 / (2s - 1))^2 + (X_1 + X_2')^2)}$$

где $F_{em}(s)$ – электромагнитное тяговое усилие ЛАД, Н; m_1 – число фаз; V_1 – скорость магнитного поля статора, м/с; f – частота сети, Гц; $\xi = 1/2p$ – коэффициент несимметрии токов вторичного контура; здесь p – число пар полюсов, $s = (V_1 - V) / V_1$ – скольжение, V – скорость бегуна, м/с.

Время переходного процесса УЗО-ЛАД рассчитывалось по методике [3] графоаналитическим методом.

Данная методика также позволяет рассчитать тяговое усилие ЛАД при различных ЭДС вторичного контура (рис.4).

Здесь $F^* = F / F_c$ – тяговое усилие, в относительных единицах; $V^* = V / V_n$ – скорость перемещения бегуна ЛАД, в относительных единицах.

Кривые переходного процесса срабатывания коммутирующего устройства УЗО-ЛАД при различных ЭДС показаны на рис.5.

Здесь а – кривая $V=f(t)$ переходного процесса ЛАД, когда обмотка вторичного контура выполнена в виде трубчатого медного покрытия магнитопровода бегуна; б,в,г – семейство кривых $V=f(t)$ переходных процессов ЛАД, когда бегун выполнен в виде комбинированной обмотки с блоком управления ЭДС во вторичном контуре.

Предварительные расчеты показали, что время переходного процесса для короткозамкнутого бегуна составляет $t = 0,075$ с. Время переходного процесса с комбинированной обмоткой бегуна составляет $t = 0,044$ с [4]. При этом ход бегуна составил 0,26 м.

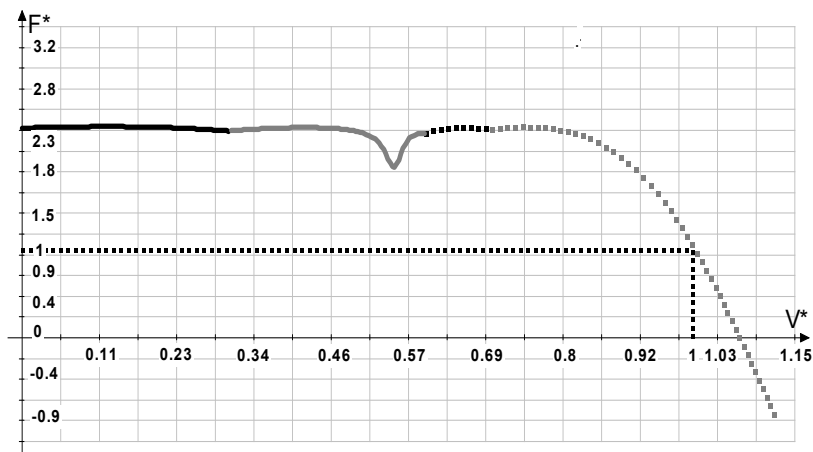


Рис.4. Тяговые характеристики ЛАД

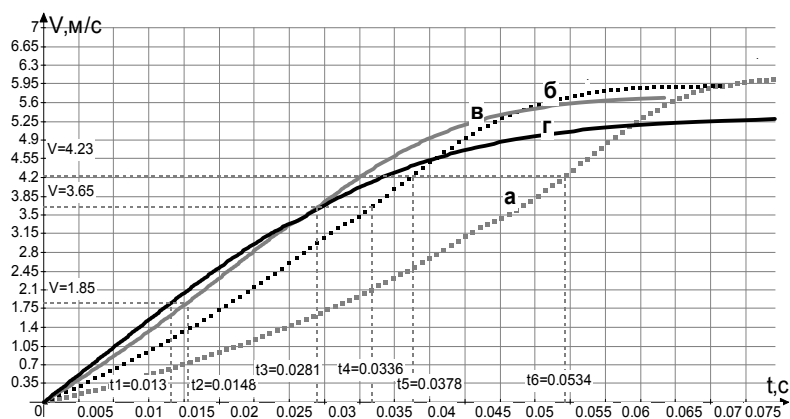


Рис.5. Зависимость $V=f(t)$

Выводы. Применение ЛАД с комбинированной обмоткой в роторе бегуна и бесконтактным коммутатором ЭДС во вторичном контуре позволило улучшить энергетические параметры разъединителя, увеличить надёжность его работы; пусковая тяга по сравнению с двигателем короткозамкнутой обмотки увеличилась в 2 раза, а время переходного процесса сократилось на 40%.

В перспективе планируется провести моделирование работы ЛАД-БКЭ на физической модели.

Литература

1. Богаенко Н. В., Григоренко В. Н., Кукуруза П. В. Безредукторный привод на основе линейного электродвигателя для разъединителя системы электроснабжения метрополитенов. Метрополитен. ЦНИИТЭИ МПС, 1983. Бюл. №1.
2. УЗО – устройство защитного отключения: Учебно-справочное пособие. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2003.
3. Голенков Г. М. Математическое моделирование переходных процессов ЛАД.

Харьков. "Электротехника и электромеханика". №1, 2005.

4. Голенков Г.М. Веремеенко А.В. Автоматизированный асинхронный линейно-импульсный разъединитель системы электроснабжения. Научно-технический сборник КНУБА. Київ 5, 2005р арк. 67-75.

УДК 621.313.323, 65.002.5-868

Голенков Г.М., Пархоменко Д.І., Макогон С.А., Бондар Р.П.
**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОАКСІАЛЬНО-ЛІНІЙНОГО
ІНДУКЦІЙНОГО ВІБРАТОРА З МАГНІТНИМ ПІДВІСОМ**

Досліджено питання і проведено експериментальні випробування, пов'язані з використанням магнітного підвісу для зміни жорсткості пружного елемента в коаксіально-лінійному індукційному вібраторі. Рис. 4, дж. 8.

Вступ. Робота лінійних вібраторів [1-3] можлива у двох основних режимах коливань: вільному і вимушеному. Правильно обраний режим роботи дозволить зменшити енергоспоживання установки та її вартість.

Основна частина. При вільному режимі коливань вібратор здійснює коливання із резонансною частотою системи «вібробуджувач-пружний елемент». При зміні параметрів системи він автоматично змінює частоту коливань, як-от зміна жорсткості пружного елемента. Цей режим роботи найбільш вигідний з енергетичної точки зору у випадку, коли частота коливань вібратора співпадає або близька до резонансної частоти системи «вібратор-робоче середовище» тобто параметри середовища не змінні [4]. Однак, цей режим має досить обмежене застосування у промисловості через те, що у багатьох випадках параметри робочого середовища змінюються, наприклад, при вібраційному зануренні палів.

При вимушеному режимі роботи вібратор коливається з частотою, що примусово задається йому системою керування, наприклад, через перетворювач частоти напруги, якою живиться вібратор. Ця частота може не співпадати із частотою особистих коливань системи «вібробуджувач-пружний елемент», проте може співпадати із резонансною частотою системи «вібратор-робоче середовище» і підвищувати ефективність роботи в цілому. Резонансна частота системи «вібратор-робоче середовище» може змінюватись у процесі роботи, проте, якщо відслідковувати її за допомогою системи керування, можливо коригувати параметри системи «вібробуджувач-пружний елемент», такі, як частота напруги, що живить, і жорсткість пружного елемента. Недоліком цього режиму є складність реалізації системи керування.

Очевидно, що оптимальним для вібраторів, які працюють в умовах зміни параметрів робочого середовища, була б робота, що має переваги обох вищезгаданих режимів. Для цього необхідно застосовувати пружні елементи із можливістю зміни їх жорсткості.

Основні типи пружних елементів, що набули поширення у вібраторах, це циліндричні або тарільчаті пружини, що мають низьке демпфування, високу надійність, проте не дають можливості коригувати жорсткість під час роботи.

До пружних елементів зі змінною жорсткістю можна віднести різні типи пневматичних та електромагнітних підвісів. Пневматичні підвіси (пневмобалони) вимагають застосування компресора, мають низький ККД та високу інерційність; використовують енергію при зміні жорсткості. Електромагнітні підвіси, що існують, мають недостатній ККД та обмежений діапазон переміщення [6, 8]; постійно використовують енергію під час роботи. Для зменшення вказаних недоліків пропонується застосування електромагнітного підвісу коаксіально-

лінійного типу.

Застосування тільки одного типу пружних елементів – із постійною жорсткістю – не виправдане через високі енерговитрати, спричинені роботою системи «віброзбуджувач-пружний елемент» не на резонансній частоті. Елемент із змінною жорсткістю – електромагнітний підвіс – забезпечить роботу на резонансній частоті, проте буде споживати додаткову енергію. Отже, оптимальним є застосування комбінованого варіанту – пружного елементу із постійною жорсткістю, що налаштований на більш ймовірну резонансну частоту системи, і магнітного підвісу, що давав би змогу частково коригувати коефіцієнт пружності системи [5-7].

Пропонується електромагнітний підвіс коаксіально-лінійного виконання (ЕМПКЛ). Він складається з: корпусу-магнітопроводу 1, обмотки збудження 2, якоря 3, стержня 4, постійного магніту 5, концентраторів 6, пружного елементу 7.

При подачі постійного струму на обмотки збудження виникає магнітний потік, який при взаємодії з полюсами магнітів викликає силу, що діє на якір. Переміщення якоря відбувається у межах полюсної поділлки $\tau = 72$ мм.

Для дослідження характеристик ЕМПКЛ було розроблено стенд для випробувань (рис. 2). Він складається з: електромагнітного підвісу 1, рами 2, блоку контрольно-виміральної апаратури 3. На цьому стенді було знято сімейство тягових характеристик ЕМПКЛ з такими параметрами: маса підвісу - 86 кг, якоря - 42 кг; довжина активної частини індуктора - 280 мм, немагнітний зазор - 13 мм, висота - 870 мм.

Тягові характеристики знімалися в інтервалі навантажень від 420 Н до 1060 Н з кроком 80 Н. Аналіз графіків показує, що електромагнітний підвіс має найменше споживання енергії у межах ± 10 мм. Крутизна графіків у цьому діапазоні змінюється від 3 до 10 відсотків зі зростанням навантаження і струму, що пов'язано із насиченням магнітної системи і крайовим ефектом.

На основі проведених досліджень розроблена структурна схема автоматизованого електропривода віброзбуджувача з магнітним підвісом для занурення будівельних елементів у ґрунт (рис. 4), де 1 – віброзбуджувач з магнітним підвісом, 2 – інвертор для віброзбуджувача, 3 – блок ШІМ, 4 – мікроконтролер, 5 – драйвери керування ключами, 6 – блок живлення, 7 – фільтр, 8 – випрямляч, 9 – пульт оператора, 10 – ПК, 12 – датчик переміщення, 13 – датчик прискорення.

При роботі у режимі вільних коливань керування і здійснюється за контролем струму через віброзбуджувач. Струм залежить від жорсткості електромагнітного підвісу, реакції ґрунту на віброзанурення і маси коливальної частини. При певному заданому значенні струму віброзанурювача автоматизований електропривід буде інвертувати живлення віброзбуджувача. Для пошуку резонансної частоти можливо використовувати метод, запропонований в [4].

Необхідно зазначити, що робота на резонансній частоті не завжди можлива через те, що віброзбуджувач не зможе працювати на занадто високих частотах. Проте, деякі системи мають декілька локальних резонансів, що знаходяться в області нижчих частот.

Враховуючи складність задачі визначення жорсткості магнітного підвісу (відсутність точної математичної моделі взаємодії робочого органу з ґрунтом для процесів віброзанурення), автоматизований електропривід слід виконувати із застосуванням системи нечіткої логіки або системи нейронних мереж, що мають здатність до самонавчання. Для застосування однієї з цих систем необхідно розробити систему правил, таких як: наближену та узагальнену модель ґрунту, реакцію автоматизованого електроприводу на заглиблення елементу, що занурюється (припускається, що частота із заглибленням повинна збільшуватись), реакцію системи на зміну шарів ґрунту (його фізичних

властивостей) і т.п.

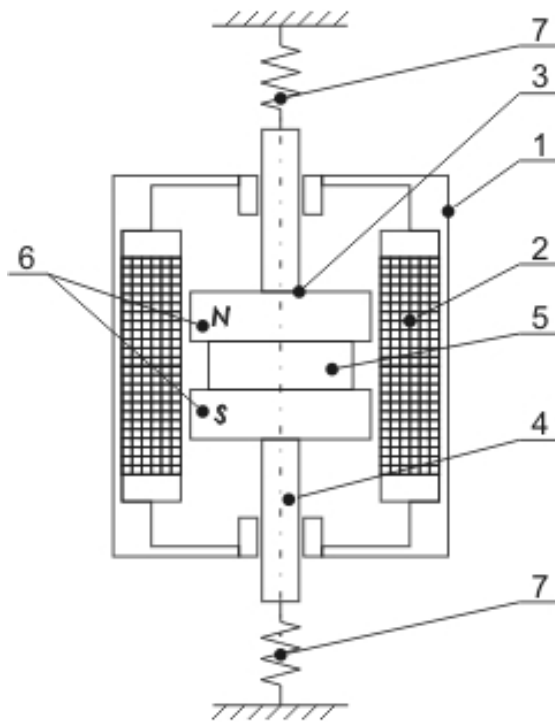


Рис. 1. Електромагнітний підвіс коаксально-лінійного виконання

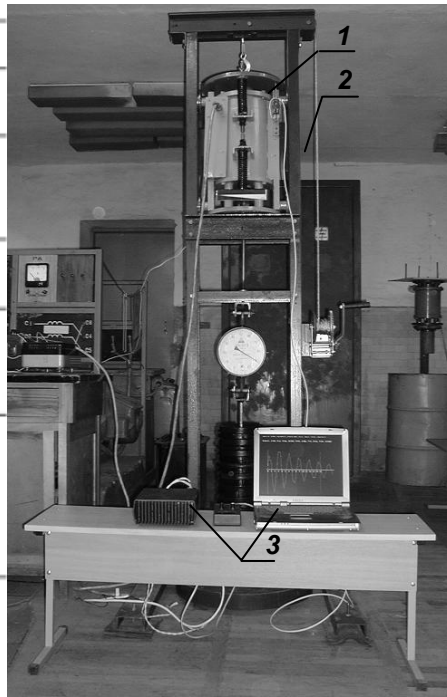


Рис. 2. Стенд для випробувань ЕМПКЛ

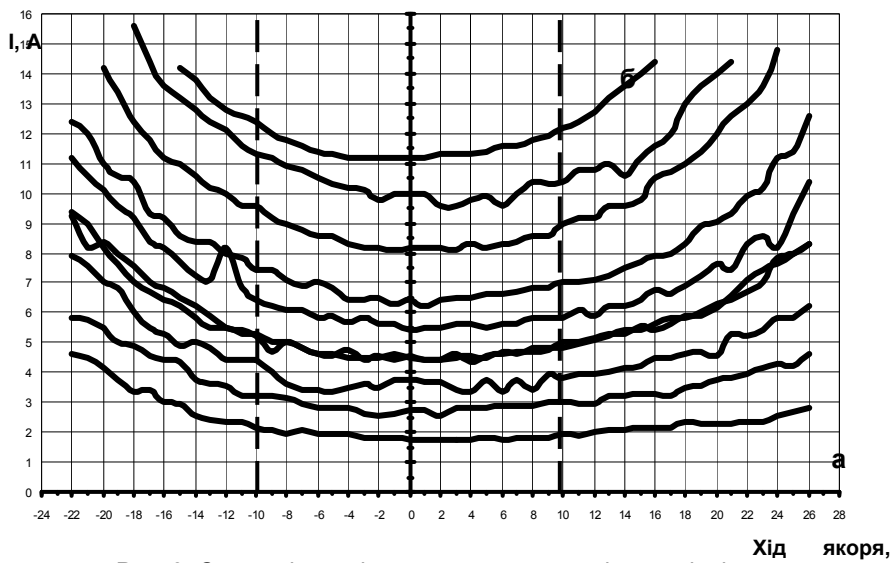


Рис. 3. Статичні тягові характеристики магнітного підвісу
Сімейство статичних тягових характеристик магнітного підвісу зображено на рис. 3 (а-б).

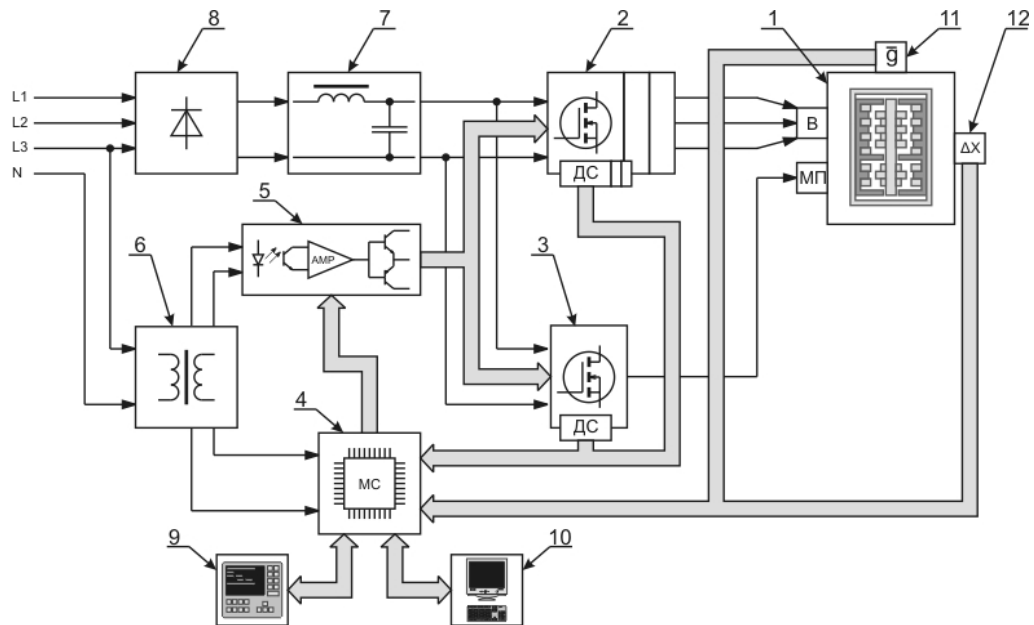


Рис. 4. Структурна схема автоматизованого електропривода віброзанурювача з магнітним підвісом

Таким чином, система віброзанурювача буде працювати на резонансній або близькій до неї частоті за даних визначених умов, а регулювання в процесі роботи резонансної частоти буде виконувати, як зазначено вище, магнітний підвіс. Також, завдяки застосуванню ШІМ, дана схема дозволяє реалізувати потрібні форми напруги, створюючи різні режими коливань.

Висновки. 1. Проведені дослідження довели ефективність застосування віброзанурювача з магнітним підвісом. При цьому оптимальні енергетичні показники застосування підвісу спостерігаються у межах приблизно $\pm \tau / 7$. 2. Розроблена схема керування, яка дозволяє застосовувати різні режими коливань.

Літератури

1. Богаєнко М.В., Бондар Р.П., Голенков Г.М., Голуб В.П., Макогон С.А., Павленко П.В., Попков В.С. Вібробуджувач. Деклараційний патент на корисну модель №14111, заявка № а 2005 10789 від 15.11.2005.
2. Богаєнко М.В., Голенков Г.М., Голуб В.П., Павленко П.В., Попков В.С., Чомкалова І.О. Віброзанурювач. Деклараційний патент на винахід №20031213225 від 17.01.2005.
3. Голенков Г.М., Макогон С.А. Вибропогружатель с индукционным линейным двигателем. - Харьков.: "Электротехника и электромеханика" №4, 2004.
4. Ito Y., Saha S., Kishibe T. Closed loop control of linear vibration actuator. Patent WO 2004/075658 A1.
5. Голенков Г.М., Макогон С.А., Пархоменко Д.І. Автоматизація віброзанурювача з магнітним підвісом. - К.: "Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини" №66, 2005.
6. Ивашин В.В. и др. Резонансный вибратор. Патент RU 2177840 С2.
7. Akira Chiba, Tadashi Fukao, Osamu Ichikawa, Masahide Oshima, Masatsugu Takemoto and David G. Dorrell. Magnetic Bearings and Bearingless Drives - Integra Software Services, 2005.
8. Рященцев Н.П., Рященцев В.Н. Электромагнитный привод линейных машин. – Новосибирск: Наука, 1985. - 152 с.

О ПРОБЛЕМЕ КОМПАКТНОСТИ В МОДЕЛЯХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ

В решении проблемы компактности источника гамма-всплеска важную роль играет правильная оценка длительности импульса излучения. Для упрощения этих оценок в модели фаербола считается предпочтительным использование принципов классической механики, а не релятивистской. В настоящей работе показано, что применение релятивистских постулатов для оценки длительности излучения гамма-всплеска в сопутствующей системе координат приводит к уменьшению величины показателя степени лоренц-фактора в два раза. Это, в свою очередь, увеличивает оптическую толщину в модели фаербола на несколько порядков и предъявляет к модели фаербола более жесткие требования. Ист.7, рис. 2.

Введение

Сейчас известно, что факт космологического происхождения гамма-всплесков является надёжно установленным. Такой вывод был сделан, прежде всего, на основании исследования спектров испускания галактик, в которых произошёл гамма-всплеск, или линий поглощения в оптическом послесвечении гамма-всплеска. Красное смещение этих спектров $z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$ для некоторых вспышек составляет несколько единиц. Это свидетельствует об их удалённости на миллиарды световых лет. Эффективная часть спектра гамма-всплесков лежит в диапазоне энергий порядка 1 МэВ. Однако хорошо известно, что в области более высоких энергий нет экспоненциального спада, характерного для теплового излучения. Более того, с конечной вероятностью можно в спектре гамма-всплесков обнаружить фотоны с энергиями в сотни МэВ и даже более нескольких ГэВ. Величина проинтегрированного потока энергии, за время гамма-всплеска обычно заключена в пределах $10^{-7} < F < 10^{-4}$ (эрг/см²). Например, для яркой вспышки 23 января 1999 года (т.н. GRB 990123) красное смещение оказалось равным $z=1,600$, длительность около 100 секунд, а проинтегрированный за время всплеска поток составил $F = 3 \times 10^{-4}$ эрг/см². При постоянной Хаббла, равной $H=60$ (км/с)/Мпк, оценка расстояния до всплеска приблизительно даёт $D=zc/H=8$ Гпк или $\approx 2.5 \times 10^{28}$ см. Для известного расстояния D при изотропном распределении излучения суммарная энергия γ -всплеска будет $E_0 = 4\pi D^2 F \approx 2 \times 10^{54}$ эрг, что приблизительно соответствует величине $E_0 \approx M_{\odot} c^2$, где M_{\odot} – масса покоя Солнца, т.е. γ -всплеск это – уникальное явление во Вселенной.

Средняя длительность всплеска составляет десятки секунд. Однако зарегистрировано немало всплесков, для которых изменения полного потока происходит за время $\delta T \sim 10$ мс, т.е. за сотые доли секунды. Из этого следует, что размер источника излучения не должен превышать $R_e < c \delta T \approx 3 \times 10^8$ см, что фактически следует из невозможности распространения скорости возмущения больше скорости света. Если характерную энергию фотона γ -всплеска выбрать равной mc^2 , где m – масса электрона, то плотность фотонов в таком источнике окажется близкой к $3E_0 / 4\pi mc^2 R_e^3 \approx 2.5 \times 10^{34}$ см⁻³. При такой концентрации оценка среднего расстояния свободного пробега фотона (относительно взаимодействия $\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$) с энергией значительно большей порога рождения пар составляет приблизительно $\ell_{\gamma\gamma} = (n_{\gamma} \sigma_T)^{-1} \approx 10^{-10}$ см, где

$\sigma_T = 6.6 \times 10^{-25} \text{ см}^2$ – томсоновское сечение. Фотоны с меньшей энергией будут испытывать рассеяние на произведенных парах, и распределение фотонов в источнике будет близко к планковскому с температурой порядка $T_e \approx 3 \times 10^9 \text{ K}$ (для $\dot{E} \approx 10^{52} \text{ эрг/с}$ и $R_e \approx c\delta T \approx 3 \times 10^8 \text{ см}$). Совокупность таких частиц, (возможно, с некоторой примесью барионов) называют фаерболом. Как долго такой источник может существовать? При огромной оптической толщине источника $\tau_{\gamma\gamma} = R_e / \ell_{\gamma\gamma} \approx 10^{18}$ кажется невероятным, что он может почти мгновенно «остыть». Однако совершенно очевидно, что фаербол в статическом состоянии существовать не может. Высокая концентрация фотонов с энергией порядка $m_e c^2$ создаст давление излучения $P_r = (4\sigma/3c)T^4 \approx 10^{16} \text{ атм}$. Это приведёт к интенсивному разлёту такого электрон-позитронного облака.

Анализ проблемы компактности

Проблема компактности, которая и является предметом дальнейшего обсуждения, вызвана предположением, что размер источника излучения определяется масштабом времени наблюдения, т.е. $R_e < c\delta T \approx 3 \times 10^8 \text{ см}$. Такая оценка размеров была бы справедлива для нерелятивистских скоростей, т.е. в соответствии с механикой Ньютона. Она влечёт за собой признание факта большой оптической толщины фаерболом $\tau_{\gamma\gamma} = R_e / \ell_{\gamma\gamma} \approx 10^{18}$. А это, в свою очередь, означает, что спектр излучения должен быть близок к тепловому. Однако, как уже упоминалось выше, экспериментальное измерение спектра говорит о его нетепловом происхождении. Необходимость логически связать эти факты и составляют проблему компактности. Считается (см., например, обзоры [1,2,5]), что эта проблема решена в работах [4] и [3]. В первой работе автор исследовал параметры релятивистского потока, вызванного однородным сферическим источником энергии высокой плотности. Для упрощения расчётов было допущено, что поток является стационарным, т.е. $\dot{E} = \text{const}$ и внутренняя температура источника излучения также постоянна. Кроме этого, автор пренебрёг барионным компонентом фаерболом. Полученные уравнения описывают поток между внутренней сферой, из которой вытекает энергия, и фотосферой ($\tau_{\gamma\gamma} \approx 1$), за которой излучение становится свободным (там уравнения для потока частиц уже не будут справедливы). Во внешних частях поток ускоряется, температура падает и плотность пар становится намного меньше, чем плотность фотонов, однако оптическая глубина может быть всё ещё велика. Решение для области $r \gg R_e$ имеет вид:

$$r = R_e \Gamma; \quad T = T_0 \Gamma \quad \dot{E} = \frac{16}{3} 4\pi R_e^2 \sigma T_0^4. \quad (1)$$

При достаточно высокой плотности энергии, расширяющийся поток (как функция расстояния, а не времени) электрон-позитронной плазмы далеко не сразу становится прозрачным и лоренц-фактор Γ можно получить сколь угодно большим (в зависимости от исходных величин). Однако всегда найдётся радиус R , при котором отношение R/R_e достигнет максимума, и фотоны станут свободно покидать фаербол. Очевидно, для стационарного источника эта граница неподвижна относительно наблюдателя в лабораторной системе (т.е. в системе, покоящейся относительно центра источника). Несмотря на охлаждение плазмы в процессе расширения, полная энергия какого-либо выделенного шарового слоя остаётся постоянной. Это значит (см. (1)), что неподвижный наблюдатель зафиксирует прибывшие фотоны с энергией, соответствующей начальной температуре источника T_0 и спектр в целом должен сохранить

некоторые признаки равновесного, хотя и будет, вероятнее всего, искажённым. Длительность импульса, как и проблему компактности, в этой работе автор, естественно, не обсуждает, поскольку процесс расширения стационарный.

В [3] численно решена нестационарная задача о внезапном расширении релятивистской идеальной жидкости под действием собственного радиационного давления и сделан вывод, что когда общая оптическая глубина упадёт ниже единицы, основной энергетический поток, который, в конце концов, будет принят наблюдателем, распределён на интервале $\Delta r \approx R_0$, причём наибольшая энергия сконцентрирована вблизи поверхности расширяющейся сферы. Автор нашёл также, что продолжительность вспышки имеет порядок времени $\delta T \approx R_0 / c \approx 10^{-2} c$, где R_0 – начальный радиус расширения, и что она на два порядка меньше типичной оценки наблюдения (~ 1 с). Анализ спектра привел к выводу, что излучение близко по характеру к тепловому.

Вероятнее всего, фаербол изначально оказывается загруженным некоторым количеством барионов. Вместе со своими электронами они определяют результирующую непрозрачность фаербола $\tau = \tau_{\gamma\gamma} + \tau_{\gamma b}$, которая особенно важна на последних стадиях, когда температура и концентрация расширяющейся сферы существенно падают и прозрачность $\tau_{\gamma\gamma}$ относительно производства пар становится меньше единицы, а $\tau_{\gamma b}$ всё ещё может быть значительно больше единицы, так как от температуры она почти не зависит. Если нагрузка барионами слишком велика, то может оказаться так, что практически вся первоначальная энергия фаербола конвертируется в кинетическую энергию барионов. В таком случае фаербол практически не будет содержать γ -квантов с высокой энергией, когда станет прозрачным. Такая задача рассмотрена в [6,7]. Авторы пришли к выводу, что на последних стадиях оболочка фаербола имеет постоянную радиальную ширину в системе наблюдателя:

$$\Delta R \sim R / \Gamma \sim const \sim R_e \quad (2)$$

здесь, согласно расчётам, содержится большая часть энергии и лоренц-фактор Γ практически не изменяется вплоть до момента, когда τ станет меньше единицы. Величина радиуса при этом приблизительно равна $R_c = 1.6 \times 10^{15} cm E_{i,51}^{3/8} R_{i,7}^{3/8}$, где $E_{i,51}^{3/8} = E / E_{51}$, $E_{51} = 10^{51} ergs$ и $R_{i,7}^{3/8} = R / R_7$, $R_7 = 10^7 cm$. Для рассмотренного выше примера критический радиус составляет $R_c \approx 10^{16} - 10^{17} cm$.

Можно ли сказать, что полученные результаты решают проблему компактности? Сами авторы [3] и [4] о решении этой проблемы непосредственно не упоминают. Однако они показали, что энергия, выделяющаяся при взрыве, может быть такова, что расширение плазмы будет ультрарелятивистским. При известных в то время потоках энергии это означало бы, что γ -всплески должны находиться на космологических расстояниях. Измеренные в дальнейшем величины красного смещения подтвердили гипотезу космологического происхождения, а, следовательно, и характерную величину энергии γ -всплеска $E_0 \approx 10^{52} - 10^{53} эрг$, что, в свою очередь, подтверждает возможность ультрарелятивистского расширения фаербола. Дальнейшее развитие этой идеи отражено в ряде обзоров (см., например, [1,2,5]), в которых обсуждение проблемы компактности связано с релятивистским движением. Именно с учётом этого факта прозрачность фаербола оказывается не так высока, как приведенная выше, а порядка единицы, если Γ -фактор оболочки фаербола имеет величину $\Gamma \geq 100$.

Каким образом релятивистское движение решает проблему компактности?

Полная энергия гамма-всплеска, отдалённого от наблюдателя на расстояние D , равна $E_0 = 4\pi D^2 F$. Концентрация фотонов с энергией, лежащей значительно выше порога рождения пар $n_\gamma = f_p E_0 / V \approx f_p D^2 F / mc^2 R_e^3$, где f_p – доля таких фотонов и V – объём шара с радиусом R_e . При нерелятивистском движении прозрачность τ_γ слоя толщиной R_e относительно рождения пар приблизительно равна:

$$\tau_\gamma = \frac{R_e}{\ell_\gamma} = R_e n_\gamma \sigma_T = f_p \frac{\sigma_T F D^2}{R_e^2 mc^2}. \quad (3)$$

Если оболочка расширяется с лоренц-фактором $\Gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$, то фотоны с наблюдаемой энергией $h\nu_{obs}$ имеют синее свечение, и, следовательно, в источнике их энергия была $\approx h\nu_{obs}/\Gamma$. Функция распределения высокоэнергетических фотонов в гамма-всплеске пропорциональна множителю $\nu^{-\alpha}$, где $\alpha \approx 2$ – спектральный индекс. Наблюдаемая доля фотонов f_p , которые могут производить пары, не равна доле фотонов, которые могут производить пары в источнике. Доля таких фотонов в источнике меньше в $\Gamma^{-\alpha}$ раз. Далее для получения правильной величины оптической толщины необходимо в (3) вместо R_e подставить размер излучающей области, выраженный в сопутствующей системе отсчёта по известному времени наблюдения γ -всплеска δT . Ранее полученная оценка $R_e \leq c\delta T \approx 3 \times 10^8$ см была справедлива только для $\Gamma \sim 1$. Имеется точка зрения, выраженная в ряде работ, что эту величину можно найти, ограничиваясь рассмотрением в рамках классической механики. Тогда размер источника характеризуется не простым соотношением $R_e \leq c\delta T$, а более сложным $R_i \leq c\delta T 2\Gamma^2 = R_e 2\Gamma^2$. Это, в свою очередь, приводит к окончательному выражению для оптической толщины:

$$\tau_\gamma = \frac{1}{\Gamma^{\alpha+4}} \frac{\sigma_T F D^2}{R_e^2 mc^2}, \quad (3a)$$

которая, как минимум, на 12-18 порядков меньше, чем (3), если лоренц-фактор Γ лежит в интервале $10^2 < \Gamma < 10^3$. Таким образом, проблема компактности оказывается решённой, так как показано, что источник прозрачный и, следовательно, спектр должен быть нетепловым.

По мнению авторов настоящей работы, попытка решить релятивистскую задачу классическим методом приводит к неверному результату и это, соответственно, отражается на проблеме компактности источника γ -всплеска. Чтобы показать характер ошибок и необходимость использования релятивистской механики, обратимся к цитируемым выше работам.

1. Рассматривается сферическая оболочка фаербола, движущегося с около световой скоростью V [1]. Автор этой оценки считает, что измеренная в лабораторной системе разница времени δT прихода двух фотонов, испущенных вдоль луча зрения одновременно в сопутствующей системе отсчёта с внешней и внутренней части расширяющейся оболочки, связана с размером оболочки нерелятивистским кинематическим соотношением:

$$\delta T = \frac{R}{V} - \frac{R}{c} = \frac{R}{c} \left(\frac{c}{V} - 1 \right) = \frac{R}{c} \left(\frac{\Gamma}{\sqrt{\Gamma^2 - 1}} - 1 \right) \approx \frac{R}{2\Gamma^2 c}. \quad (4)$$

Откуда для толщины оболочки в системе наблюдателя имеем $R \leq 2\Gamma^2 c \delta T$.

Ошибка в этом примере связана с нарушением одного из основных релятивистских принципов: события одновременные в одной системе не являются одновременными в другой. В данном случае рассматриваются два одновременных события (испускание фотонов из двух точек, разделённых расстоянием R) в сопутствующей системе. В лабораторной системе эти события не являются одновременными. Поэтому, измеренная в лабораторной системе толщина оболочки R и времени δT не может быть связана соотношением (4).

Рассмотрим этот же пример, не пренебрегая преобразованиями Лоренца. Для этого необходимо в лабораторной системе K вдоль оси X достаточно плотно распределить наблюдателей с синхронизированными часами. Система K' , в которой оболочка толщиной $A'B' = \ell_0$ (см. рис. 1) неподвижна, движется относительно K со скоростью V . Пусть из граничных точек оболочки фаерболы A' и B' , когда $t = t' = 0$, в K' одновременно испущены два фотона. В этот момент граница оболочки $A'O'$ совпадает с началом K и $x = x' = 0$.

Проанализируем результаты измерения интервала времени δT , разделяющего моменты регистрации двух фотонов в системе K . На оси X существует точка x_2 , справа от которой все неподвижные наблюдатели (как бы далеко они не были) зафиксируют одинаковый интервал времени δT . Наблюдатель, расположенный слева от x_2 , зафиксируют только один фотон, пришедший из точки O' . Рассмотрим два события испускания фотонов из A' и B' . В K' это одновременные события, разделённые пространственным интервалом $A'B' = \ell_0$. В системе K эти события произошли в точках $x=0$ и $x=x_2$ соответственно в моменты времени $t=0$ и $t=t_2$. Выразим связь этих координат посредством преобразования Лоренца:

$$x' = \Gamma(x - Vt); \quad t' = \Gamma(t - xV/c^2). \quad (5)$$

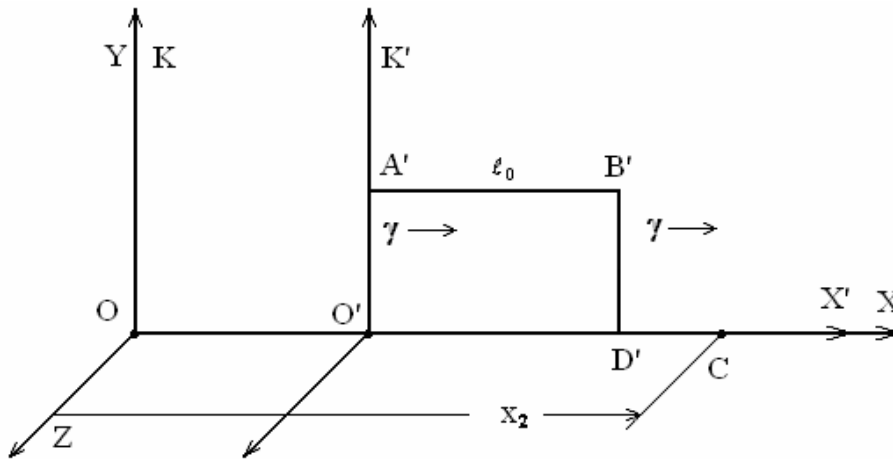


Рис. 1. $A'O'$ и $B'D'$ – соответственно задняя и передняя стенки оболочки. В точке C находится неподвижный наблюдатель.

Подстановка даёт: $\ell_0 = \Gamma(x_2 - Vt_2)$; $0 = \Gamma(t_2 - x_2V/c^2)$. Откуда находим t_2 и x_2 , т.е. координату и момент прибытия фотона B' к наблюдателю C . Второй фотон придет в точку x_2 позже – в момент времени (по часам неподвижного наблюдателя) x_2/c . Тогда интервал:

$$\delta T = \frac{x_2}{c} - t_2 \cong \frac{\ell_0}{c} \frac{1}{2\Gamma}. \quad (6)$$

Другими словами, длина источника $A'B' = \ell_0$ в системе K' равна не δTc , а $\ell_0 = 2\delta Tc\Gamma$, если $\Gamma \gg 1$, т.е. учёт релятивистских преобразований координат и времени не приводит к результату $\delta T \leq \ell_0 / 2\Gamma^2 c$, вытекающему из классического рассмотрения.

II. В обзорах [1,5] рассматривается точечный источник, движущийся со скоростью $V \approx c$ и излучающий в интервале времени $t_1 - t_0$. Авторы также считают, что оценку длительности излучения источника по известному интервалу δT , измеренному в лабораторной системе, можно получить, не прибегая к релятивистским соотношениям. Согласно этому допущению, фотон, испущенный в момент t_0 , находится впереди источника на расстоянии $(c-V)(t_1 - t_0)$ и поэтому разница во времени прибытия первого и последнего фотона составляет:

$$\delta T = (1 - V/c)(t_1 - t_0) \approx (t_1 - t_0) / 2\Gamma^2. \quad (7)$$

В этом примере оценка длительности не имеет прямого отношения к размеру источника, т.е. нельзя сказать, что характерный размер излучающей области $\ell_0 < 2\delta Tc\Gamma^2$. Для нахождения этой величины нужно знать время распространения сигнала по источнику τ , а не время излучения точечного источника в лабораторной системе. Это сразу же означает переход в систему, связанную с источником. Легко проверить, что правильный учёт релятивистских преобразований (5) также как и в (6) приводит к выражению $\tau = 2\Gamma\delta T$. Но и в этом случае оно ничего не говорит о размерах источника, а, следовательно, и о его прозрачности. Таким образом, правильно полученное соотношение $R_e = \delta T 2\Gamma$ при подстановке в выражение (3) для оптической толщины не столь сильно изменит оптическую прозрачность, как это следует из неверного соотношения (3а).

Длительность излучения с учётом движения границы фотосферы

Для правильной связи измеряемой длительности всплеска δT с длительностью импульса в сопутствующей системе необходимо учитывать релятивистские преобразования и результаты, полученные в работах [3,4]. В частности, важен тот факт, что при расширении фаербола граница непрозрачности, после которой начинается фотосфера, движется к центру источника в сопутствующей потоку системе координат. В системе, связанной с расширяющейся оболочкой (этот термин употребляется в том же смысле, как и в примере I), встречная скорость движения фронта может быть также релятивистской. Достаточно вспомнить пример стационарной задачи [4], в которой такая граница, соответствующая определённому радиусу, оказывается неподвижной относительно центра оболочки. Согласно (1), величина этого радиуса зависит от \dot{E} и, следовательно, ему может соответствовать такой же лоренц-фактор, как и для потока при том же радиусе.

Рассмотрим следующий пример. Пусть система K' жёстко связана с гипотетической оболочкой переменной толщины, движущейся вдоль оси X системы K по направлению к наблюдателю со скоростью V , причём, изменение толщины оболочки вызвано перемещением границы фотосферы (см. рис. 2). В момент $t = t' = 0$ их начала совпадают, т.е. $x = x' = 0$. В этой системе граница фотосферы (т.е. условная граница оболочки) $C'F'$ движется в обратную сторону со скоростью v' (толщина оболочки при этом уменьшается), а в момент $t = t' = 0$ она совпадала с передней границей стенки $B'D'$ и толщина оболочки

составляла $A'B' = \ell_0$. Вдоль оси X расположены наблюдатели с синхронизированными часами. Будем называть первым событием начало излучения границы прозрачности $F'C'$, когда она занимает положение $B'D'$ в момент $t = t' = 0$. Из (5) находим, что оно имеет координаты и время в системе K' : $x'_1 = \ell_0$, $t'_1 = 0$, а в системе K: $x_1 = \ell_0/\Gamma$, $t_1 = 0$. Второе событие – граница фотосферы достигла задней стенки оболочки и излучение прекратилось. Координаты этого события, согласно (5), в K' : $x'_2 = 0$, $t'_2 = \ell_0/v'$, в K $x_2 = vt_2$, $t_2 = \ell_0\Gamma/v'$.

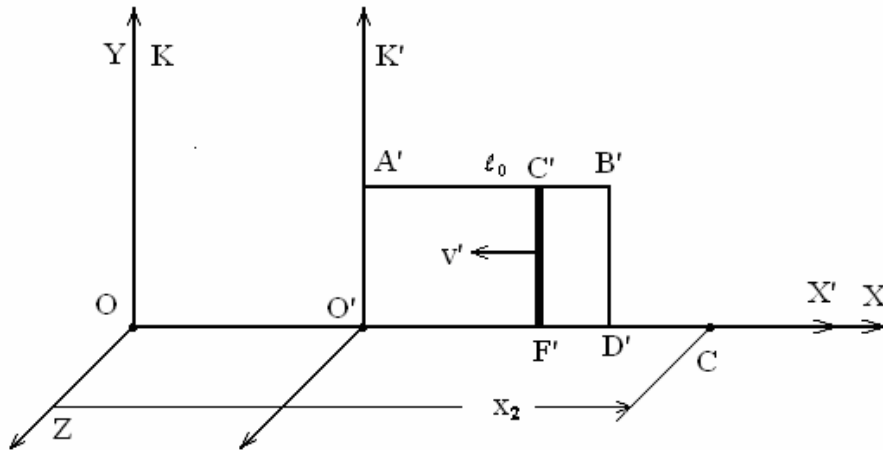


Рис. 2. Жирная линия $C'F'$ – переменная граница прозрачности фаербола в произвольный момент времени. $B'D'$ – положение фотосферы в момент $t' = 0$, т.е. когда точки O и O' совпадали.

Для всех неподвижных наблюдателей, достаточно удалённых от источника, длительность излучения будет одинаковой. Однако среди них есть такой (в т. С), левее которого (т.е. ближе к началу оси X) длительность будет тем короче, чем ближе наблюдатель к началу оси X. Это означает, что в момент прекращения излучения граница фотосферы уже была справа от этого наблюдателя. Предполагается, естественно, что излучение направлено только в положительную сторону оси X. Таким образом, когда часы неподвижного наблюдателя в точке x_2 показывали $t_2 = \ell_0\Gamma/v'$, он зафиксировал конец излучения. Найдём показания его часов, когда он отметил начало излучения. По его данным источник находился на расстоянии $x_1 = \ell_0/\Gamma$ от начала его системы в момент $t=0$. Следовательно, его часы показывали тогда $t_0 = (x_2 - x_1)/c$. Весь интервал наблюдения равен:

$$\delta T = t_2 - t_0 = \frac{\ell_0\Gamma}{v'} - \frac{v}{c} \frac{\ell_0\Gamma}{v'} + \frac{\ell_0}{\Gamma c} \quad (8)$$

или приблизительно $\delta T \approx 3\ell_0/2\Gamma c$, если $v' \approx c$.

Заключение

Если учесть всё сказанное выше (а также выражение (8)), то для решения проблемы компактности необходимо предположить, что лоренц-фактор релятивистского движения должен быть на несколько порядков больше, чем предполагалось ранее (т.е. $\sim 10^2$). Это очень жёсткое требование к модели фаербола, учёт которого должен привести к более высоким значениям плотности и количеству выделяемой энергии при взрыве. Значительное

завышение энергии, по-видимому, не является сейчас достаточно обоснованным. Этот факт стимулирует модернизацию модели фаербола, вероятно, таким образом, чтобы наличие в спектре γ -квантов высокой энергии не отождествлялось с прозрачностью источника.

Литература

1. Постнов К.А. УФН, 1999, №5, с. 545-558.
2. Blinnikov S.I. 2000, Surveys High Energ. Phys. 15, 37 (astro-ph/9911138)
3. Goodman J. Astrophysical Journal, 1986, vol. 308, p. 47-50.
4. Paczynski B. Astrophysical Journal, 1986, vol. 308, p. 43-46
5. Piran T. Preprint astro-ph/9810256
6. Piran T. Preprint astro-ph/9401031.
7. Piran T., Shemi A, Narayan R. MNRAS, vol. 263, p.261, а также препринт astro-ph/9301004.

УДК 21.382-541.5

Горбань А.Н., Кравчина В.В., Гомольский Д.М.

ФОРМИРОВАНИЕ БЫСТРОВОССТАНАВЛИВЮЩИХСЯ КРЕМНИЕВЫХ СИЛОВЫХ ДИОДОВ

В работе проводилось исследование зависимости времени восстановления при отжиге диодных структур после их облучения электронами различной энергии 4 и 10 МэВ с дозами $6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ и $8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Диоды с минимальным временем восстановления $t_{\text{tr}} = 0,2 - 0,3 \text{ мкс}$ и максимальным коэффициентом формы K_{f} , тока восстановления получены при отжиге структур после облучения электронами энергией 4 МэВ и дозой $6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. Оптимизация состава рекомбинационных центров и времени восстановления на диодных структурах заключается в оптимизации отношения концентрации дивакансии $E_3(0,37)$ к концентрации остальных дефектов.

Одним из способов регулирования времени жизни носителей заряда в полупроводниках является электронное облучение [1-4]. Такой способ не вносит дополнительных загрязнений, поддается большему контролю и унификации, чем технология диффузии золота и платины. Это представляется особенно важным при изготовлении диодных структур. В процессе облучения кремния электронами высокой энергии в запрещенной зоне кремния появляется несколько энергетических уровней, связанных с образующимися дефектами — вакансиями (V) и собственными междоузельными атомами (I). При этом междоузельные атомы вступают в реакции замещения с некоторыми примесями [3], вытесняя их в междоузельное положение (C_i и B_i). Вторичные дефекты, мигрируя в кремнии, в свою очередь вступают в различные реакции, образуя устойчивые при комнатной температуре дефекты. К ним относятся комплексы углерод-кислород C_iO_i , (K-центры) с $H(0,36)$, пары бор-кислород B_iO_i с $E(0,25)$, пары бор-бор B_iB_s с $H(0,30)$ и метастабильные комплексы углерод-углерод C_sC_i с $E(0,1/0,17)$ и $H(0,05/0,09)$ [3]. Вакансии трансформируются в комплексы вакансия-кислород V-O (A-центры) с $E_1(0,17)$ и дивакансии (V_2^-) с $E_2(0,23)$, $E_3(0,4)$ и $H_1(0,21)$ [3,4]. При этом соотношение стабильных радиационных дефектов в кремнии сильно зависит от примесного состава исходного кристалла. Здесь и далее энергия E определяется положением энергетического уровня дефекта относительно дна зоны проводимости E_c , а H — энергия относительно потолка валентной зоны E_v . Энергия выражена в эВ. Нестационарная емкостная спектроскопия глубоких уровней (НЕСГУ) позволяет производить количественную оценку сечения захвата уровня σ_n , энергии

активации уровня E_t (положение уровня в запрещенной зоне), концентрации ловушек N_t . Для определения этих параметров использовали соотношения, приведённые в работе [4]. Наиболее важные параметры силовых полупроводниковых приборов – это прямые падения напряжения во включенном состоянии, пробивные обратные напряжения, время t_{rr} и ток I_{rr} обратного восстановления, коэффициент формы тока обратного восстановления K_{rr} , определяемый как [4]:

$$K_{rr} = \left(\frac{di}{dt} \right)_s / \max \left[\left(\frac{di}{dt} \right)_F \right], \quad (1)$$

где $(di/dt)_s$ – скорость изменения анодного тока на фазе нарастания импульсного тока обратного восстановления; $(di/dt)_F$ – скорость изменения анодного тока на фазе спада импульсного тока обратного восстановления.

В работах [1,4] показано, что прямое падение напряжения является функцией времени жизни неосновных носителей заряда (ннз) при высоком уровне инжекции τ_{HL} , а время восстановления зависит от τ_{HL} , но в основном определяется временем жизни ннз при низком уровне инжекции τ_{LL} . Большое значение τ_{HL} определяет малую величину прямого падения напряжения, малое значение τ_{LL} – быстрое восстановление. Большая величина отношения τ_{HL}/τ_{LL} желательна для достижения хорошего соотношения между прямым падением напряжения и временем восстановления. Одновременно, большая величина отношения времени пространственной генерации τ_{SC} и τ_{LL} желательна для получения малых токов утечки.

Целью работы являлось определение технологических особенностей изготовления силовых приборов, позволяющих улучшить их частотные характеристики.

Методика эксперимента

В работе проводилось исследование различных серийных диодных структур ООО "Элемент-Преобразователь", которые формировались на пластинах толщиной 270 – 350 мкм из кремния n-типа с удельным сопротивлением 40 - 45 Ом·см. Со стороны анода проводилась диффузия бора с алюминием на глубину 60 – 110 мкм, а со стороны катода - диффузия фосфора на глубину 50 – 70 мкм. Одновременная диффузия акцепторной и донорной примеси проводилась при температуре 1250 °С с помощью легированных окисных пленок. После диффузии в пластины кремния определялось распределение легирующей примеси по глубине при помощи послойного шлифования диффузионной области и замера изменения удельного сопротивления. Омические контакты анода и катода получали путем нанесения слоёв никеля и их последующих температурных обработок. Далее готовые структуры, с целью модификации времени жизни носителей заряда, облучали по стандартной технологии [4] моноэнергетическими электронами с энергиями 4 и 10 МэВ с дозой электронной обработки соответственно $6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ и $6 \cdot 8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Структуры подвергались термическому отжигу при температурах 350 до 400 °С. Время и температура отжига выбирались из необходимости задания оптимальных значений времени жизни неосновных носителей заряда и напряжения при прямом включении. В процессе изготовления диодных структур проводили замеры их основных параметров. НЕСГУ спектры получали на измерительном комплексе DLS-82E.

Путем выбора энергии электронов для облучения структур и условий отжига радиационных дефектов можно оптимизировать отношение концентрации отдельных дефектов и время восстановления диодных структур. Оптимальное сочетание параметров должно обеспечивать требуемые значения напряжения при прямом включении тока и малое время восстановления в

случае переключения направленности напряжения питания на противоположное.

Результаты эксперимента

Для повышения точности идентификации глубоких уровней были сняты спектры в режиме импульсов основных носителей заряда (ос.н.з) и в режиме инжекции неосновных носителей заряда (ннз). При отрицательных значениях напряжения смещения $U_r = -4,0$ В и отрицательных значениях импульса основных носителей $U_1 = -0,5 - 1,0$ В обеспечивается случай обеднения, и наблюдаемые спектры соответствуют ловушкам основных носителей заряда в кремнии n-типа. В кристалле после облучения определяются следующие доминирующие ловушки: E-центры, дивакансии, A- и K- центры. После снятия серии спектров, соответствующих различным скоростям термической эмиссии, и построения графиков в координатах Аррениуса, производилась идентификация глубоких уровней. Рекомбинационные центры (РЦ), наблюдаемые в диодных структурах после их облучения в режиме ос.н.з., были идентифицированы как ловушки с уровнями $E_1(0,17)$, $E_2(0,23)$, $E_3(0,37)$ и $E_4(0,43)$ [1]. Перезарядку уровней в режиме инжекции в базу неосновных носителей заряда исследовали при подаче положительных импульсов $U_1 = +1,5 - +3,0$ В. В этом случае для исследуемых структур дополнительно наблюдаются основные пики $H_1(0,21)$, $H_2(0,28)$ и $H_3(0,32)$, соответствующие ловушкам н.н.з.

Модификация рекомбинационных центров, полученных при облучении e^- энергией 10 МэВ и дозе $6 - 8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ подробно описывается в работе [4]. При отжиге структур происходит увеличение до максимума, а затем уменьшение концентрации и отжиг ловушек A-центров $E_1(0,17)$. Наряду с изменением концентрации A-центров происходит одновременное уменьшение концентрации ловушек $E_4(0,43)$, соответствующих E-центру и увеличение концентрации дефектов с уровнем $E_3(0,37)$. В условиях отжига структур после облучения e^- энергией 10 МэВ и дозой $8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ происходит преимущественное формирование уровней дивакансии $E_3(0,37)$ с переходом из двухзарядного отрицательного состояния в однозарядное $V_2^{-/}$ и $H_1(0,21)$, с переходом из нейтрального состояния в положительное $V_2^{0/+}$, а также K-центров $H_2(0,35)$.

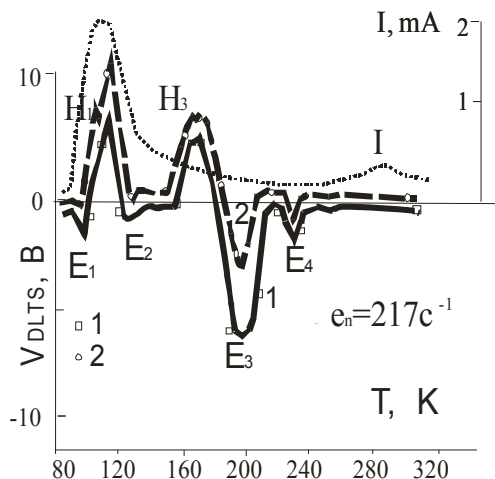


Рис.1. Особенности формирования дефектов в процессе оптимального отжига структур после облучения e^- энергией 10 МэВ и дозой $8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. 1 обозначены спектры НЕСГУ для структур со шлифованной, а 2 – полированной травлением поверхностью пластин. I обозначено изменение термостимулированного тока утечки.

При НЕСГУ исследовании диодных травленных структур кремния непосредственно после облучения электронами с энергией 4 МэВ наблюдается образование преимущественной концентрации ловушек основных и неосновных

носителей заряда в более высокотемпературной области 300 - 220К, чем после облучения электронами с энергией 10 МэВ (240 -79К). При отжиге на начальных промежутках времени происходит образование ловушек с меньшими энергиями, в том числе и дивакансии $E_3(0,37)$. Поскольку рекомбинационный центр дивакансии $E_3(0,37)$ имеет одну из максимальных температур отжига (350 °С), что позволяет во время формирования дивакансии $E_3(0,37)$ отжечь дефекты для неосновных носителей заряда типа К-центров с меньшей температурой отжига. При таких термических перестройках дефектов образуются центры $H(0,21)$, но их концентрация при оптимальном времени жизни н.н.з. значительно меньше, чем в случае облучения 10МэВ, когда изначально концентрация этих центров высокая.

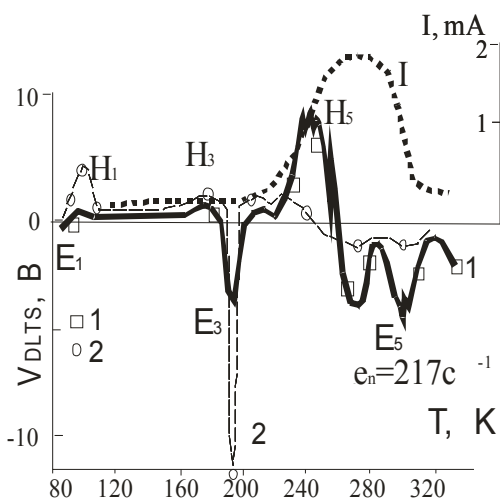


Рис.2. Особенности формирования дефектов в процессе оптимального отжига структур после облучения e^- энергией 4 МэВ и дозой $6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. 1 обозначены спектры НЕСГУ непосредственно после облучения, а 2 – после отжига. I обозначено изменение термостимулированного тока утечки.

Таким образом, для 4 МэВ оптимальное время отжига составляет 60-80 минут, в течении которого происходит образование спектра дефектов с преобладанием $E_3(0,37)$, где их концентрация составляет 80% от общего количества рекомбинационных центров. Такая однородность дефектов позволяет улучшить время восстановления структур после обработки электронами с энергией 4 МэВ (относительно структур после обработки электронами с энергией 10МэВ) до 0,2-0,3 мкс и менее (см. табл.2). Поэтому оптимизация дефектного состава и времени восстановления диодных структур заключается в оптимизации отношения концентрации дивакансии $E_3(0,37)$ к концентрации остальных дефектов. В этом случае необходимо использовать шлифованную поверхность и формирование радиационных дефектов при помощи облучения электронами энергиею 4 МэВ. Максимальный коэффициент формы тока обратного восстановления $K_{\text{т}}$ наблюдается для структур после облучения электронами энергией 4 МэВ и дозой $6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$.

Для ИК- детекторов и других приборов, работающих в ИК- диапазоне, где фоточувствительность в диапазоне (1-5 мкм) обеспечивают уровни дивакансии в зарядовом состоянии +1, оптимизация дефектного состава и времени восстановления диодных структур заключается в оптимизации отношения концентрации дивакансии $H_1(0,21)$ к концентрации остальных дефектов. Поэтому при формировании структур ИК- детекторов необходимо использовать травленную поверхность и облучение электронами энергиею 10 МэВ. В работе [4] при исследовании времени восстановления на структурах, где применялись процессы травления поверхности, наблюдается второй пик всплеска тока

восстановления. Так как время восстановления увеличивается с возрастанием концентрации дефектов $H_1(0,21)$, то появление второго пика тока восстановления происходит из-за образования на этих структурах максимума концентрации дефектов $H_1(0,21)$.

Таблица 1

Энергия и доза электронов при облучении структур	4 МэВ, $6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$	10 МэВ, $8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$
Параметры диодных структур Д112 (р ⁺ -n-n ⁺)	Тип пластин кремния КОФ 40 -45	
Время жизни τ_p в базе до облучения электронами	20-30 мкс	20-30 мкс
Время жизни τ_p в базе после облучения электронами	<0,1 мкс	0,2 мкс
Время и температура отжига., 350°C	60-80мин	20-30мин
Время жизни τ_p в базе после отжига	0,7- 0,9 мкс	0,9-1,3 мкс
Напряжение при прямом включении, ($I_f=50 \text{ A}$)	1,7 В	1,7 -2,1 В
Ток восстановления, I_{tr} ($\delta I/\delta t = 50 \text{ A/c}$, $T = 125 \text{ }^\circ\text{C}$)	15 А	18 А
Время восстановления, t_{tr} ($\delta I/\delta t = 50 \text{ A/c}$, $T = 125 \text{ }^\circ\text{C}$)	0,2 -0,3 мкс	0,6 -0,8 мкс

Выводы. При проведении отжига структур, облученных электронами с различной энергией 4 и 10 МэВ, диодные структуры с минимальным временем восстановления, $t_{tr} = 0,2 - 0,3$ мкс сформированы после облучения электронами энергией 4 МэВ и дозой $6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. Оптимизация состава рекомбинационных центров и времени восстановления на этих диодных структурах заключается в оптимизации отношения концентрации дивакансии $E_3(0,37)$ к концентрации остальных дефектов.

Литература

1. Берман Л.С., Лебедев А.А. Емкостная спектроскопия глубоких центров. – Л.: Наука. – 1981. – 176 с.
2. Dmowsky K., Lepley B., Losson E., Bouabdellati M. A method to correct for leakage current effects in deep level transient spectroscopy measurements on Schottky diodes // Applied Physics – 1993. – V.-74, № 6. – P. 3936 – 3941.
3. Феклисова О.В., Ярыкин Н.А. Взаимодействие водорода с радиационными дефектами в кремнии р-типа проводимости // Физика и техника полупроводников. – 2001. – т.-35, вып.-12. – С. 1417 – 1422.
4. Горбань А.Н., Кравчина В.В., Коляда А.И., Гомольский Д.М., Солодовник А.И. Влияние обработок поверхности пластин Si на характеристики силовых диодных структур, облученных электронами // Радіоелектроніка Інформатика Управління.- В1(15).- 2006.-С.23-29.

КОНСТРУКЦИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АГРЕГАТА ФОРМОВКИ СТЕНОВЫХ БЛОКОВ ДЛЯ ОПРОБОВАНИЯ И НАЛАДКИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

На основании анализа функционирования агрегата для формовки стеновых блоков и его словесного описания определены алгоритм работы и основные требования к конструкции физической модели функционирования этого агрегата, при помощи которой возможны опробование и наладка алгоритма и программы для управляющего агрегатом автомата. Рис. 6, Ист. 6

Введение. Общая постановка задачи. Разработка программного обеспечения для управляющего автомата, осуществляющего управление узлом формовки стеновых камней, состоит из нескольких этапов. Одним из них является словесное описание функционирования узла формовки, позволяющее представить работу управляющего автомата в виде граф – схемы алгоритма функционирования [1].

На основании анализа функционирования агрегата формовки в составе комплекса БСДИ СМТ-251, приведенного в [2], возможно осуществление подробного словесного описания алгоритма функционирования агрегата формовки с учетом взаимных связей всех его узлов. На основании словесного описания условий работы управляющего автомата составляется граф – схема алгоритма его работы, дающая наглядное изображение его функционирования.

Как указывалось в [2], наличие физической модели узла формовки стеновых камней способствует более качественной и быстрой разработке алгоритма управления и его последующей доработки. Узел формовки состоит из следующих основных узлов (см. рис. 1): гидроцилиндра Ц5 спуска – подъема пуансона; гидроцилиндра Ц1 с мерным ящиком; гидроцилиндров Ц3 и Ц4 спуска – подъема матрицы; виброплощадки с электрическими вибраторами, гидроцилиндра подачи пустых поддонов Ц2. Для контроля пространственного положения всех перечисленных узлов и их согласованного перемещения в процессе изготовления изделий предназначены концевые выключатели SQ1 – SQ10.

Наличие перечня основных операций по перемещению элементов агрегата формовки, осуществляемых при его функционировании, позволит определить количество элементов – аналогов в физической модели [2], соответствующее реальным узлам, а также сформулировать основные команды управляющей программы. Требуемые сочетания состояний концевых выключателей укажут на необходимые логические условия, которые надо выполнять при разработке программы.

Очевидно, что перемещение основных узлов агрегата формовки должно адекватно отражаться на процессе перемещений элементов физической модели, так как перемещения элементов физической модели есть суть управления перемещениями узлов агрегата формовки.

Следовательно, для разработки алгоритма управляющей программы и требований к конструкции физической функциональной модели необходимо:

- дать подробное словесное описание пооперационной работы агрегата формовки с учетом назначения и функционирования узлов и концевых выключателей, изображенных на рис. 1;
- на основании словесного описания разработать граф – схему алгоритма программы управляющего автомата для агрегата формовки;
- в алгоритме указать операторы управляющих сигналов и операторы

проверки логических условий;

- на основании количества операторов управляющих команд определить количество элементов физической модели – аналогов гидроцилиндров, а на основании количества операторов логических условий определить количество и состояние выходов концевых выключателей;

- определить приемлемую компоновку и взаимное расположение элементов физической модели в пространстве;

- решить вопрос общей управляемости элементов физической модели в соответствии с алгоритмом функционирования.

Цель настоящей статьи состоит в словесном описании функционирования агрегата формовки стеновых блоков и разработке на основании этого описания граф - схемы алгоритма программы управляющего автомата, на основании которого сформулировать требования к конструкции физической модели функционирования узла формовки.

Описание пооперационного функционирования формующего агрегата. При описании функционирования агрегата использовались результаты полученных ранее хронометражных наблюдений и технические данные, приведенные в [3].

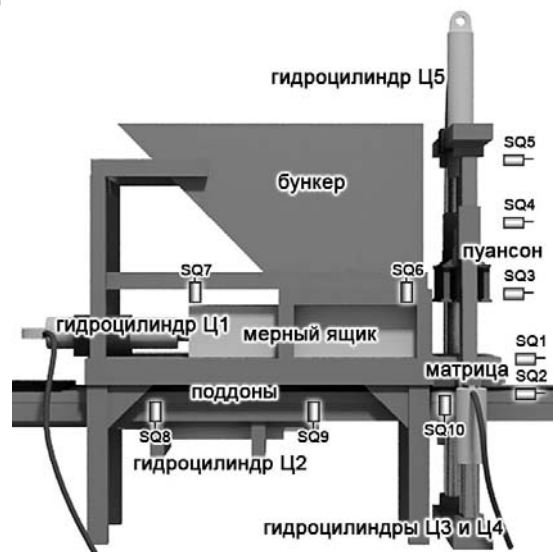


Рис.1. Основные узлы агрегата формовки

Цикл формовки начинается из исходного положения, при котором:

- пуансон поднят (шток Ц5 в крайнем вдвинутом положении - далее по описанию положение штоков цилиндров и направление их движения будет указано в соответствии с рис.1);

- матрица поднята (штоки Ц3 и Ц4 в выдвинутом положении);

- мерный ящик находится под бункером исходной смеси (шток Ц1 в крайнем левом (вдвинутом) положении);

- пустой поддон на вибростолу, при этом шток Ц2 в крайнем левом (вдвинутом) положении.

Положение узлов агрегата контролируется бесконтактными концевыми выключателями таким образом, что флажок, механически связанный с узлом, вызывает срабатывание концевой выключатель, контролирующей упоминаемую позицию. Например, если указано, что концевой выключатель SQ1 во включенном состоянии (в это время на его выходе присутствует сигнал логической единицы), это значит, что матрица находится в верхнем положении.

Контроль положения всех узлов агрегата осуществляется перед началом каждой операции. При контроле проверяется исходное состояние всех узлов

агрегата, при этом положительным результатом считается состояние, когда концевые выключатели имеют состояния выходов (наличие логического 0 или 1), указанные в табл. №1. В противном случае операция блокируется до восстановления требуемого состояния концевых выключателей.

Операция №1. Осуществляется контроль исходного состояния узлов агрегата. При положительном результате по команде «Пуск» матрица опускается гидроцилиндрами Ц3 и Ц4 на поддон, фиксируя его на вибростоле. Происходит срабатывание концевого выключателя SQ2.

Операция №2. Осуществляется контроль исходного состояния узлов агрегата. При положительном результате гидроцилиндром Ц2 включается движение мерного ящика на матрицу (вправо по рис.1). При перемещении мерного ящика в матрицу подается доза исходной смеси для формуемой партии изделий. При достижении крайнего правого положения срабатывает концевой выключатель SQ6.

Операция №3. Осуществляется контроль исходного состояния узлов агрегата. При положительном результате на определенное техпроцессом время включается предварительная вибрация вибростола. При этом мерный ящик находится над матрицей. По окончании заданного времени предварительная вибрация отключается.

Операция №4. Осуществляется контроль исходного состояния узлов агрегата. При положительном результате, после отключения предварительной вибрации, мерный ящик возвращается в исходное состояние гидроцилиндром Ц2, перемещаясь влево. Срабатывает концевой выключатель SQ7.

Операция №5. Осуществляется контроль исходного состояния узлов агрегата. При положительном результате гидроцилиндром Ц5 пуансон опускается вниз до касания поверхности исходного материала в матрице (контролируется концевым выключателем SQ4). При срабатывании концевого выключателя SQ4 переключается режим работы гидроцилиндра Ц5.

Операция №6. Осуществляется контроль исходного состояния узлов агрегата. При положительном результате, после включения концевого выключателя SQ4, дальнейшее опускание ползуна происходит при пониженном давлении в гидроцилиндре Ц5. Одновременно опускание сопровождается вибрацией вибростола. Происходит собственно процесс формовки изделия до срабатывания концевого выключателя SQ3, контролирующего крайнее нижнее положение пуансона и геометрический размер стенового камня «высота». При срабатывании SQ3 происходит остановка вибрации вибростола. Гидроцилиндр Ц5 запирается гидрозамком и остается прижатым к поверхности изделий.

Операция №7. Осуществляется контроль исходного состояния узлов агрегата. При положительном результате включаются гидроцилиндры Ц3 и Ц4 и, приподымая матрицу, выключают концевой выключатель SQ2, меняя состояние его выхода с логической единицы на логический нуль. До этого момента все время гидроцилиндр Ц5 заперт гидрозамком.

Операция №8. Осуществляется контроль исходного состояния узлов агрегата. При положительном результате после выключения концевого выключателя SQ2 включается «плавающий режим» гидроцилиндра Ц5 и под действием продолжающих подниматься гидроцилиндров Ц3 и Ц4 матрица перемещается вверх, захватывая через специальные зацепы свободно висящий пуансон, отрывая его от поверхности свежесформованных изделий. Этот подъем продолжается до срабатывания концевого выключателя SQ1 и остановки матрицы в верхнем положении. Пуансон лежит на матрице.

Операция №9. После включения концевого выключателя SQ1 включается гидроцилиндр Ц5 и подымает пуансон в исходное верхнее состояние, до срабатывания концевого выключателя SQ5.

Операция №10. После срабатывания концевого выключателя SQ5

включается гидроцилиндр Ц1 и при передвижении в крайнее правое состояние одновременно выдвигает из агрегата формовки поддон со свежесформованными изделиями, и подает на его место пустой поддон. Срабатывает концевой выключатель SQ9, а также концевой выключатель наличия поддона SQ10.

Операция №11. После включения концевого выключателя SQ9 происходит включение гидроцилиндра Ц1, который возвращается в исходное, крайнее левое положение до срабатывания концевого выключателя SQ8.

На этом цикл формовки одной партии изделий завершается.

Из словесного описания выделенных и перечисленных операций можно выделить следующие основные технологические операции, из которых состоит цикл формовки изделий:

Приведение всех узлов агрегата формовки в исходное состояние: пуансон поднят; матрица поднята; мерный ящик находится под бункером исходной смеси; пустой поддон на вибростоле;

спуск матрицы на установленный пустой поддон;

загрузка определенного количества исходной смеси посредством мерного ящика в матрицу и предварительное уплотнение исходной смеси;

опускание пуансона на матрицу;

операция формовки партии изделий;

распалубка отформованных изделий;

отгрузка поддона с отформованными изделиями + подача пустого поддона.

Таблица 1

Контролируемое положение или режим и обозначение концевого выключателя	Исх од. сос т.	Состояние логических уровней на выходе концевых выключателей										
		Порядковый номер операции										
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	№ 11
Матрица вверх SQ1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Матрица вниз SQ2	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Пуансон вниз SQ3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
«Пониженное давление» SQ4	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
Плавающий режим: SQ2=0, SQ1=0	0;1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Пуансон вверх SQ5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
Мерный ящик на матрице SQ6	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Мерный ящик под бункером SQ7	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Поддон захвачен SQ8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Поддон подан SQ9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Наличие поддона SQ10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Последовательность основных технологических операций в одном цикле формовки отображается структурной схемой, приведенной на рис. 2.

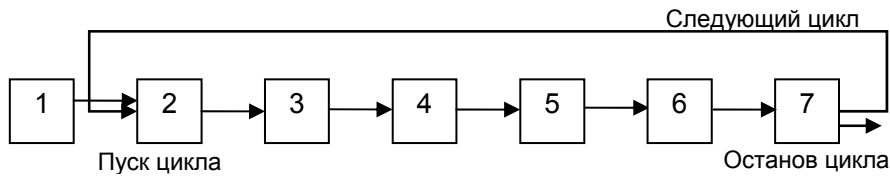


Рис.2. Последовательность основных технологических операций

Анализ основных технологических операций и состояний выходов концевых выключателей, приведенных в табл.1, позволяет выделить основные управляющие команды, исполнительный механизм и его действия при выполнении команды, а также сопровождающие эти действия состояния выходов концевых выключателей (в табл. 2 используется сокращение КВ). Результаты анализа сведены в таблицу 2.

Таблица 2

№ п / п	Наименование операции и управляющих команд в ней	Исполнительный механизм и его действия	Состояние выхода КВ
1	Приведение агрегата формовки в исходное состояние		
	1.1 - поднятие пуансона	Гидроцилиндр Ц5 - вверх	SQ5=1
	1.2 - поднятие матрицы	Гидроцилиндры Ц3 и Ц4 - вверх	SQ1=1
	1.3 – установка мерного ящика под бункер	Гидроцилиндр Ц1 - влево	SQ7=1
2	Опускание матрицы		
	2.1 – спуск матрицы на поддон	Гидроцилиндры Ц3 и Ц4 - вниз	SQ2=1
3	Загрузка исходной смеси в матрицу, предварительное уплотнение		
	3.1 – выдвижение мерного ящика	Гидроцилиндр Ц1 – вправо	SQ6=1
	3.2 – включение предварительной вибрации 3.3 - выключение предварительной вибрации	Электромагнитный пускатель	По времени
	3.4 – возврат мерного ящика	Гидроцилиндр Ц1 – влево	SQ7=1
4	Опускание пуансона		
	4.1 – спуск пуансона на матрицу	Гидроцилиндр Ц5 - вниз	SQ4=1
5	Формовка изделий		
	5.1 – спуск пуансона на пониженном давл.	Гидроцилиндр Ц5 – вниз	
	5.2 – включение вибрации	Электромагнитный пускатель	
	5.3 – выключение вибрации		SQ3=1

6	Распалубка отформованных изделий		
	6.1 - подъем матрицы	Гидроцилиндры Ц3 и Ц4 - вверх	SQ1=1
	6.2 – движ. пуансона в «плавающем режиме»	Гидроцилиндр Ц5 – вверх	SQ2=0 SQ1=0
	6.3 – выключение «плавающего режима»		SQ1=1
	6.4 – подъем пуансона	Гидроцилиндр Ц5 - вверх	SQ5=1
7	Отгрузка изделий + установка пустого поддона		
	7.1 – отгрузка отформованных изделий	Гидроцилиндр Ц2 – вправо	SQ9=1
	7.2 – установка пустого поддона	Гидроцилиндр Ц2 – вправо	SQ9=1
	7.3 – захват пустого поддона	Гидроцилиндр Ц2 – влево	SQ8=1

В соответствии с основными принципами цифрового управления [4,5], состояние выходов конечных выключателей обозначено как 1и 0, что предполагает наличие на выходах потенциала напряжения, соответствующего уровню логического нуля или единицы для конкретно применяемого микроконтроллера.

На основании данных таблицы №2 возможно графическое отображение структуры последовательности основных управляющих команд, позволяющих определить предварительную структуру алгоритма управляющей программы (см. рис. 3).

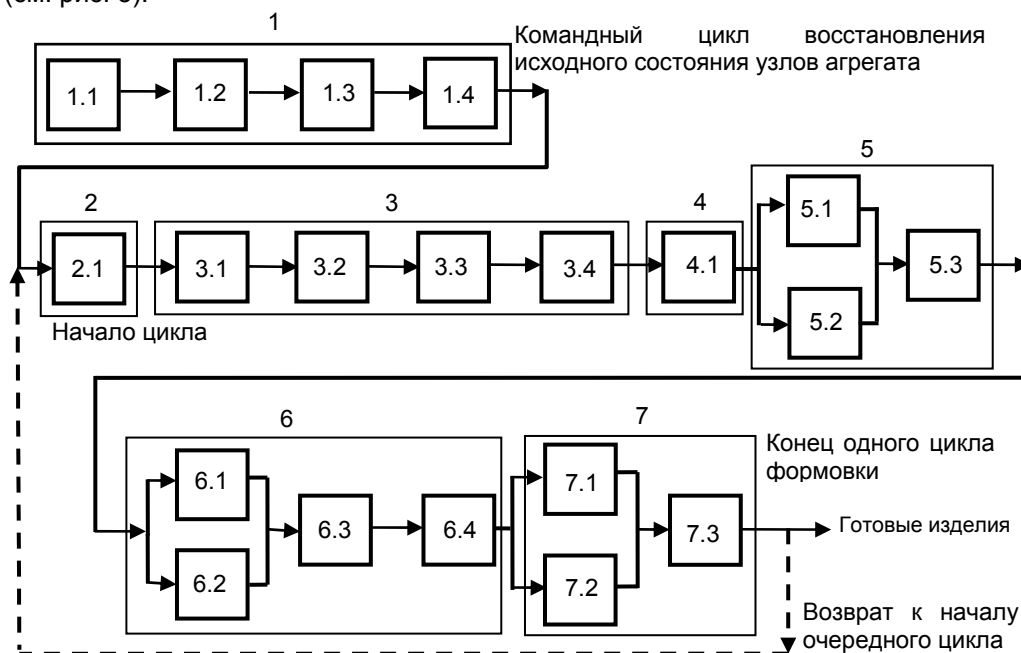


Рис.3. Структурная схема последовательности основных команд

Граф – схема алгоритма работы агрегата формовки на уровне основных технологических процессов изображена на рис. 4.

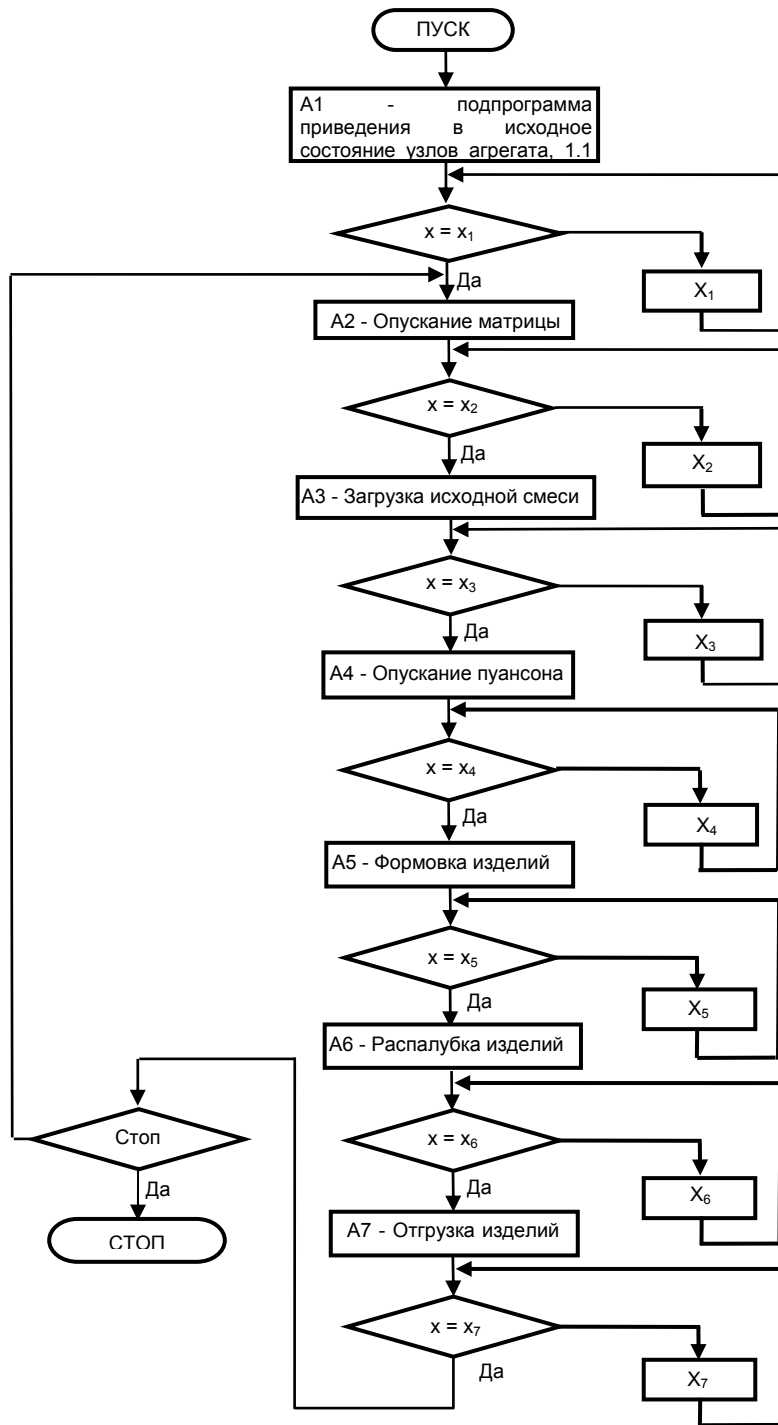


Рис. 4. Граф – схема

Алгоритм представляет собой вариант определенной последовательности операций, необходимой для реализации одного технологического цикла. Технологические операции при этом рассматриваются как отдельные управляющие команды. В отличие от структурной схемы последовательности основных команд (см. рис. 3), граф – схема алгоритма

содержит операторы исполнительных команд А1 – А7 и логические операторы условного перехода $x_1 – x_7$ по заданным условиям [1].

В качестве условия перехода от предыдущей операции (команды) к последующей (например А2→А3) используется условие равенства векторов состояний узлов агрегата в конце каждой операции - x , и векторов состояний узлов агрегатов, обязательных для каждой из операций: $x_1 – x_7$. Наличие такого контроля диктуется необходимостью предотвращения аварийных ситуаций, которые могут возникать при взаимных положениях узлов агрегата, не предусмотренных алгоритмом.

В случае несовпадения этих векторов состояний, алгоритм уходит на подпрограммы восстановления требуемых состояний $X_1 – X_7$, которые заносятся в исходные данные управляющей программы.

Требования к физической модели функционирования и конструкция агрегата формовки. Из табл. 2 и граф – схемы алгоритма следует, что для физического моделирования цикла основных операций по формовке изделий необходимо моделировать по исполнительным командам А1 – А7 перемещение в пространстве таких узлов агрегата формовки, как матрица, пуансон, мерный ящик и механизм выдачи готовых изделий. Каждый из этих узлов имеет одну степень свободы, ограниченную концевыми выключателями.

Наличие концевых выключателей является обязательным условием, позволяющим моделировать как отдельные, пооперационные перемещения узлов агрегата в режиме ручного управления, так и цикл формовки в режиме автоматического управления последовательностью команд. Кроме того, концевые выключатели позволяют моделировать векторы состояний узлов агрегатов, обязательных для каждой операции.

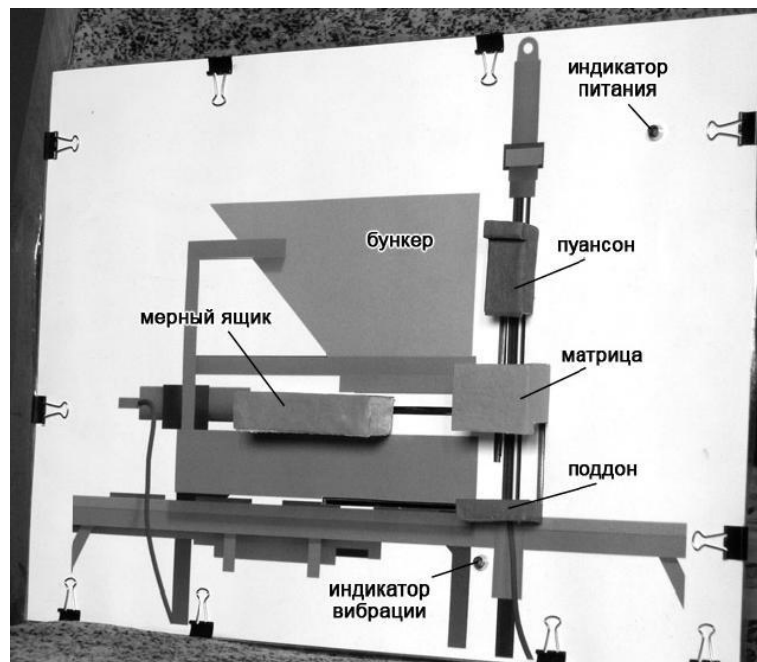


Рис. 5. Вид физической модели функционирования узла формовки

Такая операция, как предварительная вибрация, осуществляемая по выдержке времени, может моделироваться электронным реле времени и обозначаться в процессе моделирования световым или звуковым сигналом.

Для большей наглядности и с целью визуализации контроля над процессом моделирования и его результатами, физические аналоги гидроцилиндров механически связаны с макетами приводимых в действие узлов. Такими узлами являются: пуансон, матрица, мерный ящик и механизм смены поддонов (см. рис. 5).

С учетом небольшой потребляемой мощности и требований к надежности и быстродействию, устройство управления физической моделью функционирования выполнено по бесконтактной схеме на электронных ключах. Это решение позволило осуществлять управление моделью в процессе экспериментов с помощью виртуального пульта управления, эмулируемого при помощи ноутбука. Такое решение позволило также сократить аппаратную часть модели, включающую собственно пульт управления с кнопками и цепями его подключения к устройству управления.

В целом применение современных технических решений позволило сделать весь комплекс физической модели функционирования агрегата формовки мобильным (см. рис. 6). Это решило много проблем, связанных, в частности, с поиском лабораторных помещений для проведения экспериментов. Применение микроконтроллерных средств управления [6] позволило резко уменьшить размеры управляющего автомата и одновременно расширить его функциональные возможности при реализации и отладке программного обеспечения.

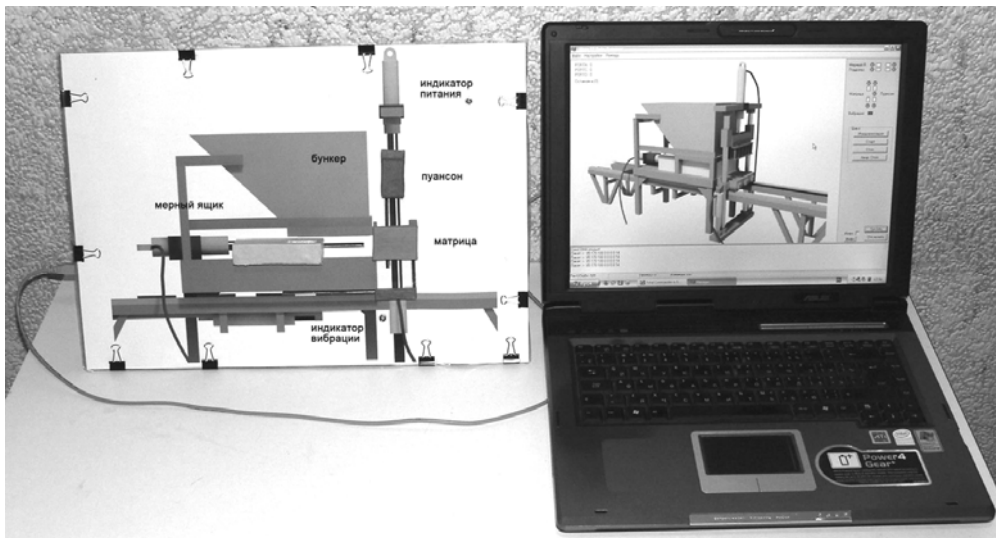


Рис. 6. Комплекс физической модели функционирования агрегата формовки

Выводы

- составлено подробное словесное описание функционирования агрегата формовки, дающее представление о назначении и последовательности одиннадцати технологических операций и их взаимосвязях в процессе формовки изделий;

- установлены требуемые уровни логических сигналов 1 и 0 на выходах 10 концевых выключателей SQ1 – SQ10 при прохождении одного полного цикла формовки изделий;

- разработана граф – схема алгоритма программы управляющего автомата на уровне 6 операторов управляющих сигналов и 7 операторов условного логического перехода и определены их взаимосвязи;

- на основании количества операторов управляющих команд установлено, что физическая модель должна иметь четыре элемента – аналога гидроцилиндров с одной степенью свободы каждый, соответствующих матрице, пуансону, мерному ящику и механизму смены поддонов;
- решено в основу компоновки физической модели положить конструкцию формирующего агрегата и воспроизвести пространственное расположение его основных узлов с уменьшением их реальных размеров в 25 раз;
- признано целесообразным использовать в качестве цифрового устройства для программной реализации алгоритма микроконтроллер ATmega32 фирмы Atmel;

Литература

1. Борисенко О.А. Керуючі системи: навч. посібник. – Київ: Центр навчальної літератури, 2004. – 216 с.
2. Ульшин В.А., Горбунов А.И., Карлов В.В., Карлов Е.В. Разработка элемента физической модели с программно – управляемым блоком для формирующего агрегата комплекса по изготовлению строительных изделий. Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації. - №2(13). – 2006. – С. 86-92.
3. Техническая и эксплуатационная документация на гидросистему комплекса производства БСДИ СМГ – 251. - 32. с.
4. Управляющие вычислительные комплексы: Учеб. пособие / Под ред. Н.Л. Прохорова. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2003. - 352 с.
5. Густав Олссон, Джангуидо Пиани. Цифровые системы автоматизации и управления. – СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.
6. DataSheet ATmega32. Данные фирмы–производителя на сайте <http://www.atmel.com>.

УДК 681.3:621.3

Демиденко Е.А., Кисарин О.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ В ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ

Представлен новый подход к цифровым интегральным схемам с применением оптических связей, описан макет оптоэлектронной цифровой интегральной схемы на оптоэлектронных логических элементах типа НИЛИ-НЕ. Ист. 11.

Введение. В современной электронике назрела необходимость перехода от электронных типов логики, применяемых в интегральных схемах, к оптоэлектронным логическим элементам, устройствам и оптоэлектронным цифровым интегральным схемам (ОЦИС) на их основе, в которых носителем потоков цифровых сигналов (ЦС) являются оптически нейтральные фотоны. Основы функционального и схемотехнического применения логики такого типа изучены и развиты в работах научно-исследовательской школы профессора, д.т.н. Кожемяко В.П., Винницкий НТУ [1].

Постановка проблемы. Известно, что технология современных межкомпонентных соединений (МС) на базе металлических проводников обеспечивает частотный диапазон ядра процессора (ЯП) цифровых БИС в диапазоне 3...5 ГГц (при минимальном размере элемента, например, ширины проводника в 0,25...0,13мкм и длине металлических линий связи (ЛС) менее 1000мкм) [2]. Однако частота переключения системной шины БИС ПК (например РС1), связывающей ЯП с цифровыми схемами и устройствами, находящимися

на периферии БИС, не превышает 0,3..0,5ГГц. Это обусловлено увеличением значений емкости C и сопротивления R ($t_{\text{зад}} \sim RC$) более длинных ЛС. Частоты переключения элементов БИС (ВЧ транзисторов) охватывают УВЧ диапазон (0,3...3ГГц), но близки к предельным значениям из-за физических ограничений их характеристик с учетом физикотопологических характеристик схем логики (минимальный размер, потребляемая мощность, задержка/работа переключения, др.) [1]. Указанные ограничения имеют все типы электронных логик (T^2 ЛШ, ЭСЛ, I^2 Л, К-МОП, их комбинации) по причине использования при передаче цифровых сигналов (ЦС) заряженных частиц - электронов по металлическим направляющим средам (НС). Металлические НС (при росте разрядности шин до 16...64) занимают на больших интегральных схемах (БИС) более 70% ее площади, на их перезарядку (при переходе от состояния «0» в «1» и наоборот) расходуется до 80% подводимой электрической мощности. Эти ограничения носят нарастающий характер при увеличении рабочей частоты БИС более 0,3ГГц для шин, данных, адреса, управления (ШД, ША, ШУ соответственно) из-за: ухудшения характеристик распространения сигнала, роста значений $t_{\text{зад}}$, явления «гонки сигналов», повышения потребления мощности, увеличения значений электромагнитных наводок в металлических НС (повышают вероятность сбоя БИС) [6].

Анализ проблемы или пути решения поставленной проблемы.

Вывод по решению проблем, рассмотренных выше, очевиден - необходима замена электрического носителя и металлических НС связью иной природы, в меньшей степени подвергнутой указанным ограничениям. Одним из видов связи, обладающих такими свойствами, является оптическая связь, которая широко используется в виде волоконно-оптических кабелей (ВОК) в телекоммуникационных цифровых сетях [6]. Этот тип связи имеет максимально возможную скорость распространения электрически нейтральных фотонов, широкую полосу пропускания - до 10^{16} Гц, использует диэлектрические материалы на основе прозрачных для излучения соединений - стекло, пластмасс, имеет высокие значения помехозащищенности и изоляционных свойств, обеспечивает гальваническую развязку между частями оборудования. Применение быстродействующих твердотельных излучателей, фотоприемников, соединенных с ВОК волоконно-оптическими пластинами (ВОП), позволяет решить часть рассмотренных выше проблем.

Известно, что ведутся различные исследования по проектированию БИС без применения металлических проводников, с максимальным ограничением по количеству электронных составляющих. К ним относят, например, такие оптоэлектронные интегральные схемы, как пульсиры - набор кремниевых пластин, связанных между собой оптическим каналам с помощью фотоприемников и фотопередатчиков [2]. Пластина является совокупностью однобитовых процессоров (ОП) на электронных элементах, каждый из которых имеет восемь информационных электрических связей - шин, по которым реализуется вход/выход данных от/к соседних/соседним ОП одного пульсира. Пульсир выполняет функции логической обработки, передачи и хранения информации. Но логическая обработка осуществляется на базе стандартных (помехонеустойчивых) электронных логик: T^2 ЛШ, К-МДП, I^2 Л, ЕЗЛ, также связи между ОП имеют электронную природу, которая выполнена в виде металлических проводников, неустойчивых к электромагнитному воздействию. Таким образом, пульсиры включают в себя как электрический (логика и ОП) так и оптоэлектронный (прием и передача оптических сигналов) блоки, что не решает проблему в целом [7].

На наш взгляд в современной электронике назрела необходимость перехода от электронных типов логики, применяемых в БИС, к оптоэлектронным логическим элементам (ОЛЭ), устройствам (ОЛУ) на их основе,

оптоэлектронным цифровым интегральным схемам (ОЦИС), в которых отсутствуют длинные металлические ЛС. Нами был разработан ОЛЭ [10] с минимальным использованием электронных узлов (элементов), работающих в маломощных режимах, результаты исследований представлены в [9].

Предложенные конструкции. После исследований макетов маломощных ОЛЭ, ОЛУ эксперименты были продолжены, и на основе экспериментальных исследований с макетами ОЛЭ, ОЛУ [9], а также моделирования их схем в ПС МАЭС-П, нами была разработана конструкция ОЦИС [11]. Логические преобразования в ОЦИС осуществляются непосредственно над оптическими ЦС без применения цифровых ИС, для связи между ними используются волоконно-оптические каналы и пластины.

Таким образом, исключена необходимость перехода от оптических сигналов к электрическим ЦС для осуществления логической обработки электронными схемами логики (T^2 ЛШ, ЕСЛ, I^2 Л, N-МОП, К-МДП, др.), так как логические преобразования осуществляются непосредственно над оптическими ЦС благодаря использованию микромощных адаптивных ОЛЭ выбранного базиса НИЛИ-НЕ [5,6]. Данные ОЛЭ имеют исключительно оптические входы и выходы, элементы конструкции ОЦИС выполнены в виде матриц регулярных структур светодиода (СД) и интегрального фотоприемника (ИФП) [7], которые выполняются по планарным технологиям. В предложенной конструкции используются подложки: арсенид-галлиевые для СД и кремниевые для ИФП (на основе p-i-n фотодиода интегрированного в высокочастотный n-p-n транзистор [7]). Последние значительно уменьшают расходы на их производство за счет использования Si и позволяют легко получить диэлектрические соединения типа SiO_2 на поверхности подложки (для изоляции СД от ИФП, нанесения прозрачных, согласующих слоев, линз для повышения эффективности вывода излучения из СД). ОЛЭ в ОЦИС имеют исключительно оптические входы и выходы, связи выполнены на основе элементов оптопар (СД, ИФП и ВОК малых размеров), которые нечувствительны к внешним, внутренним электромагнитным помехам. Между собой ОЛЭ гальванически развязаны, соединение их электрических связей и подложек осуществляется методом перевернутого кристалла (или прямого сращивания). В результате выполнения устройств на базе предложенной ОЦИС [10], обеспечиваются преимущества оптической связи [1,3,4]: улучшения помехоустойчивости, статических, динамических, топологических характеристик.

Выводы. 1. Особенностью применения оптической связи является возможность передачи по одному ВОК множества сигналов на разных длинах волн λ - DWDM (технология уплотнения потока оптических ЦС за счет использования разных длин волн λ) [11], что может упростить организацию многоуровневых шин (ШД, ША, ШУ) современных цифровых устройств управления (УУ), вычислительных устройств (ВУ).

2. В предложенной конструкции ОЦИС (в отличие от существующих оптоэлектронных устройств, использующих цифровые ИС) исключена необходимость перехода от оптических к электрическим ЦС. Используемые ОЛЭ в ОЦИС имеют исключительно оптические входы и выходы, могут в некоторой степени быть адаптированы к уровням мощности оптических ЦС.

3. Элементы конструкции ОЦИС могут быть выполнены в виде матриц регулярных структур СД и интегральных фотоприемников, которые изготавливаются по планарным технологиям.

4. Замена "длинных" металлических ЛС многоуровневых шин внутри БИС на оптическую среду (в пределах единого оптического интерфейса в ОЦИС) позволит использовать широкие возможности технологии DWDM (уплотнение потока оптических ЦС за счет использования разных длин волн λ), что упростит его организацию, обеспечит преодоление большей части

конструктивных и технологических ограничений ИС при сохранении основ прежней технологии изготовления полупроводниковых приборов.

Таким образом, предложенное техническое решение позволяет изменить аппаратное оформление устройств обработки потоков оптических ЦС с выходов волоконнооптических линий связи (с электронных на основе ИС на оптоэлектронные на основе ОЦИС), повысить быстродействие их логической обработки и помехоустойчивость аппаратуры, расширить функциональные возможности, сократить энергопотребление.

Литература

1. Кожемяко В.П., Тимченко Л.И., Лысенко Г.Л., Кутаев Ю.Ф. Функциональные элементы и устройства оптоэлектроники. - К.:УМК ВО, 1990.- 251с.
2. Корпорация Intel представляет прототип высокоскоростного оптического интерфейса ввода/вывода для межкомпонентных соединений кристалл-кристалл, С.3-8.[http: www. Intel Silicon Photonics.Jornal Technology@Intel](http://www.IntelSiliconPhotonics.JornalTechnology@Intel), april 2004, Ian Young.
3. Гребнев А.К., Гридин В.Н., Дмитриев В.П. Оптоэлектронные элементы и устройства. - М.: Радио и связь, 1998.- 336с.
4. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника.- М.:Радио и связь, 1989.- 360 с.
5. Основы оптоэлектроники. Пер.с яп. под ред. К.М.Голанта. - М.: Мир, 1988.-С.287
6. Каток В.Б., Левандовский В.Г. Новые оптические технологии для транспортных сетей связи Украины // Труды Междунар. конф. "Сучасний стан та перспективи використання ВОЛЗ. Первинні мережі України".-К.: ВАТ Укртелеком, 2002.- С.17-34
7. Лысенко Г.Л., Ашраф И.М., Алькейси. Сеть с параллельной битовой коммутацией// Труды 3-ей междунар. конф. Оптоэлектронные Информационные Технологии "Фотоника ОДС-2005".-Винница, 2005.-С.55-56.
8. Демиденко Е.А., Кисарин О.А., Проскурин Н.П. Исследование маломощных оптоэлектронных элементов для обработки информации// Науковий вісник. Праці Луганського відділення міжнародної академії інформатизації.Луганськ, 2005.-№2.- С.47-48.
9. Декл. Пат. №68540А. Україна МКИ G02F 3/00. Інтегральний фотоприймальний пристрій /Білявська О.С., Костенко В.Л., Проскурін М.П. (Україна). №20033076496; Заявл.11.07.2003; Опубл. 16.08.2004, Бюл.№8-3 с.
10. Висновок про видачу деклараційного патенту №12148/1 від 07.09.2005 на корисну модель, заявка у 2005 00239 від 11.01.2005, Україна. Цифровий пристрій з оптоелектронним блоком /Проскурін М.П., Білявська О.С., Демиденко О.О. (Україна).
11. Свешников Г.С. Интегральная оптика. - К.: Наукова думка, 1988.- 168с.

УДК 681.516

Денищик С.С., Литвинов А.И.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕАЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

В работе рассматриваются проблемы построения оптимальных регуляторов с получением недоступных измерению фазовых координат получением производных и исследуются принципы синтеза реальных производных в системе регулирования.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В технике невозможно формировать идеальные производные, а возможно получать только так называемые реальные производные. В связи с этим

делается попытка аналитического конструирования регуляторов, формирующих реальные производные.

Анализ исследований и публикаций. При решении задачи аналитического конструирования в [1] рассматривается критерий оптимальности в виде квадратичного функционала с использованием производной от управления. Это продиктовано теми соображениями, что сконструированный регулятор в противном случае должен делать перестановку регулирующего органа с бесконечно большой скоростью. Так как в технике таких исполнительных механизмов не существует, то предложено инерционность этого процесса учитывать, используя производную от управления. При этом, естественно, допускается возможность измерения всех фазовых координат объекта. Однако в промышленности такая возможность имеется не всегда, а, как правило, возможно при помощи датчика измерять только одну выходную координату объекта. В этом случае вместо неизмеряемых координат объекта необходимо в управлении использовать идеальные производные выходной координаты до $(n-1)$ -й включительно, где n - порядок дифференциального уравнения.

Постановка задачи. Учитывая опыт [1] введения в квадратичный функционал производной от управления, что приводит к конструированию инерционного регулятора (инерционность первого порядка), введем в функционал старшие производные управления до $(n-1)$ -го порядка включительно. Это естественно приводит к образованию инерционности соответствующего порядка, которая используется для формирования реальных (инерционных) производных.

Изложение материала и его результаты. Для объекта n -го порядка, его движение описывается системой дифференциальных уравнений в канонической форме:

$$\begin{cases} \dot{y}_i = y_{i+1} (i = 1, n-1) \\ \dot{y}_n = -\sum_{k=1}^n b_k y_k + u \end{cases} \quad (1)$$

В качестве критерия оптимальности принимается квадратичный функционал:

$$I = \int_0^{\infty} \left(\sum_{k=1}^n a_k y_k^2 + a_{k+1} u^2 + a_{k+2} \dot{u}^2 + \dots + u^{(n-1)^2} \right) dt \quad (2)$$

Требуется определить закон управления $u = u(y_1, y_2, \dots, y_n)$ из условия минимизации функционала.

С учетом функционала система уравнений объекта преобразуется к виду:

$$\begin{cases} \dot{y}_i = y_{i+1} (i = 1, n-1) \\ \dot{y}_n = -\sum_{k=1}^n b_k y_k + y_{n+1} \\ \dot{y}_i = y_{i+1} (i = n+1, 2n-2) \\ \dot{y}_{2n-1} = u_1 \end{cases} \quad (3)$$

где

$$\begin{cases} y_{n+1} = u \\ y_{n+2} = \dot{u} \\ \dots \\ y_{2n-1} = u^{(n-2)} \end{cases} \quad (4)$$

В обозначениях (4) функционал (2) примет вид:

$$I = \int_0^{\infty} \left(\sum_{k=1}^{2n-1} a_k y_k^2 + u_1^2 \right) dt. \quad (5)$$

Искомый закон управления:

$$u_1 = u_1(y_1, y_2, \dots, y_{2n-1}).$$

По методу динамического программирования:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^{2n-1} a_k y_k^2 + u_1^2 + \sum_{i=1}^{n-1} y_{i+1} \frac{\partial V}{\partial y_i} + \left(-\sum_{k=1}^n b_k y_k + y_{n+1} \right) \frac{\partial V}{\partial y_n} + \sum_{i=n+1}^{2n-2} y_{i+1} \frac{\partial V}{\partial y_i} + u_1 \frac{\partial V}{\partial y_{2n-1}} = 0 \\ 2u_1 + \frac{\partial V}{\partial y_{2n-1}} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Если исключить u_1 из системы уравнений (6), то получится уравнение в частных производных:

$$\sum_{k=1}^{2n-1} a_k y_k^2 + u_1^2 + \sum_{i=1}^{n-1} y_{i+1} \frac{\partial V}{\partial y_i} + \left(-\sum_{k=1}^n b_k y_k + y_{n+1} \right) \frac{\partial V}{\partial y_n} + \sum_{i=n+1}^{2n-2} y_{i+1} \frac{\partial V}{\partial y_i} = \frac{1}{4} \left(\frac{\partial V}{\partial y_{2n-1}} \right)^2, \quad (7)$$

которому удовлетворяет функция Ляпунова:

$$V = \sum_{k,i=1}^{2n-1} A_{ki} y_k y_i. \quad (8)$$

Для определения коэффициентов $A_{ki} (k, i = 1, 2n-1)$ функции V находятся частные производные:

$$\frac{\partial V}{\partial y_i} = 2 \sum_{k=1}^{2n-1} A_{ki} y_k, \quad (i = 1, 2n-1), \quad (9)$$

которые подставляются в уравнение (7). Коэффициенты при одинаковых произведениях $y_i y_k$ приравниваются. Получается нелинейная система алгебраических уравнений, относительно искомых коэффициентов A_{ki} функции (8).

С учетом (6) и (9) закон управления можно записать в виде:

$$u_1 = - \sum_{k=1}^{2n-1} A_{k,2n-1} y_k. \quad (10)$$

Уравнения (3) и (10) описывают движение замкнутой системы:

$$\begin{cases} \dot{y}_i = y_{i+1} (i = 1, n-1) \\ \dot{y}_n = - \sum_{k=1}^n b_k y_k + y_{n+1} \\ \dot{y}_i = y_{i+1} (i = n+1, 2n-2) \\ \dot{y}_{2n-1} = - \sum_{k=1}^{2n-1} A_{k,2n-1} y_k \end{cases} \quad (11)$$

характеристическое уравнение которой имеет вид

$$\left(p^n + \sum_{k=1}^n b_k p^{k-1} \right) \left(p^{n-1} + \sum_{k=1}^{n-1} A_{n+k,2n-1} p^{k-1} \right) + \sum_{k=1}^n A_{k,2n-1} p^{k-1} = 0. \quad (12)$$

При сравнении уравнения (12) с характеристическим уравнением:

$$p^{2n-1} + \gamma_{2n-1} p^{2n-2} + \dots + \gamma_2 p + \gamma_1 = 0$$

определяемым заданной экстремалью, находятся коэффициенты

$A_{k,2n-1}$ ($k = 1, 2n-1$) закона управления (10).

При известных $A_{k,2n-1}$ нелинейная система алгебраических уравнений станет линейной относительно остальных коэффициентов функции Ляпунова и весовых констант и может быть решена аналитически.

В процессе решения задачи аналитического конструирования, предполагалась возможность получения идеальных производных до $(n-1)$ -го порядка включительно. Из-за невозможности технической реализации идеальных производных приходится их формировать приближенно. Для этого (10) записывается в следующем виде:

$$u_1 = -\sum_{k=1}^n A_{k,2n-1} y_k - \sum_{k=n+1}^{2n-1} A_{k,2n-1} y_k. \quad (13)$$

В силу обозначений (4) управление (13) запишется следующим образом:

$$u^{(n-1)} = -\sum_{k=1}^n A_{k,2n-1} y_k - \sum_{k=1}^{n-1} A_{k+n,2n-1} u^{(k-1)}.$$

Или

$$\left(p^{n-1} + \sum_{k=1}^{n-1} A_{k+n,2n-1} p^{k-1} \right) u = -\sum_{k=1}^n A_{k,2n-1} p^{k-1} y_1. \quad (14)$$

Из равенства (14) управление:

$$u = -\sum_{k=1}^n \frac{A_{k,2n-1} p^{k-1}}{p^{n-1} + \sum_{k=1}^{n-1} A_{k+n,2n-1} p^{k-1}} y_1. \quad (15)$$

Структурная схема управления (15) представлена на рис.1. Уравнения (1) и (15) определяют замкнутую систему, характеристическое уравнение которой:

$$\left(p^n + \sum_{k=1}^n b_k p^{k-1} \right) \left(p^{n-1} + \sum_{k=1}^{n-1} A_{n+k,2n-1} p^{k-1} \right) + \sum_{k=1}^n A_{k,2n-1} p^{k-1} = 0, \quad (16)$$

совпадает с характеристическим уравнением замкнутой системы (11). Коэффициенты управления (15) находятся известным способом, задаваясь уравнением экстремали, характеризующей желаемый переходный процесс.

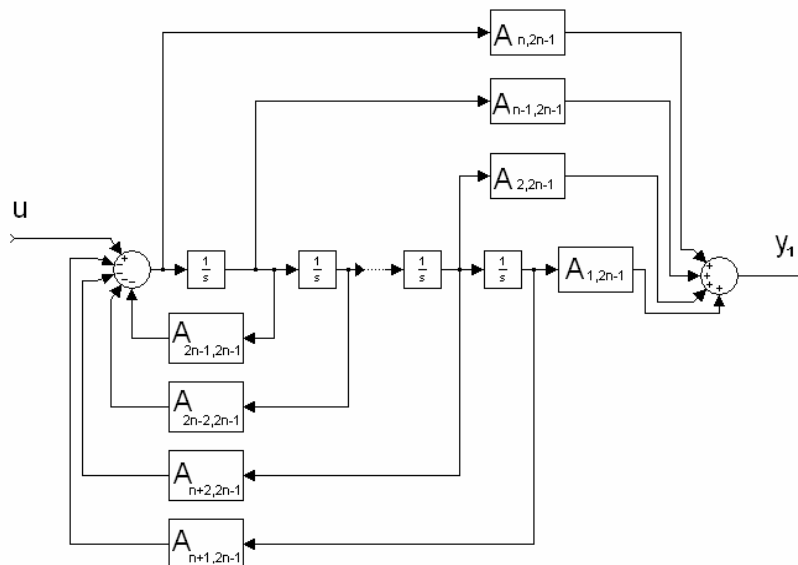


Рис.1. Структурная схема системы управления

Выводы и направления дальнейших исследований. В результате проведенной работы исследованы принципы построения оптимальных регуляторов с формированием реальных производных путем введения в квадратичный функционал производной от управления. Из-за невозможности технической реализации идеальных производных приходится их формировать приближенно. Дальнейшие исследования направлены на поиск путей повышения точности формирования реальных производных и исследование вопросов получения квазиидеальных производных.

Литература

1. Летов А.М. Аналитическое конструирование регуляторов // Автоматика и телемеханика. – 1960. - №4.-С. 436-441; №5.-С. 561-568; №6. С. 661-665.

УДК 537.591.15

Дзьобак С.В., Филоненко А.Д.

О ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕНКОВСКОГО РАДИОИМПУЛЬСА ЧЕРЕЗ ИОНОСФЕРУ ЗЕМЛИ

Рассмотрены эффекты, возникающие при распространении короткого биполярного радиосигнала длительностью ~ 1 ns через ионосферу Земли. Источником такого импульса является каскадный ливень на поверхности Луны, вызванный космической частицей сверхвысокой энергии. Показано, что в результате дисперсии длительность импульса увеличивается почти на два порядка. Предлагается возможный вариант для сохранения реальной чувствительности детектора. Обсуждается возможность применения эффектов дисперсии для отделения полезного сигнала от радиопомех местного происхождения. Ист. 17, рис. 5.

Космическое излучение сверхвысокой энергии является для нас незримым «откликом» событий, происшедших очень далеко за пределами нашей Галактики миллионы или миллиарды лет назад при самых драматических обстоятельствах. Это могут быть процессы, связанные, например, с активными ядрами галактик, со сверхновыми или нейтронными звёздами или, наконец, с самыми мощными источниками излучения во Вселенной – гамма-всплесками. К этому можно добавить, что факт регистрации сверхмассивных частиц, таких как магнитный монополю ($m \sim 10^{16} GeV$), мог бы иметь прямое отношение к процессам, произошедшим в ранней Вселенной. Современная наука не знает определенно, где и в каких космических катаклизмах рождаются частицы с энергиями $> 10^{20} eV$. Однако факт их регистрации является общепризнанным, и поэтому породил парадоксы, которые настолько принципиальны, что наиболее радикальная точка зрения на разрешение этих проблем состоит в пересмотре основных постулатов релятивистской теории.

Лишь только в наши дни научились измерять потоки с энергиями $10^{19} - 10^{20} eV$. Однако даже такая энергия частиц на несколько порядков ниже той, которая интересует современную науку. Главное препятствие на пути познания это – чрезвычайно малая интенсивность этих потоков. Известен наглядный пример: на площадь $1 km^2$ за сто лет падает только одна частица. К этому можно добавить, что с увеличением энергии на порядок эта вероятность уменьшается приблизительно на два порядка. Поэтому сегодня одной из важных задач экспериментальной физики являются поиск новейших методов регистрации космического излучения. Такие детекторы должны иметь площадь миллионы квадратных километров. Относительно недавно был предложен метод исследования космического излучения сверхвысокой энергии, в основе которого

лежит определение параметров радиоимпульса, вызванного каскадным ливнем в среде, через которую прошла частица [1,2]. В настоящее время он активно изучается, о чём свидетельствуют масса оригинальных работ в отечественных и зарубежных журналах (см. например, обзоры [3–5]).

Необходимость увеличения площади детектора до столь огромных размеров породила идею использования астрономических объектов, как рабочее тело детектора [1-2]. Одна из разновидностей такой идеи была предложена в [6]. В этой работе приводятся оценки, доказывающие возможность наблюдения электромагнитного импульса от каскада, вызванного частицей сверхвысокой энергии на поверхности Луны. Для регистрации этого радиоимпульса необходима антенна с большой эффективной площадью, например, антенна радиотелескопа. Авторы полагают, что частота регистрации частиц с энергией $\geq 10^{20} \text{ eV}$ должна быть вполне удовлетворительной. Очевидно, этот метод может открыть новый этап в исследовании космического излучения столь высокой энергии. Попытки его реализации были предприняты в дециметровом диапазоне длин волн [7-10] и в декаметровом [11,12].

Существует точка зрения, что ионосфера Земли оказывает незначительное влияние на форму импульса, если спектр радиосигнала приходится на область очень высоких частот. Это справедливо для импульсов, спектр которых ограничен по частоте. Для радиоастрономического метода ситуация крайне противоположная. При длительности сигнала $\sim 1 \text{ ns}$ спектр чрезвычайно широк. Ниже проведен анализ радиоимпульса, прошедшего через ионосферу Земли. Изменение его параметров настолько значительно, что не считается с этим нельзя.

Найдём спектр радиоимпульса, вызванного каскадным ливнем в лунном грунте от частицы с энергией $> 10^{22} \text{ eV}$. Для определения поля излучения запишем фурье-компонент $\vec{A}(\vec{r}, \omega)$ векторного потенциала, создаваемого током $\vec{j}(\vec{r}', t)$, вызванного избыточными электронами ливня, долю которых от общего числа частиц в диске обозначим как η . Сюда входят избыток, являющийся следствием аннигиляции позитронов ливня с атомными электронами среды [1–2], а также δ -электроны, т.е. электроны, выбитые из оболочек атомов частицами ливня [13-14]. Такие электроны способны ионизировать нейтральные атомы среды и могут иметь очень высокую энергию. На большом расстоянии от источника (см., например, [15]), имеем:

$$\vec{A}(\vec{r}, \omega) = (\mu_0 e^{ikr} / 4\pi r) \int_V \vec{j}(\vec{r}', \omega) e^{-i\vec{k}\vec{r}'} dV', \quad (1)$$

где \vec{r}' – радиус-вектор элемента пространства dV' , \vec{k} – волновой вектор и \vec{r} – радиус-вектор точки наблюдения. Изменение числа заряженных частиц с глубиной (каскадная функция), с достаточной степенью точности для описания поля излучения можно представить в виде.

$$N(\chi) = N_0 \eta \exp - [(\chi - \chi_{\max}) / \alpha]^2, \quad (2)$$

где N_0 – число частиц в максимуме ливня, χ_{\max} – глубина максимальной стадии и $\alpha = 10$ – для электромагнитного каскада с энергией первоначальной частицы $W_0 = 10^{22} \text{ eV}$ в среде с плотностью $\sim (1,7 \div 1,8) \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, критической энергией $W_{cr} = 45 \text{ MeV}$ и величиной радиационной единицы $z_0 \approx 0,14 \text{ m}$. Запишем нормальный закон распределения зарядов по радиусу, нормированный на 1 в максимуме ливня [16]:

$$\sigma(\rho) = 2\pi\rho_1^2 e \cdot N(\chi) \exp(-\rho^2 / 2\rho_1^2), \quad (3)$$

где $\rho_1 = \sqrt{\langle \rho^2 \rangle} = W_{cr} z_0 / 21 \approx 0,065 \text{ m}$ – средний квадратичный радиус ливня. При этом значении радиуса ρ_1 окружность охватывает приблизительно половину

частиц ливня.

Для учёта фазы излучения разобьём весь диск на элементарные полосы, перпендикулярные к направлению излучения. На верхней части рис.1 условно показана проекция диска на вертикальную плоскость в виде прямой АВ с центром в точке С. OD – направление движения. Линия наблюдения EF (направление излучения) составляет угол θ с направлением скорости диска. Каждый участок диска является элементарным излучателем. Будем считать, что наблюдатель находится бесконечно далеко (по сравнению с размерами диска) от источника излучения. Тогда все участки элементарной полосы, расположенной перпендикулярно к направлению EF (или АВ), в точке наблюдения имеют одну фазу. Это позволяет рассмотреть всю такую полосу, как точечный источник излучения, расположенный в некоторой точке ξ на прямой АВ.

Заряд всей полосы q_b легко найти, так как известно распределение плотности по радиусу (3). После вычислений найдём:

$$q_b = 2\rho_1^2 \sqrt{\pi} e \cdot N(t) \xi d\xi (\xi^2 / 2\rho_1^2)^{1/2} \exp(-\xi^2 / 2\rho_1^2) = e \cdot N(t) F(\xi), \quad (4)$$

где $N(t)$ – каскадная функция (2) и t – текущее время. Фактически, источником излучения теперь является не диск, а бесконечно тонкая и бесконечно длинная прямая, совпадающая с направлением АВ, заряды на которой распределены в соответствии с (4).

Выразим векторный потенциал (1), создаваемый бесконечно малым элементом $d\xi$ этой прямой (на рисунке в т. Е) с зарядом q_b (4) и скоростью \vec{v} . Для этого фурье-компонент тока, соответствующего этому элементу запишем, используя δ -функцию:

$$d\vec{j}(\omega) = \vec{v} q_b \int_{-\infty}^{\infty} \delta(\vec{r}' - \vec{r}) e^{i\omega t} dt = \vec{v} q_b \int_{-\infty}^{\infty} \delta(x' - \xi) \delta(z' - vt) \delta(y') e^{i\omega t} dt, \quad (5)$$

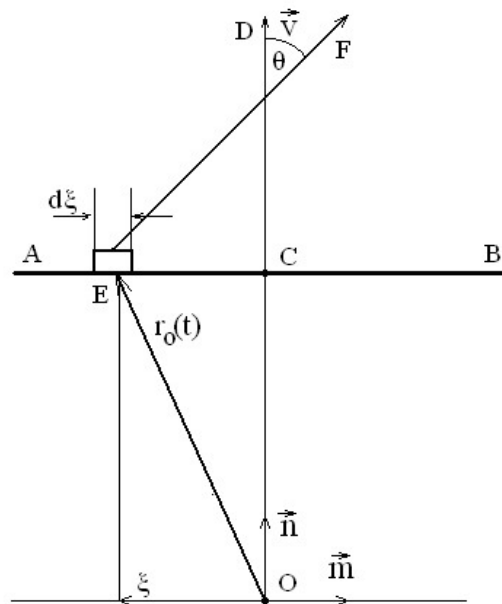


Рис.1. К учёту фазы излучения диска

где $\vec{r}_0(t) = \vec{m} \cdot \xi + vt \cdot \vec{n}$ – заданная траектория движения элемента, т.е. вертикальная прямая, параллельная \vec{v} и проходящая через точку ξ , причём,

$z=vt$. Начало координат находится в точке О, где ливень достигает максимума. В этот момент $t=0$. После подстановки (5) в (1) и интегрирования по всем элементам пространства $dV'=dx'dy'dz'$ получим для потенциала:

$$d\vec{A}(\vec{r}, \omega) = (e \cdot \mu_0 e^{ikr} / 4\pi r) \vec{v} \exp(-i\xi k \sin \theta) F(\xi) \int_{-\infty}^{\infty} N(t) e^{i\omega t p} dt, \quad (6)$$

где $p=1-\beta n \cos \theta$ и $\vec{k} = \vec{m} k \sin \theta + \vec{n} k \cos \theta$ – волновой вектор, \vec{m} – единичный вектор вдоль направления АВ, и \vec{n} – единичный вектор вдоль оси Z, т.е. вдоль направления движения диска и e – заряд электрона. Будем далее считать среду, в которой распространяется ливень, однородной. Тогда его относительную глубину проникновения в среду (т.е. в поверхность Луны) можно связать с текущим временем соотношением $\chi = vt / z_0$. При выбранной системе координат в максимуме ливня $\chi_{\max} = 0; t_{\max} = 0$. В q_b только каскадная функция зависит от времени, и (6) сведётся к выражению (оставлены только множители, зависящие от частоты):

$$d\vec{A}(\vec{r}, \omega) \sim e^{ikr} \exp[-(p\omega\alpha z_0 / 2c)^2] \times \exp(-i\xi k \sin \theta) (\xi d\xi / 2\rho_1^2 \sqrt{\pi}) (\xi^2 / 2\rho_1^2)^{-1/2} \exp[-(\xi^2 / 2\rho_1^2)] \quad (7)$$

Потенциал $\vec{A}(\vec{r}, \omega)$ найдём суммированием (7) по элементам $d\xi$ (см. например [17]):

$$\vec{A}(\vec{r}, \omega) \sim e^{ikr} \exp[-(p\omega\alpha z_0 / 2c)^2] \cdot \exp[-(k\rho_1 \sin \theta)^2 / 2]. \quad (8)$$

Спектральная напряжённость поля $E(\vec{r}, \omega) = A(r, \omega) \cdot i\omega \cdot \sin \theta$. Тогда окончательно имеем:

$$E(\vec{r}, \omega) \sim i\omega e^{ikr} \exp[-(p\omega\alpha z_0 / 2c)^2] \cdot \exp[-(k\rho_1 \sin \theta)^2 / 2], \quad (9)$$

где $p = (1 - \beta n_m \cos \theta)$, $n_m = 1,7$ – показатель преломления грунта Луны. Максимум спектра (9) приходится на частоту $\nu_{\max} \approx 540 \text{ MHz}$.

Известно, что величина волнового вектора k связана с показателем преломления n ионосферы выражением $n(r) = \sqrt{\epsilon} \approx 1 - A \cdot N_e(r) / \omega^2$; $A = 1,6 \cdot 10^3 (1 / m^3 s^2)$, где N_e – концентрация электронов, как функция расстояния r между Луной и произвольной точкой ионосферы. Показатель преломления входит в выражение (9) для фазы (ikr), которая увеличивается на всём пути r в зависимости от частоты и концентрации электронов. Так как концентрация везде различна, то полную фазу за всё время распространения волны найдём суммированием:

$$\varphi = i \int_0^L k dr = i \frac{\omega}{c} \left(L - \frac{A}{S \cdot \omega^2} \int_0^L N_e(r) S dr \right) = i \frac{\omega}{c} \left(L - \frac{A N}{\omega^2 S} \right) = i \frac{\omega}{c} \left(L - \frac{A N_1}{\omega^2} \right),$$

где $N_1 = N / S$ число электронов в столбе полного слоя с поперечным сечением 1 M^2 .

Экспериментально определяемая величина N_1 по данным [8] имеет характерное значение $N_1 \approx 5 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-2}$. Умножим (9) на $\exp(-i\omega t)$ и произведём обратное преобразование Фурье. После подстановки констант будем для черенковского импульса ($p=0$) окончательно иметь:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) \sim \int_0^{\infty} e^{-1,7 \cdot 10^{-6} \nu^2} \cdot \nu \cdot \sin \left[6300 \nu \left(1 - \frac{6,75}{\nu^2} - t \right) \right] d\omega.$$

На рис.2а показан исходный импульс, т.е. перед входом в ионосферу ($A=0$). Это биполярный импульс общей длительностью $\sim 1 \text{ ns}$. На рис.2б показан тот же импульс, прошедший слой ионосферы с суммарным количеством электронов в единичном столбе $N_1 \approx 5 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-2}$. На графике показана часть

импульса за первые 200 ns. Приблизительно можно считать, что длительность сигнала имеет величину порядка 50 ns.

Такая большая разница в длительности должна быть учтена при разработке приёмно-усилительного тракта детектора. Речь идёт о правильном выборе постоянной времени детектора. Пусть в отсутствие дисперсии амплитуда сигнала U_1 , длительность и постоянная времени – $t_1 = 1ns$. Полная энергия, выделившаяся на нагрузке детектора $\sim U_1^2 t_1 / R$. При наличии дисперсии (рис.2б) длительность сигнала $t_2 = 50ns$. Тогда полная энергия при той же постоянной времени $\sim U_2^2 t_2 / R$. Приравнявая эти энергии, получаем $U_1^2 / U_2^2 = \sqrt{t_2 / t_1} \approx 7$, т.е. амплитуда диспергированного сигнала будет в 7 раз меньше, чем в случае отсутствия дисперсии. Увеличим постоянную времени от $t_1 = 1ns$ до $t_2 = 50ns$. Теперь амплитуда сигнала, изображённого на рис. 2а уменьшится, а в случае диспергированного сигнала останется прежней. Это значит, что если известно заранее, насколько сигнал будет растянут в ионосфере, необходимо постоянную детектора увеличить во столько же раз. На диспергированном сигнале это практически не отразится, а среднеквадратичная амплитуда радишумов и помех, в соответствии с приведенными оценками, уменьшится.

Детектирование радиосигнала с таким широким спектром в реальных условиях является сложной технической задачей, поэтому радиоприёмное устройство, как правило, имеет для этого один или несколько относительно узких радиоканалов. Очевидно, после их прохождения сигнал уже не будет иметь вид как на рис. 2б. Более того, если радиоприёмник имеет достаточно далеко разнесённые радиоканалы, то будет иметь место значительная разница по времени регистрации исходного импульса. Этот эффект может быть использован как признак для отделения полезного сигнала от местных радиопомех различного происхождения.

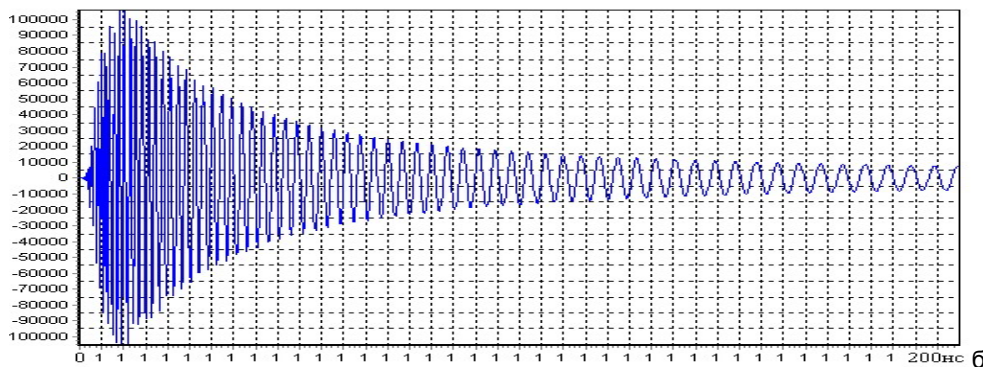
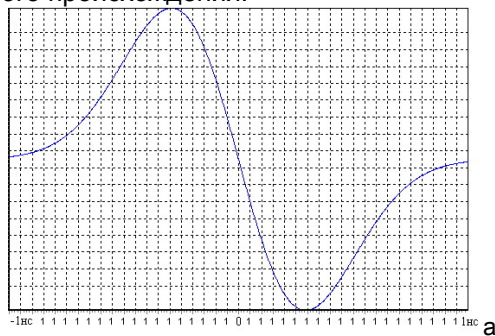


Рис. 2. Прохождение импульса через слой ионосферы

На рис.3а показан сигнал, восстановленный в пределах частот 300-400 MHz и в пределах 800-900 MHz (рис. 3б). Низкочастотный сигнал запаздывает по отношению к высокочастотному приблизительно на 100 ns. Длительность их такова, что они хорошо разделимы во времени.

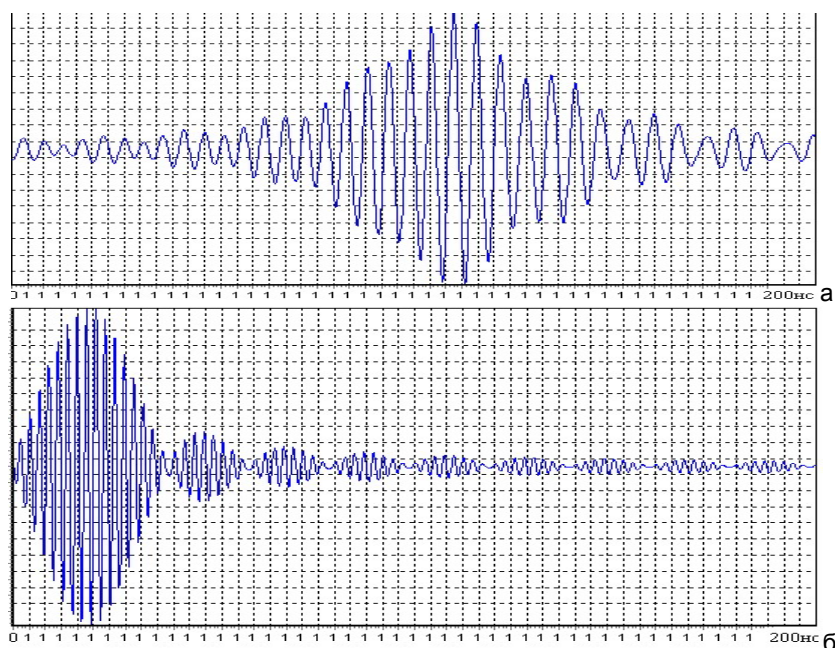


Рис. 3. Восстановленный в различных диапазонах частот сигнал

Литература

1. Аскарьян Г.А. ЖЭТФ.-1961.- Т.41, 2(8).- С. 616-618.
2. Аскарьян Г.А. ЖЭТФ.-1965.- Т.48, №3.- С. 988-990.
3. Филоненко А.Д. УФН.- 2002.- Т. 172, №4.- С. 439- 471.
4. Бедняков В.А. ФЭЧАЯ, 2002, Т.33, №5, С. 1146-1176
5. Царёв В.А. ФЭЧАЯ, 2004, т. 35, №1, С.187-247.
6. Дагкесаманский Р.Д., Железных И.М. Письма в ЖЭТФ.-1989.- Т. 50, №5.- С. 233-235.
7. Hankins T.H., Ekers R.D., J.D. O'Sullivan. Mon. Not. R. Astron. Soc. 1996, V. 283, p.1027-1030.
8. P.W. Gorham, K. M. Liewer, and C. J. Naudet. arXiv:astro-ph/9906504.
9. P. W. Gorham, C. L. Hebert, K. M. Liewer etc. arXiv:astro-ph/0310232.
10. Березняк А.Р., Дагкесаманский Р.Д., Железных И.М. Коваленко А.В., Орешко В.В. *Астрономический ж.*, 2005, Т. 82, №2, С. 149–153.
11. Филоненко А.Д. Письма в ЖЭТФ.- 1999.- Т. 70, №10.- С. 639-641.
12. Абранин Э.Г., Веремеенко И. Л., Войтенко В. А., Голубничий П. И., Коноваленко А. А., Павлюков В. Ф., Филоненко А. Д. *Известия РАН.-сер.физ.* - Т. 65, №11.- С. 1670-1671.
13. Филоненко А. Д., Чех Ю. Н. Новый метод эффективной регистрации радиоизлучения широких атмосферных ливней с энергиями $>10^{20}$ эВ // *Радиофизика и радиоастрономия.* - 2002.- Т. 7, №2.- С.160-169.
14. Голубничий П.И., Филоненко А.Д. Радиоизлучение в диапазоне средних и низких частот, вызванное широким атмосферным ливнем // *Письма в ЖТФ.*- 1994.- Т. 20, №12.- С. 57-61.
15. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теория поля.*- М: Наука, 1967.- 460 с.
16. Беленький С.З. *Лавинные процессы в космических лучах.* – М., 1948.- 243 с.
17. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. *Интегралы и ряды.* -М: Наука, 1984.- 797 с.

Еременко В.С., Суслов Е.Ф., Монченко Е.В.

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

На примере системы импедансного контроля рассмотрены аспекты применения современных информационных технологий в приборостроении. Показано, что разработка специализированного информационного обеспечения систем позволяет расширить их функциональные возможности, а также использовать дополнительные методы обработки информативных сигналов, позволяющие повысить достоверность контроля. Рис. 3, ист. 4.

Повышение достоверности неразрушающего контроля материалов и изделий возможно только за счет увеличения объема информации, получаемой от объекта контроля. Дополнительную информацию от объекта можно получить несколькими путями. Один из них – это проведение контроля различными взаимодополняющими физическими методами. Однако, этот путь приводит к существенному удорожанию контроля, так как требуется дополнительная аппаратура, методики, аттестованный персонал. Другой путь – создание компьютеризированных систем, использующих один физический метод контроля, но имеющих специализированное информационное обеспечение, которое за счет дополнительной обработки информационных сигналов позволяет расширить пространство диагностических признаков. Такое специализированное информационное обеспечение должно включать:

- подсистему сбора, накопления и статистического анализ первичных информационных сигналов;
- подсистему обработки информационных сигналов и выбора диагностических признаков;
- подсистему, включающую решающие диагностические правила, по которым будет проводиться контроль;
- подсистему автоматической классификации дефектов.

Этот путь и был выбран авторами при разработке системы неразрушающего контроля композиционных материалов, применяющихся в авиастроении. Одним из наиболее перспективных методов контроля данных материалов является импедансный метод [1], позволяющий обнаруживать опасные дефекты в композитах типа расслоений, различных внутренних повреждений, усталостных повреждений и др. По данным авиаремонтных предприятий Украины до 35% от общего объема работ по неразрушающему контролю при обслуживании авиационной техники приходится именно на импедансный метод.

Существующие системы и приборы, реализующие импульсный импедансный метод контроля, имеют один существенный недостаток – минимальное количество диагностических параметров – измеряется только амплитуда импульсов затухающих механических колебаний. Подобный подход не позволяет использовать все потенциальные возможности импедансного метода контроля и значительно уменьшает его информативность, так как известно [1, 2], что частота затухающих механических колебаний, разность фаз между сигналами излучающего и приемного преобразователя, а также форма огибающей затухающих колебаний также зависят от механического импеданса контролируемой зоны. Значение частоты и разности фаз несущей информационных импульсных сигналов может быть получено с помощью преобразования Гильберта, которое позволяет также выделить огибающую сигнала. Форма огибающей не является численной характеристикой сигнала, поэтому для ее описания используется либо спектральные разложения,

например получаемые с помощью преобразования Фурье, либо интегральные характеристики – центр масс, коэффициент формы сигнала и др. Данные, получаемые на основе статистической обработки параметров информационных сигналов, могут также быть использованы в качестве информативных признаков, поэтому информационное обеспечение должно позволять производить расчет оценок статистических характеристик, а также проводить гистограммный анализ.

Также необходимо отметить, что современные дефектоскопы выполнены в виде узкоспециализированных приборов, принципы построения которых либо вовсе исключают, либо значительно затрудняют дальнейшую модернизацию устройства (например, дополнение набора алгоритмов, с помощью которых производится анализ и обработка информационного сигнала).

Вышеизложенные причины, а также необходимость реализации средства для разработки и тестирования новых методик обработки и анализа информационных сигналов, разработки новых методик неразрушающего контроля, обеспечивающих более высокую достоверность по сравнению с существующими и привели к созданию системы импедансного контроля композиционных материалов. При разработке системы основной задачей ставилось получение новых диагностических параметров, чувствительных к дефектности изделий, путем применения специальных методов обработки информационных сигналов, получаемых от стандартных первичных преобразователей.

В состав разработанной системы контроля входят стандартные импедансные преобразователи - раздельно-совмещенные типа ИА-1, ПИ-101 и совмещенный типа ПИ-201, генератор возбуждения датчиков, устройство аналого-цифрового ввода вывода L-783 производства компании L-Card (разрядность 12 бит, частота дискретизации до 3 МГц), персональный компьютер, а также пакет специализированного программного обеспечения.

Структурная схема разработанной системы представлена на рис. 1.

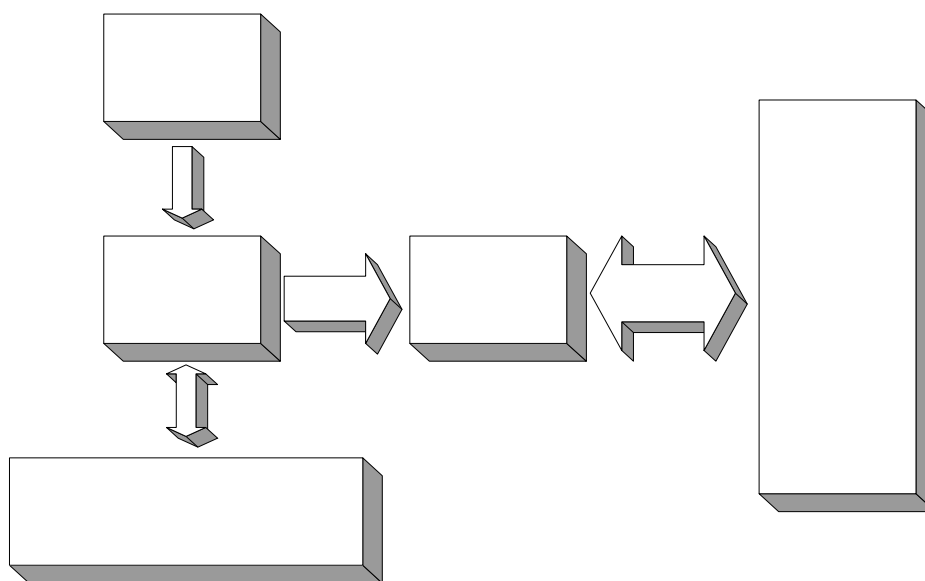


Рис. 1. Структура системы импедансного контроля композиционных материалов

Реализация информационного обеспечения систем контроля на языках высокого уровня типа C++, C#, Visual Basic и т.п. в настоящее время остаётся достаточно трудоёмким процессом, отнимающим значительное количество

времени, причем большую его часть будет занимать создание качественного интерфейса пользователя. Поэтому в качестве инструмента разработки программного обеспечения была выбрана среда проектирования виртуальных приборов LabView фирмы National Instruments [3, 4]. Причины подобного шага заключаются в особенностях языка программирования, которые позволяют в значительной мере упростить процесс реализации, и ускорить конечную отладку подсистем информационного обеспечения. LabVIEW – это графический язык, созданный специально для максимально эффективного решения задач, связанных с проектированием и разработкой систем измерения, автоматического управления и контроля.

В соответствии с традиционной концепцией разработки приложений, первым этапом является создание блок-схемы алгоритма работы приложения, после чего алгоритм переводится в набор текстовых инструкций соответствующим тому или иному языку программирования. Идея LabVIEW состоит в отказе от текстовых инструкций как единственного способа реализации приложения – создание программы на этом языке напоминает этап разработки блок-схемы алгоритма (рис. 2).

Среда LabView имеет большой набор стандартных средств математической обработки, на базе которых за сравнительно короткие сроки возможно реализовать необходимые функции. Наличие интерпретатора кода языка C++, организованная на высоком уровне интеграция с языком математического программирования Matlab, возможность работы с динамическими библиотеками dll позволяет с максимальной эффективностью применить уже существующие наработки, исключив при этом трудоёмкий процесс их перевода на единую языковую платформу.

Применение такого подхода в решении поставленной задачи позволило реализовать в системе контроля как классические, так и инновационные алгоритмы обработки информационного сигнала. При разработке информационного обеспечения системы были использованы стандартные программные модули среды LabView, осуществляющие дискретное преобразование Гильберта, дискретное преобразование Фурье, определение кумулятивного фазового набега, статистическую обработку измеренных параметров информационного сигнала.

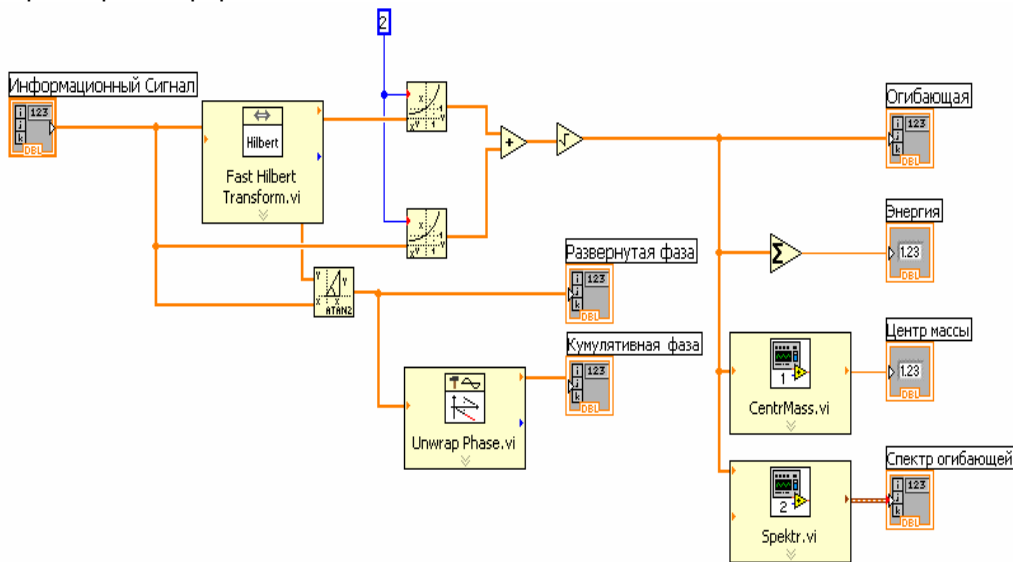


Рис. 2. Пример фрагмента программы созданной в среде визуального программирования LabView

Интерфейс пользователя системы представлен на рис. 3.

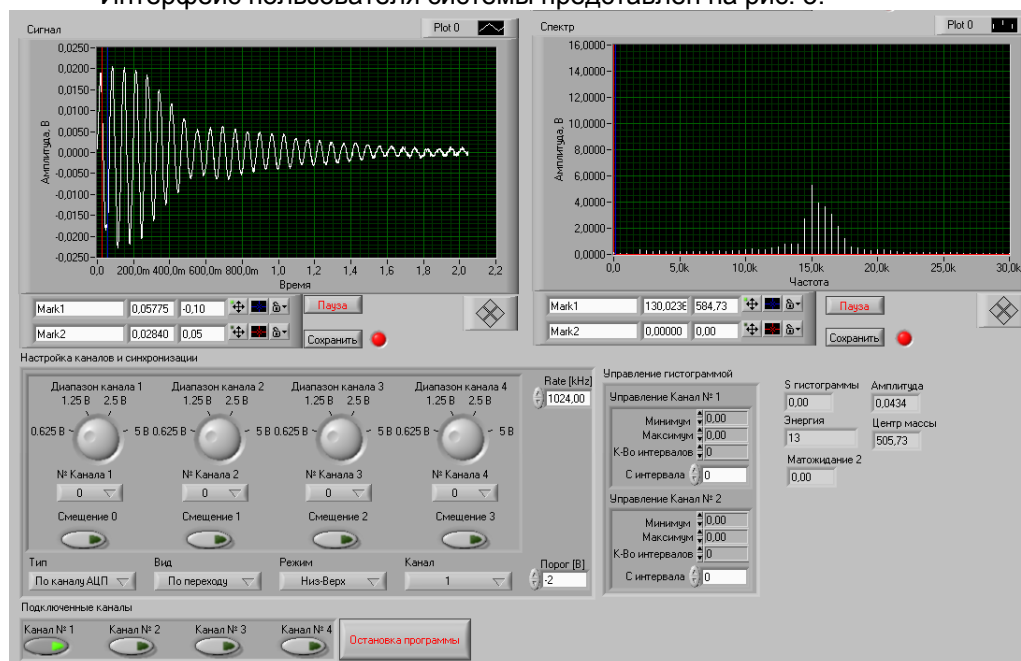


Рис. 3. Интерфейс системы контроля

Система позволяет выполнять следующие задачи:

- в реальном времени проводить обработку информационного сигнала;
- сохранять полученные результаты в непрерывном и выборочном режимах;
- отображать диаграммы значений информативных параметров;
- осуществлять режим цифрового осциллографа и системы первичного сбора и обработки данных;
- оперативно изменять исходные настройки, установки и интерфейс пользователя;
- допускает модификацию алгоритмов обработки и представления информации.

Система контроля выполняет следующие основные виды обработки информационных сигналов в реальном масштабе времени:

- расчет огибающей и мгновенной фазы информационного сигнала;
- определение кумулятивного фазового набега несущей радиоимпульсного сигнала;
- определение изменения частоты несущего колебания;
- построение гистограммы распределения параметров информационного сигнала;
- оценивание математического ожидания, и среднеквадратического отклонения измеренных параметров сигнала;
- расчет амплитудного спектра информационного сигнала;
- расчет спектра огибающей сигнала;
- определение энергии и центра масс импульсного сигнала;
- измерение пикового значения импульсного сигнала.

Система осуществляет визуализацию самого информационного сигнала и значений рассчитанных информативных параметров в специализированных окнах (рис. 3). Это позволяет проводить обоснованный предварительный

визуальный выбор информативных параметров сигналов и оценить их пороговые значения.

Созданное информационное обеспечение системы дает возможность создавать библиотеки значений информативных признаков, описывающих наиболее характерные типы дефектов для каждой исследуемой конструкции, которые могут быть использованы для автоматической классификации дефектов. Система также осуществляет накопление полученных данных для дальнейшего хранения и обработки.

Выводы. Применение современных информационных технологий в неразрушающем контроле позволяет значительно расширить функциональные возможности разрабатываемых систем, а также повысить достоверность контроля за счет измерения дополнительных параметров информационных сигналов, зависящих от дефектности контролируемого изделия.

Литература

1. Ланге Ю.В. Акустические низкочастотные методы неразрушающего контроля многослойных конструкций. – М.: Машиностроение, 1991.– 272 с.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. В 2-х книгах, т. 2. Под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1986.- 352 с.
3. LabView. User Manual.
4. LabView. Measurement Manual.

УДК 681.324 004.738.52

Жариков Э.В., Малахов К.К.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ

Сложные высокотехнологичные устройства получили широкое распространение в деловой и повседневной жизни человека. Вместе с тем возросло количество неисправностей и актуальным является разработка многоагентных экспертных систем для повышения эффективности методов диагностики и поддержки принятия решений. Предложена архитектура многоагентной системы для диагностики неисправностей на примере мобильных телефонов. Приведены основные преимущества использования экспертных систем в многоагентных системах.

Особенности предметной области, постановка задачи

В настоящее время получили широкое распространение такие высокотехнологичные электронные устройства, как мобильные телефоны, электронные органайзеры, карманные компьютеры (КПК), которые являются неотъемлемой частью деловой повседневной деятельности человека. Кроме того, помимо удобства использования, эти устройства повышают эффективность работы человека при планировании, учете, исполнении задач. В связи с интенсивным использованием данных устройств возросло и количество неполадок как аппаратных, так и программных, так как многие устройства являются сложными в архитектурном плане и работают под управлением операционных систем (например, смартфоны и КПК).

При устранении неисправностей одним из основных этапов является диагностика. Именно от результатов диагностики будет зависеть сложность, а соответственно срок и оценка стоимости ремонта. Длительность и качество диагностики зависят от нескольких причин: опыт и квалификация специалиста, его общая занятость, наличие у него справочной информации по данному устройству или программному обеспечению. Отсутствие любого из этих

факторов может стать причиной снижения скорости и эффективности диагностики. Таким образом, актуальной задачей является создание системы, которая бы выполняла функции диагностики в качестве системы поддержки принятия решений, при этом обладала бы соответствующими базами знаний и базами данных о различных устройствах. Представляется возможным использование многоагентных систем и построение распределенных экспертных систем на их базе [1].

Использование многоагентных систем для решения задач диагностики неисправностей

В отличие от обычных распределенных систем, многоагентные системы могут обучаться и по-разному реагировать на разные ситуации. Например, агент может запомнить основные признаки какой-либо определенной неисправности и более точно и оперативно выдавать решение. Также агенты могут иметь «уровень доверия», который будет зависеть от правильности решений, которые они находили. В распределенном варианте система становится более гибкой (выход из строя одного звена не прекращает работу всей системы) и при этом более эффективной (работа идет только с компьютером, на котором находится нужная информация) [2].

Использование многоагентной системы позволит облегчить процесс поиска нужного решения, следовательно, и эффективность эксперта, проводящего ремонт. Кроме того, эксперт не занимает всю систему целиком – он лишь работает с нужным ему разделом знаний (агентом), все остальные незадействованные разделы находятся в ожидании готовности. Также, агенты могут самообучаться. То есть, если однажды решение какой-либо нестандартной проблемы было найдено, в следующий раз агент сам его предложит для аналогичной ситуации. Данные, находящиеся на компьютере, подвергаются опасности, например, программный сбой системы, вирус, поломка оборудования. В случае с распределенной системой эта опасность намного снижается, так как базы данных и знаний хранятся на различных компьютерах, объединенных в сеть. Если выйдет из строя один из них, это будет означать выход только одного раздела или подсистемы, а система агентов в целом останется работоспособной. Для обеспечения работы разрабатываемой многоагентной экспертной системы необходимо создание специального протокола обмена данными, который предназначен для формирования запросов и перенаправления его в зависимости от условий, получения ответа, обработки данных в зависимости от условий. Кроме того, протокол и агенты системы разрабатываются на языке JAVA и могут базироваться на бесплатных мультиплатформенных серверах приложений, например, от компании Sun Microsystems.

Рассмотрим пример функционирования многоагентной экспертной системы при диагностике неисправности мобильного телефона (Рис. 1). Например, неисправна подача звуковых сигналов. Эксперт вызывает программу диагностики. Затем он выбирает в программе тип устройства и вносит в программу описание неисправности. С этого момента в дело вступает протокол обмена данными. Вначале он дает запрос «Мобильные телефоны» всем агентам сети. На этот запрос отзывается определенное количество агентов, имеющие такие знания. Затем идет запрос с названием фирмы-производителя. Снова отзываются определенные агенты.

Допустим, один из агентов имеет определенные знания о данном устройстве и система отдает ему приоритет в решении проблемы. Агент выдает вариант решения, но он не позволяет устранить неисправность устройства. Оператор дает команду продолжать поиск решения и описание неполадки отправляется другому агенту. Агент, основываясь на описании проблемы,

выдает свои варианты решения (или область, в которой стоит его искать). Эксперт, основываясь на данных вариантах решения, выполняет устранение неполадки и заносит решение в систему диагностики. Теперь, когда в следующий раз возникнет неисправность в телефоне такой же модели, или фирмы-производителя, приоритет в решении будет отдан именно тому агенту, который решил ее в прошлый раз, так как его уровень доверия выше, чем у других агентов. Кроме того, данный агент может отправлять ответы на запросы о подобной проблеме, основываясь не только на названии фирмы-производителя, а и на описании неисправности. Такие параметры уже зависят от конкретной настройки агентов многоагентной системы.

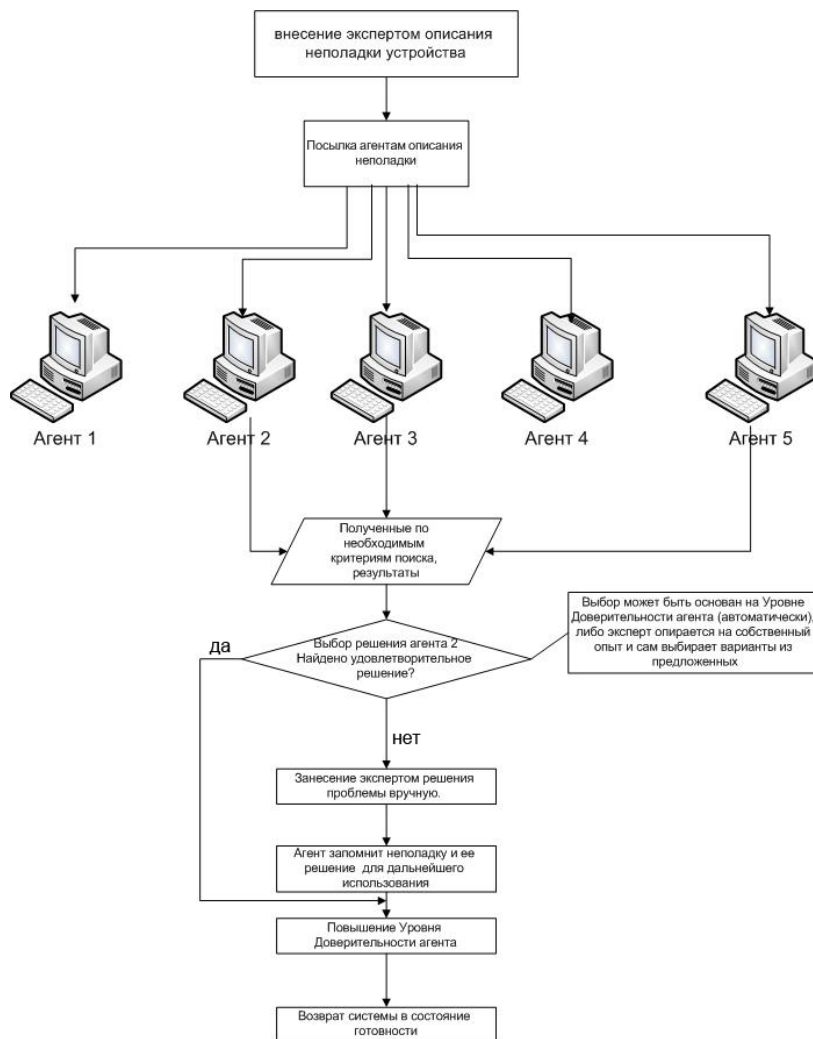


Рис. 1. Схема обработки запроса в процессе диагностики

Преимущества использования многоагентных систем

Основные преимущества использования многоагентной системы в сфере диагностики [4]:

- a. увеличение скорости поиска решения для диагностики и устранения неисправностей;
- b. максимально возможное количество вариантов устранения неисправностей, благодаря тому, что разные агенты могут предложить разные варианты решения;

- c. самообучаемость системы, что позволяет в дальнейшем более быстро и эффективно находить решение;
- d. повышение устойчивости системы, так как агенты в сети автономные;
- e. удобство и простота диагностики, в сравнении с традиционными средствами;
- f. повышение эффективности диагностики при любом уровне опыта специалиста.

Выводы

Таким образом, использование многоагентных систем в сфере диагностики электронных устройств качественно повысит эффективность и производительность диагностики и устранения неисправностей. Такая система позволит обрабатывать большое количество запросов и будет востребована в крупных сервисных центрах, которые принимают большое количество устройств для ремонта. Кроме того, предусматривается, что система способна обучаться, накапливая варианты решения, найденные экспертами организации, которая будет ее использовать.

Литература

1. M.Wooldridge and N.R.Jennings. Agent Theories, Architectures, and Languages: A Survey. In: Intelligent Agents. ECAI-94 Workshop on Agent Theories, Architecture and Languages. Amsterdam, The Netherlands, August 8-9, 1994, (Eds. M.J.Wooldridge and N.R.Jennings). Proceedings. Springer Verlag: 3-39, 1994
2. Agre P. Computational Research on Interaction and Agency. – Artificial Intelligence. – 1995. –Vol.72, №1/2.– PP.1-52
3. Constructing Intelligent Software Agents. Reticular Systems, Inc., February 1999.
4. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В., Многоагентные системы (обзор), Новости искусственного интеллекта, № 2, 1998.
5. Хорошевский, 1999 Хорошевский В.Ф., Поведение интеллектуальных агентов: модели и методы реализации, В сб. трудов 4-го международного семинара по прикладной семиотике, семиотическому и интеллектуальному управлению ASC/IC'99, М., 1999.

УДК 621.311

Жиленков А.А.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР – ВЫПРЯМИТЕЛЬ – ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ СОИЗМЕРИМОСТИ МОЩНОСТЕЙ ГЕНЕРАТОРА И ДВИГАТЕЛЯ

Для анализа работы систем, включающих полупроводниковые преобразователи, в основном используются оценочные выражения, не позволяющие проводить исследования их работы в динамике. С другой стороны, математическое моделирование негармонических периодических процессов как в электрических сетях, так и в отдельных устройствах является востребованной и актуальной современной научной проблемой.

Во многих задачах наибольший интерес представляет создание обобщенной математической модели с минимальным числом допущений, искажающих получаемые в процессе моделирования результаты. Так, в связи с наблюдаемыми активными темпами внедрения в промышленности полупроводниковых преобразователей, остро встает вопрос об электромагнитной совместимости электрооборудования с питающей сетью. В

частности, на морских судах суммарная мощность электропривода, питаемого от полупроводниковых преобразователей, в настоящее время стремится к значениям соизмеримым с мощностью судовой электростанции. При этом питающую сеть уже нельзя считать сетью неограниченной мощности. К тому же, как правило, на судах отсутствует нейтральный провод и, как следствие, наблюдается существенная асимметрия параметров фаз питающей сети.

В этих условиях уже нельзя пренебрегать многими факторами и процессами, имеющими место в таких сетях, как это делается в упрощенных моделях. Так, при моделировании синхронных генераторов, являющихся основным источником энергии на судах, широко пользуются полными уравнениями Парка-Горева во вращающейся системе координат. Однако такой подход неудобен в случаях, когда необходимо учитывать несимметричность статорных обмоток генератора, параметров фаз питающей сети и описывать переключательные функции ключей полупроводниковых преобразователей в связи с необходимым переходом к гармоническому виду и особенно назад. Еще одной из особенностей моделирования рассматриваемых сетей является необходимость учёта процессов коммутации происходящих в преобразователях.

$$Lr(t) := \begin{pmatrix} m2 \cdot \cos(2 \cdot \gamma(t)) \\ m2 \cdot \cos\left(2 \cdot \gamma(t) + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) \\ m2 \cdot \cos\left(2 \cdot \gamma(t) + \frac{4 \cdot \pi}{3}\right) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$Mab(t) := m0 + m2 \cdot \cos\left(2 \cdot \gamma(t) - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right)$$

$$Maf(t) := Msfmax \cdot \cos(\gamma(t))$$

$$Mbc(t) := m0 + m2 \cdot \cos(2 \cdot \gamma(t))$$

$$Mbf(t) := Msfmax \cdot \cos\left(\gamma(t) - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right)$$

$$Mac(t) := m0 + m2 \cdot \cos\left(2 \cdot \gamma(t) + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right)$$

$$Mcf(t) := Msfmax \cdot \cos\left(\gamma(t) + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right)$$

$$Mad(t) := Msdmax \cdot \cos(\gamma(t))$$

$$Maq(t) := -Msqmax \cdot \sin(\gamma(t))$$

$$Mbd(t) := Msdmax \cdot \cos\left(\gamma(t) - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right)$$

$$Mbq(t) := -Msqmax \cdot \sin\left(\gamma(t) - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right)$$

$$Mcd(t) := Msdmax \cdot \cos\left(\gamma(t) + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right)$$

$$Mcq(t) := -Msqmax \cdot \sin\left(\gamma(t) + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right)$$

Рис.1-1. Фрагмент программы математической модели (начало)

В данной статье рассматривается математическая модель системы состоящей из синхронного генератора, полупроводникового выпрямителя и двигателя постоянного тока, которая учитывает упомянутые особенности подобных сетей. Состоит модель из уравнений, написанных в среде MathCad, описывающих синхронный генератор и нагрузку, которая коммутируется по алгоритму, моделирующему выпрямитель. Модель учитывает несимметричность параметров фаз генератора и насыщение магнитной цепи. Последнее необходимо для описания работы генератора на полупроводниковые преобразователи создающие в процессе работы мгновенные короткие замыкания.

Для моделирования работы выпрямителя в среде MathCad, написана специальная функция с условным названием myrungek, позволяющая решать системы нелинейных дифференциальных уравнений. На каждом шаге интегрирования, функция отслеживает параметры цепей и, при достижении ими определенных условий, изменяет структуру уравнений в соответствии с тем, как должна измениться моделируемая схема.

Основная часть текста программы, моделирующей исследуемую систему, состоит из описания модели синхронного генератора (см. рис.1-1). Решаемая при помощи функции myrungek система уравнений, правые части которых содержатся в матрице, показанной на рис.1-2, состоит из дифференциальных уравнений, описывающих потоки обмоток генератора и уравнений, а также модель двигателя постоянного тока. Для упрощения, из девяти уравнений, описывающих двигатель, в матрицу включено только уравнение, описывающее функцию тока якоря. Полная модель двигателя учитывает связи обмоток возбуждения с цепью якорного тока, насыщение и изменение частоты вращения машины. Модель выпрямителя, как было отмечено выше, заложена в самой функции решения системы нелинейных уравнений, заключенных в матрице представленной на рис.1-2.

В результате моделирования для различных нагрузок были получены зависимости амплитуд, генерируемых в сеть гармоник, для различных коэффициентов мощности. На рис.2 приведены графики, позволяющие оценить погрешность результатов, полученных на настоящей математической модели и при моделировании по полным уравнениям Парка-Горева с обычными для них допущениями, относительно данных, полученных в результате экспериментов.

$$U(t) := \begin{bmatrix} U(t)_0 - i(t)_0 \cdot r(t)_0 \\ U(t)_1 - i(t)_1 \cdot r(t)_1 \\ U(t)_2 - i(t)_2 \cdot r(t)_2 \\ U_V - (i(t)_3) \cdot r(t)_3 \\ -(i(t)_4) \cdot r(t)_4 \\ -(i(t)_4) \cdot r(t)_4 \\ -(i(t)_5) \cdot r(t)_5 \\ \frac{U_d(t) - C_e \cdot n \cdot \Phi - i_a \cdot r_a - 2 \cdot p \cdot \omega \cdot \sigma \cdot \frac{d}{dt} \Phi}{L_a} \\ \dots \\ \dots \end{bmatrix}$$

$$F(t, i) := U(t) \quad z := \text{myrungek}(u, 0, 1\tau, N, F)$$

Рис.1-2. Фрагмент программы математической модели (окончание)

Из графиков видно, что максимальную ошибку дает классическая модель по полным уравнениям Парка-Горева (Kpg) при режимах с малым коэффициентом мощности. Предложенная модель (Knew) дает гораздо более точный результат. Основное влияние на её погрешность оказывает точность описания коэффициентов намагничивания для машин и параметров обмоток.

В целом, математическая модель представленная в статье позволяет достаточно точно исследовать процессы, протекающие как в промышленных, так и в автономных сетях работающих на нагрузки через полупроводниковые преобразователи и дополненная модель инвертора и асинхронного двигателя, дает возможность детального исследования одной из самых распространенных систем СГ-АИН-АД, применяемых в промышленности.

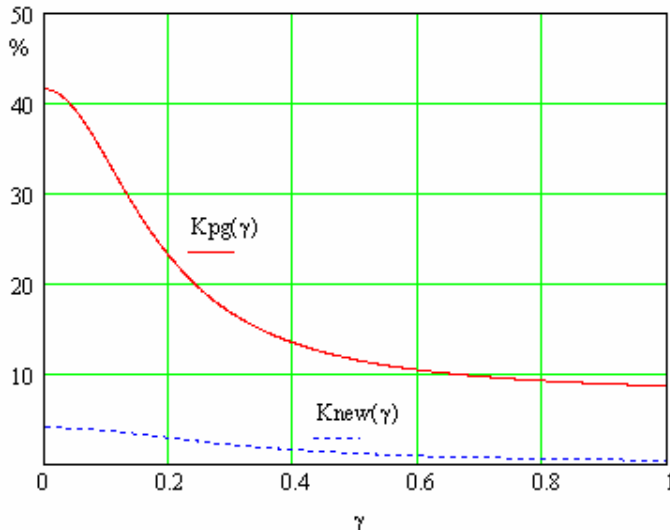


Рис.2. Ошибка моделирования для различных моделей

Литература

1. Бондаренко В.М. Методы и алгоритмы анализа статических и динамических режимов нелинейных цепей. – Киев, 1974. – 105с.
2. Глухивский Л.И. Расчет периодических процессов электротехнических устройств. – Львов: Вища школа, 1984. – 164с.
3. Aprille T.I., Triek T.N. A computer algorithm to determine the steady-state response for non-linear oscillator. // IEEE Trans. Circuit theory. 1972. – Vol. ct-19. – P.354-360.
4. Анисимов Я.Ф., Васильев Е.П. Электромагнитная совместимость полупроводниковых преобразователей и судовых электроустановок. — Л.: Судостроение, 1990. - 264 с.
5. Сипайлов Г.А., Лоос А.В. Математическое моделирование электрических машин (АВМ). - М.: Высш. школа, 1980. - 176с.
6. Шейнихович В.В., Климанов О.Н., Пайкин Ю.И., Зубарев Ю.Я. Качество электрической энергии на судах: Справочник/ КЗО-Л.: Судостроение, 1988.-160 с., ил. (Библиотека судового электротехника).
7. Плахтина О.Г., Мазепа С.С., Куцик А.С. Частотно-управляемые асинхронные и синхронные электроприводы.–Львов: Издательство Национального Университета «Львовская политехника», 2002.-227 с.

Кобазєв В.П.

ПОХИБКИ ФАЗОВОГО ПОКАЖЧИКА НАСТРОЙКИ ДУГОГАСНОГО РЕАКТОРА ЗІ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ЗА НАПРУГОЮ НЕЙТРАЛІ

Наведені співвідношення для розрахунку абсолютної і відносної похибок, що викликані неідеальністю джерела струму у вигляді додаткового конденсатора, який включається між фазою мережі і землею. Результати розрахунку показали, що відносна похибка показчика не перевищує одного відсотка. Рис. 3, дж. 2.

Постановка завдання. Підвищення надійності роботи електроустановок у режимі однофазного замикання на землю пов'язано, як відомо, з резонансним заземленням нейтралі. Повною мірою ці переваги проявляються тоді, коли вище точність настроювання дугогасного реактора. У цьому випадку забезпечується мінімізація реактивного струму в місці замикання на землю. Реалізація переваг резонансного настроювання здійснюється шляхом використання для настроювання дугогасних реакторів (ДР), автоматичних регуляторів і показчиків їх настройки. Досягнення необхідної точності визначення ступеня настройки при використанні фазових вимірювальних органів залежить як від властивостей вимірювального органа, так і від способу створення штучного зсуву нейтралі [1]. Тому для оцінки ефективності вимірювального органа необхідне визначення його похибки.

Аналіз останніх досягнень. В [2] запропонований фазовий показчик настройки, в якому для виключення впливу добротності мережі на точність виміру був застосований жорсткий негативний зворотний зв'язок за напругою нейтралі. Похибка виміру в цьому показчику визначається неідеальністю джерела напруги зсуву нейтралі.

Завдання досліджень. Зробити оцінку похибки виміру настройки дугогасного реактора, що внесена джерелом штучного зсуву нейтралі.

Виклад основного матеріалу. В кабельних електричних мережах необхідна напруга зсуву нейтралі, для роботи пристрою вимірювання ступеня настроювання ДР напруга створюється шляхом підключення до однієї з фаз мережі і землі конденсатора ΔC . При цьому на контур нульової послідовності через конденсатор ΔC буде подаватися фазна напруга.

Для оцінки роботи показчика настройки ДР виконаємо аналіз амплітудних і фазових характеристик струму $I_{\Delta C}$ та напруги зміщення нейтралі мережі. Для цього скористуємося однофазною схемою заміщення компенсованої мережі в нормальному режимі, що наведена на рис. 1. При складенні схеми було враховано такі припущення: напруга природної асиметрії дорівнює нулю, активний опір ДР враховується в опорі ізоляції. Параметри мережі прийнято зосередженими.

Для ділянки схеми з паралельно з'єднаними індуктивністю реактора L , ємності мережі C і активного опору R , маємо співвідношення для визначення опору контуру нульової послідовності:

$$\underline{Z}_{\text{кнп}} = \frac{R \cdot x_c \cdot x_L}{x_c \cdot x_L + j(x_L - x_c) \cdot R},$$

де x_c - опір ємності мережі, x_L - опір ДР (L).

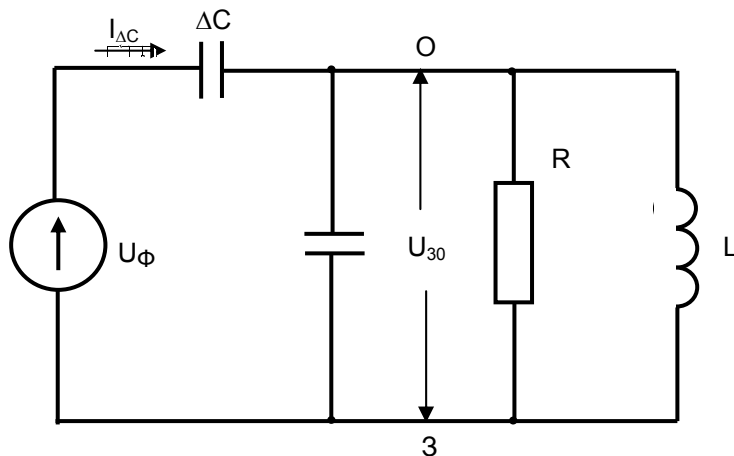


Рис. 1. Однофазна схема заміщення мережі

Для запису виразу у відносних одиницях розглянемо вирази для знаходження v та d .

Відомо, що ступень настроювання ДР через струм і реактивні опори x_L та x_C визначається так:

$$v = \frac{I_L - I_C}{I_C} = \frac{x_L - x_C}{x_L} \quad (1)$$

Коефіцієнт добротності мережі – це частка активного струму I_a в ємнісному струмі I_C кабельної мережі. Визначимо його за допомогою опорів x_c і R :

$$d = \frac{I_a}{I_c} = \frac{x_c}{R}$$

Перетворимо вираз для опору $Z_{\text{КНП}}$ з врахуванням виразів для v та d . Для цього спочатку чисельник і знаменник поділимо на x_L , а потім на R :

$$Z_{\text{КНП}} = \frac{R \cdot x_c}{x_c + jv \cdot R} = \frac{x_c}{\frac{x_c}{R} + jv} = \frac{x_c}{d + jv}$$

З врахуванням $Z_{\text{КНП}}$ і опору додаткового конденсатора сумарний опір схеми рис. 1 буде таким:

$$Z_{\Sigma} = Z_{\text{КНП}} - jx_{\Delta C} = \frac{x_c - jx_{\Delta C}(d + v)}{d + jv},$$

де $x_{\Delta C}$ - реактивний опір конденсатора ΔC .

Нехай відносна ємність конденсатора визначається співвідношенням:

$$\delta c = \frac{x_c}{x_{\Delta C}}$$

Тепер вираз (1) може бути записаний у такому вигляді:

$$Z_{\Sigma} = \frac{(\delta c + v - jd) \cdot x_c}{(d + jv) \cdot \delta c}$$

Якщо вектор фазної напруги суміщено з віссю дійсних чисел, то струм, що тече крізь конденсатор ΔC буде наступний:

$$\dot{I}_{\Delta c} = \frac{U_{\phi}}{\underline{Z}_{\Sigma}} = \frac{\delta c(d + jv) \cdot U_{\phi}}{(\delta c + v - jd) \cdot x_c}.$$

Ємнісний струм мережі визначимо з співвідношення:

$$\dot{I}_c = \frac{U_{\phi}}{-jx_c} = j \frac{U_{\phi}}{x_c}.$$

Тоді маємо наступне співвідношення струмів $\dot{I}_{\Delta c}$ та \dot{I}_c :

$$\frac{\dot{I}_{\Delta c}}{\dot{I}_c} = \frac{\delta c(d + jv)}{d + j(\delta c + v)}.$$

Позбавимось від комплексного числа в знаменнику:

$$\frac{\dot{I}_{\Delta c}}{\dot{I}_c} = \frac{\delta c^2 \cdot d}{(\delta c + v)^2 + d^2} + j \frac{\delta c \cdot d^2 + v^2 \cdot \delta c + \delta c^2 \cdot v}{(\delta c + v)^2 + d^2}. \quad (2)$$

Визначимо напругу зсуву нейтралі \dot{U}_{30} з врахуванням $\dot{I}_{\Delta c}$ та $\underline{Z}_{КНП}$:

$$\dot{U}_{30} = \dot{I}_{\Delta c} \cdot \underline{Z}_{КНП} = \frac{\delta c(d + jv) \cdot U_{\phi}}{x_c(\delta c + v - jd)} \cdot \frac{x_c}{d + jv} = \frac{\delta c \cdot U_{\phi}}{\delta c + v - jd}.$$

Відношення напруги \dot{U}_{30} до U_{ϕ} визначається наступним виразом:

$$\frac{\dot{U}_{30}}{U_{\phi}} = \frac{\delta c}{\delta c + v - jd} = \frac{\delta c(\delta c + v + jd)}{(\delta c + v)^2 + d^2}.$$

Після виділення мнимої та дійсної частин маємо:

$$\frac{\dot{U}_{30}}{U_{\phi}} = \frac{\delta c^2 + \delta c \cdot v}{(\delta c + v)^2 + d^2} + j \frac{\delta c \cdot d}{(\delta c + v)^2 + d^2}. \quad (3)$$

З (2) та (3) отримуємо фазові характеристики відносного струму $\dot{I}_{\Delta c}$ та напруги \dot{U}_{30} від ступеня настройки компенсації Δv у нормальному режимі мережі:

$$\varphi_I = \arctg \frac{\delta c \cdot d^2 + v^2 \cdot \delta c + \delta c^2 \cdot v}{\delta c^2 \cdot d}, \quad (4)$$

$$\varphi_U = \arctg \frac{d}{v + \delta c}. \quad (5)$$

Аналіз (4) показує, що при зміні ступеня настроювання компенсації кут φ_I практично не змінюється при $(v) > 0,1$ та дорівнює 90° . В діапазоні $-0,1 < v < 0,1$ кут змінюється, що спричиняє похибку вимірювання при ступенях настроювання ДР близьких до резонансу. Кут φ_U напруги \dot{U}_{30} (5) від ступеня настроювання ДР суттєво змінюється.

Визначимо кут між напругою \dot{U}_{30} та струмом $\dot{I}_{\Delta c}$ враховуючи (4) та (5):

$$\varphi_H = \varphi_I - \varphi_U = -\arctg \frac{\delta c \cdot d^2 + v^2 \cdot \delta c + \delta c^2 \cdot v}{\delta c^2 \cdot d} - \arctg \frac{d}{v + \delta c}.$$

Цей кут можна також отримати із співвідношення:

$$\operatorname{tg} \varphi_H = \operatorname{tg}(\varphi_I - \varphi_U) = \frac{\operatorname{tg} \varphi_I - \operatorname{tg} \varphi_U}{1 + \operatorname{tg} \varphi_I \cdot \operatorname{tg} \varphi_U}.$$

Після перетворень маємо:

$$\varphi_H = \arctg \frac{v}{d}. \quad (6)$$

З виразу (4) виходить, що кут φ_I змінюється залежно від ступеня настроювання ДР. В ідеальному випадку $\varphi_I = \frac{\pi}{2}$. Таким чином, абсолютна похибка вимірювання кута буде визначатися з співвідношення:

$$\Delta \varphi = \arctg \left(\left(\frac{\delta c \cdot d^2 + v^2 \cdot \delta c + \delta c^2 \cdot v}{\delta c^2 \cdot d} - \frac{\pi}{2} \right) \right). \quad (7)$$

Результати розрахунку на ЕОМ абсолютної похибки вимірювання $\Delta \varphi(v)$ при мінімальному $d=0,04$, $\delta c=0,01$ і максимальному $d=0,1$ наведені на рис. 2.

Аналіз залежностей рис. 2 показав, що максимальна похибка виникає при резонансному настроюванні дугогасного реактора. Максимальне значення 14 ел. град. вона має при коефіцієнті добротності $d=0,04$, а мінімальне 6 ел. град. при $d=0,01$. Практично можна вважати, що похибка виникає в діапазоні зміни ступеня v настроювання ДР від $-0,05$ до $+0,05$.

Для визначення відносної похибки скористаємося співвідношенням (6). Після перетворень маємо $\Delta v = d \cdot \operatorname{tg}(\Delta \varphi)$. Підставимо в цей вираз значення кута $\Delta \varphi$. В результаті отримаємо таке співвідношення:

$$\Delta v = d \cdot \left(\arctg \left(\frac{\delta c \cdot d^2 + v^2 \cdot \delta c + \delta c^2 \cdot v}{\delta c^2 \cdot d} \right) - \frac{\pi}{2} \right). \quad (8)$$

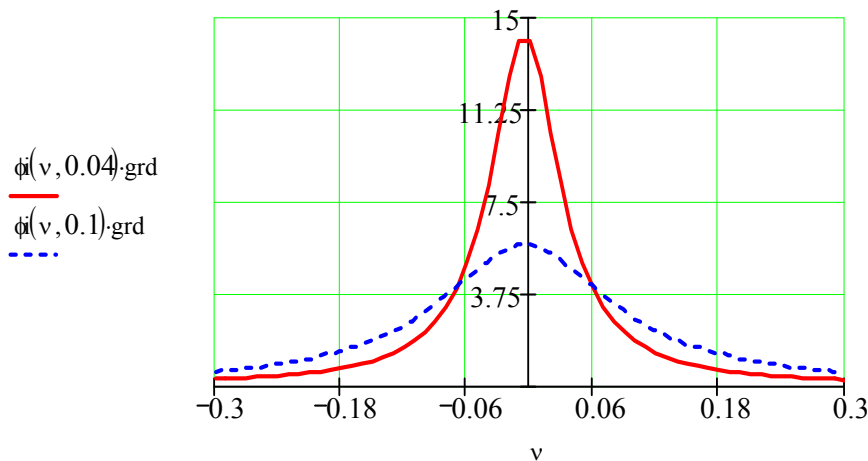


Рис. 2. Абсолютна похибка вимірювання ступеня настройки ДР

Результати розрахунку відносної похибки показчика при тих самих вихідних даних згідно (8) наведені на рис. 3.

З рис. 3 слідує, що форма кривих відносних похибок співпадає з кривими абсолютних похибок, але при резонансному настроюванні значення похибки не залежить від коефіцієнта добротності мережі. Максимальне значення похибки 1,0%. При іншому значенні ступеня настроювання ДР маємо менше значення похибки для мережі з меншим значенням коефіцієнта добротності: при $\nu=0,05$ для $d=0,1 \Delta\nu\%=0,83\%$, при $\nu=0,05$ для $d=0,04 \Delta\nu\%=0,4\%$.

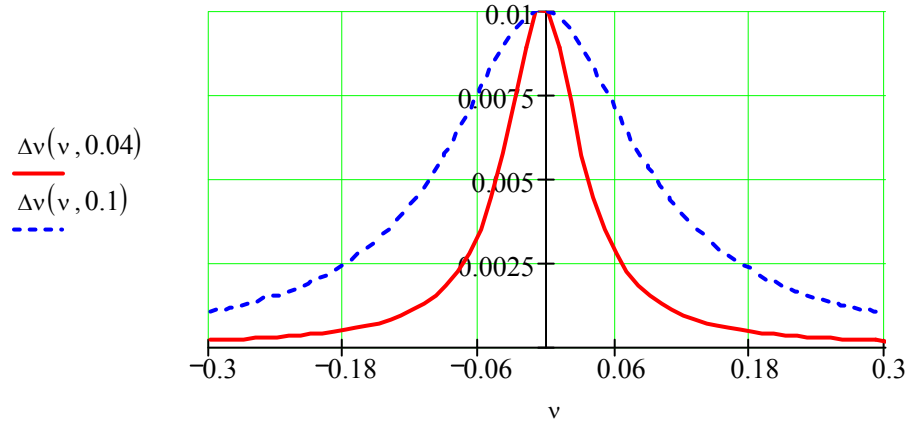


Рис. 3. Відносна похибка показчика настроювання ДР

Висновки. Отримано співвідношення для розрахунку абсолютної і відносної похибок, що викликані неідеальністю джерела струму у вигляді додаткового конденсатора, який включається між фазою мережі і землею.

Результати розрахунку показали, що при $\delta C=0,01$ відносна похибка регулятора не перевищує одного відсотка. При зменшенні δC похибка також зменшується

Література

1. Обабков В.К. Синтез адаптивных систем управления резонансными объектами.- К.: Наукова думка, 1993.- 254 с.
2. Кобазев В.П., Чупайленко А.А., Кошин Б.А., Лысенко В.А. Указатель настройки дугогасящего реактора // Энергетика и электрификация. – 1998. – № 5. – С.18-21.

УДК 621.396

Кострюков В.П., Кохан Е.В.

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ДИАГНОСТИКИ СООРУЖЕНИЙ

В работе разработана нечеткая база знаний экспертной системы оценки надежности сооружений. Разработана структура базы знаний, представлены алгоритм получения знаний от экспертов и алгоритм нечеткого логического вывода.

Среди существующих сооружений немало таких, которые получили повреждения, вызванные различного рода внешними воздействиями (землетрясение, тайфуны и т. п.). В результате возникли проблемы их эксплуатации и надежности. В настоящее время с экономической точки зрения

не представляется возможным сломать и восстановить все сооружения с более или менее значительными повреждениями [1].

Поэтому необходимо дать обоснованную оценку: какие сооружения следует отремонтировать, а какие перестроить. Такую оценку легко дать в случае, когда сооружение получило видные невооруженным глазом повреждения. В случае если внешний осмотр ничего не дает, но имеются значительные внутренние повреждения, оценка затруднительна. Чтобы сделать заключение о состоянии таких повреждений, необходимо связать воедино данные о состоянии повреждений, полученные при внешнем осмотре, а также имеющие к этому отношение факторы и другую информацию (причины повреждений, состояние на данный момент, важность сооружения, данные проектирования, окружающая среда и т. п.) и затем оценить надежность сооружения со всех точек зрения. Если объема данных, которые можно использовать для оценки надежности сооружения, недостаточно, необходимо изучить нечеткие данные с различных позиций и на основе интуиции и опыта сделать заключение о степени и последствиях повреждений. До настоящего времени оценку надежности сооружений были вынуждены поручать специалистам с богатым опытом и интуицией инженера. Сегодня, когда постоянно возрастает необходимость профилактического ремонта сооружений, число таких специалистов невелико по сравнению с потребностью в них, поэтому возникает ряд проблем, связанных с эксплуатацией сооружений, справиться с которыми специалистам не под силу. Следовательно, желательно иметь систему оценки надежности, с помощью которой даже рядовой инженер мог бы получить результаты такого же уровня, как и специалист. В настоящее время создано немало экспертных систем для оценки степени повреждений сооружений [2-5]. Разрабатываются также системы, использующие для оценки надежности сооружений нечеткую логику.

При оценке надежности сооружений важно в какой-либо количественной форме представить неопределенности. Однако неопределенные факторы, которые следует принять к рассмотрению, имеют самую разнообразную природу с точки зрения причин их возникновения, особенностей и т. п. При их комплексной оценке в любом случае мы вынуждены доверять мнению специалистов. Даже если объекты, с которыми имеет дело человек, неопределенны, неясны, возможна их комплексная оценка, позволяющая интерпретировать их сущность и различать их особенности, что восполняет нехватку информации и недоработку моделей.

В данной работе разрабатывается нечеткая экспертная система оценки срока службы железобетонных перекрытий мостовых сооружений. Основная идея предложена авторами [1]. В новой системе предусмотрено повышение эффективности вычислений за счет виртуальных правил. Кроме того, с целью повышения точности вычислений применены два различных метода выводов: вывод, при котором в случае успеха учитывается только увеличение степени достоверности, и вывод, при котором в случае неудачи принимается во внимание только уменьшение степени достоверности.

В данной работе поставлена цель разработать экспертную систему оценки сооружений, которая обладает способностью к обучению и использованию накопленных знаний для диагностики.

Анализ предметной области показал, что определение степени повреждения и срока службы необходимо осуществлять по причинам повреждения, которые в свою очередь определяются исходя из данных конструирования, условий эксплуатации, условий окружающей среды и результатов проверки состояния.

В разрабатываемой базе знаний предполагается, что все входные и выходные переменные представляют собой нечеткие множества. А причины и

следствия связаны между собой правилами вида *ЕСЛИ А, ТО В*. В основу механизма вывода в ЭС принято правило нечеткого логического вывода Мамдани. Согласно принятым допущениям разработана структурная схема базы знаний (Рис. 1).

Входные переменные базы знаний могут принимать как конкретные числовые значения, так и нечеткие значения из заранее заданного термножества. На первом этапе эксперт заносит исходные данные: выбирает конструкцию, заносит параметры конструкции, условия окружающей среды, условия эксплуатации, результаты проверки внешнего состояния сооружения. На втором этапе производится оценка возможных причин повреждения. Оценка причин выполняется по заранее заданным правилам и с учетом весовых коэффициентов, которые показывают степень влияния параметра на анализируемую причину. На третьем этапе выполняется оценка выходных переменных ЭС: степени повреждения и срока службы.

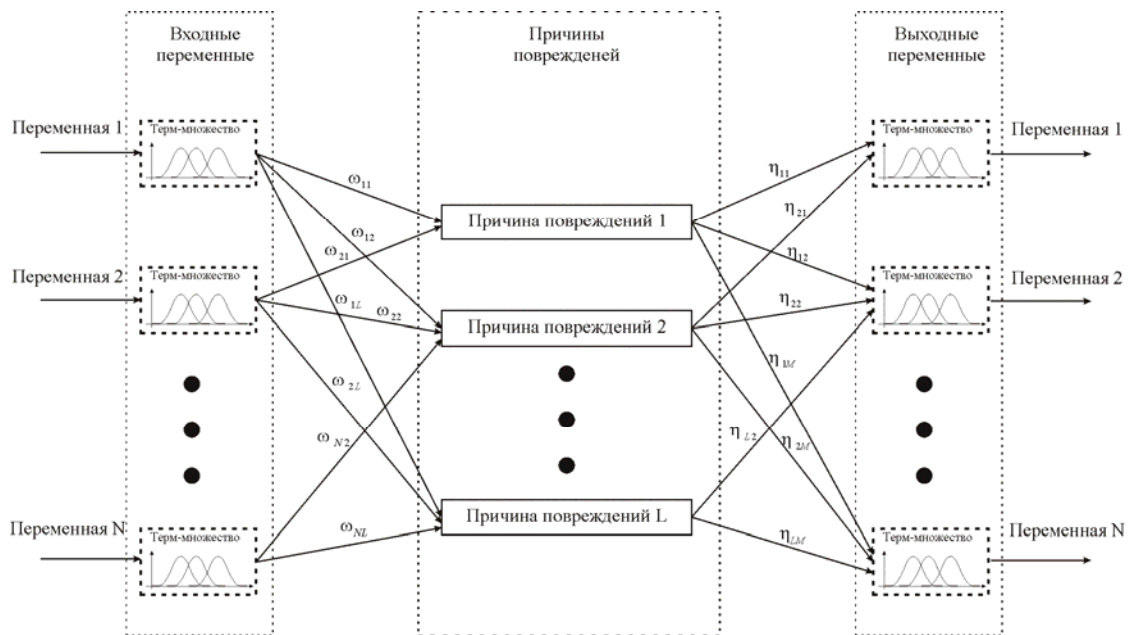


Рис. 1. Структурная схема базы знаний ЭС оценки надежности сооружений

Оценка выходных параметров выполняется с учетом весовых коэффициентов, показывающих степень влияния конкретной причины на выходные переменные.

Наиболее сложным этапом разработки экспертных систем является получение знаний от экспертов. Чтобы наполнить базу знаний данными, принят следующий алгоритм формирования базы знаний.

Подготовить список входных переменных и их возможные термножества. На этом этапе формируется список возможных значений данных проектирования, условий окружающей среды, условий эксплуатации и результата внешнего осмотра.

Подготовить список выходных переменных и их возможные термножества. На этом этапе формируется список возможных значений оценки степени повреждений и срока службы.

Подготовить список причин повреждений.

Формирование функций принадлежности термножеств входных и выходных переменных.

Связать причины с входными переменными.

Связать причины с выходными переменными.

Этапы 1-3 представляют собой предварительную подготовку базы знаний. На этом этапе можно использовать специальные анкеты для опроса экспертов, использовать техническую документацию сооружений, а также сведения конструкторских бюро. Этапы 4-6 должны выполняться при непосредственном участии экспертов. На этих этапах формируются функции принадлежности и весовые коэффициенты, входящие в базу знаний.

Рассмотрим методику формирования функций принадлежности на примере выходной переменной «Срок службы». Пусть для данной переменной определено терм-множество «короткий, средний, длительный». Численное значение переменной принадлежит интервалу $[0,100]$.

Зададимся структурой функции принадлежности:

$$\mu(x) = \begin{cases} e^{-a_{\min}(x-\bar{x})^2}, & x \in [x_{\min}, \bar{x}] \\ e^{-a_{\max}(x-\bar{x})^2}, & x \in [\bar{x}, x_{\max}] \end{cases} \quad (1)$$

Пример графика функции принадлежности при $x_{\min} = 0$, $x_{\max} = 20$, $\bar{x} = 10$, $a_{\min} = 0,1$, $a_{\max} = 0,05$ представлен на Рис. 2.

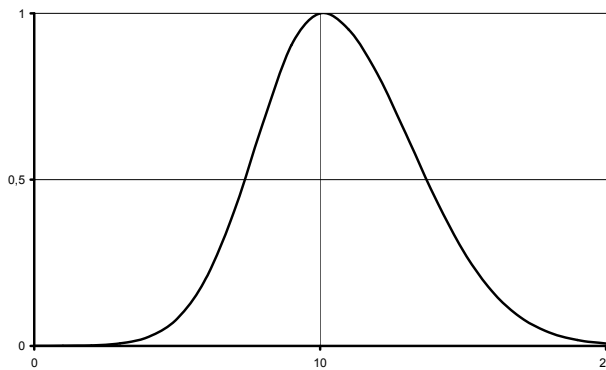


Рис. 2. График функции принадлежности

По результатам опроса экспертов определим неизвестные параметры функции принадлежности \bar{x} , a_{\min} , a_{\max} .

Пусть в опросе принимают участие n экспертов. Разобьем исходный интервал переменной «срок службы» на K отрезков (например, с шагом 2 года) (Рис. 3).



Рис. 3. Подготовка интервала для опроса экспертов

Затем каждому эксперту предъявляется числовое значение переменной и предлагается поставить в соответствие числовому значению значение из терм-

множества переменной. Пусть в результате опроса $n_i^{T_j}$ экспертов отнесли значение x_i к терму T_j . Тогда значение функции принадлежности можно вычислить по формуле:

$$\mu^{T_j}(x_i) = \frac{n_i^{T_j}}{n}. \quad (2)$$

На заключительном этапе формирования функции принадлежности, выполним аппроксимацию функцией (1), полученных численных значений. Среднее значение \bar{x}^{T_j} целесообразно рассчитать как средневзвешенное:

$$\bar{x}^{T_j} = \frac{\sum_{i=1}^K \mu^{T_j}(x_i) \cdot x_i}{\sum_{i=1}^K \mu^{T_j}(x_i)}. \quad (3)$$

Параметры $a_{\min}^{T_j}$, $a_{\max}^{T_j}$ оценим по методу наименьших квадратов. Прологарифмируем выражение (1):

$$\ln \mu^{T_j}(x_i) = -a_{\min}^{T_j} (x_i - \bar{x}^{T_j})^2. \quad (4)$$

Тогда можно записать функцию, которая зависит от параметра:

$$F(a_{\min}^{T_j}) = \sum_{i=1}^L \left(\ln \mu^{T_j}(x_i) + a_{\min}^{T_j} (x_i - \bar{x}^{T_j})^2 \right)^2, \quad (5)$$

где L – число переменных, стоящих слева от \bar{x}^{T_j} . Определим такое значение параметра $a_{\min}^{T_j}$, чтобы функция (5) принимала минимальное значение. Продифференцируем выражение (5) по параметру и приравняем нулю:

$$\frac{\partial F(a_{\min}^{T_j})}{\partial a_{\min}^{T_j}} = 2 \sum_{i=1}^L \left(\ln \mu^{T_j}(x_i) + a_{\min}^{T_j} (x_i - \bar{x}^{T_j})^2 \right) (x_i - \bar{x}^{T_j})^2 = 0. \quad (6)$$

Из выражения (6) определим значение параметра $a_{\min}^{T_j}$:

$$a_{\min}^{T_j} = - \frac{\sum_{i=1}^L \left(\ln \mu^{T_j}(x_i) (x_i - \bar{x}^{T_j})^2 \right)}{\sum_{i=1}^L (x_i - \bar{x}^{T_j})^4}. \quad (7)$$

Аналогично определим $a_{\max}^{T_j}$.

$$a_{\max}^{T_j} = - \frac{\sum_{i=1}^R \left(\ln \mu^{T_j}(x_i) (x_i - \bar{x}^{T_j})^2 \right)}{\sum_{i=1}^R (x_i - \bar{x}^{T_j})^4}, \quad (8)$$

где R – число переменных стоящих справа от \bar{x}^{T_j} .

Таким образом, следует получить функции принадлежности для каждого термина из терм-множества всех входных и выходных переменных.

На заключительных этапах формирования базы знаний необходимо рассчитать значения весовых коэффициентов, используемых в правилах, согласно принятой структуре базы знаний (Рис. 1). Значения коэффициентов формируются на основе данных, полученных при опросе экспертов. Экспертам последовательно предъявляются возможные причины повреждений, и

выводится список входных параметров. Из списка параметров эксперты выбирают такие значения, которые, по их мнению, оказывают влияние на причину. Пусть из n экспертов n_1 эксперт связал терм T_j^i с причиной l , тогда вес дуги, соединяющей переменную i с причиной l , можно рассчитать по формуле:

$$\omega_{ij} = \frac{n_1}{n}. \quad (9)$$

Аналогично формируются весовые коэффициенты дуг, которые связывают причины повреждений с выходными переменными.

Моделирование разработанной ЭС выполнено в табличном процессоре MS Excel, который обладает необходимым математическим инструментарием и обладает разнообразным инструментарием для построения диаграмм и графиков.

Литература

1. Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон./ К. Асаи, Д. Ватада, С. Иван и др./ под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно.- М.: Мир, 1993.- 368 с, ил.
2. Zadeh L. A. Outline of new approach to the analysis of complex systems and decision process // IEEE Trans, on SMC- 1973.-Vol 3 N 1.-P. 28-44.
3. Zadeh L. A. Calculus of fuzzy restrictions // In "Fuzzy sets and its application to cognitive and decision processes" ed. by Zadeh L.A.-Academic Press, 1975-P. 1-39.
4. Zadeh L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Part 1, 2, 3 // Information Sciences.-1975. -N. 8.-P. 199-249; N 8.-P. 301-357; N 9.-P. 43-80.
5. Mamdani E. A. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis // IEEE Trans. Computers. 1977-Vol. C26, N 12,-P. 1182-1191.

УДК 621.396

Кострюков В.П., Лобур С.Н.

РАЗРАБОТКА САМОНАСТРАИВАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННОЙ

В статье разработана самонастраивающаяся система управления тарельчатой ректификационной колонной. Оптимальный закон управления получен из условия предсказания выходной координаты объекта управления. Оценка параметров модели выполнена на основе рекуррентного МНК.

Существующие системы управления ректификационными колоннами не учитывают нестабильность параметров передаточных функций по каналам управления и возмущения.

При изменении режима работы (расхода входных и выходных потоков, состава сырья, расхода теплоносителя и других факторов) инерционность колонны изменяется. Это выражается в изменении в широких пределах параметров передаточных функций по каналу управления и возмущения (коэффициентов передачи, постоянных времени и времени запаздывания). Поэтому для повышения степени разделения сырья возникает необходимость в адаптивной настройке регулятора теплового режима колонны с целью достижения высокого качества управления температурой на контрольной тарелке.

Математическая модель ректификационной колонны имеет вид [4]:

$$W_1(p) = \frac{y_1(p)}{\xi(p)} = -\frac{k_1}{(T_1 p + 1)} \quad (10)$$

$$W_2(p) = \frac{y_2(p)}{u(p)} = \frac{k_2 e^{-\tau p}}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}, \quad (11)$$

где y_1 – выходная координата по каналу изменения входного сырья – температура на контрольной тарелке;

y_2 – выходная координата по каналу расход теплоносителя – температура на контрольной тарелке;

$y = y_1 + y_2$ – выходная регулируемая координата (температура на контрольной тарелке);

u – управляющее воздействие (расход теплоносителя);

ξ – контролируемое возмущающие воздействие, которое представляет собой расход входного сырья.

Для синтеза цифровой системы управления преобразуем модель объекта управления (10)-(11) к дискретной форме. Применим к математической модели объекта управления z -преобразование.

$$W_1(z) = \frac{(z-1)Z\left\{\frac{W_1(p)}{p}\right\}}{z} = \frac{k_1 \left(e^{\frac{T_0}{T_1}} - 1 \right) z^{-1}}{\left(1 - e^{\frac{T_0}{T_1}} z^{-1} \right)} = \quad (12)$$

$$W_2(z) = \frac{(z-1)Z\left\{\frac{W_2(p)}{p}\right\}}{z} = \frac{k_2 z^{-d-1} \left[1 - a'_1 + a'_2 + (a'_1(\alpha_2 + 1) - a'_2(\alpha_1 + 1) - (\alpha_1 + \alpha_2))z^{-1} + (\alpha_1\alpha_2 - a'_1\alpha_2 + \alpha_1 a'_2)z^{-2} \right]}{\left(1 - e^{\frac{T_0}{T_2}} z^{-1} \right) \left(1 - e^{\frac{T_0}{T_3}} z^{-1} \right)}, \quad (13)$$

где $\alpha_1 = e^{\frac{T_0}{T_2}}$, $\alpha_2 = e^{\frac{T_0}{T_3}}$, $a'_1 = \frac{T_2 e^{\left(\frac{\tau}{T_2} - \frac{(d+1)T_0}{T_2}\right)}}{(T_2 - T_3)}$, $a'_2 = \frac{T_3 e^{\left(\frac{\tau}{T_3} - \frac{(d+1)T_0}{T_3}\right)}}{(T_2 - T_3)}$.

Представим выражение (12) в разностной форме:

$$y_{1t} - c_0 y_{1t-1} = c_1 \xi_{t-1}, \quad (14)$$

где $c_0 = e^{\frac{T_0}{T_1}}$, $c_1 = k_1 \left(e^{\frac{T_0}{T_1}} - 1 \right)$.

Преобразуем выражение (13) к разностной форме:

$$y_{2t} - a_0 y_{2t-1} + a_1 y_{2t-2} = b_0 u_{t-d-1} + b_1 u_{t-d-2} + b_2 u_{t-d-3}, \quad (15)$$

где $a_0 = \alpha_1 + \alpha_2$, $a_1 = \alpha_1 \alpha_2$, $b_0 = k_2 [1 - a'_1 + a'_2]$,
 $b_1 = k_2 [a'_1(\alpha_2 + 1) - a'_2(\alpha_1 + 1) - (\alpha_1 + \alpha_2)]$, $b_2 = k_2 (\alpha_1 \alpha_2 - a'_1 \alpha_2 + \alpha_1 a'_2)$.

Выходная координата y_t определяется выражением:

$$y_t = y_{1t} + y_{2t} \quad (16)$$

Тогда, с учетом (14) и (15) выражение (16) можно записать в виде:

$$y_t = (a_0 + c_0)y_{t-1} - (a_1 + a_0c_0)y_{t-2} + c_0a_1y_{t-3} + b_0u_{t-d-1} + (b_1 - c_0b_0)u_{t-d-2} + (b_2 - c_0b_1)u_{t-d-3} - c_0b_2u_{t-d-4} + c_1\xi_{t-1} - c_1a_0\xi_{t-2} + c_1a_1\xi_{t-3}. \quad (17)$$

Таким образом, выражение (17) представляет собой математическую модель процесса ректификации в тарельчатой ректификационной колонне, которая представлена согласно [4].

Упростим выражение математической модели ректификационной колонны (17). Представим ее в виде:

$$y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \alpha_3 y_{t-3} + \beta_1 u_{t-d-1} + \beta_2 u_{t-d-2} + \beta_3 u_{t-d-3} + \beta_4 u_{t-d-4} + \gamma_1 \xi_{t-1} + \gamma_2 \xi_{t-2} + \gamma_3 \xi_{t-3} \quad (18)$$

$$\alpha_1 = (a_0 + c_0), \alpha_2 = -(a_1 + a_0c_0), \alpha_3 = c_0a_1y_{t-3}, \beta_1 = b_0, \beta_2 = (b_1 - c_0b_0), \beta_3 = (b_2 - c_0b_1), \beta_4 = -c_0b_2, \gamma_1 = c_1, \gamma_2 = -c_1a_0, \gamma_3 = c_1a_1.$$

Получим закон оптимального управления объектом (18) с учетом предсказания на $d + 2$ тактов. Зададимся критерием качества:

$$J = M\left\{py_{t+d+2} - rg_t\right\}^2 + \lambda(u_t - u_{t-1})^2 \quad (19)$$

Выражение (18) запишем в виде:

$$y_{t+d+2} = z^2 \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} u_t + z^{d+2} \frac{C(z^{-1})}{A(z^{-1})} \xi_t, \quad (20)$$

где $A(z^{-1}) = 1 - \alpha_1 z^{-1} - \alpha_2 z^{-2} - \alpha_3 z^{-3}$

$$B(z^{-1}) = \beta_1 z^{-1} + \beta_2 z^{-2} + \beta_3 z^{-3} + \beta_4 z^{-4}$$

$$C(z^{-1}) = \gamma_1 z^{-1} + \gamma_2 z^{-2} + \gamma_3 z^{-3}$$

Тогда тождество из [4] примет вид:

$$C(z^{-1}) = E(z^{-1})A(z^{-1}) + z^{-d-2}F(z^{-1}) \quad (21)$$

Данное тождество позволяет получить предсказатель выходной координаты y_{t+d} на d тактов вперед на основе минимизации дисперсии ошибок предсказания $\sigma_{y_{t+d}}^2$ сигнала y_{t+d} . При этом используется допущение: на интервале предсказания dT_0 ОУ считают стационарным, поэтому нестабильностью его параметров пренебрегают. Доказательство тождества можно найти в [6].

При такой постановке задачи, закон оптимального управления примет вид:

$$[pz^2E(z^{-1})B(z^{-1}) + \lambda C(z^{-1})(1 - z^{-1})]u_t + pF(z^{-1})y_t - rC(z^{-1})g_t = 0. \quad (22)$$

В соответствии с рекомендациями [4] зададимся периодом квантования

$T_0 = \frac{\tau}{2}$, тогда $d = \left\lceil \frac{\tau}{T_0} \right\rceil + 1 = 3$. Из выражения (21) определим полиномы $E(z^{-1})$ и $F(z^{-1})$.

$$F(z^{-1}) = \frac{C(z^{-1}) - E(z^{-1})A(z^{-1})}{z^{-d-2}}. \quad (23)$$

Примем $E(z^{-1}) = e_0 + e_1 z^{-1} + e_2 z^{-2} + e_3 z^{-3} + e_4 z^{-4}$, тогда:

$$F(z^{-1}) = \frac{1}{z^{-5}} \left[-e_0 + (\gamma_1 + e_0\alpha_1 - e_1)z^{-1} + (\gamma_2 + e_0\alpha_2 + e_1\alpha_1 - e_2)z^{-2} + \right. \\ \left. + (\gamma_3 + e_0\alpha_3 + e_1\alpha_2 + e_2\alpha_1 - e_3)z^{-3} + (e_1\alpha_3 + e_2\alpha_2 + e_3\alpha_1 - e_4)z^{-4} + \right. \\ \left. + (e_2\alpha_3 + e_3\alpha_2 + e_4\alpha_1)z^{-5} + (e_3\alpha_3 + e_4\alpha_2)z^{-6} + e_4\alpha_3z^{-7} \right] \quad (24)$$

В полученном выражении сократим знаменатель z^{-5} . Запишем условия, при которых коэффициенты при степенях $z^0, z^{-1}, z^{-2}, z^{-3}, z^{-4}$ обращаются в ноль. Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} -e_0 = 0, \\ \gamma_1 + e_0\alpha_1 - e_1 = 0, \\ \gamma_2 + e_0\alpha_2 + e_1\alpha_1 - e_2 = 0, \\ \gamma_3 + e_0\alpha_3 + e_1\alpha_2 + e_2\alpha_1 - e_3 = 0, \\ e_1\alpha_3 + e_2\alpha_2 + e_3\alpha_1 - e_4 = 0. \end{cases} \quad (25)$$

Решая систему, получим: $e_0 = 0, e_1 = \gamma_1, e_2 = \gamma_2 + \gamma_1\alpha_1, e_3 = \gamma_3 + \gamma_1\alpha_2 + \gamma_2\alpha_1 + \gamma_1\alpha_1^2, e_4 = \gamma_1\alpha_3 + \gamma_2\alpha_2 + 2\gamma_1\alpha_1\alpha_2 + \gamma_3\alpha_1 + \gamma_2\alpha_1^2 + \gamma_1\alpha_1^3$.

$$F(z^{-1}) = (e_2\alpha_3 + e_3\alpha_2 + e_4\alpha_1) + (e_3\alpha_3 + e_4\alpha_2)z^{-1} + e_4\alpha_3z^{-2} = \\ = f_0 + f_1z^{-1} + f_2z^{-2}. \quad (26)$$

Тогда закон оптимального управления колонной (22) примет вид:

$$u_t = -\frac{1}{p\beta_1e_1} \left[(p\beta_1e_2 + p\beta_2e_1 + \lambda\gamma_1)u_{t-1} + (p\beta_2e_2 + p\beta_3e_1 + \lambda\gamma_2 - \lambda\gamma_1)u_{t-2} + \right. \\ \left. + (p\beta_1e_4 + p\beta_2e_3 + p\beta_3e_2 + p\beta_4e_1 + \lambda\gamma_3 - \lambda\gamma_2)u_{t-3} + \right. \\ \left. + (p\beta_2e_4 + p\beta_3e_3 + p\beta_4e_2 - \lambda\gamma_3)u_{t-4} + (p\beta_3e_4 + p\beta_4e_3)u_{t-5} + p\beta_4e_4u_{t-6} + \right. \\ \left. + pf_0y_t + pf_1y_{t-1} + pf_2y_{t-2} + r\gamma_1g_{t-1} + r\gamma_2g_{t-2} + r\gamma_3g_{t-3} \right] \quad (27)$$

Параметры модели (18) определим по рекуррентному методу наименьших квадратов. Запишем функцию, зависящую от параметров модели:

$$F(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3) = \\ = \sum_{i=d+5}^n (\alpha_1y_{i-1} + \alpha_2y_{i-2} + \alpha_3y_{i-3} + \beta_1u_{i-d-1} + \beta_2u_{i-d-2} + \beta_3u_{i-d-3} + \beta_4u_{i-d-4} + \\ + \gamma_1\xi_{i-1} + \gamma_2\xi_{i-2} + \gamma_3\xi_{i-3} - y_i)^2. \quad (28)$$

Необходимым условием экстремума функции многих переменных является равенство нулю первых производных:

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha_1} = 2 \sum_{i=d+5}^n (\alpha_1y_{i-1} + \alpha_2y_{i-2} + \alpha_3y_{i-3} + \beta_1u_{i-d-1} + \beta_2u_{i-d-2} + \\ + \beta_3u_{i-d-3} + \beta_4u_{i-d-4} + \gamma_1\xi_{i-1} + \gamma_2\xi_{i-2} + \gamma_3\xi_{i-3} - y_i)y_{i-1} = 0; \quad (29)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha_2} = 2 \sum_{i=d+5}^n (\alpha_1y_{i-1} + \alpha_2y_{i-2} + \alpha_3y_{i-3} + \beta_1u_{i-d-1} + \beta_2u_{i-d-2} + \\ + \beta_3u_{i-d-3} + \beta_4u_{i-d-4} + \gamma_1\xi_{i-1} + \gamma_2\xi_{i-2} + \gamma_3\xi_{i-3} - y_i)y_{i-2} = 0; \quad (30)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha_3} = 2 \sum_{i=d+5}^n (\alpha_1y_{i-1} + \alpha_2y_{i-2} + \alpha_3y_{i-3} + \beta_1u_{i-d-1} + \beta_2u_{i-d-2} + \\ + \beta_3u_{i-d-3} + \beta_4u_{i-d-4} + \gamma_1\xi_{i-1} + \gamma_2\xi_{i-2} + \gamma_3\xi_{i-3} - y_i)y_{i-3} = 0; \quad (31)$$

$$\frac{\partial F}{\partial \beta_1} = 2 \sum_{i=d+5}^n (\alpha_1 y_{i-1} + \alpha_2 y_{i-2} + \alpha_3 y_{i-3} + \beta_1 u_{i-d-1} + \beta_2 u_{i-d-2} +$$

$$+ \beta_3 u_{i-d-3} + \beta_4 u_{i-d-4} + \gamma_1 \xi_{i-1} + \gamma_2 \xi_{i-2} + \gamma_3 \xi_{i-3} - y_i) u_{i-d-1} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial \beta_2} = 2 \sum_{i=d+5}^n (\alpha_1 y_{i-1} + \alpha_2 y_{i-2} + \alpha_3 y_{i-3} + \beta_1 u_{i-d-1} + \beta_2 u_{i-d-2} +$$

$$+ \beta_3 u_{i-d-3} + \beta_4 u_{i-d-4} + \gamma_1 \xi_{i-1} + \gamma_2 \xi_{i-2} + \gamma_3 \xi_{i-3} - y_i) u_{i-d-2} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial \beta_3} = 2 \sum_{i=d+5}^n (\alpha_1 y_{i-1} + \alpha_2 y_{i-2} + \alpha_3 y_{i-3} + \beta_1 u_{i-d-1} + \beta_2 u_{i-d-2} +$$

$$+ \beta_3 u_{i-d-3} + \beta_4 u_{i-d-4} + \gamma_1 \xi_{i-1} + \gamma_2 \xi_{i-2} + \gamma_3 \xi_{i-3} - y_i) u_{i-d-3} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial \beta_4} = 2 \sum_{i=d+5}^n (\alpha_1 y_{i-1} + \alpha_2 y_{i-2} + \alpha_3 y_{i-3} + \beta_1 u_{i-d-1} + \beta_2 u_{i-d-2} +$$

$$+ \beta_3 u_{i-d-3} + \beta_4 u_{i-d-4} + \gamma_1 \xi_{i-1} + \gamma_2 \xi_{i-2} + \gamma_3 \xi_{i-3} - y_i) u_{i-d-4} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial \gamma_1} = 2 \sum_{i=d+5}^n (\alpha_1 y_{i-1} + \alpha_2 y_{i-2} + \alpha_3 y_{i-3} + \beta_1 u_{i-d-1} + \beta_2 u_{i-d-2} +$$

$$+ \beta_3 u_{i-d-3} + \beta_4 u_{i-d-4} + \gamma_1 \xi_{i-1} + \gamma_2 \xi_{i-2} + \gamma_3 \xi_{i-3} - y_i) \xi_{i-1};$$

$$\frac{\partial F}{\partial \gamma_2} = 2 \sum_{i=d+5}^n (\alpha_1 y_{i-1} + \alpha_2 y_{i-2} + \alpha_3 y_{i-3} + \beta_1 u_{i-d-1} + \beta_2 u_{i-d-2} +$$

$$+ \beta_3 u_{i-d-3} + \beta_4 u_{i-d-4} + \gamma_1 \xi_{i-1} + \gamma_2 \xi_{i-2} + \gamma_3 \xi_{i-3} - y_i) \xi_{i-2};$$

$$\frac{\partial F}{\partial \gamma_3} = 2 \sum_{i=d+5}^n (\alpha_1 y_{i-1} + \alpha_2 y_{i-2} + \alpha_3 y_{i-3} + \beta_1 u_{i-d-1} + \beta_2 u_{i-d-2} +$$

$$+ \beta_3 u_{i-d-3} + \beta_4 u_{i-d-4} + \gamma_1 \xi_{i-1} + \gamma_2 \xi_{i-2} + \gamma_3 \xi_{i-3} - y_i) \xi_{i-3}.$$

Разложим каждую из частных производных в ряд Тейлора в окрестности рабочей точки. За рабочую точку примем текущее значение параметров модели $(\alpha_1^*, \alpha_2^*, \alpha_3^*, \beta_1^*, \beta_2^*, \beta_3^*, \beta_4^*, \gamma_1^*, \gamma_2^*, \gamma_3^*)$. Тогда разложение в ряд Тейлора в окрестности рабочей точки для выражения (290) примет вид:

$$\begin{aligned} & (F_{\alpha_1})^* + \left(\frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \alpha_1} \right)^* (\alpha_1 - \alpha_1^*) + \left(\frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \alpha_2} \right)^* (\alpha_2 - \alpha_2^*) + \\ & + \left(\frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \alpha_3} \right)^* (\alpha_3 - \alpha_3^*) + \left(\frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \beta_1} \right)^* (\beta_1 - \beta_1^*) + \left(\frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \beta_2} \right)^* (\beta_2 - \beta_2^*) + \\ & + \left(\frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \beta_3} \right)^* (\beta_3 - \beta_3^*) + \left(\frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \beta_4} \right)^* (\beta_4 - \beta_4^*) + \\ & + \left(\frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \gamma_1} \right)^* (\gamma_1 - \gamma_1^*) + \left(\frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \gamma_2} \right)^* (\gamma_2 - \gamma_2^*) + \left(\frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \gamma_3} \right)^* (\gamma_3 - \gamma_3^*) = 0, \end{aligned} \quad (39)$$

где $(F_{\alpha_1})^*$ – значение частной производной в рабочей точке (при текущих значениях параметров); $\left(\frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \alpha_1} \right)^*$ – значение второй частной производной в рабочей точке и т.д.

Введем обозначения $\Delta\alpha_1 = \alpha_1 - \alpha_1^*$, $\Delta\alpha_2 = \alpha_2 - \alpha_2^*$, $\Delta\alpha_3 = \alpha_3 - \alpha_3^*$,
 $\Delta\beta_1 = \beta_1 - \beta_1^*$, $\Delta\beta_2 = \beta_2 - \beta_2^*$, $\Delta\beta_3 = \beta_3 - \beta_3^*$, $\Delta\beta_4 = \beta_4 - \beta_4^*$, $\Delta\gamma_1 = \gamma_1 - \gamma_1^*$,
 $\Delta\gamma_2 = \gamma_2 - \gamma_2^*$, $\Delta\gamma_3 = \gamma_3 - \gamma_3^*$.

Определим значения частных производных (39).

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \alpha_1} &= \sum_{i=d+5}^n y_{i-1}y_{i-1}, & \frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \alpha_2} &= \sum_{i=d+5}^n y_{i-2}y_{i-1}, & \frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \alpha_3} &= \sum_{i=d+5}^n y_{i-3}y_{i-1}, \\ \frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \beta_1} &= \sum_{i=d+5}^n u_{i-d-1}y_{i-1}, & \frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \beta_2} &= \sum_{i=d+5}^n u_{i-d-2}y_{i-1}, & \frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \beta_3} &= \sum_{i=d+5}^n u_{i-d-3}y_{i-1}, \\ \frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \beta_4} &= \sum_{i=d+5}^n u_{i-d-4}y_{i-1}, & \frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \gamma_1} &= \sum_{i=d+5}^n \xi_{i-1}y_{i-1}, & \frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \gamma_2} &= \sum_{i=d+5}^n \xi_{i-2}y_{i-1}, & \frac{\partial F_{\alpha_1}}{\partial \gamma_3} &= \sum_{i=d+5}^n \xi_{i-3}y_{i-1}. \end{aligned}$$

Таким образом, получим уравнение:

$$\begin{aligned} (F_{\alpha_1})^* + \Delta\alpha_1 \sum_{i=d+5}^n y_{i-1}y_{i-1} + \Delta\alpha_2 \sum_{i=d+5}^n y_{i-2}y_{i-1} + \Delta\alpha_3 \sum_{i=d+5}^n y_{i-3}y_{i-1} + \\ + \Delta\beta_1 \sum_{i=d+5}^n u_{i-d-1}y_{i-1} + \Delta\beta_2 \sum_{i=d+5}^n u_{i-d-2}y_{i-1} + \Delta\beta_3 \sum_{i=d+5}^n u_{i-d-3}y_{i-1} + \\ + \Delta\beta_4 \sum_{i=d+5}^n u_{i-d-4}y_{i-1} + \Delta\gamma_1 \sum_{i=d+5}^n \xi_{i-1}y_{i-1} + \Delta\gamma_2 \sum_{i=d+5}^n \xi_{i-2}y_{i-1} + \Delta\gamma_3 \sum_{i=d+5}^n \xi_{i-3}y_{i-1} = 0 \end{aligned} \quad (40)$$

Выполняя аналогичные преобразования к уравнениям (30)-(38), получим систему уравнений, которая в матричной форме примет вид:

$$Ax = -b \quad (41)$$

где $x = [\Delta\alpha_1 \ \Delta\alpha_2 \ \Delta\alpha_3 \ \Delta\beta_1 \ \Delta\beta_2 \ \Delta\beta_3 \ \Delta\beta_4 \ \Delta\gamma_1 \ \Delta\gamma_2 \ \Delta\gamma_3]^T$
 $b = [(F_{\alpha_1})^* \ (F_{\alpha_2})^* \ (F_{\alpha_3})^* \ (F_{\beta_1})^* \ (F_{\beta_2})^* \ (F_{\beta_3})^* \ (F_{\beta_4})^* \ (F_{\gamma_1})^* \ (F_{\gamma_2})^* \ (F_{\gamma_3})^*]$

Новое значение в рабочей точке определяется по формулам:
 $\alpha_1 = \Delta\alpha_1 + \alpha_1^*$, $\alpha_2 = \Delta\alpha_2 + \alpha_2^*$, $\alpha_3 = \Delta\alpha_3 + \alpha_3^*$, $\beta_1 = \Delta\beta_1 + \beta_1^*$, $\beta_2 = \Delta\beta_2 + \beta_2^*$,
 $\beta_3 = \Delta\beta_3 + \beta_3^*$, $\beta_4 = \Delta\beta_4 + \beta_4^*$, $\gamma_1 = \Delta\gamma_1 + \gamma_1^*$, $\gamma_2 = \Delta\gamma_2 + \gamma_2^*$, $\gamma_3 = \Delta\gamma_3 + \gamma_3^*$.

Таким образом, управляющее воздействие u_t определяется в цифровом регуляторе на каждом такте квантования из условия установки ψ_t в нулевое значение. При этом закон управления стремится к оптимальному, и смещения оценок параметров модели объекта будут устранены, что значительно повышает точность работы системы управления.

Литература

1. Холланд Ч. Многокомпонентная ректификация, пер. с англ. – М., 1969.
2. Крель Э. Руководство по лабораторной ректификации, пер. с нем. – М., 1960.
3. Александров И. А. Ректификационные и абсорбционные аппараты, 2 изд. – М., 1971.
4. Романенко В. Д., Игнатенко Б. В. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микроЭВМ: Учеб. пособие. – К.: Выща шк., 1990. – 334 с.
5. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии/ Пospelов Г. С. – М.: Наука, 1988. – 280 с.
6. Острем К. Ю. Введение в стохастическую теорию управления. – М.: Мир, 1973. – 319 с.

Курнацкий А.В., Коломеец А.Г.

ПРОБЛЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ НАТРИЯ–КАЛИЯ ВИННОКИСЛОГО

В настоящей работе рассмотрены теоретические вопросы кристаллизации из водных растворов, предложена конструкция термостабилизатора, дана обобщённая методика выращивания пьезоэлектрических кристаллов натрия-калия виннокислого. Рис. 1, ист. 2.

Введение. История исследования пьезоэлектричества была тесно связана с его практическим применением. Существование в природе больших, чистых и совершенных по структуре пьезоэлектрических кристаллов не могло не вызывать желания получить такие же образцы искусственным путём. На практике, одним из наиболее применимых среди пьезоэлектрических материалов является натрий-калий виннокислый $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (сегнетова соль). Рассмотрим обобщённую методику получения монокристаллов $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Содержание методики. Известно, что сегнетова соль имеет высокую растворимость в воде, которая в значительной степени зависит от температуры раствора. Как следствие, наиболее подходящим для выращивания кристаллов сегнетовой соли является метод кристаллизации из водных растворов при медленном понижении температуры.

Кристаллизация солей из растворов происходит лишь в том случае, если раствор при данной температуре пересыщен. Пересыщение в рассматриваемом методе создается за счет изменения температуры насыщенного раствора, которое переводит его в метастабильное состояние. Стремясь вернуться в состояние равновесия, часть растворённого вещества выпадает, осаждаясь на заранее внесённый в раствор затравочный кристалл – происходит рост. По мере роста уменьшается избыточная масса вещества в растворе, соответственно – и пересыщение, раствор вновь переходит в стабильное насыщенное состояние до последующего изменения температуры. Основная трудность при использовании данного метода — контроль за изменением пересыщений в процессе роста, что порождает затруднения в выборе необходимой скорости изменения температуры с целью поддержания пересыщения на необходимом уровне. Обычно идут по пути экспериментального подбора оптимальных скоростей изменения для различных периодов роста [1].

В качестве движущей силы кристаллизации обычно пользуются либо абсолютным пересыщением (разностью между концентрацией пересыщенного раствора m и концентрацией насыщенного раствора m_0 , именно $m - m_0$), либо относительным пересыщением [отношением $(m - m_0)/m_0$]. Однако так нельзя выразить движущую силу тогда, когда пропорции между концентрациями реагирующих компонентов отличаются от их стехиометрических соотношений в кристаллизующемся соединении (образование соли из ионов, образование кристаллогидрата). В таких случаях в качестве строго определенной движущей силы необходимо использовать так называемое химическое сродство (A), которое для идеальных растворов при образовании некристаллогидрата и стехиометрическом соотношении в числе ионов в растворе определяется разностью между химическим потенциалом растворенного вещества в пересыщенном растворе μ_{II} и химическим потенциалом того же вещества в насыщенном растворе μ_{H} :

$$A = \mu_{\text{II}} - \mu_{\text{H}} = \nu RT \ln(m_1 / m_0),$$

где ν – число ионов в молекуле электролита;

R – газовая постоянная;
 T – температура, К;
 m_1 и m_0 — концентрация кристаллизуемого вещества в пересыщенном и насыщенном растворе соответственно, мольные единицы.

Единицей химического потенциала является Дж/моль. Разность химических потенциалов $\Delta\mu$ представляет собой разность энергетических уровней вещества, находящегося в растворе и в кристалле.

При небольших отклонениях от равновесия:

$$\ln(m_1 / m_0) \approx (m_1 - m_0) / m_0.$$

Отсюда видно при каких оговорках химическое сродство трансформируется в абсолютное или относительное пересыщение.

При нестехиометрических количествах ионов химическое сродство приводит к приближенному выражению движущей силы в виде соотношения:

$$\prod m_i^{v_i} / \prod m_{i_0}^{v_i},$$

где $\prod m_i^{v_i}$ — произведение концентраций всех ионов, участвующих в реакции, взятых в степенях, равных их числу в молекуле электролита. Индекс нуль указывает на то, что знаменатель этого выражения относится к равновесию.

$\prod m_{i_0}^{v_i}$ - произведение растворимости. Для малорастворимых веществ это практически константа, она указывается в химических справочниках.

Более грубой оценкой движущей силы является переохлаждение раствора. Переохлаждением раствора Δt называют разность между температурой насыщения данного раствора и температурой кристаллизации. Если поддерживать движущую силу постоянной, то при постоянстве других условий (температуры, давления, состава среды) скорость роста более или менее постоянна. Такой процесс называется стационарным.

Скорость роста пропорциональна движущей силе. В самом общем виде зависимость между ними может быть выражена формулой:

$$V = LA,$$

где L – коэффициент пропорциональности, причем он сам зависит от A .

На практике для выращивания кристаллов методом понижения температуры используют кристаллизаторы – термостабилизирующие устройства, позволяющие контролировать и изменять температуру в требуемых пределах. Нами предложена одна из возможных конструкций кристаллизатора.

Собственно термостат представляет собой толстостенный цилиндрический сосуд, заполненный водой 1, при температурах выше 80°C — рекомендуется использование силиконового масла. Сосуд закрыт крышкой 2. Между крышкой и термостатом находится резиновая прокладка. Банка помещается на подставку 3, крышка стягивается с сосудом винтами 4. Для предотвращения нежелательных механических возмущений между термостатом и подставкой располагают лист мягкой резины 5. Крышка имеет отверстие для кристаллизатора 6 (в качестве которого можно использовать чашку Петри, химический стакан и т.п.), который стоит на подставке 7. Стержни, поддерживающие подставку 8, проходят через крышку 2. Кристаллизатор герметизируется с помощью крышки 9, притягиваемой к нему винтами. Гайками 10 регулируется положение подставки в термостате. Для улучшения точности поддержания температуры и равномерности температурного поля, воду в термостате перемешивают винтовым устройством 11, приводимым в движение при помощи малогабаритного электропривода 12. Кроме кристаллизатора в

термостате находятся также терморегулятор 13, нагреватель 14 и обычный термометр 15, необходимый для контроля показаний терморегулятора.

Процесс выращивания натрия-калия виннокислого следующий.

Приготавливается маточный раствор с концентрацией, соответствующей насыщению при выбранной температуре и перегревается на несколько градусов. Следует отметить, что рост очень чувствителен к составу маточной среды, поэтому для получения кристаллов удовлетворительного качества в приготовлении раствора необходимо использовать реактивы особой чистоты (ОСЧ, ХЧ). В качестве растворителя применяется дистиллированная, лучше бидистиллированная вода. Когда температура в кристаллизаторе превысит на 2—2,5° С температуру насыщения, в маточный раствор вводят затравку. Затравкой считается любой обломок кристалла либо целый кристалл, предназначенный для дальнейшего разрачивания до более крупных размеров. Не следует путать затравку с зародышем, произвольно возникшим или случайным попавшим в маточный раствор центром кристаллизации. Качество конечного кристалла во многом зависит от качества затравки, поэтому она по возможности должна быть моноструктурной, без трещин и границ блоков, не содержать включений.

Для натрия-калия виннокислого процесс кристаллизации рекомендуется начинать с 39–40° С. Температуру в термостате снижают до температуры роста и ждут начала регенерации кристалла, которая устанавливается по появлению отблесков от граней или по помутнению поверхности. При регенерации в районе будущих вершин и ребер возможно появление очень тонких нависающих слоев кристаллического вещества, которые могут отрываться и давать начало паразитическим кристаллам. Поэтому следует подождать до завершения регенерации, отмечаемой по исчезновению замутнения поверхности. Если по истечении нескольких часов не возникало паразитических кристаллов, если затравка не превратилась в сrostок, то можно приступать к следующему этапу— собственно выращиванию кристалла, требующего постепенного снижения температуры. К вопросу о скорости снижения подходят сугубо эмпирически. На начальных стадиях эксперимента рекомендуется понижать температуру не более чем на 0,1–0,2° С в сутки. При нормальном росте охлаждение постепенно увеличивают. При появлении включений необходимо уменьшить интервал температурного понижения до первоначальных значений. Температуру в процессе выращивания снижают либо вручную – один-два раза в сутки (желательно чаще, но на более малые значения), либо с помощью специальных устройств, позволяющих изменять её плавно и непрерывно. Разумеется, второй вариант является более предпочтительным [2].

Очевидно, что чем медленнее происходит рост кристалла, тем более вероятно, что атомы, ионы и молекулы кристаллизуемого вещества будут образовывать идеальный кристалл, т. е. непрерывную пространственную решетку. Именно поэтому рекомендуется проводить кристаллизацию в условиях, обеспечивающих медленный и равномерный рост. Результаты эксперимента необходимо перенести на график зависимости времени от температуры с отметками периодов возникновения включений и следующий опыт проводить с уменьшением тех скоростей снижения, которые привели к появлению дефектов.

Кристаллизацию можно считать законченной по истечении суток с момента последнего снижения температуры. После этого кристалл осторожно извлекается из маточной среды. Сразу после извлечения из раствора его можно обмыть в жидкости, не смешивающейся с использованным растворителем (для водных растворов хорошо подходит гептан). Так как конечная температура кристаллизации сегнетовой соли близка к окружающей, то полученный кристалл достаточно просто осушить фильтровальной бумагой [2].

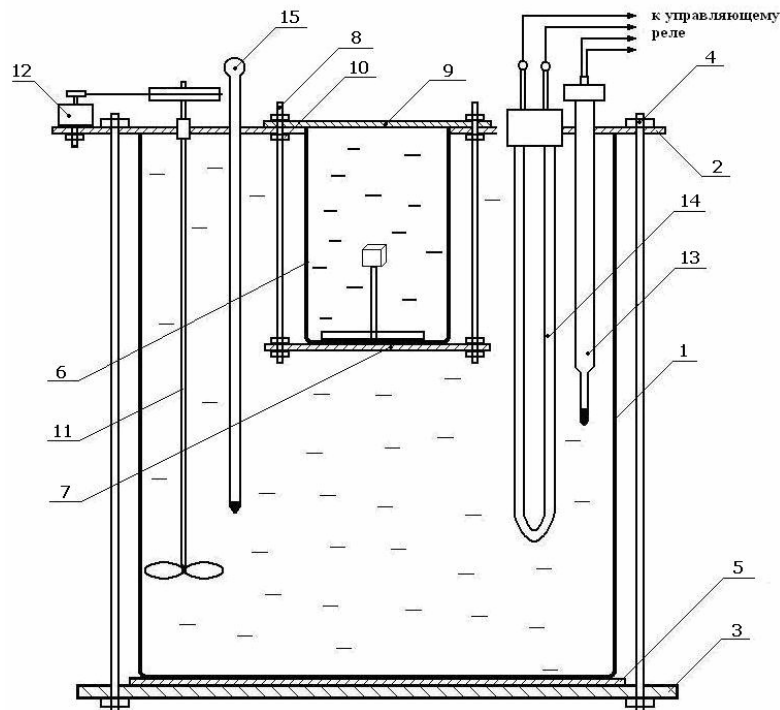


Рис. 1. Конструкция жидкостного кристаллизатора

Выводы. Предложена конструкция жидкостного кристаллизатора для выращивания пьезоэлектрических кристаллов сегнетовой соли. Наличие смешивающего винта и небольшой объём способствует поддержанию высокой точности температуры. Кристаллизатор позволяет выращивать совершенные кристаллы водорастворимых солей с небольшими линейными размерами (до 5 см). Рекомендована методика получения монокристаллов натрия-калия виннокислого. Варьирование температуры в ходе кристаллизации (от 0,05 – 0,1 град С/сут до 0,3 – 0,5 град С/сут) позволяет контролировать процесс роста и влиять на качество получаемого кристалла.

Литература

1. Вильке К.-Т. Выращивание кристаллов. Л. Недра, 1977.– 600 с.
2. Петров Т.Г., Трейбус Е.Б., Лунин О.Ю, Касаткин А.П. Выращивание кристаллов из растворов. —2-е изд., перераб. и доп.— Л.: Недра, 1983.– 200 с.

УДК 621.317

Куц Ю.В., Лапіга І.М., Монченко О.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІКОННОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ В ЗАДАЧАХ ФАЗОМЕТРІЇ

Розглянуто метод зменшення методичної похибки вимірювань фазових характеристик сигналів з використанням перетворення Гільберта, яка виникає внаслідок скінченого часу обробки сигналів. Зменшення похибки досягається за рахунок віконної обробки сигналів вікном Чебишева. Рис.6, дж.4.

Вступ

При дослідженні широкого класу вузькосмугових процесів виду:

$$u(t) = U(t) \cos[\Phi(t)], \quad t \in (-\infty, \infty), \quad (1)$$

де t - час, $U(t)$ - обвідна (або амплітудна характеристика сигналу), $\Phi(t)$ - фаза, або фазова характеристика сигналу, виникає задача оцінення $\Phi(t)$ в реальному часі. В загальному випадку функція $\Phi(t)$ визначається за допомогою перетворення Гільберта [1], яке дає гільберт-образ сигналу (1) - $\hat{u}(t) = \mathbf{H}[u(t)]$, де \mathbf{H} - оператор перетворення Гільберта [1,2], як:

$$\Phi(t) = \arctg \frac{\hat{u}(t)}{u(t)} + \frac{\pi}{2} \{2 - \text{sign} \hat{u}(t)(1 + \text{sign} u(t))\} + 2\pi L(t). \quad (2)$$

В формулі (2) $\text{sign}(\cdot)$ - знакова функція, $L(t)$ - ступінчаста числова функція, яка усуває розриви фазової характеристики сигналу в точках кратних 2π .

Перетворення Гільберта передбачає спостереження сигналу і виконання інтегрування на інтервалі $(-\infty, \infty)$. Визначення фазової характеристики сигналів в реальному часі вимагає обмеження часу спостереження. В роботі [2], розглянуто оцінки гільберт-образу сигналу на основі застосування інтегрального перетворення з ядром перетворення Гільберта при обмеженому часі спостереження T_c

$$\hat{u}(t) = - \left[v.p. \int_{t-0.5T_c}^{t+0.5T_c} \frac{u(\tau)}{\pi(\tau-t)} d\tau \right] + \Delta u_m(t), \quad (3)$$

де $\frac{1}{(\tau-t)}$ - ядро перетворення Гільберта, $v.p.$ - позначення головного значення невластного інтегралу по Коші, $\Delta u_m(t)$ - методична похибка визначення $\hat{u}(t)$, яка збільшується на краях вікна і має менші значення в середині інтервалу аналізу сигналу. Ця похибка приводить до похибок оцінки обвідної і фазової характеристики сигналів.

Відоме застосування віконної обробки сигналів в спектрометрії [3]. Слід очікувати, що застосування вікна $W(t)$ під час обчислення гільберт-образу сигналу також може привести до зменшення $\Delta u_m(t)$. В цьому випадку гільберт-образ сигналу визначається як:

$$\hat{u}(t) = - \frac{1}{W(t)} \left[v.p. \int_{t-0.5T_c}^{t+0.5T_c} \frac{W(\tau)u(\tau)}{\pi(\tau-t)} d\tau \right] + \Delta u_m(t). \quad (4)$$

Метою статті є аналіз застосування ковзкої віконної обробки сигналів з вікном Чебишева в ковзному режимі для задач визначення фазової характеристики сигналів.

Постановка задачі

Досліджується гармонічний сигнал

$$u(t) = U \cos(2\pi f t + \varphi), \quad t \in (0, T_c), \quad (5)$$

де U - амплітуда, f - частота, φ - початкова фаза сигналу. Фазова характеристика сигналу (5) становить $\Phi_0(t) = 2\pi f t + \varphi$.

Оцінка фазової характеристики сигналу $\Phi[t]$ на обраному інтервалі здійснюється за виразом (2). Гільберт-образ сигналу $\hat{u}[t]$ визначається за

формулою (4), в якій $W[t]$ - ковзне вікно Чебишева [3].

Необхідно дослідити методичну похибку оцінки фазої характеристики сигналу, обумовлену скінченним часом аналізу сигналу.

Розв'язок поставленої задачі

В загальному виді методичну похибку визначення фазової характеристики сигналу можна обчислити як $\Delta\varphi(t) = \Phi(t) - \Phi_0(t)$, де $\Phi(t)$ визначається за формулою (2) через складне нелінійне перетворення сигналів $u(t)$ та $\hat{u}(t)$. Отже отримання точного аналітичного виразу для $\Delta\varphi(t)$ неможливо, тому дана задача вирішується шляхом моделювання.

Методикою моделювання передбачається виконання наступних етапів.

Формування вибірки сигналу (5) на інтервалі часу $t \in [0, T_C]$ з періодом дискретизації $T_d < f^{-1} < T_C$, тобто формування вибірки:

$$u[n] = U \cos(2\pi n T_d + \varphi), \quad n = \overline{1, N}, \quad N T_d = T_C. \quad (6)$$

Формування вагової функції $W[n]$ Чебишева (часового вікна).

Аналітичний вираз вікна Чебишева має вигляд:

$$w[n] = (-1)^n \frac{\cos \left[M \arccos \left[\beta \cos \left(\frac{\pi n}{M} \right) \right] \right]}{\text{ch} \left[M \text{ch}^{-1}(\beta) \right]}, \quad n = \overline{n_K, (n_K + M - 1)}, \quad n_K = \overline{1, (N - M)}, \quad M = \frac{T_W}{T_d}, \quad (7)$$

де β – константа, яка визначає крутість фронтів вікна Чебишева, M - кількість вибірок, в дискретному представленні вікна Чебишева, T_W - тривалість вікна Чебишева.

Задання параметрів руху вагової функції $W[n]$ відносно вибірки значень сигналу.

Отримання гільберт-образу сигналу:

$$\hat{u}[n] = \frac{1}{W[n]} \mathbf{H}(u[n]W[n]), \quad n = \overline{1, N}. \quad (8)$$

Нормування сигналу з коефіцієнтом $\frac{1}{W[n]}$ необхідне для усунення впливу вікна на амплітудні характеристики гільберт-образу сигналу.

Відбір значень $\hat{u}[n]$ з центральної частини вікна, де очікуються найменша методична похибка визначення гільберт-образу сигналу $\Delta u_m(t)$.

Визначення оцінки фазової характеристики сигналу $\Phi[n]$, $n = \overline{1, N}$ як

$$\Phi[n] = \arctg \frac{\hat{u}[n]}{u[n]} + \frac{\pi}{2} \{ 2 - \text{sign} \hat{u}[n] (1 + \text{sign} u[n]) \} + 2\pi L[n]. \quad (9)$$

Обрахунок методичної похибки оцінки ФХС:

$$\Delta\varphi[n] = \Phi[n] - \Phi_0[n], \quad n = \overline{1, N}. \quad (10)$$

Порівняльний аналіз отриманих результатів для сигналу з віконною обробкою і без віконної обробки.

Результати моделювання

Моделювання проводилось в середовищі MATLAB [4]. Гармонічний сигнал задавався вибірками:

$$u[n] = U \cos(2\pi n T_d + \varphi), \quad n = \overline{1, N}, \quad (11)$$

де $N=2000$, $T_D=0,01$ с, $U=1$ В, $f=4$ Гц (тобто 25 вибірок на період сигналу).
 Графік сигналу показано на рис. 1, де T – період досліджуваного сигналу.

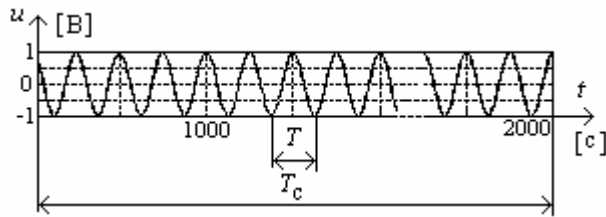


Рис. 1. Досліджуваний сигнал

Для вікна Чебишева були обрані наступні параметри: $M=200$, $\beta=90$.
 Загальний вид вікна Чебишева подано на рис. 2.а. Тривалість вікна $T_W = MT_D > T$. Для зменшення методичної похибки для кожного положення вікна, як найбільш достовірний результат обирались значення $\Delta\varphi[n]$, обраховані для центральної частини вікна – вікна вибірки $W_B[n]$ тривалістю st (рис. 2.б.).
 Це пов'язано з тим, що на краях часового вікна $W[n]$ методична похибка визначення $\Phi[n]$ значно зростає у порівнянні з середньою частиною вікна.

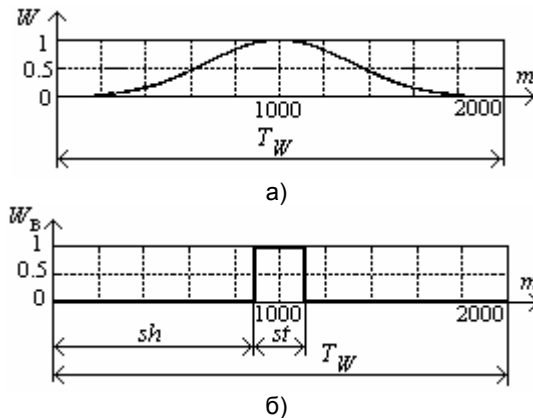


Рис. 2. Взаємне розташування вікна Чебишева (а) та вікна вибірки (б)

Величина st визначає крок переміщення вікна. Кількість вибірок $\hat{u}[n]$ на початку і в кінці вікна, що не беруться в розрахунок під час визначення $\Phi[n]$ становить:

$$sh = \frac{M - st}{2}. \quad (12)$$

Таким чином, для кожного положення вікна відносно вибірки $u[n]$ з початком в точці n_K отримують st значень гільберт-образу сигналу $\hat{u}[n]$, $n = (n_K + sh), (n_K + M-1-sh)$, за якими далі визначають фазову характеристику сигналу.

На рис. 3.а. зображено дробову частину фази (2) досліджуваного сигналу, тобто $\varphi[n] = \Phi[n] \pmod{2\pi}$ та повну фазу $\Phi[n]$ (рис. 3.б.) з урахуванням ступінчастої числової функції $L[n]2\pi$. Остання визначається за результатом аналізу стрибків функцій $\varphi[n]$:

$$L[n] = \begin{cases} 1, & \varphi[n] - \varphi[n+1] > \pi, \\ 0, & \varphi[n] - \varphi[n+1] < \pi. \end{cases} \quad n \in \overline{1, (M-1)} \quad (13)$$

Розрахована за формулою (7) методична похибка визначення ФХС для ковзного вікна Чебишева у порівнянні з методичною похибкою ФХС отриманою для прямокутного ковзного вікна зменшується в декілька разів.

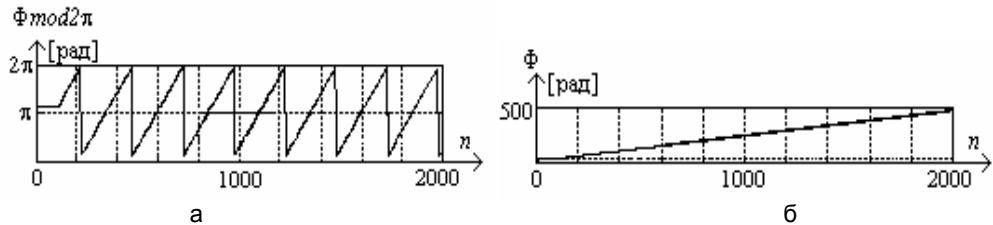


Рис. 3. Фаза досліджуваного сигналу: а) дробова частина фази, б) повна фаза

Значення st значно впливає на швидкість руху вікна і на величину методичної похибки визначення ФХС: чим більший крок st , тим швидше рухається вікно, але при цьому $\Delta u_m[n]$ також збільшується. На рис.4 зображено графіки $\Delta\varphi(st)$ для різних відношень довжини вікна T_w до періоду досліджуваного сигналу T . Ці графіки дозволяють обрати ширину st вікна вибірки в залежності від припустимого рівня методичної похибки.

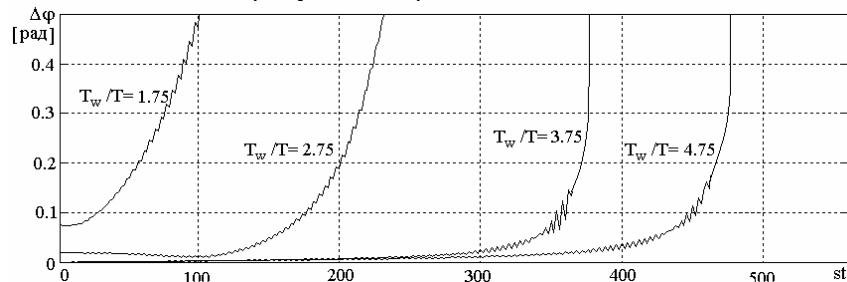


Рис. 4. Залежність методичної похибки визначення ФХС гармонічного сигналу для різних значень T_w / T

Таким чином, застосування ковзного вікна Чебишева під час обчислення Гілберт-образу сигналів дає можливість зменшити методичну похибку визначення ФХС, яка виникає внаслідок обмеженості часу аналізу сигналів. З метою підвищення точності оцінки ФХС крім зовнішнього вікна (в розглянутому випадку вікна Чебишева) для зменшення методичної похибки обчислення ФХС слід застосовувати внутрішнє (прямокутної форми) вікно відбору даних. Тривалість останнього st визначається як необхідною точністю визначення ФХС, так і співвідношенням тривалості зовнішнього вікна до періоду досліджуваних сигналів. Значення тривалості внутрішнього вікна для заданих вихідних параметрів $T, T_w, \Delta\varphi$ може бути оцінено з представлених на рис.4 графіків.

Моделювання виконано в системі Matlab.

Висновки

При дослідженні обмеженого в часі вузькосмугового сигналу виникає методична похибка визначення ФХС. Застосування ковзної віконної обробки сигналу дозволяє зменшити цю методичну похибку. Запропонована методика визначення якісних і кількісних характеристик методичної похибки дозволяє

обґрунтувати вибір ширини вікна із заданою допустимою методичною похибкою. Методика опробована на прикладі аналізу гармонічного сигналу. Виконано моделювання процесу визначення фазової характеристики гармонічного сигналу та її методичної похибки.

Література

1. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
2. Куц Ю.В., Щербак Л.М. Застосування перетворення Гільберта у фазометрії // Технологические системы. –2004. –№2. – С.50–55.
3. Марпл.-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ.- М.: Мир, 1990. - 540 с.
4. Сергієнко А.Б. Цифрова обробка сигналів: Підручник для вузів. 2-е видання. СПб.:Питер, 2006. -751 с.

УДК 371.3.001.73:004

Луцишин С.И.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНИК КАК СРЕДСТВО ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Приведена концепция дистанционного обучения как одна из форм современных непрерывных образовательных услуг, предоставляемых широкому населению на любом расстоянии без личного контакта обучающего и обучаемого. Ист. 3.

Введение. Дистанционное обучение (ДО) - комплекс образовательных услуг, предоставляемых широким слоям населения в стране и за рубежом с помощью специализированной информационной образовательной среды, базирующейся на средствах обмена учебной информацией на расстоянии (спутниковое телевидение, радио, компьютерная связь и т.п.).

Информационно-образовательная система ДО представляет собой системно-организованную совокупность средств передачи данных, информационных ресурсов, протоколов взаимодействия, аппаратно-программного и организационно-методического обеспечения, ориентированную на удовлетворение образовательных потребностей пользователей.

ДО является одной из форм непрерывного образования, которое призвано реализовать права человека на образование и получение информации. То есть под дистанционным обучением будем понимать любой вид передачи знаний, где обучающий и обучаемый разобщены во времени или пространстве.

Если согласиться с этим определением, то "старое доброе" заочное обучение и есть прообраз современного ДО, в котором, однако, отсутствует элемент индивидуализации. Каким же образом можно привнести элементы индивидуализации в компоненты дистанционного обучения?

Основное содержание исследования. Поскольку современные компьютеры позволяют с большой эффективностью воспроизводить практически все известные до настоящего времени виды передачи информации, и, что нам представляется наиболее важным, только они могут реализовать адаптивные алгоритмы в обучении и обеспечить преподавателя объективной и оперативной обратной связью о процессе усвоения учебного материала, то становится совершенно очевидным, что принципиальное отличие ДО в сегодняшнем его понимании от традиционного заочного заключается не только в том, что "перо и

бумагу" заменяет компьютер, а "голубиную почту" - Интернет.

Мультимедийный компьютер - это не только новый интегрированный носитель информации, это - устройство наиболее полно и адекватно отображающее модель "face to face". Кроме этого, только в компьютерах могут быть реализованы информационно-справочные системы на основе гипермедийных ссылок, что также является одной из важнейших составляющих индивидуализации обучения.

Основные принципы дистанционного обучения (ДО): установление интерактивного общения между обучающимся и обучающим без обеспечения их непосредственной встречи и самостоятельное освоение определенного массива знаний и навыков по выбранному курсу и его программе при заданной информационной технологии [1].

Дистанционное обучение и традиционное существенно различаются. Это:

- 1) пространственная разделённость обучающего и обучаемого;
- 2) усиление активной роли учащегося в образовательном процессе: в постановке образовательных целей, выборе форм и темпов обучения;
- 3) подбор материалов, предназначенных специально для дистанционного изучения.

Главной проблемой развития дистанционного обучения является создание новых методов и технологий обучения, отвечающих телекоммуникационной среде общения.

В этой среде ярко проявляется то обстоятельство, что учащиеся не просто пассивные потребители информации, а в процессе обучения они создают собственное понимание предметного содержания обучения.

На смену прежней модели обучения должна прийти новая модель, основанная на следующих положениях: в центре технологии обучения — учащийся; суть технологии — развитие способности к самообучению; учащиеся играют активную роль в обучении; в основе учебной деятельности — сотрудничество. В связи с этим требуют пересмотра методики обучения, модели деятельности и взаимодействия преподавателей и обучаемых.

Успешное создание и использование дистанционных учебных курсов должно начинаться с глубокого анализа целей обучения, дидактических возможностей новых технологий передачи учебной информации, требований к технологиям дистанционного обучения с точки зрения обучения конкретным дисциплинам, корректировки критериев обучённости [2].

Дидактические особенности курса ДО обуславливают новое понимание и коррекцию целей его внедрения, которые можно обозначить следующим образом:

- стимулирование интеллектуальной активности учащихся с помощью определения целей изучения и применения материала, а также вовлечения учащихся в отбор, проработку и организацию материала;
- усиление учебной мотивации, что достигается путем четкого определения ценностей и внутренних причин, побуждающих учиться;
- развитие способностей и навыков обучения и самообучения, что достигается расширением и углублением учебных технологий и приемов.

К числу дидактических принципов, затрагиваемых компьютерными технологиями передачи информации и общения, в первую очередь следует отнести:

- принцип активности;
- принцип самостоятельности;
- принцип сочетания коллективных и индивидуальных форм учебной работы;
- принцип мотивации;
- принцип связи теорий с практикой;

- принцип эффективности.

В связи с этими принципами средства учебного назначения, которые используются в образовательном процессе ДО, должны обеспечивать возможность:

- индивидуализировать подход к ученику и дифференцировать процесс обучения;
- контролировать обучаемого с диагностикой ошибок и обратной связью;
- обеспечить самоконтроль и самокоррекцию учебно-познавательной деятельности учащегося;
- демонстрировать визуальную учебную информацию;
- моделировать и имитировать процессы и явления;
- проводить лабораторные работы, эксперименты и опыты в условиях виртуальной реальности;
- прививать умение в принятии оптимальных решений;
- повысить интерес к процессу обучения;
- передать культуру познания и др.

Для построения четкого плана курса необходимо:

- определить основные цели, устанавливающие, что учащиеся должны изучить;
- конкретизировать поставленные цели, определив, что учащиеся должны уметь делать;
- спроектировать деятельность учащегося, которая позволит достичь целей.

Правильно сформулированные цели позволят учащимся:

- настроить мышление на тему обучения;
- сфокусировать внимание на наиболее важных проблемах;
- тщательно подготовиться к тестам, заданиям и другим средствам оценивания.

При планировании и разработке дистанционных учебных курсов необходимо принимать во внимание, что основные три компонента деятельности педагога, а именно изложение учебного материала, практика, обратная связь, сохраняют свое значение и в курсах ДО.

Разработанный и реализованный нами подход к дистанционному обучению заключается в следующем:

- перед началом дистанционного обучения производится психологическое тестирование учащегося с целью разработки индивидуального подхода к обучению;
- учебный материал представлен в структурированном виде, что позволяет учащемуся получить систематизированные знания по каждой теме;
- контроль знаний осуществляется с помощью полной и валидной системы тестового контроля по каждой структурной единице и содержанию в целом.

Программа обучения — один из наиболее важных видов раздаточных материалов для учащихся, обучающихся дистанционно. Учащиеся обращаются к ней для получения точной и ясной информации.

Такое руководство включает в себя: 1) информацию о системе дистанционного обучения, методах ДО; 2) биографическую информацию о преподавателе; 3) технологию построения учебного курса; 4) цели курса; 5) критерии окончания обучения; 6) часы телефонных консультаций; 7) описание экзаменов, проектов, письменных работ; 8) другие инструкции.

Электронный учебник, содержащий собственно учебные материалы для дистанционного обучения, разделен на независимые темы-модули, каждая из которых дает целостное представление об определенной тематической области. Это способствует индивидуализации процесса обучения, т. е. обучающийся

может выбрать из вариантов обучения: изучение полного курса по предмету или изучение только конкретных тем.

Вывод. Таким образом, построенное ДО представляет Педагогическую технологию, целиком построенную на использовании информационных и коммуникационных технологий [3].

Литература

1. Бершадский А. М., Кревский И. Г. Дистанционное обучение – форма или метод? Дистанционное образование. – М., 1998.- № 4., С. 18.
2. Дистанционное обучение: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Е. С. Полат - М.: Наука, 1998.– 214 с.
3. Монахов В.М. Концепция создания и внедрения новой информационной технологии обучения / Проектирование новых информационных технологий обучения. - М., 1991, С. 45.

УДК 371.3.001.73:004

Луцишин С.И., Петренко С.А.

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЦЕССЕ РЕФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ

Приведены новые технологии обучения, созданные возникновением и развитием Интернета, электронных учебников и др. средств, пригодных для массового и дистанционного обучения. Ист. 4.

Введение. Мир сильно изменился, особенно в два последних столетия. Наука продвинулась в познании природы, в промышленности появились и развились огромное количество узкоспециализированных отраслей, потребовавших широчайшей кооперации в планетарном масштабе.

Этот процесс стремительно нарастает и будет нарастать еще стремительней, потому что в его основе лежат объективные законы развития человеческой цивилизации.

Система обучения сегодня не имеет права, как на заре столетия, строить обучение на усвоении суммы готовых знаний, на переливании опыта цивилизации из старого сосуда в новый.

Основное содержание исследования. Практически во всех развитых странах сделан резкий поворот к обучению самостоятельно добывать нужную информацию, вычленять проблемы и искать пути их рационального решения, уметь критически анализировать получаемые знания и применять их для решения новых задач. Идеальная система обучения должна:

- Сформировать у обучающегося желание учиться и цель обучения.
- Поддерживать мотивацию к обучению и творческой деятельности.
- Обеспечить каждого учащегося индивидуально-адаптированными учебными пособиями.
- Дать каждому учащемуся возможность занятий по индивидуальному графику.

- Непрерывно оценивать результаты обучения. [1]

Целью обучения сегодня не может быть насыщение обучаемого как можно большим количеством готовых, строго отобранных, соответствующим образом организованных знаний, умений и навыков. Наши ученики должны сами уметь добывать необходимые знания.

Для решения этой цели необходимо воспользоваться и дидактическими свойствами, которые нам представляют новые информационные технологии.

Под дидактическими свойствами технологий понимаются те их стороны (свойства), которые могут использоваться с дидактическими целями в учебно-воспитательном процессе.

Для компьютерных информационных технологий - это, в первую очередь:

- подготовка, хранение, систематизация, обработка и распечатка информации;
- демонстрация информации на экране дисплея;
- возможность использовать новейшие информационные технологии;
- подключение к любым электронным банкам и базам данных;
- передача и прием информации с компьютера на компьютер;
- синхронный обмен информацией с партнером (общение);
- получение информации от любого количества источников;
- передача сообщений одновременно любому числу абонентов;
- синхронный обмен информацией с партнерами;
- передача информации непосредственно на компьютер другим участникам конференции;
- прием информации от участников конференции;
- возможность размещения и хранения своего сообщения без точного указания адресата. [2]

Что представляет собой обычный хороший учебник? Это много различных текстов (страниц, параграфов, разделов), в конце которых даны вопросы для самопроверки.

Кроме того, в каждом тексте автор обычно делает ссылки на другие тексты.

Оглавление (список текстов с указанием их начальных страниц-адресов) и внутритекстовые ссылки являются элементами, объединяющими все это в единый учебник.

Если учебник предназначен для очных групповых занятий, то к нему обязательно пишется методическое пособие для учителя - как проводить занятия.

Если учебник предназначен для самостоятельных занятий (самоучитель), то методические советы включаются в учебник.

Электронный учебник (ЭУ) сделан точно так же, как и обычный, но все тексты и методические материалы в электронном виде хранятся на каком-либо машинном носителе информации.

Все тексты перенумерованы, номер каждого текста связан с его адресом хранения, значит, на каждый текст можно сослаться указанием его номера.

На экране компьютера ссылки на другие тексты оформляются выделением (цветом, заливкой, шрифтом) отдельного слова или предложения.

Каждой ссылке соответствует номер (т.е. адрес) другого текста. Кроме обычного учебного материала, ЭУ включает в себя также систему тестов для самопроверки, блок накопления и обработки статистических данных о протекании процесса обучения (например, график обучения, ошибки и т.д.) и программу настройки (адаптации) обучающего курса на личность обучаемого.

В электронных курсах действуют две системы контроля знаний. Первая предназначена для индивидуализации (адаптации) курса обучения, вторая - для аттестации обучаемого. Обе системы позволяют производить адаптивный выбор следующего вопроса в зависимости от правильности предыдущих ответов и возможность создания различных заданий из одного набора вопросов.

В аттестационных системах, кроме того, используется адаптивная схема выбора вопросов для оптимального определения уровня знаний учащегося. Сочетание гипертекстовых учебных пособий и системы электронного контроля

знаний, базирующиеся на технологиях Интернета, позволяют, в перспективе, создать единую обучающую среду, адаптирующуюся под уровень знаний и, фактически, создающую индивидуальный ЭУ для каждого обучающегося.

Образование и Интернет- это особая тема для разговора. Как показывают исследования и практика, Интернет помогает учителям повысить эффективность трех важных элементов педагогического процесса: индивидуальной помощи ученикам, распространения информации и привлечения учащихся к активной работе.

Во-первых, электронная почта обеспечивает прямой контакт учителя и ученика. Обмениваясь сообщениями, они могут общаться не только в классе, но и после занятий, в любое удобное для них время.

Во-вторых, Web-узлы являются более действенным средством распространения образовательной информации, чем лекции и доклады. Преподаватель размещает текст лекции и иллюстрации на своей домашней Web-странице, а ученики спокойно, не спеша, читают информацию, не отвлекаясь на то, чтобы лихорадочно записывать учебный материал в тетрадь.

В-третьих, школьные телеконференции представляют собой совершенно новую форму взаимодействия между преподавателями и учениками. Любой участник телеконференции, разместивший в Интернете свое сообщение, может быть уверен в том, что его прочитают и заметят. В результате создается виртуальное сообщество людей, объединенных общими интересами.

Это тот идеал, которого трудно добиться в обычных школах и институтах.

Для реализации таких методов обучения не требуется ни сложного оборудования, ни дорогих программ. Достаточно иметь компьютерный класс с недорогими компьютерами невысокой мощности, объединенными в сеть, подключенную к Интернету. Не нужны и специальные знания по вычислительной технике, хватит обычной подготовки на уровне пользователей [3].

Дистанционное обучение (ДО) является ещё одним преимуществом новых информационных технологий. Согласно определению, это - образовательный процесс, во время которого преподаватель и ученики находятся в различных географических точках. В результате педагогический процесс выходит за рамки традиционных ограничений на единство времени и места.

ДО - это современная разновидность заочного обучения, использующая в максимальной степени современные информационные технологии (компьютеры, телекоммуникации, аудиовизуальные средства). Основной принцип ДО - не учащиеся должны двигаться к знаниям, а знания - к учащимся!

Использование методов ДО позволяет получать качественное образование в отдаленных районах, учиться без отрыва от основной работы, обучать лиц с физическими недостатками, значительно снизить транспортные расходы для учащихся и т.д.

Важно отметить, что система ДО не подменяет, а эффективно дополняет традиционную систему обучения, давая возможность любому человеку учить то, что он хочет, когда и где хочет, на языке, который он хочет. Уже сейчас в англоязычной части Интернета можно найти множество различных учебных материалов и курсов обучения по самым разным направлениям - от искусства и иностранных языков до социологии.

Аудитория этих курсов чрезвычайно широка и охватывает пользователей самого разного возраста. Учитывая, что по распространению Интернета Украина отстает от Запада на несколько лет, можно надеяться, что у нас еще все впереди.

Но первые сдвиги заметны уже сейчас. Более 40 украинских вузов и несколько наиболее передовых школ имеют свои Web-узлы. Хотя большинство из них используют Сеть в основном для распространения информации о своей

деятельности, некоторые учебные заведения реализуют новаторские обучающие программы, в частности ДО [4].

Вывод. Обучение по новым технологиям позволит не только повысить его качество при снижении стоимости, но и сделать всеобъемлющим и непрерывным, не зависимо от места пребывания обучаемого и обучающего.

Литература

1. Талызина Н.Ф. Теоретические основы программированного обучения. - М.: Наука, 1999. - 234 с.
2. Роберт И.В. Современные информационные технологии в образовании. - М.: Школа-Пресс, 1994. – 519 с.
3. Гершунский Б.С. Компьютеризация в сфере обучения: проблемы и перспективы. - М.: Педагогика, 1997. – 246 с.
4. Дистанционное обучение: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Е. С. Полат. - М.: Педагогика, 1998. – 351 с.

УДК 371. 671: 004: 371.31.001.71

Луцишин С.И., Петренко С.А.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНИК – АВАНГАРД ПРОГРЕССИВНЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ

Рассмотрены вопросы построения электронных учебников на базе интерфейсов с использованием аудио- и видео- подсказок и других средств обучения. Ист. 4.

Введение. Что же такое «Электронный учебник» (ЭУ) и в чем его отличия от обычного учебника?

Обычно ЭУ представляет собой комплект обучающих, контролирующих, моделирующих и других программ, размещаемых на магнитных носителях (твердом или гибком дисках) ПЭВМ, в которых отражено основное научное содержание учебной дисциплины.

ЭУ часто дополняет обычный, и особенно эффективен в тех случаях, когда: обеспечивает практически мгновенную обратную связь; помогает быстро найти необходимую информацию (в том числе контекстный поиск), поиск которой в обычном учебнике затруднен;

ЭУ существенно экономит время при многократных обращениях к гипертекстовым объяснениям;

ЭУ наряду с кратким текстом - показывает, рассказывает, моделирует и т.д. (именно здесь проявляются возможности и преимущества мультимедиа-технологий) позволяет быстро, но в темпе наиболее подходящем для конкретного индивидуума, проверить знания по определенному разделу.

К недостаткам ЭУ можно отнести не совсем хорошую физиологичность дисплея, как средства восприятия информации (восприятие с экрана текстовой информации гораздо менее удобно и эффективно, чем чтение книги), и более высокую стоимость по сравнению с книгой [1].

Основное содержание исследования. Для эффективного функционирования человека в электронной системе обучения вне зависимости от задачи, решаемой исследователем, особое значение приобретают методы визуализации исходных данных, промежуточных результатов обработки, обеспечивающих единую форму представления текущей и конечной информации в виде отображений, адекватных зрительному восприятию

человека и удобных для однозначного толкования полученных результатов.

Важным требованием интерфейса является его интуитивность. Следует заметить, что управляющие элементы интерфейса должны быть удобными и заметными, вместе с тем они не должны отвлекать от основного содержания, за исключением случаев, когда управляющие элементы сами являются основным содержанием.

Лёгкость в освоении и использовании данной среды для генерации ЭУ достигается за счёт применения визуальных технологий и возможностью использования специалистом-предметником любых текстовых и графических редакторов для написания содержимого ЭУ.

Для удобства работы среда по генерации ЭУ допускает разработку проекта по отдельным частям, что позволяет организовать работу над учебником нескольких специалистов-предметников [2].

Средства создания ЭУ можно разделить на группы, например, используя комплексный критерий, включающий такие показатели, как назначение и выполняемые функции, требования к техническому обеспечению, особенности применения.

В соответствии с указанным критерием возможна следующая классификация:

- традиционные алгоритмические языки;
- инструментальные средства общего назначения;
- средства мультимедиа;
- гипертекстовые и гипермедиа средства;

Ниже приводятся особенности и краткий обзор каждой из выделенных групп. В качестве технической базы в дальнейшем имеется в виду IBM совместимые компьютеры, как наиболее распространенные в нашей стране и имеющиеся в распоряжении школы.

На рынке компьютерных продуктов с каждым годом возрастает число обучающих программ, ЭУ и т.п.

Одновременно не утихают споры о том, каким должен быть ЭУ, какие функции "вменяются ему в обязанность". Традиционное построение ЭУ: предъявление учебного материала, практика, тестирование.

В настоящее время к учебникам предъявляются следующие требования:

1. Информация по выбранному курсу должна быть хорошо структурирована и представлять собой законченные фрагменты курса с ограниченным числом новых понятий.

2. Каждый фрагмент, наряду с текстом, должен представлять информацию в аудио- или видеформате ("живые лекции"). Обязательным элементом интерфейса для живых лекций будет линейка прокрутки, позволяющая повторить лекцию с любого места.

3. Текстовая информация может дублировать некоторую часть живых лекций.

4. На иллюстрациях, представляющих сложные модели или устройства, должна быть мгновенная подсказка, появляющаяся или исчезающая синхронно с движением курсора по отдельным элементам иллюстрации (карты, плана, схемы, чертежа сборки изделия, пульта управления объектом и т.д.).

5. Текстовая часть должна сопровождаться многочисленными перекрестными ссылками, позволяющими сократить время поиска необходимой информации, а также мощным поисковым центром.

Перспективным элементом может быть подключение специализированного толкового словаря по данной предметной области.

6. Видеоинформация или анимации должны сопровождать разделы, которые трудно понять в обычном изложении. В этом случае затраты времени для пользователей в пять-десять раз меньше по сравнению с традиционным

учебником.

Некоторые явления вообще невозможно описать человеку, никогда их не видевшему (водопад, огонь и т.д.).

Видеоклипы позволяют изменять масштаб времени и демонстрировать явления в ускоренной, замедленной или выборочной съемке.

7. Наличие аудиоинформации, которая во многих случаях является основной и порой незаменимой содержательной частью учебника [3].

Можно выделить 3 основных режима работы ЭУ:

обучение без проверки;

обучение с проверкой, при котором в конце каждой главы (параграфа) обучаемому предлагается ответить на несколько вопросов, позволяющих определить степень усвоения материала;

тестовый контроль, предназначенный для итогового контроля знаний с выставлением оценки.

В настоящее время к ЭУ предъявляются следующие требования: структурированность, удобство в обращении, наглядность изложенного материала. Чтобы удовлетворить вышеперечисленные требования, целесообразно использование гипертекстовой технологии. Электронный вариант учебника вмещает в себя и средства контроля, так как контроль знаний является одной из основных проблем в обучении.

Долгое время в отечественной системе образования контроль знаний, как правило, проводился в устной форме. На современном этапе применяют различные методы тестирования. Многие, конечно, не разделяют этой позиции, считая, что тесты исключают такие необходимые навыки, как анализирование, сопоставление и т.д. В системах дистанционного обучения применение новых технологий дает возможность качественно по-новому решить проблему. Мы заложили в электронный вариант учебника.

Таким образом, можно надеяться, что применение новых информационных технологий способствует повышению эффективности обучения, а также является незаменимым инструментом при самостоятельной подготовке обучающегося.

Известно, что для активного овладения конкретной предметной областью необходимо не только изучить теорию, но и сформировать практические навыки в решении задач. Для этого нужно научиться строить физические модели изучаемых процессов и явлений, проектировать алгоритмы решения и реализовывать их в виде программ.

Вывод. Включение в состав ЭУ серии модельных программ, обеспечивающих графическую иллюстрацию структуры и работы алгоритмов, позволяет не только повысить степень их понимания, но и способствует развитию у школьника интуиции и образного мышления [4], что позволяет достичь цель обучения.

Литература

1. Хантер Б. Мои ученики работают на компьютерах: книга для учителя / Пер. с англ. - М.: Просвещение, 1999. – с. 41.
2. Концепция информатизации образования / Информатика и образование. - 1990. - №1., с. 38.
3. Клейман Г.М. Школа будущего: компьютеры в процессе обучения / Пер. с англ.- М.: Радио и связь, 1997, с. 234.
4. Иванов В.Л. Электронный учебник: системы контроля знаний / Информатика и образование. - 2002.- №1, С. 12-14.

**АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА
УСТОЙЧИВОСТЬ ОБОЛОЧЕЧНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ
ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЫ**

Дана оценка экспериментальным и аналитическим результатам по определению недопустимых комбинированных нагрузок на несущие конструкции трубопроводного транспорта. Обосновывается необходимость непрерывного магнитометрического контроля трубопроводов, работающих в условиях техногенно опасных производств.

Введение. Вопросы безопасной несущей способности транспортных конструкций, к которым, в частности, относятся нефтегазопроводы, связаны с анализом их напряженно-деформированного состояния и причин их разрушения. В широком смысле термин «разрушение» охватывает все причины выхода конструкции из строя. Настоящее исследование рассматривает вопросы исчерпания несущей способности с точки зрения концентрации напряжений и, исходя из этого, всех возможных последствий, например, местной потери устойчивости коротких трубопроводов, и, как правило, последующим появлением и развитием трещин.

Постановка задачи. Существует несколько подходов к определению напряженно-деформированного состояния. Прежде всего, это общий аналитический подход, базирующийся на методах математической теории упругости, которая в связи с появлением новых материалов и транспортных технологий отстает от вопросов, возникающих при создании новых транспортных коммуникаций. Подтверждением этому является, например, повышение циклических технологических давлений, прокладка трубопроводов в агрессивных средах и широкий спектр тепловых воздействий.

Более того, аналитический подход определяет теоретическую прочность, то есть прочность идеальных (бездефектных) объектов, принципиально недостижимых в реальной макромеханике. Имеющиеся при этом расхождения между теоретическими и экспериментальными результатами объясняются еще и неоднозначностью аналитических решений (подходов), и сложностью выбора и обоснования более предпочтительных результатов.

Для технологических трубопроводов, как более сложных объектов в смысле силовых воздействий (пульсирующие давления, кавитация, вибрация, переменный температурный фактор и т.п.), аналитически получены значения напряженно-деформированного состояния в опасных зонах концентрации напряжений, к которым относятся места сужения трубопроводов, их разветвления, патрубки, угловые участки компенсаторов и т. п. Аналитически показано, что коэффициенты концентрации напряжений в указанных местах могут находиться в пределах от 3 до 5, а то и выше [1].

В статье приведены результаты эксперимента по определению предельных нагрузок для коротких металлических трубных вставок, которые применяются при изменении технологических процессов и проведении ремонтных работ.

Основная часть. Для сопоставления экспериментальных и аналитических результатов основными характеристиками материала являются: модуль упругости – E , коэффициент линейного расширения – α , коэффициент теплопроводности – λ , коэффициент излучения – ε , удельная теплоемкость – c , коэффициент температуропроводности – a , плотность – ρ , коэффициент

Пуассона - μ , предел пропорциональности и прочности $\sigma_{1,2}$. Естественно, все эти параметры слабее или сильнее зависят от температуры T .

В табл.1 приведены основные расчетные, с принятым запасом, коэффициенты для распространенных конструкционных сталей при производстве труб с учетом соответствующих приборов и их градуировки. Их дополнительные значения можно получить из графиков-кривых, имеющихся в обширной литературе [2], а для коэффициента теплопроводности можно использовать линейный закон:

$$\lambda = \lambda_0(1 + bT), \quad (1)$$

где λ_0 - коэффициент теплопроводности при нулевой температуре (0°C).

Для идеальных образцов полученные экспериментальным путем значения σ_1 и σ_2 в среднем на 5-7 % выше.

В этой связи всегда требуется не только предэксплуатационный, но и текущий эксперимент по определению напряженно-деформированного состояния. Более того, требуется комплексный эксперимент, например, механический. Эксперимент должен быть дополнен результатами магнитометрических испытаний, которые отражают наличие внутренних дефектов и их топографию, что частично объясняет причины несоответствия экспериментальных и аналитических решений.

Таблица 1

Основные параметры для средних эксплуатационных температур

ρ кг/м ³	α 1/град	c $\frac{\text{Ккал}}{\text{кг} * \text{град}}$	λ $\frac{\text{Ккал}}{\text{м} * \text{час} * \text{град}}$	a $\frac{\text{м}^2}{\text{час}}$	E МПа	σ_1 МПа	σ_2 МПа
7850	$13 \cdot 10^{-6}$	0,165	50	0,05	$2,1 \cdot 10^5$	280	430

Физико-механический эксперимент по устойчивости трубопроводов, как правило, проводится согласно СНиПу II- 6-74. Поскольку местная потеря устойчивости коротких трубопроводов происходит при наличии нескольких факторов, то эксперимент проводится с учетом всех основных нагружений: внутреннего давления, осевого сжатия и термодинамического нагрева, что в лабораторных условиях реализуется силовыми установками ПГ-100А и ПММ-500, принципиальная схема которых показана на рис.1 и состоит из следующих основных частей: гидравлического пресса для воспроизведения осевой сжимающей нагрузки - 1; устройств для запитки трубы внутренним давлением - 2; системы нагрева испытываемой на устойчивость трубы - 3.

Осевая нагрузка на трубу передается через контактные и оправочные плиты и измеряется манометрами под плунжером силового пресса.

Система нагрева трубы состоит из потенциал-регулятора, токопроводящих устройств, обеспечивающих изменение напряжения от 30 до 600 В, и позволяет устанавливать и поддерживать температурный режим до 200°C . При этом нагревательная система исключает влияние на нее возникающих магнитных полей.

Одна из методик проведения эксперимента приведена в [3], где дается подробное описание аналогичных испытаний на тонких оболочках без учета температурных изменений.

Регистрация деформаций и других параметров может быть как дискретной, так и непрерывной и фиксируется осциллографом.

Начало потери устойчивости определяется визуально по характеру кривых на осциллограммах и по появлению и развитию вмятин на поверхности трубы.

В табл.2 приведены результаты исследования на устойчивость коротких оболочечных вставок различной толщины при осевом сжатии. Числовые значения приводятся с нижним округлением для труб диаметром 500 мм.

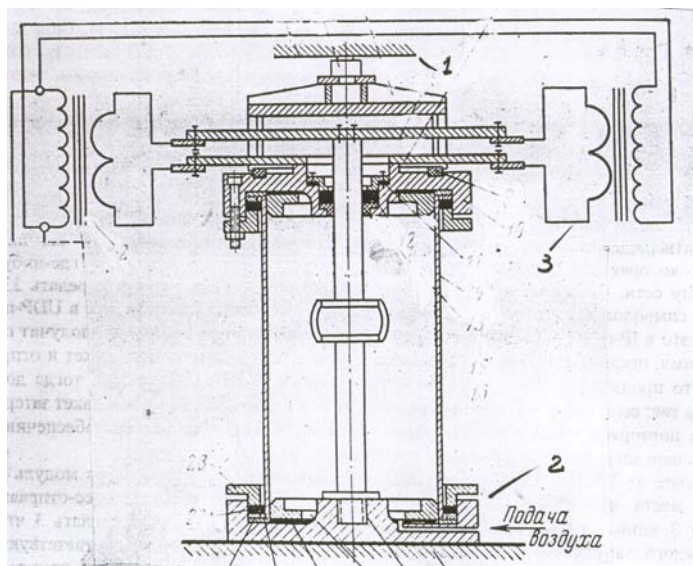


Рис.1. Схема обеспечения силовой установкой одновременного сжатия трубы, запитки внутренним давлением и электроподогревом

Таблица 2

Устойчивость коротких трубных вставок при осевом сжатии.

№ образца и (толщина мм)	Осевое усилие F	Напряжение σ	Критическое Осевое усилие $F_{кр}$	Критическое Напряжение $\sigma_{кр}$
1 (h=1)	5 т.	31,6 МПа	34,6 т.	220,3 МПа
2 (h=2)	10 т.	32,0 МПа	138 т.	440,7 МПа

При совместном действии сжимающего и внутреннего давления на предкритическом этапе деформации значение осевого предельного усилия $F_{кр}$ растет незначительно и тем меньше, чем быстрее растет внутреннее давление, при этом ромбические вмятины, показанные на рис.2, вытягиваются вдоль дуги окружности.

Экспериментально подтверждается, что при внутреннем давлении 0,5 МПа критическое осевое усилие увеличивается до 37т. для оболочки толщиной 1мм; при том же внутреннем давлении для трубы толщиной 2мм соответствующее давление достигает 150т.

В последнем случае при потере устойчивости наблюдаются пластические необратимые деформации, что свидетельствует о полной потере несущей способности трубной вставки, материал которой переходит в пластическое состояние.

При этом теоретические значения критических напряжений могут быть получены только исходя из позиции нелинейной теории упругости, результаты которой не всегда сопоставимы с результатами эксперимента из-за причин, отмеченных выше.

Следует отметить еще один момент, касающийся потери устойчивости сжатых оболочечных конструкций, который указывает, как зависит устойчивость, от отношения толщины оболочки к радиусу ее срединной поверхности.

Подтверждается, что при отношении $\frac{h}{R} < \frac{1}{250}$ и меньше потеря устойчивости для трубных сталей происходит в упругой области, т.е. при напряжении не выше предела пропорциональности σ_1 . Для более толстых оболочек потеря устойчивости имеет место за пределом пропорциональности при критических напряжениях σ_2 , соответствующих текучести материала.

Поскольку технологические трубопроводы испытывают тепловые воздействия, а в условиях химических производств температурные колебания носят высоко амплитудный характер, то вопросы термоустойчивости занимают значительное место в определении их несущей способности.

Для получения экспериментальных результатов на стенде (рис.1) испытывались «холодные» ($\approx 20^\circ\text{C}$) и нагретые до ($\approx 200^\circ\text{C}$) трубные вставки. Замеры деформаций (сближение торцов) производились соответствующими тензодатчиками. Осевое усилие измерялось манометром.

Эксперимент показывает, что при постоянном внутреннем давлении p и медленном тепловом нагружении ($\tau \approx 7 \text{ мин.}$) значение критического осевого усилия несколько меньше соответствующего усилия при быстром нагреве ($\tau \approx 1 \text{ мин.}$).

За критическое состояние оболочки принималось явление образования вмятин, расплзающихся вдоль периметра с увеличением внутреннего давления.

В табл.3 приведены основные результаты эксперимента при совместном действии осевого сжатия F , внутреннего давления p и температуры T .

Т а б л и ц а 3

Основные результаты эксперимента

Температура	Толщина	Диаметр	p	$F_{кр}$	$\sigma_{кр}$
T=20°C	h=1	500	0,1 МПа	35т.	222,9 МПа
	h=2	500	0,1 МПа	140т.	445,8 МПа
T=200°C	h=1	500	0,1 МПа	27т.	172,0 МПа
	h=2	500	0,1 МПа	107т.	340,7 МПа

Выводы. Анализ испытаний позволил оценить напряженно-деформированное состояние оболочечных вставок в упругой области и тем самым достоверно определить верхний предел линейно-упругого состояния реальных оболочек, переход через который недопустим для техногенно опасных транспортных коммуникаций.

Анализ также подтвердил хорошее совпадение известных теоретических результатов с опытными данными в пределах проектных силовых воздействий на реальные конструкции трубопроводного транспорта.

Появляющийся разброс между экспериментальными и теоретическими результатами за пределами допустимых нагрузок требует на конечном этапе принятия проектных решений, проведения механического эксперимента в сочетании с магнитометрическими методами непрерывного мониторинга за развитием первоначальных (заводских) дефектов в дефекты, приводящие к истощению несущей способности конструкций техногенно опасных производств [4,5].

Литература

1. Смирный М.Ф., Малахов О.В., Солодовник М.Д., Нестерова В.В. Расчет зон напряженного состояния металлоконструкций транспортных средств для оценки

- достоверности их определения магнитометрическим методом. // Вісник СНУ ім. В. Даля. №12(82). 2004 с. 154-158.
2. Расчет конструкций на тепловые воздействия / Под ред. Гольденבלата И.И. – М.: «Машиностроение», 1969.– 599 с.
 3. Упругие оболочки / Под ред. Э.И. Григолюка.– М.: Изд-во иностр. литературы, 1962.– 151 с.
 4. Малахов О.В., Седнева О.А., Малахова М.О. Построение модели тензора напряжений металлоконструкций по изменению остаточной намагниченности. // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2006 - №8 (102) частина 2. С. 175-179.
 5. Смирный М.Ф., Солодовник М.Д., Малахов О.В. Оценка напряженно-деформированного состояния металлоконструкций транспортных средств и прогнозирование их остаточного ресурса методами магнитометрической диагностики. // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2006 - №1 (95). С. 220-225.

УД К 621.83

Мединцева Ю.В., Балицкая Т.Ю., Ратов Д.В.

О ДВУХТОЧЕЧНОСТИ КОНТАКТА В ЗУБЧАТЫХ КВАЗИГИПЕРБОЛОИДНЫХ ПЕРЕДАЧАХ НОВИКОВА

На основе аналитических критериев соблюдения и отклонения двухточечного контакта в передачах Новикова проведено численное исследование влияния погрешностей изготовления и монтажа на существование двухточечного контакта в зубчатых квазигиперболоидных передачах Новикова для ряда известных и новых исходных контуров. Таб. 1, ист. 8, рис. 3.

Нагрузочная способность зубчатых передач Новикова с двумя линиями зацепления тесно связана не только с положением и формой мгновенных площадок (следовательно, и суммарного пятна) контакта, но и с равномерностью распределения нагрузки по площадкам. Погрешности изготовления передачи и деформации – наиболее существенная причина данного негативного и крайне нежелательного явления. В связи с этим следует отметить, что при разработке норм точности и допусков на показатели контакта зубьев в передачах Новикова с двумя линиями зацепления необходимо располагать информацией о степени и характере влияния погрешностей на отклонение двухточечного контакта.

Известно (см., напр., [1, 2, 3, 4]), что нарушение двухточечного контакта зубьев в передачах Новикова с двумя линиями зацепления, характеризующееся первоначальным зазором Δ (до упругого сближения зубьев), а сочетании со смещением площадок мгновенного контакта по высоте активных поверхностей зубьев приводит к тому, что полная нагрузка в зацеплении воспринимается, как правило, в основном, лишь одной площадкой мгновенного контакта, перемещающейся по вершине зубьев (рис. 1) со всеми отсюда вытекающими негативными последствиями, такими как: увеличение (примерно на порядок) контактных напряжений вследствие граничного контакта зубьев; значительное (достигающее трехкратного [5]) увеличение изгибного напряжения в корне зуба. Нарушение двухточечного контакта зубьев в реальной передаче Новикова с двумя линиями зацепления может привести к значительному снижению ее несущей способности и ресурса.

Исследование проводилось при помощи специально разработанного программного обеспечения [6], моделирующего работу реальной (с погрешностями изготовления и монтажа) зубчатой квазигиперболоидной (гипоидной и винтовой) передачи Новикова. Так, в частности, программа позволяет определить координаты $\varphi^{(1)}, \nu^{(1)}, \varphi^{(2)}, \nu^{(2)}$ точек контакта при данном угле поворота ведущего колеса $\alpha^{(1)}$ - криволинейные координаты на активных поверхностях

зубьев (рис. 2), являющиеся функциями $\alpha^{(1)}$ и погрешностей изготовления и монтажа $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m$.

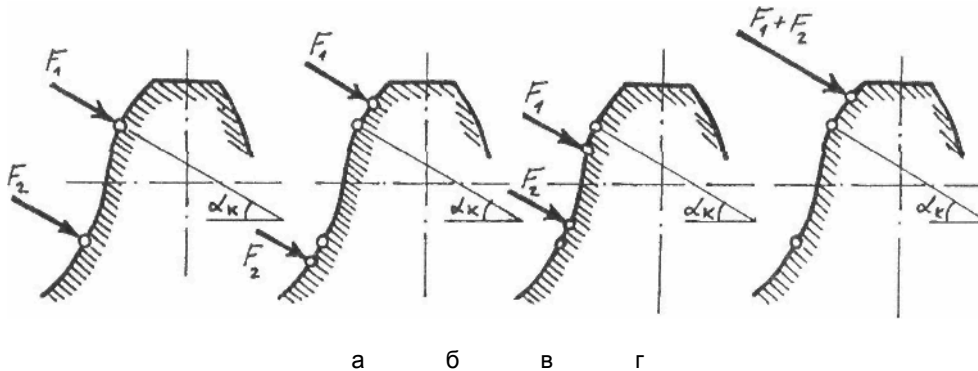


Рис. 1. Точки приложения нагрузки, действующей на зуб в начальный момент контакта: а) расчетные; б), в) при наличии погрешностей, не нарушающих двухточечный контакт зубьев; г) при наличии погрешностей, нарушающих двухточечный контакт зубьев

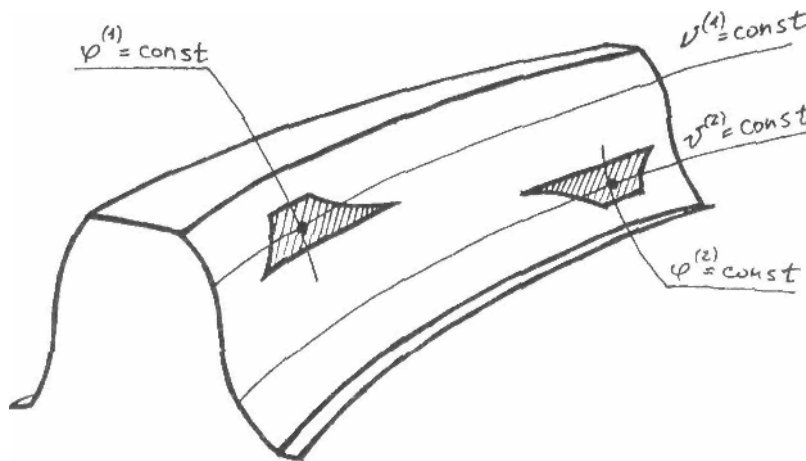


Рис.2. Криволинейные координаты на активной поверхности зуба

Нарушение двухточечного контакта зубьев - следствие рассогласования в относительном положении площадок мгновенного контакта на головке и на ножке зуба, приводящее к возникновению ранее упомянутого начального зазора Δ (рис. 3), пропорционального

$$\Delta_\varphi = \max |\Delta\varphi^{(1)} - \Delta\varphi^{(2)}| \quad (1)$$

характеристике двухточечного контакта зубьев [7]. Если величина Δ "относительно мала", то в нагруженной передаче двухточечный контакт зубьев сохраняется и сопровождается "относительно небольшим" перераспределением нагрузки между площадками мгновенного контакта (в сторону ее увеличения на головке зуба). При непрерывном же увеличении зазора Δ нагрузка на головку будет непрерывно возрастать и при определенном значении полностью воспримется площадкой мгновенного контакта на головке зуба (рис. 1, г).

В квазигиперболоидных передачах Новикова любая погрешность вызывает нарушение двухточечного контакта, т.к. выполняются условия [7]:

$$\Delta_\varphi = |\Delta\varphi^{(1)} - \Delta\varphi^{(2)}| = \text{const} \neq 0, \Delta\nu^{(1)} - \Delta\nu^{(2)} = 0. \quad (2)$$

Исследование влияния погрешностей на двухточечный контакт зубьев в

конических передачах Новикова проводилось как для известных в промышленности исходных контуров ГОСТ 15023-76 и ДЛЗ 0.7-0.15, так специальных новых исходных контуров КГН и СУДУ-1, синтезированных [8] специально для квазигиперболических передач с зацеплением Новикова.

Из табл. 1, содержащей часть результатов расчета характеристики $\Delta\varphi$, видно, что в передачах с различными исходными контурами одни и те же погрешности вызывают различные по величине отклонения двухточечного контакта: в передачах с большим коэффициентом (1) - большие отклонения, и наоборот.

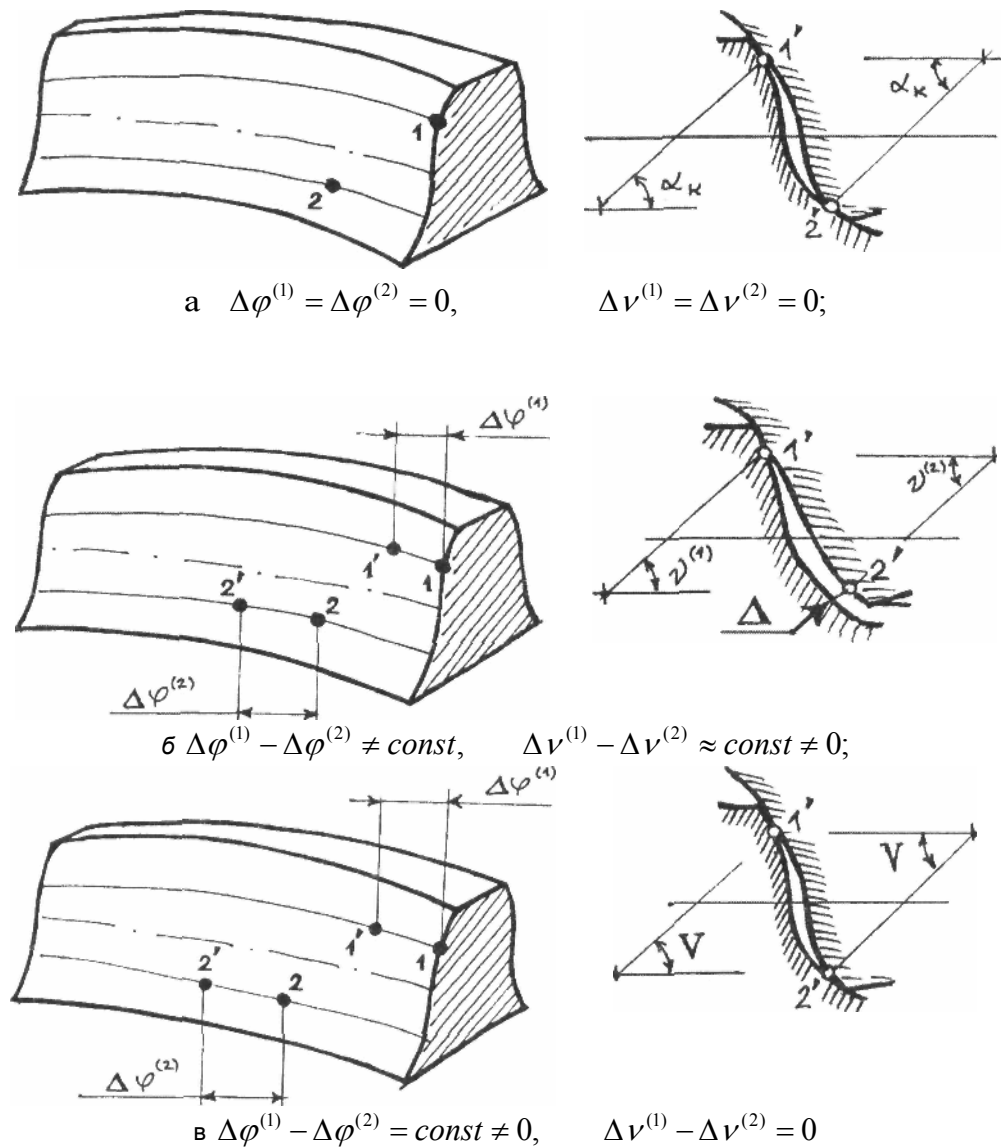


Рис. 3. Признаки отклонения и условия соблюдения начального двухточечного контакта зубьев в передаче, изготовленной: а) без погрешностей; б, в) с погрешностями

Таблица 1

Характеристика отклонения двухточечного контакта

Погрешности	Характеристика Δ_φ отклонения двухточечного контакта для исходных контуров			
	КГН	СУДУ	ДЛЗ 0.7-0.15	ГОСТ 15023-76
$m_n = 3,8 \text{ мм}; u_0 = 0,2$				
$E_{\Sigma r}$	0,0094	0,0097	0,0125	0,0148
$f_{AMr}^{(1)}$	0,0071	0,0082	0,0101	0,0157
$f_{AMr}^{(2)}$	0,0217	0,0219	0,0254	0,0280
f_{ar}	0,0157	0,0167	0,0188	0,0240
$T_{Hr}^{(n)}$	0,0221	0,0223	0,0259	0,0285
$f_{fr}^{(n)}$	0,0224	0,0269	0,0361	0,0708
$F_{rr}^{(n)}$	0,0102	0,0103	0,0119	0,0130
$m_n = 10 \text{ мм}; u_0 = 0,333$				
$E_{\Sigma r}$	0,0037	0,0038	0,0051	0,0059
$f_{AMr}^{(1)}$	0,0030	0,0034	0,0041	0,0064
$f_{AMr}^{(2)}$	0,0090	0,0091	0,0108	0,0120
f_{ar}	0,0058	0,0061	0,0069	0,0086
$T_{Hr}^{(n)}$	0,0094	0,0095	0,0114	0,0126
$f_{fr}^{(n)}$	0,0096	0,0115	0,0152	0,0297
$F_{rr}^{(n)}$	0,0042	0,0043	0,0051	0,0056

Здесь: f_{ar} - отклонение межосевого расстояния (от номинального расстояния, равно нулю, т.е. малая гипоидность); $f_{AMr}^{(n)}$ - осевое смещение зубчатого венца вдоль его оси при монтаже передачи от положения, при котором характеристики зацепления (плавность работы, пятно контакта и кинематическая точность) являются наилучшими, установленными при обкаточном контроле пары; $E_{\Sigma r}$ - отклонение межосевого угла передачи (разность между действительным и номинальным межосевыми углами в передаче, определяется в линейных величинах); $T_{Hr}^{(n)}$ - погрешности смещений исходных контуров при нарезании зубьев шестерни ($n=1$) и колеса ($n=2$); $F_{rr}^{(n)}$ - биения зубчатых венцов (наибольшая в пределах зубчатого колеса (шестерни) разность расстояний от его рабочей оси до элемента нормального исходного контура (одиночного зуба

или впадины), наложенного на профили зубьев зубчатого колеса (шестерни)); $f_{fr}^{(n)}$ - погрешности (отклонения) профилей зубьев колес.

Из таблицы видно, что в квазигиперболоидных передачах погрешность двухточечного контакта не является инвариантной относительно исходного контура, что следует учитывать при расчете допусков. Однако, в целом, результаты расчетов показывают, что наибольшее и однопорядковое влияние на двухточечное зацепление в передачах с рассматриваемыми исходными контурами оказывают погрешности $f_{AMr}^{(2)}, T_{Hr}^{(n)}, f_{fr}$, наименьшее - $E_{\sum r}$ и $f_{AMr}^{(1)}$.

Таким образом, при расчете допусков необходимо учитывать как степень влияния погрешностей на профильное положение точек контакта, так и то, что погрешности $f_{AMr}^{(n)}, T_{Hr}^{(n)}, f_{fr}$, вызывают в 2 раза большее отклонение двухточечного контакта, чем аналогичные по величине погрешности $E_{\sum r}$ и $F_{rr}^{(n)}$.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке методики расчета допусков квазигиперболоидных зубчатых колес и передач с зацеплением Новикова.

Литература

1. Грибанов В.М., Чесноков В.А. Зубчатые передачи с зацеплением Новикова: теоретические основы точности, методология расчета и построения системы допусков //Теория реальных передач зацеплением: Тез. докл. четвертого Всесоюз. симпоз. - Курган, 1988. -С.11-12.
2. Заблонский К.И., Цецорин Н.А., Филипович С.Н. Исследование условий контактирования зацепления Новикова. - В сб.: Детали машин. - Киев: Техника.- 1973. - Вып. 17.-С.16-24.
3. Кириченко А.Ф., Матюшенко Н В., Палько А.А. Закономерность влияния основных геометрических параметров зацепления на существование двухточечного контакта в цилиндрических передачах Новикова ДЛЗ //Проблемы качества и долговечности зубчатых передач и редукторов: Труды междунар. науч.-техн. конф.-Харьков, 1997.-С.75-81.
4. Павленко А.В., Харитонов Ю.Д. Исследование условий контактирования круговых равновысоких зубьев конических передач //Несущая способность и качество зубчатых передач и редукторов машин: Тез. докл. всесоюз. конф. - М.: КМС ВСНТО, 1985. - Ч.2. – С. 8.
5. Липкина А.Т., Коваленко Г.Д. статистически-аналитический метод оценки долговечности конических зубчатых передач Новикова. - В сб.: Проблемы исследования, проектирования и изготовления зубчатых передач. - Хабаровск, 1975. – С.78-82.
6. Грибанов В.М., Кочевский А.А., Кучма Ю.В. Методика компьютерной реализации модели рабочего зацепления зубчатой передачи Новикова //Вісник Східноукраїнського Національного Університету. - 2000. - №8 (30). - С.37-42.
7. Грибанов В.М. Теоретические основы точности и разработка допусков зубчатых передач с зацеплением Новикова: Дис. д-ра техн. наук: 05.02.02 /ЛМСИ. - Луганск, 1989. – 410 с.
8. Мединцева Ю.В., Хмеловский Т.Г. Многокритериальный синтез исходного контура гипоидной зубчатой передачи Новикова // Вестник национального технического университета «ХПИ». - 2005. - №40. - С.187-195.

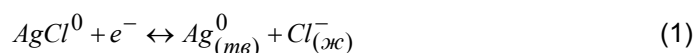
Михайлин В.Н., Тисличенко А.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ХЛОРСЕРЕБРЯНОГО ЭЛЕКТРОДА

Показано влияние паяных соединений на воспроизводимость стандартных потенциалов электродов II рода. Предложена конструкция хлорсеребряного электрода без паяных соединений. Рис. 1, источн. 4.

Хлорсеребряный электрод нашел широкое применение в ионометрии, где он может либо использоваться как измерительный электрод для определения активности хлорид-ионов в растворе, либо входить в состав ионоселективного электрода и электрода сравнения. Его функция заключается в обеспечении стабильной для данного раствора разности потенциалов между раствором, обладающим ионной проводимостью, и металлическим проводником, обладающим электронной проводимостью.

Хлорсеребряный электрод представляет собой серебряную проволоку диаметром до 1,5 мм (в зависимости от способа изготовления электрода и особенностей применения), часть которой покрыта слоем хлорида серебра и погружена в раствор, содержащий ионы хлора. При этом начинается обмен ионами хлора между поверхностью электрода и раствором по реакции [1]:



где e^- — электрон.

В растворе и слое хлорида серебра ток создается за счет переноса заряда ионами хлора, а на границе между слоем хлорида серебра и серебряной основой происходит переход от ионной к электронной проводимости.

Через определенное время после погружения электрода в раствор устанавливается равновесие, при котором плотность тока, создаваемого ионами хлора, переходящими из электрода в раствор, равна плотности тока, создаваемого ионами хлора, проходящими в обратном направлении. Разность потенциалов между поверхностью электрода и раствором, устанавливающаяся в результате переноса заряда между твердой и жидкой фазами, будет являться функцией активности ионов хлора в растворе.

Существующие конструкции хлорсеребряных электродов различаются:

а) по способу получения слоя хлорида серебра:

получение электрохимическим способом [2];

получение осаждением из расплава [2, 3];

б) по структуре основы электрода:

серебряная проволока;

платиновая проволока, которую путем погружения в расплав покрывают слоем серебра [2].

Общим недостатком всех существующих конструкций хлорсеребряных электродов является наличие паяного соединения между серебряной основой электрода и проводником (как правило, медным), соединяющим электрод с измерительным прибором. В месте такого соединения возникает электрический потенциал, величина которого зависит от температуры окружающей среды [2], а также от качества пайки, что увеличивает различие стандартных потенциалов хлорсеребряных электродов, изготовленных по одной технологии. Кроме того, место спая является одной из наиболее ненадежных частей электрода, поэтому

в существующих конструкциях ионоселективных электродов и электродов сравнения предусмотрено его механическое упрочнение.

Для устранения данных недостатков необходимо разработать конструкцию хлорсеребряного электрода, в которой отсутствуют паяные соединения. При этом желательными являются простота изготовления электрода и электрические характеристики, сравнимые с характеристиками существующих электродов.

Нами была предложена конструкция хлорсеребряного электрода, основой которого является медная проволока, на часть которой электрохимическим способом наносится слой серебра, а затем — пленка хлорида серебра [4]. Схема конструкции такого электрода и обычного хлорсеребряного электрода показана на рис. 1.

В предложенной нами конструкции присутствует прямой контакт между медной основой электрода и слоем серебра. В месте этого контакта также возникает электрический потенциал, но зависимость его величины от температуры на порядок меньше, чем в случае контакта меди с паяльным оловом [2]. Кроме того, себестоимость электрода, изготовленного таким методом, снижается за счет значительного уменьшения количества используемого серебра.

Очевидно, что наименее надежной частью электрода и в этом случае является контакт медной и серебряной поверхностей. При низком качестве осаждения серебряного слоя (при наличии трещин или пор, обеспечивающих прямой контакт меди с раствором, в который погружен электрод) на границе твердой и жидкой фаз будет возникать смешанный потенциал, величина которого будет зависеть не только от активности находящихся в растворе ионов хлора, но также и от активности других, т. н. мешающих ионов (в частности, ионов меди, окислителей и восстановителей). Т. к. в растворе, в который погружен электрод, присутствуют ионы хлора, будет происходить также постепенное окисление меди до $CuCl_2$ и появление невоспроизводимых значений электродного потенциала. Поэтому при изготовлении хлорсеребряных электродов таким способом необходимо контролировать качество осаждаемого серебряного слоя. Это можно осуществить либо визуально, при помощи микроскопа, либо после получения слоя хлорида серебра провести калибровку изготовленного электрода в растворах с постоянной активностью ионов хлора и переменной активностью ионов меди.

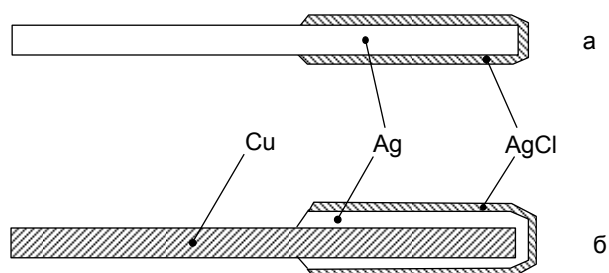


Рис. 1. Существующая (а) и новая (б) конструкции хлорсеребряного электрода

Для проверки влияния паяных соединений на воспроизводимость стандартных потенциалов хлорсеребряных электродов нами были изготовлены 10 образцов электродов описанной выше конструкции, пять из которых были припаяны к медному проводу для соединения с иономером, и пять — без паяного соединения (в этом случае роль соединительного провода выполняла часть медной основы электрода). Эти электроды по очереди погружали в раствор KCl с концентрацией $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л и измеряли величину электродного потенциала. Измерение проводили с использованием иономера ЭВ-74; в

качестве электрода сравнения использовался электрод ЭСП-1МЗ. После этого были рассчитаны средние значения и стандартные отклонения электродных потенциалов для обеих конструкций электродов. Полученные результаты показывают, что у электродов с паяным соединением величина стандартного отклонения электродного потенциала составляет 24,637 мВ, а у электродов без паяного соединения — 6,490 мВ.

Выводы

Экспериментально установлено, что наличие паяных соединений в конструкции электродов II рода ухудшает воспроизводимость стандартных потенциалов этих электродов. Имеющиеся литературные данные указывают также на температурную зависимость потенциала, возникающего в месте пайки. Использование предложенной конструкции хлорсеребряного электрода, в которой отсутствуют паяные соединения, позволит существенно повысить воспроизводимость стандартных потенциалов таких электродов, а также снизить погрешность измерений, возникающую при изменении температуры.

Литература

1. Савенко В.С. Введение в ионометрию природных вод. — Л.: Гидрометеоздат, 1986. — 78 с.
2. Камман К. Работа с ионоселективными электродами. — М.: Мир, 1980. — 284 с.
3. А. с. № 291141 (СССР). Способ приготовления хлорсеребряного индикаторного электрода / В.И. Петренко, В.П. Храпай, Н.С. Баландина. — 1971. — Бюл. № 3. — 2 с.
4. Деклараційний патент № 5864 (Україна). Спосіб виготовлення хлорсрібного індикаторного електрода / Є.Я. Швець, В.М. Михайлін, О.С. Тісліченко. — 2005. — Бюл. № 3. — 2 с.

УДК 621.31

Мороз Н.Г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА В РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ

Рассматривается способ реализации спектрометра ионизирующих излучений на базе цифрового сигнального процессора, анализирующего форму сцинтилляционного импульса.

Введение. Широкое распространение ядерных технологий дает не только полезные эффекты, но и создает новые проблемы. Незаконное или непреднамеренное перемещение ядерных или радиоактивных материалов, в том числе в форме радиоактивных источников, загрязненного металлолома является проблемой возрастающей важности. Это обстоятельство накладывает жесткие требования по надежности и массогабаритным показателям на аппаратуру, необходимую для выполнения соответствующих мероприятий по обнаружению и идентификации радиационных материалов.

Анализ состояния вопроса и постановка задачи исследований. Ряд компаний, работающих в области ядерного приборостроения, выпускают широкий спектр различных радиационных мониторов как стационарных, так и переносных, используемых для предотвращения несанкционированного перемещения радиоактивных материалов. Они широко используются на ядерных объектах, на пограничных и таможенных постах, в международных морских и авиационных портах. Для создания таких приборов разработчики ведущих фирм все чаще применяют цифровые сигнальные процессоры (DSP),

например, DSPEC^{PLUS} [1], Canberra Model 2060 Digital Signal Processor [2]. Большое быстродействие DSP позволяет реализовать сложные алгоритмы обработки получаемой информации, такие как идентификация частиц по форме импульса [3, 4, 5].

Наиболее полную информацию о радиоактивном источнике можно получить только проанализировав спектр его излучения. Спектрометры применяют для решения двух основных задач – идентификации радионуклидов и измерения их количественных характеристик.

Практическая реализация спектрометра. Для выбора DSP, оптимально подходящего для построения спектрометра, был проведен сравнительный анализ выпускаемой продукции лидирующих фирм: Analog Devices, Inc [6] и Texas Instruments [7]. С точки зрения минимизации аппаратных затрат для реализации спектрометра был выбран цифровой сигнальный процессор TMS320F2812 фирмы Texas Instruments. Он имеет встроенный быстродействующий АЦП, достаточный объем памяти и расширенный интерфейс (необходимый для подключения графического дисплея и функциональной клавиатуры). Структурная схема спектрометра приведена на рис.1.

В качестве детектора используется сборка сцинтиллятора CsI(Tl) и фотоэлектронного умножителя – ФЭУ176.

Сигнал с анодной нагрузки ФЭУ поступает на усилитель-формирователь, где он усиливается до необходимой величины и приобретает квазигансовую форму импульса. Далее сигнал подается непосредственно на вход АЦП, встроенного в DSP. Обработку сигнала и накопление спектра выполняет цифровой сигнальный процессор, а персональный компьютер служит для отладки программного обеспечения и визуализации полученных данных. При работе в полевых условиях используются ЖКИ и функциональная клавиатура.

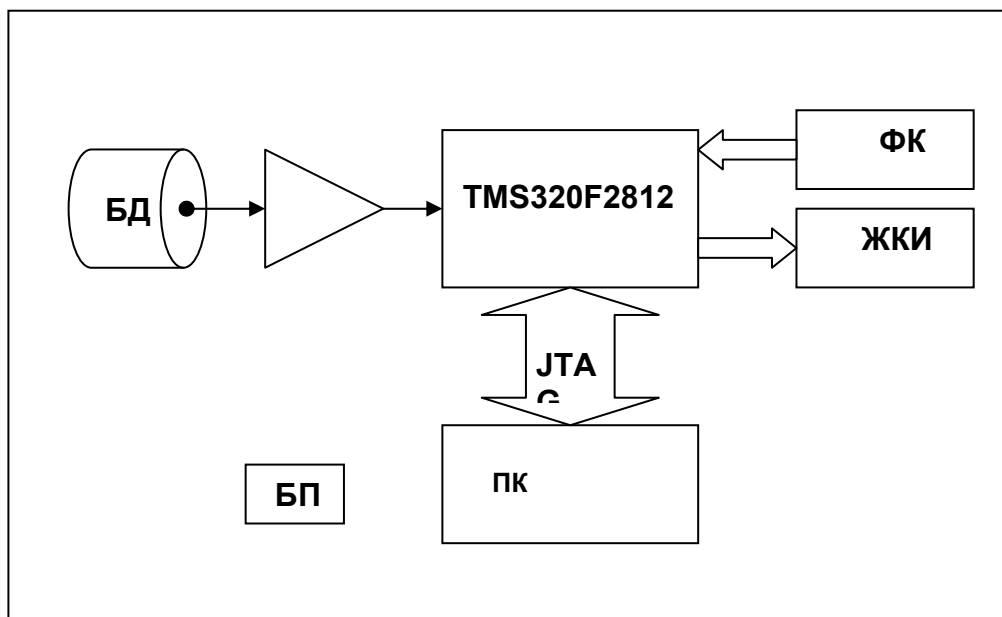


Рис.1. Структурная схема спектрометра

Обозначения:
 БД – блок детектирования;
 УФ – усилитель-формирователь;
 ФК – функциональная клавиатура;

TMS320F2812 – цифровой сигнальный процессор;
ЖКИ – жидкокристаллический индикатор;
ПК – персональный компьютер;
БП – блок питания

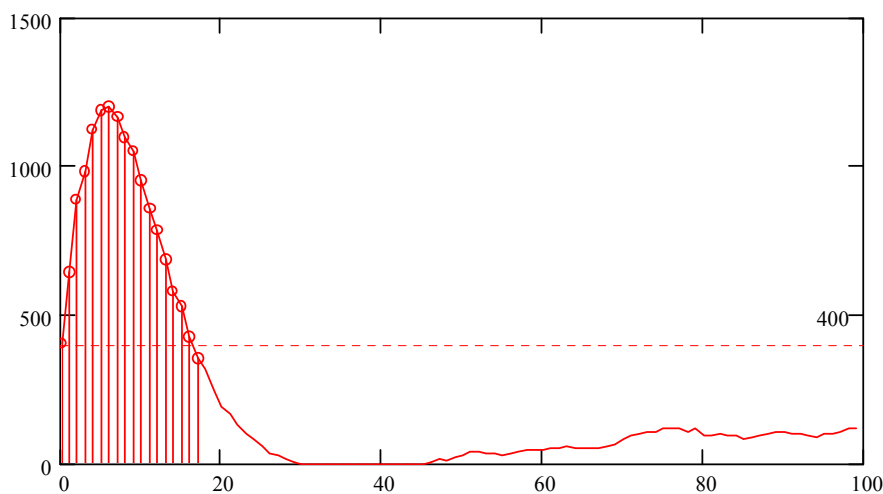


Рис 2. Форма сцинтилляционного импульса

АЦП в микросхеме TMS320F2812 способен работать в нескольких режимах. В данном случае он инициализируется как одноканальный для непрерывной работы с частотой выборок 8,3 МГц.

Разработанное программное обеспечение позволяет кроме основной функции (накопление и обработка спектров) также исследовать форму сцинтилляционных импульсов. В режиме захвата импульса (рис. 2) программа анализирует непрерывный поток выборок АЦП и после превышения заданного уровня дискриминации (на рис. 2 порог равен 400) заполняет буфер, организованный в ОЗУ данных DSP (в данном случае размер буфера сто 16-битных слов). После чего накопленные данные выводятся на дисплей в графическом виде. Эта информация может быть сохранена и в файле на ПК для разработки и апробации алгоритмов идентификации частиц по форме импульса.

На рисунке виден небольшой спад сигнала после импульса, что свидетельствует о недостаточной компенсации полюса нулем в усилителе-формирователе. Такая информация может использоваться для настройки спектрометрического тракта без применения дополнительных приборов.

В режиме накопления спектра дискриминация нижнего уровня (ДНУ) выполняется так же, как и в предыдущем режиме. После превышения заданного уровня программа продолжает анализ выборок АЦП и суммирует выборки, превышающие ДНУ. На рис. 2 этот интервал времени заштрихован. После деления полученной “площади” импульса на калибровочное число получается номер канала спектрометра (всего 1024 канала), соответствующий энергии зарегистрированного кванта. На рис. 3 показан спектр, полученный при одновременном облучении блока детектирования двумя изотопами.

Выводы. Таким образом, в отличие от существующих систем контроля ионизирующих излучений, предлагаемый подход позволяет минимизировать аппаратные затраты и создавать малогабаритные приборы для работы в полевых условиях.

Применяя алгоритмы идентификации частиц, с помощью предложенной системы, можно получать “чистые” спектры радиоактивных излучений в смешанных полях. Объем ОЗУ данных в DSP и его быстродействие позволяют

одновременно накапливать два спектра по 1024 канала. При необходимости архивации их можно перенести в энергонезависимую память FLASH (128Kx16).

С помощью предложенного программно-аппаратного комплекса появляется возможность точной настройки спектрометрического тракта в полевых условиях без применения дополнительных приборов или же исследования формы сцинтилляционных импульсов в лабораторных условиях.

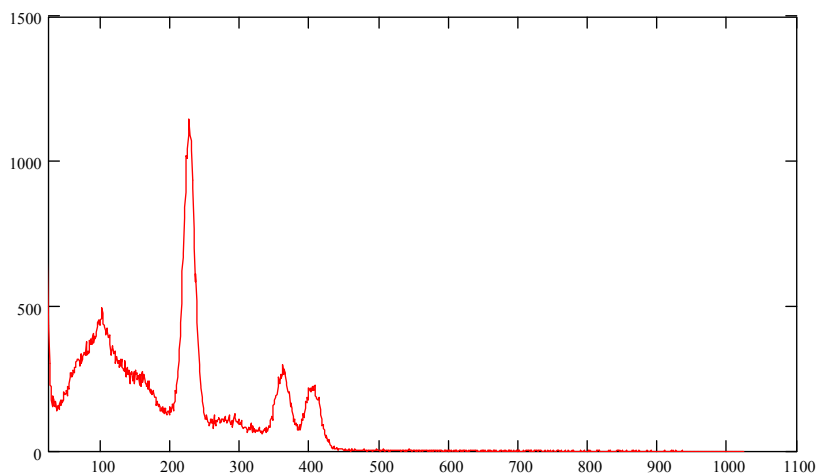


Рис. 3. Спектр ^{137}Cs и ^{60}Co

Литература

1. <http://www.ortec-online.com/index.html>
2. <http://www.canberra.com/index2.htm>
3. W. Skulski, M. Momayezi // "Particle identification in CsI(Tl) using digital pulse shape analysis", Nucl. Instr. and Meth. A 458 (2001) 759-771.
4. Хрячков В.А., Дунаев М.В., Кетлеров В.В., Семенова Н.Н., Тараско М.З. Новый метод разделения заряженных частиц с использованием кристаллов CsI(Tl), ПТЭ, 2000 № 3 С. 29-37.
5. Прокуронов М.В. и др. Цифровая идентификация частиц по форме импульса, ПТЭ, 2006 № 2 С. 67-83.
6. <http://www.analog.com/index.html>
7. <http://www.ti.com>

УДК 620.179

Мороз Н.Г., Клочко Н.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЛОКАЦИИ СКРЫТЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассматривается применение параметрических методов для локации скрытых объектов и для неразрушающего контроля.

Введение. Поисковые приборы используются практически во всех сферах деятельности человека. Они применяются археологами и строителями, таможенниками и пограничниками, криминалистами и саперами. В промышленности и строительстве к поисковым приборам можно отнести всевозможные металлоискатели и дефектоскопы.

Известные методы обнаружения объектов основаны на регистрации различных аномалий (электромагнитных, теплофизических и др.) в местах расположения этих объектов. Название метода обусловлено, как правило, типом зондирующего физического поля.

Анализ состояния вопроса и постановка задачи исследований.

Основным назначением любой поисковой системы является локализация различных отклонений от однородности исследуемых объектов или сред. При этом методы активной локации: радиолокационный, индукционный, акустический и др. используют имеющиеся *контрасты* между объектом поиска и естественным фоном (грунтом, растительностью, водой, однородным материалом).

В работах [1, 2, 3] описан принципиально новый метод поиска скрытых объектов – параметрическая локация. Суть этого метода заключается в регистрации искусственно вызываемых контрастов между объектом поиска и естественным фоном за счет дополнительного облучения исследуемого пространства, наряду с основным зондирующим, различными возбуждающими физическими полями. Возникновение этих контрастов обусловлено различной реакцией объекта поиска искусственного происхождения и элементов естественного фона на возбуждающее поле.

Задачей настоящего исследования является распространение параметрических методов локации скрытых объектов для тех случаев, где традиционно применялись иные способы поиска.

Примеры реализации параметрических методов локации. В работе [2] представлены исследования метода, в котором объект поиска облучается зондирующим и возбуждающим физическими полями. В таком случае возбуждающий сигнал “окрашивает” зондирующий сигнал при его отражении от объекта поиска искусственного происхождения. “Окраска” заключается в придании ему характерных амплитудных, частотно-временных и поляризационных признаков, которые могут затем быть выявлены в приемном устройстве поисковой системы. В работе приведены возможные варианты сочетаний физических полей (электромагнитные, акустические, радиоактивное излучение). Исследования этого метода были направлены, в первую очередь, на поиск специфических объектов (стрелкового оружия, взрывных устройств, датчиков охранной сигнализации). Сочетание зондирующего электромагнитного и возбуждающего лазерного или радиоактивного излучений приводит к некоторому усложнению передающего устройства локаторов такого типа. Однако, ожидаемые дальности обнаружения малоразмерных объектов, реализуемых при использовании переносного варианта параметрических локаторов, лежат в пределах от десятков сантиметров до десятков метров. Первые цифры характерны при применении квазистационарных возбуждающих НЧ-электромагнитных полей – для локации объектов в сильно поглощающих средах (влажном глинистом грунте, строительных конструкциях и др.). Вторые цифры – при использовании направленных СВЧ - и лазерных возбуждающих полей в свободном пространстве – для локации, например, замаскированных пассивных оптико-электронных устройств (датчиков цели взрывных устройств, радиоуправляемых “видео-жучков” и др.).

Работа [4] посвящена увеличению глубины обнаружения ферромагнитных объектов искусственного происхождения. Для обнаружения в немагнитных укрывающих средах локальных неоднородностей поля, вызываемых ферромагнитными объектами искусственного происхождения, наибольшее применение нашли такие магниточувствительные приборы, как феррозондовые градиентометры или магнитометры. Данные объекты либо обладают собственным магнитным полем, либо искажают однородное поле Земли, и в том и другом случае магнитное поле в зоне чувствительного

элемента – феррозонда - изменяет свою величину и направление. Это и является признаком наличия ферромагнитного объекта. По отношению к искомому объекту эти приборы являются пассивными, то есть не оказывают на объект никакого воздействия.

На предельную глубину обнаружения известных магнитометрических средств поиска наиболее существенное влияние оказывают длина базы прибора и его чувствительность.

Возможности увеличения глубины обнаружения ограничены, с одной стороны, помехами, делающими нецелесообразным повышение чувствительности поисковых приборов, с другой стороны - условиями транспортирования, ведения поисковых работ и возможностями оператора, не позволяющими значительно увеличивать длину базы.

Увеличение глубины обнаружения ферромагнитных объектов искусственного происхождения возможно созданием таких условий, при которых тело будет сильнее, чем при обычных условиях, искажать магнитное поле Земли. Применение метода дистанционного параметрического подмагничивания позволяет практически увеличивать глубину обнаружения ферромагнитных объектов поиска в 1,5...3 раза.

Напомним, что электрические цепи, в которых хотя бы один из параметров изменяется по какому-либо заданному закону, называются параметрическими. Рассеянное, например, объектом поиска электромагнитное поле может отличаться от возбуждающего своими параметрами: амплитудой, фазой, частотой и поляризацией. Ярким примером использования этих свойств являются вихретоковые дефектоскопы, пожалуй, самые “древние” из параметрических локаторов. Первые такие структуроскопы и дефектоскопы появились сразу после первой мировой войны. При питании обмотки возбуждения вихретокового дефектоскопа током одной частоты изменения параметров контролируемого объекта преобразуются в два сигнала (амплитуду и фазу) [5]. Упрощенная структурная схема вихретокового дефектоскопа приведена на рис. 1.

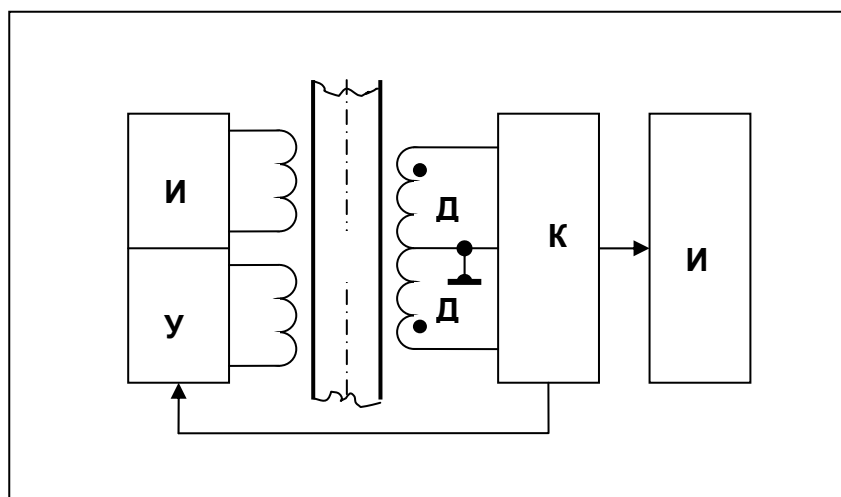


Рис. 1. Структурная схема вихретокового дефектоскопа
 ИПТ – источник постоянного тока;
 УМ – усилитель мощности;
 КО – контролируемый объект;
 К – контроллер;
 ИМ – исполнительный механизм;
 Д1, Д2 – детектирующие катушки

Источник постоянного тока нагружен на катушку подмагничивания, с ее помощью контролируемый объект доводят до насыщения. Усиленное с помощью УМ переменное напряжение, формируемое контроллером, прикладывается к катушке возбуждения. С детектирующих катушек Д1 и Д2, включенных встречно-последовательно, сигнал подается на дифференциальный усилитель, входящий в состав контроллера. При отсутствии дефектов тока, наводимые в измерительных катушках Д1 и Д2, компенсируют друг друга и сигнал на выходе дифференциального усилителя имеет начальные амплитуду и фазу относительно возбуждающего тока. Дефект в контролируемом объекте, расположенный в плоскости одной из катушек, приводит к разбалансу токов и, как следствие, к изменению амплитуды и фазы выходного сигнала дифференциального усилителя. Зарегистрировав дефект, контроллер выдает сигнал на исполнительный механизм, который ставит соответствующую метку в район дефекта или (и) снимает изделие с конвейера.

Традиционно обработку сигнала после дифференциального усилителя производят в двух отдельных каналах – амплитудном и фазовом. На выходе каждого канала имеется хотя бы один компаратор, отсекающий помехи (источниками помех могут быть царапины, задиры и т. п.). Выходные сигналы компараторов объединяются по логическому ИЛИ.

Реализация приборов на аналоговой элементной базе требует больших аппаратных затрат и большой трудоемкости при настройке. Такие дефектоскопы имеют низкую временную стабильность даже при использовании отдельных прецизионных компонентов, что требует регулярной проверки и настройки.

Цифровая обработка входного сигнала существенно снижает аппаратные затраты и практически устраняет временную нестабильность. Но алгоритмы, повторяющие работу аналоговых схем, требуют сложного программного обеспечения (ПО). Проведенные исследования в этом направлении позволили предложить программно-аппаратный комплекс с минимальными аппаратными затратами, относительно простым ПО и повышенной контрастностью дефектоскопа без снижения помехоустойчивости.

Выходной сигнал дифференциального усилителя фильтруется от промышленных помех полосовым фильтром и подается на вход АЦП. Коэффициент передачи дифференциального усилителя выбирается таким, чтобы малый естественный разбаланс Д1 и Д2 давал сигнал на его выходе с амплитудой приблизительно соответствующей половине шкалы АЦП. Например, если шкала АЦП составляет -2,5В...+2,5В, то отклик от бездефектного изделия должен иметь амплитуду $\sim \pm 1,25В$.

Функционирование программного обеспечения поясняется математической моделью и рисунками 2, 3, где частота выборок соответствует одному эл. град., а отведенный для измерений интервал времени затенен. Штриховой линией на рисунках показан отклик от эталонного изделия (без дефектов) с начальным сдвигом фазы 60° относительно сигнала возбуждения, формируемого контроллером. Этот сдвиг может создавать, например, усилитель мощности. Отметим, что начальный сдвиг фазы должен лежать в диапазоне $\pm 60^\circ$.

Настройка дефектоскопа полностью автоматизирована. Для ее реализации необходимо включить режим “Калибровка” и просканировать эталон. В этом режиме выборки АЦП обрабатываются следующим образом:

1. Подсчитывается площадь сигнала (амплитудный параметр эталона) в соответствии с формулой:

$$R_a := \sum_j |R_j|$$

где: $j = 0 \dots 179$ – номер выборки, R – код АЦП;

2. Вычисляется фазовый параметр эталона R_f :

$$R_p := \sum_j R_j$$

$$R_n := \sum_j |R_j|$$

$$R_f := \frac{R_p}{R_n}$$

где: R_p – положительные выборки АЦП, а R_n – отрицательные;

3. Параметры R_a и R_f вычисляются в каждом периоде возбуждающего тока в течение всего режима калибровки, затем они усредняются и сохраняются в оперативной памяти контроллера.

В “рабочем” режиме амплитудный Y_a и фазовый Y_f параметры вычисляются аналогичным образом и находятся их относительные величины:

$$P_a := \frac{Y_a}{R_a} \tag{1}$$

$$P_f := \frac{Y_f}{R_f}$$

Обобщенный параметр P имеет вид:

$$P := P_a \cdot P_f$$

Для случая когда дефект расположен в плоскости катушки Д1 (см. рис. 2):
 $P_a = 1.098$; $P_f = 2.061$; $P = 2.264$.

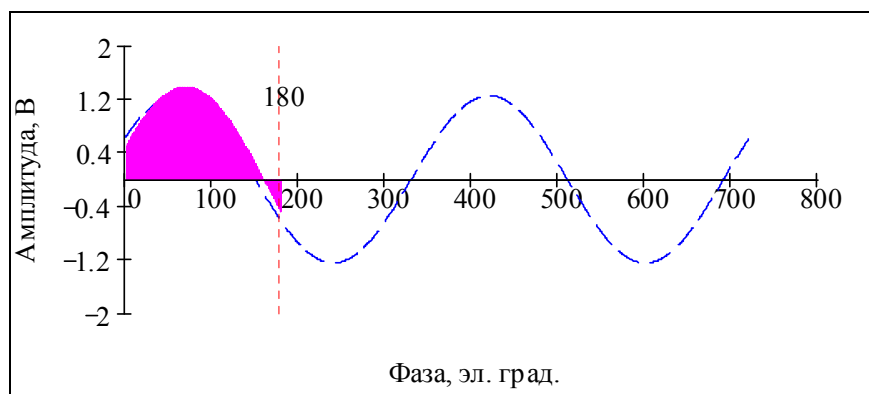


Рис. 2. Изменение амплитуды +125мВ, фазы +10°

При расположении дефекта в плоскости катушки Д2 (см. рис. 3), имеем:
 $P_a = 0.901$; $P_f = 0.605$; $P = 0.546$.

В случае, если с увеличением амплитуды фазовый параметр уменьшается, необходимо поменять местами числитель и знаменатель в выражении (1). Такая необходимость может возникнуть только на этапе первичной настройки дефектоскопа.

Выводы. Таким образом, применение параметрических методов локации позволяет увеличивать глубину обнаружения объектов поиска и повышать контрастность поисковых приборов, например, дефектоскопов, не ухудшая их помехоустойчивость.

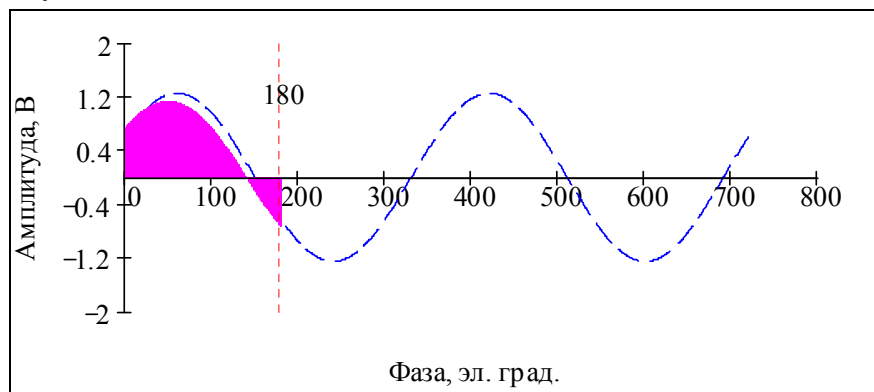


Рис. 3. Изменение амплитуды – 125мВ, фазы -10°

Литература

1. Щербаков Г.Н. Обнаружение объектов в укрывающих средах. Для криминалистики, археологии, строительства и борьбы с терроризмом.– М.: Арбат-Информ, 1998.
2. Щербаков Г.Н. Параметрическая локация – новый метод обнаружения скрытых объектов. / Специальная техника, 2000, №4, С. 52, 58.
3. Щербаков Г.Н. Обнаружение скрытых объектов – для гуманитарного разминирования, криминалистики, археологии, строительства и борьбы с терроризмом.– М.: Арбат-Информ, 2004.
4. Щербаков Г.Н., Анцелевич М.А., Удинцев Д.Н. Увеличение глубины обнаружения локальных ферромагнитных объектов в толще укрывающих сред методом дистанционного параметрического подмагничивания. / Специальная техника, 2004, №6.
5. Дорофеев А.Л. Электро-индуктивная (индукционная) дефектоскопия.– М.: «Машиностроение», 1967.– 230с.

УДК 65.011.44

Слободчуков Д.В., Петренко С.А.

РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ДЕЛОВОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Выполнена оценка рентабельности капитала и рентабельности деятельности как основных показателей рентабельности предприятия, а также влияния на него внешних факторов. Ист. 4.

Введение. Рентабельная работа предприятия определяется прибылью, которую оно получает. Для анализа рентабельности в программе рассчитываются две группы коэффициентов рентабельности: рентабельность капитала и рентабельность деятельности.

Коэффициенты группы рентабельности капитала показывают, насколько эффективно предприятие использует свой капитал в целях получения прибыли.

Основное содержание исследования. Рентабельность всех активов по балансовой прибыли является наиболее общим показателем. Данный

коэффициент показывает, сколько денежных единиц привлечено предприятием для получения единицы прибыли независимо от источника привлечения этих средств. Значение показателя рассчитывается делением балансовой прибыли на среднюю за период величину стоимости всех активов [1].

Показатель рентабельности собственного капитала определяет эффективность использования средств собственников, вложенных в предприятие, позволяет сравнить с возможным доходом от вложения этих средств в другие предприятия (ценные бумаги), служит важным критерием при оценке уровня котировки акций на бирже.

Коэффициент рассчитывается путем деления балансовой прибыли на среднюю за период величину собственного капитала. Если рентабельность собственного капитала меньше 1 процента, это говорит об очень низкой инвестиционной привлекательности предприятия.

Полезным приемом в ходе анализа является сопоставление рентабельности всех активов и рентабельности собственного капитала. Разница между этими показателями обусловлена привлечением предприятием внешних источников финансирования.

Если предприятие посредством привлечения заемного капитала получает больше прибыли, чем должно уплатить проценты на этот заемный капитал, то разница может быть использована для повышения отдачи собственного капитала. Однако в том случае, если рентабельность активов меньше, чем проценты, уплачиваемые на заемный капитал, влияние привлеченных средств на деятельность предприятия должно быть оценено отрицательно.

С помощью коэффициента рентабельности оборотного капитала рассчитывается сумма балансовой прибыли, заработанная каждым рублем оборотного капитала. Количественные значения коэффициента при анализе в динамике показывают изменения в эффективности его использования предприятием [2].

Рентабельность инвестиций показывает, насколько эффективно предприятие ведет инвестиционную деятельность за исключением инвестиций в собственное развитие.

Коэффициент рассчитывается по формуле, где числитель - сумма доходов по ценным бумагам и от долевого участия в совместных предприятиях, знаменатель - сумма средних значений за период долгосрочных и краткосрочных финансовых вложений. По данным баланса предприятие за отчетный период не имеет никаких доходов по ценным бумагам и от долевого участия.

Коэффициент рентабельности перманентного капитала показывает, какова прибыльность использования всего капитала предприятия, находящегося в его долгосрочном пользовании. Значение коэффициента определяется делением объема балансовой прибыли на среднюю за период величину перманентного капитала.

Наиболее полное представление о рентабельности производственной деятельности предприятия дает коэффициент рентабельности функционирующего капитала. Он определяется отношением объема результата от реализации продукции к средней за период величине капитала, непосредственно занятого в производственной деятельности.

Представляет интерес сравнение значения коэффициентов рентабельности функционирующего капитала и инвестиций. Если значения показателя рентабельности инвестиций больше значений рентабельности функционирующего капитала, то можно сделать вывод о том, что предприятию более выгодно осуществлять инвестиционную деятельность, нежели заниматься производством и реализацией продукции.

Коэффициенты группы рентабельности деятельности позволяют оценить прибыльность всех направлений деятельности предприятия. Они рассчитываются по данным отчета о прибылях и убытках.

Коэффициент рентабельности всех операций по балансовой прибыли показывает, насколько эффективно и прибыльно предприятие ведет свою деятельность по всем направлениям и какова доля балансовой прибыли в доходах. Расчет коэффициента производится по формуле, где числитель - объем балансовой прибыли, знаменатель - чистая выручка от реализации плюс доходы от прочей реализации и от внереализационных операций.

Коэффициент рентабельности всех операций по чистой прибыли в сравнении с коэффициентом рентабельности всех операций по балансовой прибыли показывает "давление налогового пресса" на доходы предприятия от всех направлений деятельности, а также уровень чистой прибыли в доходах [3].

Рентабельность реализованной продукции к затратам на ее производство определяет эффективность затрат, произведенных предприятием на производство и реализацию продукции. Коэффициент рассчитывается посредством отношения объема результата от реализации к сумме затрат на производство реализованной продукции.

Динамика коэффициента может свидетельствовать о необходимости пересмотра цен или усиления контроля предприятия за себестоимостью реализованной продукции.

Коэффициент рентабельности основной деятельности показывает рентабельность именно основной деятельности предприятия, очищенной от прочих доходов и результатов, что позволяет пользователю определить эффективность и планировать поступление балансовой прибыли от основной деятельности. Коэффициент рассчитывается посредством деления объема результата от реализации на объем чистой выручки от реализации.

Показатель чистого дохода рассчитывается по формуле, где числитель - сумма объемов амортизации основных средств и нематериальных активов плюс чистая прибыль, знаменатель - чистая выручка от реализации продукции плюс доходы от прочей реализации и доходы от внереализационных операций.

Вывод. Группа описанных показателей позволяет оценить возможные свободные финансовые ресурсы будущих периодов и показывает, сколько копеек чистой прибыли с гривны чистой выручки от реализации продукции и от прочих доходов получает предприятие [4].

Литература

1. Ефимова О. В. Как анализировать финансовое положение предприятия. - М.: Интел-Синтез, 1994. - С. 236-237.
2. Экономика предприятия. Под. ред. В.Я. Горфинкеля. - М.: Академия, 1996. - 38 с.
3. Экономика предприятия: Учебник. Под ред. проф. Н.А. Сафронова. - М.: Юрист, 1999. - 116 с.
4. Ковалев В. В. Финансовый анализ: Управление капиталом. Выбор инвестиций. Анализ отчетности. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Финансы и статистика, 1997. - 218 с.

Слободчуков Д.В., Петренко С.А.

УЧЁТНАЯ ПОЛИТИКА ПРЕДПРИЯТИЙ АВТОСЕРВИСА

Кратко изложены методы ведения учетной политики на предприятиях автосервиса с учетом их особенностей и возможных изменений. Ист. 2.

Введение. Под учетной политикой понимается совокупность способов ведения бухгалтерского учета: первичного наблюдения, стоимостного измерения, текущей группировки и итогового обобщения фактов хозяйственной деятельности.

Учетная политика на предприятиях автосервиса формируется главным бухгалтером и утверждается ее руководителем в виде приказа.

При формировании учетной политики исходят из следующих допущений:

- имущественной обособленности – активы и обязательства организации существуют обособленно от активов и обязательств собственников этой организации и других организаций;

- непрерывности деятельности – организация будет продолжать свою деятельность в обозримом будущем и у нее отсутствуют намерения и необходимость ликвидации или существенного сокращения деятельности и, следовательно, обязательства будут погашаться в установленном порядке;

- последовательности применения учетной политики – принятая учетная политика будет применяться последовательно от одного отчетного года к другому;

- временной определенности фактов хозяйственной жизни – факты хозяйственной деятельности относятся к тому отчетному периоду, в котором они имели место, независимо от фактического времени поступления или выплаты денежных средств, связанных с этими фактами.

Во всех случаях учетная политика должна отвечать требованиям полноты, своевременности, осмотрительности, приоритета содержания перед формой, непротиворечивости и рациональности.

Основное содержание исследования. При формировании учетной политики по конкретному направлению ведения бухгалтерского учета организацией выбирается один из нескольких способов, допустимых законодательством (например, способ начисления амортизации основных средств) Организация имеет право самостоятельно разрабатывать способы ведения бухгалтерского учета в случае отсутствия установленных норм и нормативов.

При формировании учетной политики предприятий автосервиса утверждаются:

- рабочий план счетов бухгалтерского учета;
- формы первичных учетных документов;
- формы документов для внутренней бухгалтерской отчетности;
- порядок проведения инвентаризации имущества и обязательств;
- методы оценки активов и обязательств;
- правил документооборота;
- технология обработки учетной информации;
- порядок контроля за хозяйственными операциями и другие.

Учетная политика, сформированная организацией, осуществляется с 1 января следующего отчетного года. При этом она применяется всеми филиалами, представительствами и иными подразделениями независимо от места их нахождения.

В приказе об учетной политике организация должна раскрыть те способы

ведения бухгалтерского учета, которые оказывают существенное влияние на оценку и принятие решений по данным бухгалтерской информации заинтересованными пользователями. Существенными признаются те способы ведения бухгалтерского учета, без знания которых невозможна достоверная оценка имущественного и финансового состояния, денежного оборота или результатов деятельности организации [1].

Раскрытию подлежат следующие способы ведения бухгалтерского учета:

- погашения стоимости основных средств, нематериальных активов, малоценных и быстроизнашивающихся предметов и других активов;
- оценки производственных запасов, товаров, малоценных и быстроизнашивающихся предметов, незавершенного производства, готовой продукции;
- исчисления прибыли от реализации продукции, выполненных работ и оказанных услуг;
- ведения учета при самостоятельной разработке этих способов организацией в случае отсутствия таковых в действующих нормативных документах по бухгалтерскому учету.

Учетная политика раскрывается, как правило, для внешних пользователей бухгалтерской информацией. Необходимость в этом связана с получением достоверной информации о реальном положении дел в организации исходя из знания того, как сформировались те или иные финансовые показатели и что отражает их изменение в анализируемом периоде.

Изменения в учетной политике, существенно влияющие на оценку и принятие управленческих решений в отчетном году или на предстоящий год, а также причины этих изменений и оценка последствий их в стоимостном выражении отражаются в учетной политике обособленно.

Изменение учетной политики может иметь место в следующих случаях:

- реорганизации (разделения, слияния, присоединения) организации;
- смены собственников организации;
- изменения нормативной базы или законодательства по бухгалтерскому учету;
- разработки новых способов ведения учета (как Минфином, так и самой организацией);

иного существенного изменения условий деятельности авто сервисного предприятия.

В целях сопоставимости данных бухгалтерского учета все изменения в учетной политике должны вводиться с начала финансового года. Исключения из этого правила возможны в случаях, если нормативными актами по бухгалтерскому учету вводятся новые нормы, которым придается обратная сила. Во всех остальных случаях учетная политика организации должна быть неизменна в течение всего года.

Вывод. Изменения в учетной политике, оказавшие или способные оказать существенное влияние на финансовое положение, движение денежных средств или финансовые результаты деятельности автосервисного предприятия, подлежат обособленному раскрытию в бухгалтерской отчетности. Информация о них должна включать, как минимум, причину изменений в учетной политике; оценку последствий этих изменений в денежном выражении; указание на то, что включенные в бухгалтерскую отчетность за истекший год соответствующие данные периодов, предшествовавших отчетному, скорректированы. Изменение учетной политики на год, следующий за отчетным, объявляется в пояснительной записке к бухгалтерской отчетности организации [2].

Литература

1. Камышанов П. И., Камышанов А. П., Камышанова Л. И. Практическое пособие по бухгалтерскому учету – М., Элиста, 2000. – 600 с.

2. Егорова С. К., Денисова К. Я. Основы бухгалтерского учета и аудита в сфере сервиса: Учебное пособие. Под ред. проф. С. К. Егоровой – М: Юрист, 2000. – 382 с.

УДК 330.101

Слободчуков Д.В., Петренко С.А.

ТЕОРИИ МОТИВАЦИИ

Показана трансформация методов мотивации с повышением роли человеческого фактора и изменением уровня профессионализма, роли моральных факторов и потребностей сотрудников в действиях персонала. Ист. 3.

Введение. Понятие мотивации тесно связано с проблемой управления персоналом. Новые экономические отношения, порожденные переходным периодом, выдвигают и новые требования к персоналу. Это не только подбор, обучение и расстановка кадров, но и формирование нового сознания, менталитета, а следовательно, и методов мотивации.

В настоящее время, при переходе к рыночным отношениям, основным мотивирующим фактором работников является желание иметь гарантированную заработную плату. При этом ни интенсивность, ни качество труда в расчет не берутся, преобладает желание иметь спокойную работу с небольшим, но гарантированным заработком, нежели интенсивную работу с высокой оплатой.

Вместе с тем, на рынке труда появляются работники, обладающие достаточным профессионализмом и новым трудовым сознанием, т.е. люди с хорошей нравственной основой и пониманием труда. Однако шансов найти хорошую работу у них немного из-за возрастного барьера (до и более 50 лет) или отсутствия рекомендаций (в основном у молодых специалистов).

Таким образом, и потребности, и мотивация большинства работников нуждаются в дальнейшем изучении и систематизации [1].

Основное содержание исследования. Мотивация - это процесс побуждения каждого сотрудника и всех членов его коллектива к активной деятельности для удовлетворения своих потребностей и для достижения целей организации.

Основные задачи мотивации:

- формирование у каждого сотрудника понимания сущности и значения мотивации в процессе труда;
- обучение персонала и руководящего состава психологическим основам внутрифирменного общения;
- формирование у каждого руководителя демократических подходов к управлению персоналом с использованием современных методов мотивации.

Для решения этих задач необходим анализ процесса мотивации в организациях индивидуальной и групповой мотивации, если таковая имеется в зависимости между ними изменений, происходящих в мотивации деятельности человека при переходе к рыночным отношениям.

Для решения этих задач необходим анализ:

процесса мотивации в организациях индивидуальной и групповой мотивации, если таковая имеется в зависимости между ними изменений, происходящих в мотивации деятельности человека при переходе к рыночным отношениям.

Для решения указанных задач применяются различные методы мотивации, сущность которых рассмотрим ниже.

Самым первым и наиболее распространенным методом был метод наказания и поощрения, так называемая политика “кнута и пряника” . Этот метод использовался для достижения желаемых результатов и просуществовал довольно долго в условиях административно-командной системы. Постепенно он трансформировался в систему административных и экономических санкций и стимулов.

Такой метод был эффективен при повторяющихся рутинных операциях, незначительной содержательной части работы, невозможности поменять место работы (по разным причинам) , а также в условиях бригадных и коллективных подрядов, где действовали регламентированные надбавки и удержания.

С повышением роли человеческого фактора появились психологические методы мотивации. В основе этих методов лежит утверждение, что основным модифицирующим фактором являются не только материальные стимулы, но и нематериальные мотивы, такие, как самоуважение, признание со стороны окружающих членов коллектива, моральное удовлетворение работой и гордость своей фирмой. Такие методы мотивации базируются на изучении потребностей человека, т.е. осознанного ощущения недостатка в чем-либо. Ощущение недостатка в чем-либо имеет вполне определенную цель, которая и служит средством удовлетворения потребностей [2].

Существуют два подхода к изучению теорий мотивации.

Первый подход основывается на исследовании содержательной стороны теории мотивации. Такие теории базируются на изучении потребностей человека, которые и являются основными мотивом их проведения, а следовательно, и деятельности. К сторонникам такого подхода можно отнести американских психологов Абрахама Маслоу, Фредерика Герцберга и Дэвида Мак Клелланда. рассмотрим подробнее эти теории.

Второй подход к мотивации базируется на процессуальных теориях. Здесь говорится о распределении усилий работников и выборе определенного вида поведения для достижения конкретных целей. К таким теориям относятся теория ожиданий, или модель мотивации по В. Вруму, теория справедливости и теория или модель Портера - Лоулера.

Человек осуществляет определенные действия в соответствии с давлением на него совокупности внутренних и внешних по отношению к нему сил. Совокупность этих сил, называемая мотивацией, вызывает у людей далеко не одинаковую реакцию. Поэтому невозможно однозначно описать процесс мотивации. Но на основе эмпирических исследований было разработано несколько концепций, описывающих факторы, влияющие на мотивацию и содержание процесса мотивации.

Выводы.

1. Теории содержания мотивации основное внимание уделяют тому, как различные группы потребностей оказывают влияние на поведение человека.

2. Широко признанными концепциями этой группы являются теории А. Маслоу, Ф. Герцберга, В. Врума, Л. Портера, Э. Лоулера, Л. С. Выгодского.

3. Несмотря на принципиальные отличия этих концепций, они, тем не менее, имеют нечто общее в своей основе, что отражает определенную общность в мотивации человека к действиям [3].

Литература

1. Ансофф И. Стратегическое управление: Пер. с англ. - М.: Экономика, 1989. - 187 с.
2. Веснин В. Р. Основы менеджмента. - М.: Триада, ЛТД, 1997. - 32 с.
3. Виханский О. С., Наумов А. И. Менеджмент, - М.: Гардарика, 1998. - 96 с.

Смолий В.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ

В работе проанализирована система производства ЭА. Обнаруженный эффект ложного срабатывания ЭА под влиянием внешних возмущений рассмотрен как свойство эмерджентности системы. Разработан метод анализа параметров ЭА и синтеза управляющих воздействий для синтеза системы поддержки принятия решения на основании правил продукции. Рассмотрены возможные методы исследования системы и обоснован выбор метода, позволяющего анализировать и синтезировать управляющие воздействия и системно решать все вопросы, возникающие в процессе производства. Рис. 3, табл. 3, исл. 6.

Постановка задачи. Анализ современного состояния вопроса показал, что влияние вибрации изучено лишь на составляющие полупроводниковых кристаллов интегральных микросхем и не изучено влияние на свойства, параметры и функционирование электронных схем в целом. В работе выполнены предварительные исследования по изучению влияния вибрации на параметры и функционирование усилительных схем, выполненных на дискретных электрорадиоэлементах.

В состав лабораторной установки входят: вибростенд ВЭДС-10 А, состоящий из: блока измерения вибраций, блока генератора синусоидальных колебаний, блока усилителя, блока подмагничивания и непосредственно вибратор; оснастка, на которой реализована усилительная схема на транзисторе КТ3102В (рис. 1); источник электропитания ИЭПП-2, подающий на схему напряжение 12В питания; генератор сигналов низкочастотный ГЗ-112/1, обеспечивающий частоту входного сигнала на уровне 1 кГц; осциллограф С1-79, при помощи которого получены осциллограммы входного и выходного сигналов.

С помощью моделирующей программы Electronics Workbench Professional Edition 5.12 была реализована эта же схема (см. рис.1) и получены осциллограммы входного и выходного сигналов (рис. 2).

Экспериментальные данные (поз. 1, рис. 2) совпадают с результатом математического моделирования (поз. 2, рис. 2). Величина критерия Фишера составляет 2,85, что подтверждает адекватность результатов моделирования в среде EWB-результатам, полученным в ходе экспериментальных исследований. Однако при воздействии на исследуемую усилительную схему вибрации у выходного сигнала рассматриваемой усилительной схемы наблюдалось:

на частоте 620 Гц происходило снижение амплитуды выходного сигнала от 2,25 В до 1,9 В;

на той же частоте происходит изменение частоты выходного сигнала с 0,2 Гц до 0,25 Гц;

на частоте 13000 Гц появлялся так называемый «ложный» сигнал, когда на основную гармонику входного сигнала накладываются дополнительные гармоники, опережающие основную на треть периода;

в диапазоне от 3000 Гц (3 кГц) до 8000 Гц (8 кГц) наблюдались ярко выраженные изменения формы выходного сигнала, сопровождаемые «затягиванием» фронтов и появлением «расслоения» сигнала.

Полученные результаты экспериментальных исследований показали необходимость построения новой математической модели, адекватно описывающей поведение усилительных схем на дискретных элементах в условиях вибрации.

В свою очередь экспериментальные исследования по обнаружению ложного сигнала подтверждают актуальность темы и своевременность проведения исследований.

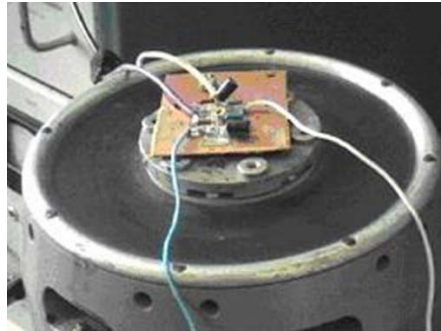


Рис. 1. Вибратор вибростенда ВЭДС-10 А с оснасткой

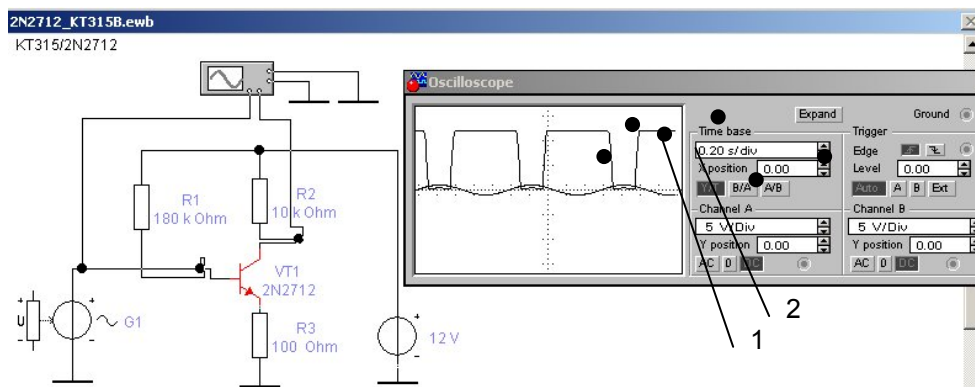


Рис. 2. Осциллограммы входного и выходного сигнала исследуемой усилительной схемы

Основная часть. Рассматривая технологический процесс производства электронного аппарата (ЭА) с учетом возможных эффектов, возникающих в процессе функционирования последнего, возможно предложить для его описания модель в виде «черного ящика» (рис. 3).

На рис. 3 в качестве входов рассматриваются такие составляющие: параметры, свойства и компоновка типового элемента замены (ТЭЗ), компоновка блока ЭА, стоимость проекта, стоимость изготовления, планируемое время производства. Возмущениями выступают: условия эксплуатации ЭА, квалификация персонала, выполняющего компоновку, техническая оснащенность производства, организация технологического процесса производства. К выходам системы отнесены: надежность изделия, стоимость изделия, производительность, уникальность комплектующих. Имея лишь одни входные данные, невозможно заранее сказать, как они повлияют на параметры и свойства готового изделия. Точно так же неизвестными являются и результаты воздействия возмущений на параметры произведенного ЭА. Взаимосвязь и зависимость выходных параметров от входных и возмущений для рассматриваемого случая можно определить лишь с позиций системного подхода. В частности, в работе [1] были предложены критерии компоновки ТЭЗ и блока ЭА, реализующие анализ взаимосвязи входных параметров для процесса производства с возмущающими параметрами. Анализ взаимосвязи входных и возмущающих параметров рассматриваемого производства с выходными характеристиками посвящена работа [2], где для этих целей предложен критерий качества процесса производства.

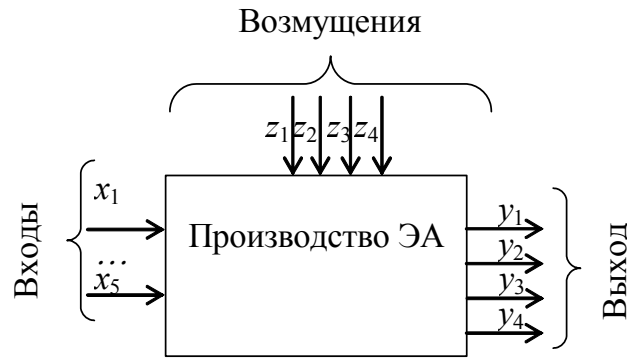


Рис. 3. Модель системы в виде «черного ящика»

Следует подчеркнуть, что только представление процесса производства ЭА в виде системы позволяет получить, промоделировать и исследовать явления ложного сигнала в ЭА и ультрагармонического резонанса для ТЭЗ [3], что в свою очередь является проявлением системой свойства эмерджентности. Это свойство заключается в том, что на некоторых частотах наблюдается эффект резонансного взаимодействия элементов системы, которого при исследовании отдельных элементов системы не наблюдалось и такого свойства у элементов системы нет. Совместное функционирование элементов системы и проявление в процессе эксплуатации этих эффектов необходимо исследовать, предсказывать появление и учитывать в математической модели объекта исследований.

Составляя математическое описание рассматриваемой системы, следует иметь в виду наличие большого количества параметров, характеризующих систему [4, 5]. Часть из этих параметров служит для моделирования, а другие для оценки принимаемых компоновочных, структурных и технологических решений для рассматриваемого процесса производства. Вначале необходимо выделить возможные конечные ситуации, характеризующие систему, затем установить соответствие между ситуацией и значением параметров и их комбинацией, а потом получить взаимосвязь с рассчитываемыми значениями переменных, генерируя при этом сценарии (набор действий), направленные на достижение желательных выходных параметров процесса производства. Если по типовому элементу замены такого рода анализ выполнен [6], то для блока ЭА такой анализ еще предстоит выполнить. В табл. 1 приведена структура переменных, характеризующих ЭА.

Выделяя исходы, учитываем необходимость рассмотрения «полной группы событий» и учитываем вероятности их совместного появления. Возможные исходы приведены в табл. 2.

Таблица 1

Структура переменных

Обозначение переменной	Семантическое значение	Принимаемые значения	Лингвистические обозначения
$\bar{A}_x, \bar{A}_y, \bar{A}_z$	Амплитуда колебаний блока ЭА	$[-15...+15]$, мм	A_x, A_y, A_z
$\bar{A}_\varphi, \bar{A}_\psi, \bar{A}_\theta$	Фазовый угол блока ЭА	$[0...25]$, °	$A_\varphi, A_\psi, A_\theta$
$ \bar{A}_x , \bar{A}_y , \bar{A}_z $	Допустимая величина амплитуды колебаний ЭА	1.5; 2; 2.5 ...мм	

$ \bar{A}_\varphi , \bar{A}_\psi ,$ $ \bar{A}_\theta $	Допустимая величина угла поворота вокруг оси	25 °	
Δf	Диапазон рабочих частот по условиям эксплуатации электронного аппарата	$[f_H \dots f_B] =$ $= [2 \dots 20000],$ Гц	f_H - нижняя частота рабочего диапазона, f_B - верхняя частота
ν_i	Собственные частоты колебаний блока ЭА	$[\nu_1, \nu_2, \dots],$ Гц	ν_1 – первая собственная частота ЭА, и т.д.
x_1	Резонансные эффекты для ЭА или составляющих	[0,1]	УГ – явление ультрагармонического резонанса для ЭРЭ, ЛС – явление «ложного сигнала» для ЭА, НФ – нормальное функционирование
x_2	Смена материала печатной платы	БКМП = 0,08 МКМП = 0,02	БКМП – применить материал с большим КМП, МКМП – с меньшим КМП
...
x_{12}	Смена варианта компоновки блока ЭА	КБ1 = 1,0	КБ1 – перекомпоновать все элементы ЭА, ...
x_{13}	Смена типа амортизаторов	ТА1 = 1,0 УА = 0,97	ТА1 – типичный амортизатор, УА – уникальный амортизатор
x_{14}	Смена типа системы виброизоляции	ТСВ1 = 0,8 ТСВ2 = 0,95 ТСВ3 = 0,7 ТСВ4 = 0,72 ТСВ5 = 0,83	ТСВ1 – «основание – крышка», ТСВ2 - «основание», ТСВ3 – «крышка», ТСВ4 – «корпус», ТСВ5 - «основание – корпус»
x_{15}	Замена комплектующих ЭА - ТЭЗ	ИТ1 = 0,9 ИТ2 = 0,8	ИТ1 – применить ТЭЗ меньшей площади, ИТ2 – установить ТЭЗ на подставку, ...
x_{16}	Замена комплектующих ЭА – источника питания, генмонтажных плат и др.	ИП1 = 0,8 ИП2 = 1,0 ГМП1 = 0,97	ИП1 – применить источник питания с большим весом, ИП2 – переместить источник питания вниз корпуса, ГМП1 – генмонтажную плату расположить горизонтально, ...
...

Для исходов, приведенных в табл. 2, справедливо соотношение вида

$$P(y_1) + P(y_3 | \bar{y}_2) + P(y_4 | \bar{y}_2) + P(y_4 | y_3) = 1, \quad (1)$$

где - $P(y_1)$ – вероятность появления исхода y_1 , $P(y_i | y_j)$ – вероятность появления исхода y_i при условии наступления y_j .

Таблица 2

Возможные исходы

Обозначение исхода	Семантическое значение	Принимаемые значения	Рекомендуемые действия для ТП производства
y_1	Произведенный ЭА отвечает всем техническим, технологическим и экономическим требованиям	[0,1]	Выполнить постпроцессирование управляющих воздействий для технологического оборудования
y_2	Наличие у готового изделия свойства виброустойчивости	[0,1]	
y_3	Наличие поломки (отказа) в ходе эксплуатации у готового изделия	[0,1]	Запустить на выполнение моделирование с последующей коррекцией компоновки и параметров производства электронных аппаратов
y_4	Наличие сбоя в работе у готового изделия	[0,1]	

Величины условной вероятности для выражения (1) определяются соотношениями:

$$P(y_3 | \bar{y}_2) = \frac{P(\bar{y}_2 \cap y_3)}{P(\bar{y}_2)}, \quad (2)$$

$$P(y_4 | \bar{y}_2) = \frac{P(\bar{y}_2 \cap y_4)}{P(\bar{y}_2)}, \quad (3)$$

$$P(y_4 | y_3) = \frac{P(y_3 \cap y_4)}{P(y_3)}, \quad (4)$$

где $P(y_3 \cap \bar{y}_2)$ - вероятность совместного осуществления событий y_3 и \bar{y}_2 ,
 $P(y_4 \cap \bar{y}_2)$ - вероятность совместного осуществления событий y_4 и \bar{y}_2 ,
 $P(y_4 \cap y_3)$ - вероятность совместного осуществления событий y_4 и y_3 .

В свою очередь полная вероятность для инверсии первого исхода определяется выражением

$$P(\bar{y}_1) = P(\bar{y}_1 | \bar{y}_2)P(\bar{y}_2) + P(\bar{y}_1 | y_3)P(y_3) + P(\bar{y}_1 | y_4)P(y_4), \quad (5)$$

где (\bar{y}_1, \bar{y}_2) , (\bar{y}_1, y_3) , (\bar{y}_1, y_4) – несовместные группы событий и их объединение является достоверным событием.

Зададим системе примеры соответствия вероятностных входов возможным исходам по каждому входу. База знаний соответствия вероятностных входов исходам, построенная на основе анализа знаний и опыта экспертов в области разработки, компоновки и производства электронных аппаратов представлена в табл. 3.

В табл. 3 функции $y_5, y_6 \dots$ и их инверсии представляют собой продукционные правила.

Таблица 3

База знаний соответствия вероятностных входов исходам

Исход	Значение переменной	Значение переменной	Значение переменной	Значение переменной
y_2	y_5	y_6	УГ	
y_3, y_4	y_6	y_7	УГ	ЛС

Исход \bar{y}_2 наступает в случае превышения амплитуды колебаний блока ЭА и фазовых углов допустимых значений, в случае попадания собственных частот конструкции в рабочий интервал частот и в случае ультрагармонического резонанса, т.е.

$$\bar{y}_2 = y_5 \cup y_6 \cup \text{УГ}, \quad (6)$$

где $y_5 = (\bar{A}_x > |\bar{A}_x|) \cup (\bar{A}_y > |\bar{A}_y|) \cup (\bar{A}_z > |\bar{A}_z|) \cup (\bar{A}_\varphi > |\bar{A}_\varphi|) \cup (\bar{A}_\psi > |\bar{A}_\psi|) \cup (\bar{A}_\theta > |\bar{A}_\theta|), \quad (7)$

$$y_6 = \begin{cases} 1, & v_i \in [f_n \dots f_s] \\ 0, & v_i \notin [f_n \dots f_s] \end{cases}. \quad (8)$$

Для устранения нежелательного исхода \bar{y}_2 и преобразования его в исход y_2 необходимо выполнить следующие действия

$$\text{Если } \bar{y}_2 \text{ то } \text{КБ1} \cap (\text{ТСВ2} \cup \text{УА}) \cap \text{ИП1}. \quad (9)$$

Исходы y_3 и y_4 отличаются друг от друга обратимостью происходящих процессов, т.е. после наступления исхода y_4 по истечении времени или по окончании воздействия возмущающего фактора ЭА может обеспечивать заданное функционирование. В случае наступления исхода y_3 , после прекращения возмущающих воздействий, ЭА не выполняет свои функции.

$$y_3 = y_6 \cup y_7 \cup \text{УГ} \cap \text{ЛС}, \quad (10)$$

где $y_7 = (\bar{A}_x > |\bar{A}_x|) \cap (\bar{A}_y > |\bar{A}_y|) \cap (\bar{A}_z > |\bar{A}_z|) \cap ((\bar{A}_\varphi > |\bar{A}_\varphi|) \cup (\bar{A}_\psi > |\bar{A}_\psi|) \cup (\bar{A}_\theta > |\bar{A}_\theta|)). \quad (11)$

Для устранения нежелательных исходов y_3, y_4 необходимо выполнить следующие действия

$$\text{Если } y_3 \text{ то } \text{БКМП} \cap \text{КБ1} \cap (\text{ТСВ1} \cup \text{УА}) \cap \text{ИТ2} \cap \text{ИП1}. \quad (12)$$

Предложенный механизм принятия решений (9) – (12) необходимо интегрировать в разрабатываемую систему автоматизированного управления производством ЭА, наряду с инструментами моделирования ЭА, анализа и сравнения параметров с допустимыми значениями, улучшения свойств и компоновки ЭА. Необходимо предусмотреть также инструменты оценки полученных модификаций с точки зрения оптимизации некоторых экономических и технологических параметров технологического процесса. Для решения этих задач применяют следующие методы: теории множеств, теории вероятностей, теории графов, механизм экспертных систем, синергетику и др.

Возможны два подхода анализа рассматриваемой системы, во-первых, когда для каждой из рассматриваемых задач применяются различные методы, и, во-вторых, когда используется единый метод для анализа и исследования рассматриваемой системы. Рассматриваемая задача решалась первым методом. Применение каждого из методов имеет свои особенности. В частности, методы теории множеств применяются при формировании и выборе воздействующих составляющих в правилах продукции. Методы теории вероятностей применяются при оценке вероятности гипотез и определении

вероятности полной группы событий. Для рассмотрения случайных процессов (вероятности проявления отказа или сбоя ЭА как случайного процесса с дискретным набором состояний и дискретным временем) применяют Марковские цепи.

Для описания структуры ситуации принятия решения применяется теория графов на примере направленного графа. Узлами графа служат альтернативы, направленными дугами графа являются связи, указывающие на влияния одних узлов на другие. При построении системы поддержки принятия решения применяются технологии принятия решения с помощью экспертных систем, основанные на продукционных правилах вывода. Так как ТП производства ЭА рассматривается состоящим из кластеров (ЭА и его составляющие с моделируемыми параметрами, свойствами и эффектами; кластер процесса компоновки, технологической подготовки производства и производства ЭА; кластер ТП производства, его параметров и свойств для различных по назначению ЭА), а далее выстраивается иерархическая структура их взаимодействия, то здесь применяются синергетические методы исследования систем.

Анализируя каждый из методов и общий подход исследования системы, получаем, что подобного рода множество методов анализа системы затрудняет непосредственно анализ, ухудшает организацию взаимодействия компонентов системы и препятствует решению задачи поиска рационального сочетания компоновки и параметров ЭА для нахождения оптимальных параметров технологического процесса производства ЭА. В дальнейших исследованиях необходимо откорректировать направление поиска в сторону анализа системы единым методом, но учитывающим многоцелевое моделирование структуры и параметров, приоритетный выбор альтернатив при принятии решения и оптимизацию параметров как главного критерия альтернатив.

Вывод. Системно проанализирован процесс производства ЭА, опирающийся на применение комбинации методов теории множеств, теории вероятностей, теории графов, механизм экспертных систем, синергетику. Системный анализ позволил представить обнаруженный экспериментально эффект ложного срабатывания ЭА, как свойство эмерджентности системы, сгенерировать методики анализа компоновки и параметров ЭА и синтезировать управляющие воздействия на основании правил продукции и показал необходимость применения единого метода анализа системы. Именно применение единого метода позволит эффективно организовать взаимодействие компонентов системы и решить задачи поиска рационального сочетания компоновки и параметров ЭА для нахождения оптимальных параметров технологического процесса производства ЭА.

Литература

1. Смолий В.М. Автоматизация процесів виробництва блоків електронних апаратів: Монографія. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2006. – 124 с.
2. Смолий В.Н. Организация управления процессом производства блоков электронных аппаратов // Праці Луганського відділення Міжнародної академії інформатизації. - 2006. – №2(13). - С. 93-97.
3. Генкин Б.И., Смолий В.Н., Охрамович В.К. Ультрагармонические колебания электрорадиоэлементов // Вісник СХУ ім. В.Даля. - 2004. – №12(82). - С. 38-43.
4. Ульшин В.А., Смолий В.Н Программно-технический комплекс для моделирования механических нагрузок типовых элементов замены электронных аппаратов // Вісник СХУ ім. В.Даля. - 2005. – №10(92). - С. 220-225.
5. Ульшин В.А., Смолий В.Н. Программно-технический комплекс для моделирования механических нагрузок блоков электронных аппаратов // Праці Луганського відділення Міжнародної академії інформатизації. - 2006. – №1(12). - С. 45-49.

6. Смолий В.Н., Генкин Б.И. Экспертная система инженера-конструктора электронных аппаратов и ее применение в учебном процессе// Вестник Херсонского государственного технического университета. - 2000. – №1(7). - С. 292-296.

УДК 681.513.54

Ткачев Р.Ю., Дрючин В.Г.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Рассматривается синтез систем управления нелинейными и линейными объектами с запаздыванием при наличии информации только о выходной координате. Приводятся выражения, обеспечивающие расчет параметров регуляторов на базе интегрирующих фильтров по заданным показателям качества. Рис 2, ист. 3.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Объекты, математическое описание которых включает звенья чистого запаздывания, охватывают широкий спектр машин и механизмов производственного назначения [1-2]. Управление такими объектами должно обеспечивать высокую производительность, надежность и безопасность производственно–технологических процессов, совершаемых указанными машинами и механизмами. Поэтому эксплуатация таких автоматических систем требует совершенствования методов управления объектами с транспортным запаздыванием.

Анализ исследований и публикаций. Синтезу систем управления объектами с запаздыванием посвящено множество работ, в которых рассматриваются вопросы устойчивости и качества, что свидетельствует об актуальности задачи синтеза указанных систем.

В настоящее время основное внимание уделяется адаптивным и оптимальным системам управления [2, 3]. Такие системы существенно улучшают качество управления объектом с запаздыванием, однако требуют значительных математических вычислений и предварительных оценок действующих возмущений. Адаптивный регулятор удовлетворительно работает при значительных отклонениях системы, однако не позволяет получить минимальное время переходных процессов при существенном запаздывании, т.к. с увеличением коэффициентов управления нарушается устойчивость системы [2]. Следует отметить, что в известных работах требуемые показатели качества обеспечиваются приближенно (в смысле траектории и времени переходного процесса). Использование же методов аналитического конструирования оптимального регулятора позволит найти такой закон управления, который является оптимальным в соответствии с некоторым, заранее принятым функционалом качества, гарантирующим заданное качество управления.

Постановка задачи. Пусть нелинейный объект управления с запаздыванием задан дифференциальным уравнением вида

$$\begin{aligned} & \left[p^n + (\delta_1 + b_1)p^{n-1} + \dots + (\delta_j + b_j)p^{n-j} + \dots + (\delta_n + b_n) \right] x_1 = \\ & \left[p^m + (\varphi_1 + d_1)p^{m-1} + \dots + (\varphi_i + d_i)p^{m-i} + \dots + (\varphi_m + d_m) \right] e^{-p\tau} U, \end{aligned} \quad (1)$$

где x_1 – выходная координата объекта;

U – управление объекта;

$p = d/dt$ – оператор дифференцирования;

δ_j и φ_i – нелинейные функции фазовых координат объекта, заданные в аналитическом виде и имеющие непрерывные частные производные соответственно до $(n-1)$ -го и $(m-1)$ -го порядков включительно;

b_j и d_i – постоянные коэффициенты; τ – время запаздывания.

Система в обратной связи имеет звено, которое описывается дифференциальным уравнением

$$\left[p^r + \alpha_r p^{r-1} + \dots + \alpha_1 \right] z = \left[\eta_q p^{q-1} + \dots + \eta_l (p^1 + \beta_1 p^{1-1} + \dots + \beta_1) \right] x_1. \quad (2)$$

Требуемые показатели качества замкнутой системы управления вполне определенно задаются желаемым дифференциальным уравнением (системой уравнений) следующего вида

$$\begin{aligned} & \left[p^v + \gamma_1 p^{v-1} + \dots + \gamma_k p^{v-k} + \dots + \gamma_v \right] x_1 = \\ & = \left[\gamma_{v-\lambda+1} p^{\lambda-1} + \dots + \gamma_{v-1} p + \gamma_v \right] e^{-p\tau} x_3, \end{aligned} \quad (3)$$

где x_3 – задающее воздействие системы;

v и λ – соответственно порядок и астатизм синтезируемой системы;

γ_k – коэффициенты, задающие распределение корней характеристического уравнения.

Зададимся качеством синтезируемой системы в виде функционала среднеквадратичной ошибки, определяющей близость передаточной функции замкнутой системы к желаемой (2):

$$I = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{+j\infty} \left| \widehat{W}(p) - \frac{W_k(p) W_o(p)}{1 + W_k(p) W_o(p)} \right|^2 dp. \quad (4)$$

Задача состоит в определении из минимума функционала (3) структуры корректирующего устройства и его параметров, чтобы построенное по структуре реальное звено корректирующего устройства обеспечивало бы в реальной системе (регулятор + реальный объект) динамические характеристики, близкие к заданным.

Из минимума функционала (4), определяющего качество замкнутой системы с учетом (3) определим структуру регулирующего устройства и его параметры в виде дифференциального уравнения.

Изложение материала и его результаты. Синтезируемый регулятор характеризуется дифференциальным соотношением

$$R_1(p, \tau, x)(x_3 - z) = R_2(p, \tau, x)U, \quad (5)$$

где $R_1(p, \tau, x)$ и $R_2(p, \tau, x)$ – многочлены некоторых степеней оператора дифференцирования с нелинейными коэффициентами, зависящими от фазовых координат объекта и времени запаздывания.

Замкнутая система (1), (2), (5) описывается дифференциальным соотношением вида

$$\begin{aligned} & \left[p^n + (\delta_1 + b_1)p^{n-1} + \dots + (\delta_j + b_j)p^{n-j} + \dots + (\delta_n + b_n) \right] \cdot \\ & \cdot \left[p^r + \alpha_r p^{r-1} + \dots + \alpha_1 \right] R_2(p, \tau, x) + \\ & + \left[\eta_q p^{q-1} + \dots + \eta_1 (p^1 + \beta_1 p^{1-1} + \dots + \beta_1) \right] \cdot \\ & \cdot \left[p^m + (\varphi_1 + d_1)p^{m-1} + \dots + (\varphi_i + d_i)p^{m-i} + \dots + (\varphi_m + d_m) \right] \times \\ & \times e^{-p\tau} R_1(p, \tau, x) \} x_1 = \left[p^r + \alpha_r p^{r-1} + \dots + \alpha_1 \right] \cdot \\ & \cdot \left[p^m + (\varphi_1 + d_1)p^{m-1} + \dots + (\varphi_i + d_i)p^{m-i} + \dots + (\varphi_m + d_m) \right] e^{-p\tau} R_1(p, \tau, x) x_3 \end{aligned} \quad (6)$$

Сравнивая (3) и (6) и выполнив математические преобразования, получим

$$\begin{aligned} R_1(p, \tau, x) &= \left[p^n + (\delta_1 + b_1)p^{n-1} + \dots + (\delta_j + b_j)p^{n-j} + \dots + (\delta_n + b_n) \right] \cdot \\ & \cdot \left[p^r + \alpha_r p^{r-1} + \dots + \alpha_1 \right] \cdot \left[\gamma_{v-\lambda+1} p^{\lambda-1} + \dots + \gamma_{v-1} p + \gamma_v \right]; \\ R_2(p, \tau, x) &= \left\{ \left[p^v + \gamma_1 p^{v-1} + \dots + \gamma_k p^{v-k} + \dots + \gamma_v \right] \cdot \left[p^r + \alpha_r p^{r-1} + \dots + \alpha_1 \right] - \right. \\ & - \left. \left[\gamma_{v-\lambda+1} p^{\lambda-1} + \dots + \gamma_{v-1} p + \gamma_v \right] \times \left[\eta_q p^{q-1} + \dots + \eta_1 (p^1 + \beta_1 p^{1-1} + \dots + \beta_1) \right] e^{-p\tau} \right\} \times \\ & \times \left[p^m + (\varphi_1 + d_1)p^{m-1} + \dots + (\varphi_i + d_i)p^{m-i} + \dots + (\varphi_m + d_m) \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Анализируя (7), можно отметить, что регулятор (5) будет реализуем физически, если

$$m + v \geq n + \lambda - 1, \quad (8)$$

а также выполняется следующее неравенство

$$\begin{aligned} & \left[p^v + \gamma_1 p^{v-1} + \dots + \gamma_k p^{v-k} + \dots + \gamma_v \right] \cdot \left[p^r + \alpha_r p^{r-1} + \dots + \alpha_1 \right] \geq \\ & \left[\gamma_{v-\lambda+1} p^{\lambda-1} + \dots + \gamma_{v-1} p + \gamma_v \right] \cdot \left[\eta_q p^{q-1} + \dots + \eta_1 (p^1 + \beta_1 p^{1-1} + \dots + \beta_1) \right] \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, выражения (8) и (9) накладывают ограничения на реализацию регулятора, который обеспечивал бы заданные показатели качества при требуемом астатизме системы управления объектом с запаздыванием, описываемый выражением (1) при общем виде обратной связи (2).

Расчет регулятора выполним следующим образом. Преобразуем выражение (7) с учетом, что $l \leq r$, $q < r$, и подставим в (5). В результате математических преобразований получим

$$\begin{aligned} & \left[M_0 p^{n+r+\lambda-1} + M_1 p^{n+r+\lambda-2} + \dots + M_{n+r+\lambda-1} \right] (x_3 - z) = \\ & = \left[p^{m+v+r} + N_1 p^{m+v+r-1} + \dots + (N_{m+\lambda+q-2} - K_{m+\lambda+q-2} e^{-p\tau}) \cdot \right. \\ & \left. \cdot p^{m+\lambda+q-2} + \dots + (N_{m+v+r} - K_{m+v+r} e^{-p\tau}) \right] U, \end{aligned} \quad (10)$$

где – M_i, N_i, K_i нелинейные коэффициенты, зависящие от коэффициентов выражения (7).

Регулятор (10) возможно реализовать на базе интегрирующего фильтра

$$\begin{aligned} \dot{y}_i &= y_{i+1}, \quad i = 1, 2, \dots, m+v+r-1 \\ \dot{y}_{m+v+r} &= U^*, \\ \text{где } U^* &= (x_3 - z) - (N_{m+v+r} - K_{m+v+r} e^{-p\tau}) y_1 - \dots \\ & - (N_{m+v+r-2} - K_{m+v+r-2} e^{-p\tau}) y_{m+\lambda+q-1} - \dots - N_1 y_{m+v+r}. \end{aligned} \quad (11)$$

В этом случае фазовые координаты фильтра (11) позволяют сформировать управление

$$U = M_{n+r+\lambda-1} y_1 + M_{n+r+\lambda-2} y_2 + \dots + M_1 y_{n+r+\lambda-1} + M_0 y_{n+r+\lambda}. \quad (12)$$

Структурная схема синтезированного регулятора изображена на рис.1.

При моделировании необходимо учитывать следующее:

1. При синтезе систем управления линейными объектами необходимо иметь в виду, что в приведенных выше уравнениях $\delta_j \equiv 0, j=1, \dots, n$ и $\phi_i \equiv 0, i=1, \dots, m$.
2. Если объект управления без запаздывания, то в приведенных выше выражениях, описывающих синтез регулятора, необходимо положить $e^{-p\tau} = 1$.
3. При использовании различных типов обратных связей математическая модель их описывается соотношением (2) при различных значениях $\alpha, r, q, \eta, l, \beta$, т.е., изменяя эти коэффициенты, можно описать как безынерционный датчик обратной связи, так и инерционный с реальными производными.
4. В процессе эксплуатации запаздывание может изменяться в довольно широких пределах, а это существенно сказывается на динамических свойствах системы.

Учитывая то, что выходная координата регулятора y_1 и выходная координата объекта x_1 при управлении (12) связаны соотношением

$$x_1 = \left[\gamma_{v-\lambda+1} p^{\lambda-1} + \dots + \gamma_{v-1} p + \gamma_v \right] e^{-p\tau} y_1, \quad (13)$$

и можно выходную координату объекта использовать при формировании управления U^* интегрирующего фильтра (11). Таким образом,

$$\begin{aligned} U^* &= (x_3 - z) - N_{m+v+r} y_1 - \dots - N_{m+v+r-2} y_{m+\lambda+q-1} - \dots \\ & - N_1 y_{m+v+r} + \left[\eta_q p^{q-1} + \dots + \eta_l (p^l + \beta_l p^{l-1} + \dots + \beta_1) \right] \cdot \\ & \cdot \left[p^m + (\phi_1 + d_1) p^{m-1} + \dots + (\phi_m + d_m) \right] x_1. \end{aligned} \quad (14)$$

Это устраняет необходимость в моделировании запаздывания при построении регулятора. Однако при отработке возмущающих воздействий, действующих на объект, система остается разомкнутой по возмущению при сохранении требуемых качественных показателей по заданию. Для устранения

этого составляющие управления (14) одинакового порядка (при замене x_1 в соответствии с (13) необходимо пропустить через фильтр "высоких частот", имеющий передаточную функцию вида

$$W_{\phi}(p) = \frac{T_{\phi} p}{T_{\phi} p + 1}.$$

Пример. Рассмотрим синтез системы управления объектом

$$\dot{x}_1 = x_2, \dot{x}_2 = \sin(x_1) + x_3, \dot{x}_3 = u(t - \tau),$$

или в канонической форме

$$\dot{y}_1 = y_2, \dot{y}_2 = y_3, \dot{y}_3 = y_2 \cos(y_1) + u(t - \tau).$$

Согласно (12) управление будет иметь вид

$$u = \ddot{y}_1^* - \dot{y}_1^* \cos(y_1),$$

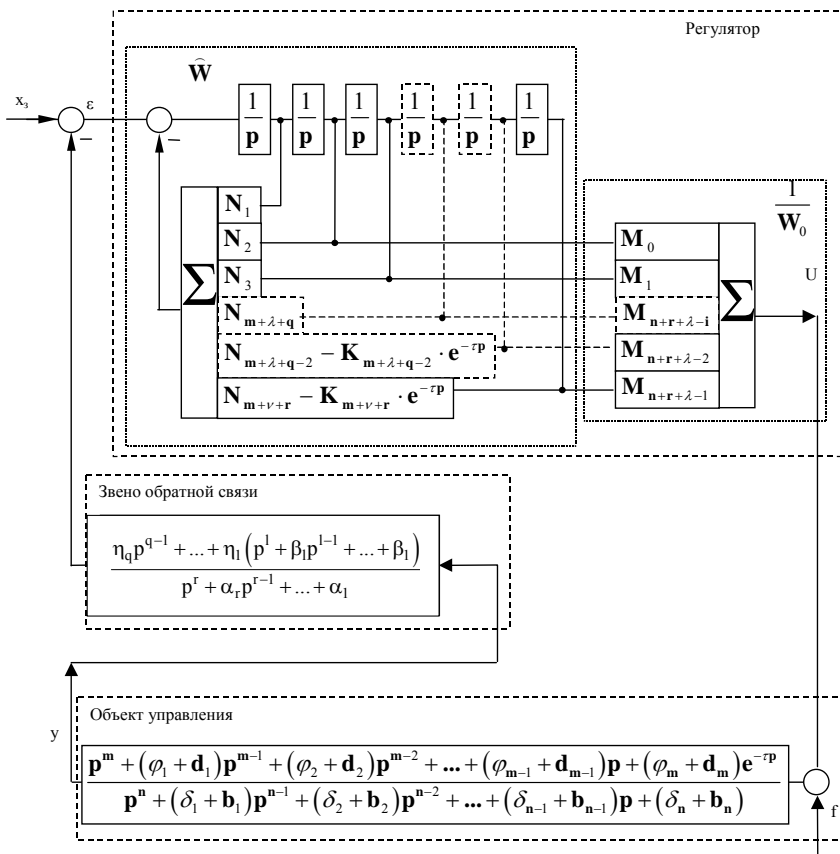


Рис. 1. Структурная схема регулятора на базе интегрирующих фильтров для объектов с запаздыванием

которое обеспечивает условие $y_1 = y_1^*$ и для формирования, которого используется интегрирующий фильтр (11)

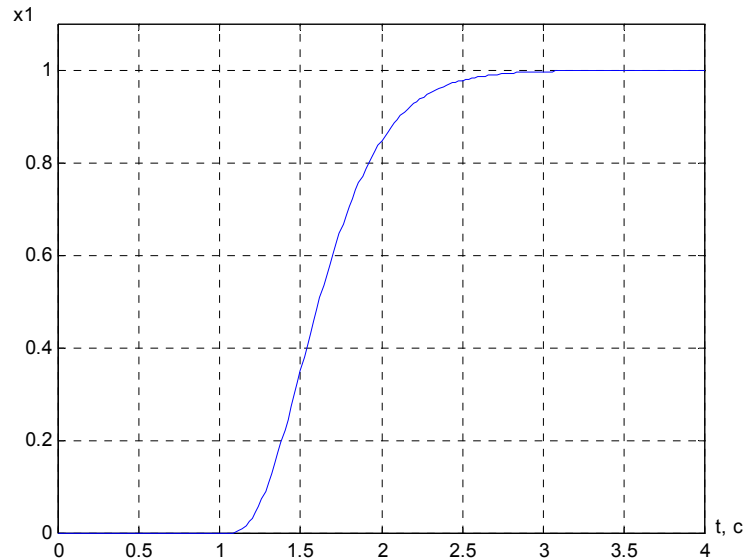


Рис. 2. График переходного процесса по заданию в синтезируемой системе

$$\dot{y}_1^* = y_2^*, \dot{y}_2^* = y_3^*, \dot{y}_3^* = y_4^*, \dot{y}_4^* = u^* .$$

Управление u^* определим согласно (3), (14), задавшись аperiodическим переходным процессом с временем регулирования $t_p=2$ с

$$u^* = 1296(y_{ex} - y_1) - 1296(1 - e^{-\tau p})y_1^* - 864y_2^* - 216y_3^* - 24y_4^* ,$$

где $y_1 = x_1$ – выходная координата объекта.

Реакция системы на единичное задающее воздействие приведена на рис. 2.

Выводы и направления дальнейших исследований. Изложенный выше метод синтеза систем управления с запаздыванием позволяет обеспечить требуемые показатели качества регулирования как по заданию, так и по возмущению. Рассмотренное построение регуляторов обеспечивает их однотипность в смысле реализуемости на базе интегрирующих фильтров как для линейных, так и для нелинейных объектов с запаздыванием. Синтезированный регулятор при управлении нелинейным объектом одновременно с компенсацией влияния запаздывания на устойчивость системы осуществляет компенсационную линеаризацию объекта. Использование в управлении интегрирующих фильтров выходной координаты объекта и ее производных позволяет устранить необходимость в моделировании звена чистого запаздывания при построении регулятора. Это существенно упрощает его реализацию. Обеспечение качественных показателей при отработке возмущений, действующих на объект, осуществляется путем введения в закон управления фильтра высокой частоты, обеспечивающего прохождение сигналов при $p \neq 0$ и не прохождению при $p=0$. Кроме того, рассмотренный метод синтеза характеризуется универсальностью, так как его можно применять при построении систем управления объектами линейными и нелинейными, с запаздыванием и без запаздывания.

Литература

1. Ключев А.С., Карпов В.С. Синтез быстродействующих регуляторов для объектов с запаздыванием. М., Энергоатомиздат, 1990., 175с.

2. Ульшин В.А., Зубов Д.А. Адаптивное управление технологическими процессами: Монография. –Луганск: СНУ, 2002. –210с.
3. Кіку А.Г., Білоус Т.І. Квазіоптимальні регулятори для об'єктів з чистим запізнюванням. // Праці міжнародної конференції з управління "Автоматика 2000" – Львів: 2000. Том 2, С.115–120.

УДК 681.513.54

Ткачев Р.Ю.

СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ НА БАЗЕ КОНЦЕПЦИИ ЛЯПУНОВА А.М. О ВОЗМУЩЕННОМ-НЕВОЗМУЩЕННОМ ДВИЖЕНИИ

Разработан оптимальный по квадратичному критерию качества регулятор с модифицированным упредителем Смита. Данный алгоритм основан на концепции Ляпунова А.М. о возмущенном-невозмущенном движении. Это позволило синтезировать регулирующее устройство, эффективно подавляющее влияние внешних и параметрических возмущений. Рис.3, ист.5.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Практическое применение автоматических регуляторов для различного рода технологических процессов часто затруднено вследствие возникающих при данных процессах запаздываниях. Будучи в общем случае постоянной, переменной или случайной величиной, запаздывание является одним из основных факторов, существенно снижающих динамические показатели автоматических систем управления. Поэтому возникает необходимость разработки и исследования методов синтеза оптимальных регуляторов, обеспечивающих эффективную работу систем управления в данных условиях.

Анализ исследований и публикаций.

В теории линейных оптимальных систем без запаздывания эффективная работа обеспечивается посредством синтеза двух- и трехуровневых систем [1], базирующихся непосредственно на концепции Ляпунова о возмущенном-невозмущенном движении. Для систем с запаздыванием задача остается актуальной на данное время.

Для реализации концепции Ляпунова о возмущенном-невозмущенном движении для объектов с запаздыванием рассматривается в качестве исходной системы управления система с упредителем Смита [2]. Анализ структуры этой системы с упредителем показал, что регулятор реализует сразу два движения: программное и возмущенное. Т.е., с одной стороны, регулятор реализует программное автоматическое управление, при котором требуемое невозмущенное движение приобретает желаемое свойство, обеспечивая тем самым желаемый режим управления. С другой стороны, этот же регулятор должен сводить возмущенное движение к движению невозмущенному. Таким образом, регулятор необходимо настраивать на два вида движения, что является весьма затруднительным.

Поэтому для упрощения процедуры синтеза регулятор всегда настраивали на заданный вид переходного процесса по модели объекта без запаздывания [3,4]. Естественно, что при отработке регулятором внешних возмущений в системе управления качество управления оставалось неудовлетворительным.

Постановка задачи. По концепции возмущенного-невозмущенного движения в анализ автоматических систем вводится три вида движения: фактическое, невозмущенное и возмущенное. Очевидно, что для того, чтобы любая система была оптимальной, т.е. была устойчивой и обладала всеми

заданными качественными показателями, необходимо все эти три вида движений реализовать согласно системе уравнений

$$y_f = y^0 + x;$$
$$U_f = U^0 + \xi.$$

где y_f , U_f – соответственно, фактическое движение и управление;

y^0, U^0 – программное движение и управление;

x, ξ – возмущенное движение и дополнительное управление.

Здесь дополнительное управление ξ обеспечивает сведение возмущенного движения к движению невозмущенному. Это дополнительное управление определяется характером возмущенного движения и быть функцией этого возмущенного движения, т.е.

$$\xi = \xi(x).$$

В связи с этим возникает задача, как воспользоваться дополнительным управлением, для того чтобы погасить возмущенное движение в некотором смысле наилучшим образом.

Изложение материала и его результаты. Для реализации концепции Ляпунова о возмущенном-невозмущенном движении для объектов с запаздыванием рассмотрим в качестве исходной системы управления систему с упредителем Смита (рис.1).

Как видно из рис.1, регулятор $W_r(p)$ реализует сразу два движения – программное и возмущенное. Т.е., с одной стороны, регулятор реализует программное автоматическое управление, при котором требуемое невозмущенное движение приобретает желаемое свойство, обеспечивая тем самым желаемый режим управления. С другой стороны, этот же регулятор должен сводить возмущенное движение к движению невозмущенному. Таким образом, регулятор необходимо настраивать на два вида движения, что является весьма затруднительным.

Поэтому для упрощения процедуры синтеза регулятор всегда настраивали на заданный вид переходного процесса по модели объекта без запаздывания.

Естественно, что при отработке регулятором внешних возмущений в системе управления качество управления является неудовлетворительным.

Для того, чтобы получить более лучшие качественные показатели системы в режиме управления по возмущению необходимо согласно концепции Ляпунова разделить две задачи одного регулятора – на два регулятора, каждый из которых будет выполнять свою задачу.

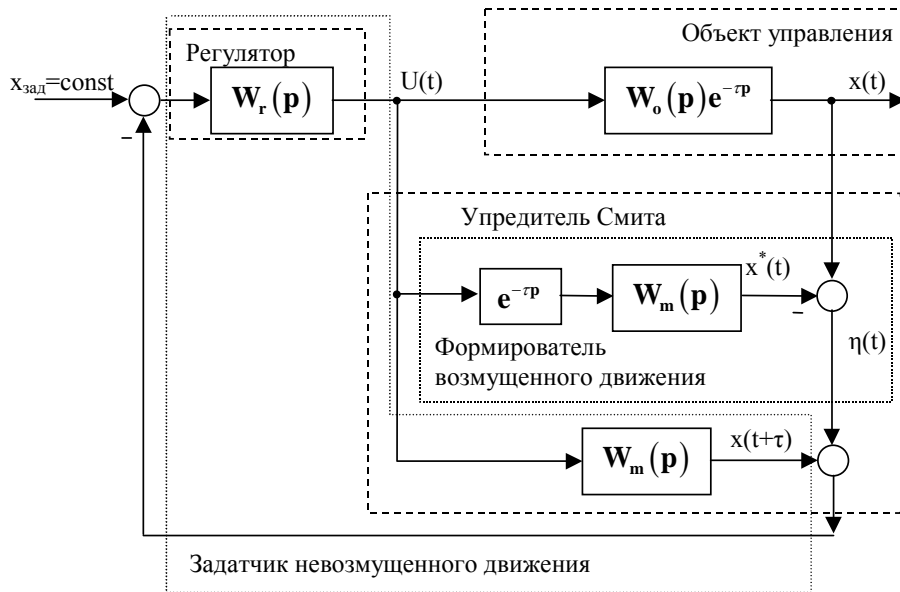


Рис. 1. Структурная схема системы с упредителем Смита

Поставленная задача достигается тем, что к основному регулятору с компенсатором Смита добавлена следящая система, которая следит за отклонениями объекта от заданного уровня. В такой системе имеем два регулятора, каждый из которых, согласно Ляпунову, выполняет свою задачу (см.рис.2). Основной регулятор настраивается, как и в классическом упредителе Смита, на заданный вид переходного процесса по заданию, обеспечивая тем самым желаемый режим управления, а дополнительный регулятор уже настраивается из условия гарантирования заданных свойств возмущенного движения, т.е. на вид внешних возмущений.

Система работает следующим образом.

Внешнее возмущение $f(t)$, приложенное к входу инерционного объекта с чистым запаздыванием $W_o(p)$, приводит к формированию соответствующего электрического сигнала $x(t)$ на выходе объекта, который в качестве задания прикладывается ко входу следящей системы. За счет выбора соответствующих параметров следящей системы формируется сигнал $x^*(t)$, достаточно точно отслеживающий сигнал $x(t)$. Это позволяет выделить на выходе регулятора следящей системы сигнал $f(t-\tau)$, пропорциональный возмущению и отличающийся от последнего только на величину транспортного запаздывания τ . Сигнал $f(t-\tau)$ служит внешним возмущением для системы без запаздывания. Дополнительный регулятор, обрабатывая сигнал внешнего возмущения $f(t-\tau)$, формирует на своем выходе управляющее воздействие $\xi(t)$, равное по величине и противоположно направленное возмущению $f(t)$. Управляющее воздействие $U(t)$ прикладывается одновременно ко входу объекта управления и системы слежения, в результате чего на выходе объекта управления возникает переходный процесс, определяемый инерционными свойствами объекта управления и убывающий к нулю.

Таким образом, в установившемся режиме возникает устойчивое состояние, при котором

$$\begin{aligned} x^*(t) &\approx x(t); \\ f(t-\tau) &\approx f(t) \cdot e^{-\tau p}; \\ \xi(t) &\approx -f(t). \end{aligned}$$

Это и определяет условия компенсации влияния внешних возмущений, действующих на объект с запаздыванием.

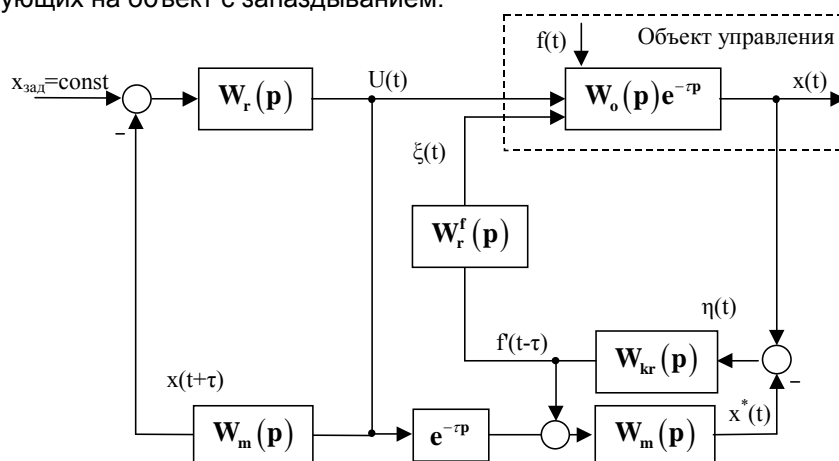


Рис. 2. Структурная схема системы с модифицированным упредителем Смита

Таким образом, алгоритм синтеза системы управления для объектов с запаздыванием, отражающий концепцию Ляпунова о возмущенном-невозмущенном движении, сводится к решению следующих задач:

компенсации влияния запаздывания на устойчивость системы, например, способом Смита или Ресвика;

синтеза регулятора невозмущенного движения любым из известных методов теории управления;

синтеза идентификатора состояния, для определения всех фазовых координат объекта;

синтеза регулятора возмущенного движения.

Рассмотрим на примере объекта 3-его порядка с транспортным запаздыванием результат синтеза системы управления.

Объект задан передаточной функцией вида

$$W(p) = \frac{b_3 e^{-\tau p}}{p^3 + b_1 p^2 + b_2 p + b_3},$$

где $b_1=2,167$; $b_2=0,339$; $b_3=0,014$; $\tau=9,5$ мин.

Поскольку величина чистого (транспортного) запаздывания не позволяет построить обычным образом устойчивую систему регулирования, проводим компенсацию чистого запаздывания, например, способом Смита.

Для синтеза регулятора невозмущенного движения имеем объект четвертого порядка (исполнительный механизм отнесен к объекту управления), фазовая координата которого доступна измерению.

Задача заключается в нахождении закона управления, обеспечивающего минимум функционала. Эта задача может быть решена при помощи метода динамического программирования. При этом необходимо определить такие функции z^*_i , U^* , которые обеспечат функционалу минимальное значение. Здесь z^* – сигнал программного задания, а U^* сигнал программного управления.

Зададимся аperiodическим переходным процессом по заданию длительностью 70 мин. Синтез регулятора методом динамического программирования дает следующие значения

коэффициентов: $n_1=1,6$, $n_2=37,9$, $n_3=228$, $n_4=1,56$.

Уравнение регулятора невозмущенного движения имеет вид

$$U^* = (\beta_3 p^3 + \beta_2 p^2 + \beta_1 p + 1) \cdot \varepsilon$$

$$\varepsilon = z^* - z_1^*$$

где ε – сигнал рассогласования;
 p – оператор дифференцирования;

$$\beta_3 = \frac{n_4}{(n_1 + n_4)} = 34; \beta_2 = \frac{\left(n_3 + n_4 \frac{b_1}{b_3}\right)}{(n_1 + n_4)} = 146; \beta_1 = \frac{\left(n_2 + n_4 \frac{b_2}{b_3}\right)}{(n_1 + n_4)} = 23;$$

$$z^* = \frac{1}{\beta_3 p^3 + \beta_2 p^2 + \beta_1 p + 1} \cdot x_{\text{зад}};$$

$x_{\text{зад}}$ – сигнал задания.

При построении наблюдающих устройств, зададимся быстродействием наблюдателя $t_n=2,4$ и определим коэффициенты наблюдателя λ . Решая поставленную задачу методом, приведенным в [5], определим коэффициенты наблюдающего устройства $\lambda_1=8.633$, $\lambda_2=2.30$, $\lambda_3=0.32$.

Аналогично синтезу регулятора невозмущенного движения определим структуру и параметры регулятора возмущенного движения исходя из требуемых показателей качества определяемых функционалом вида

$$J = \int_0^{\infty} (a_1 \eta_1^2 + a_2 \eta_2^2 + a_3 \eta_3^2 + a_4 \eta_4^2 + \xi^2) dt,$$

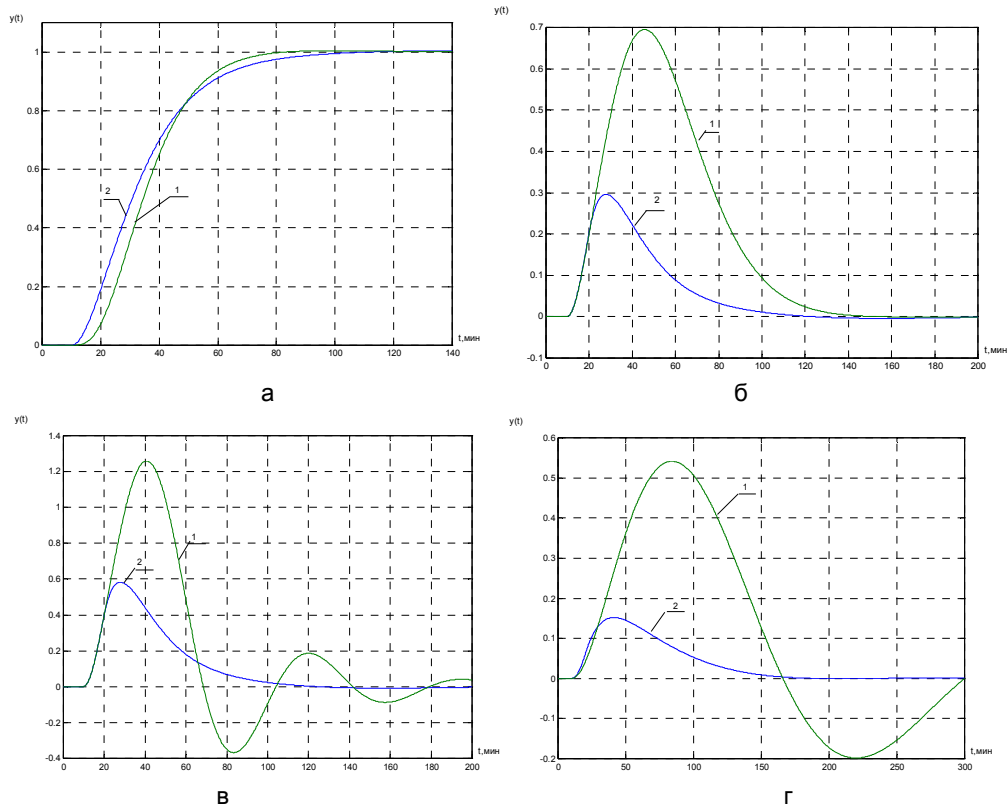
где ξ – сигнал дополнительного управления;
 η_i – координаты возмущенного движения объекта управления;
 a_i – коэффициенты, определяющие заданное распределение корней по желаемому качеству регулирования.

Решая данную задачу методом динамического программирования, получим уравнение регулятора возмущенного движения

$$\xi = -n_1 \eta_1 - n_2 \eta_2 - n_3 \eta_3 - n_4 \eta_4,$$

где $n_1 = 2.0$, $n_2 = 47.5$, $n_3 = 285$, $n_4 = 2.0$

На рис. 3 приведены графики переходных процессов по задающему и возмущающему воздействиям в системе с классическим упредителем Смита (кривая 1) и упредителем, реализующем концепцию Ляпунова (кривая 2). Как видно из представленных графиков, система, отражающая в себе концепцию Ляпунова, обладает устойчивостью и обеспечивает заданные показатели качества управления. Кроме того, она также обладает более высоким быстродействием, что и позволяет повысить точность регулирования в два раза.



а - по заданию; б - по возмущению; в - при действии параметрического возмущения ($K_{об}$ увеличен в 2 раза); г - при действии параметрического возмущения (постоянные времени увеличены в 2 раза)

Рис. 3. Графики переходных процессов в исследуемых системах

Выводы и направления дальнейших исследований. Регуляторы, отражающие концепцию Ляпунова о возмущенном-невозмущенном движении, обладают некоторыми свойствами "универсальности", поскольку они обеспечивают не только устойчивость системы, но и заданные качественные показатели. Однако синтезированная система управления достаточно чувствительна к вариациям времени запаздывания в объекте управления. Поэтому в дальнейшем следует усовершенствовать алгоритм синтеза систем управления для возможности использования его к объектам с переменным запаздыванием.

Литература

1. Жилияков В.И., Садовой А.В., Загороднюк В.Т. К реализации оптимальных управлений. Сб.: Механизация и автоматизация горных работ. Новочеркасск: НПИ, 1977.
2. Смит О.Д.М. Автоматическое регулирование. Пер. с англ. Под ред. Попова Е.П. – М.: Физматгиз, 1963.
3. Савин М.М. Исследование динамических характеристик некоторых систем автоматического регулирования, содержащих объекты с чистым запаздыванием //Электромеханика №6, 1972.
4. Лозгачев Г.И. Построение модальных регуляторов для одноконтурных и многосвязных систем. / А и Т. 2000, № 12, С.15-21.
5. Кузовков Н.Т. Модальное управление и управляющие устройства.– М.: Машиностроение, 1976, -184 с.

Ткаченко В.Н., Иванова А.А.

**МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ
ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО
ТЕПЛООБМЕНА ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ
СТАЛИ**

Рассматривается задача идентификации коэффициента теплоотдачи в зоне вторичного охлаждения машины непрерывного литья заготовок. Нестационарные процессы внутреннего теплообмена описываются нелинейными параболическими уравнениями в частных производных. Граничные условия включают лучистую и конвективную составляющие теплообмена и учитывают сложный механизм теплоотвода за счёт водо-воздушного охлаждения. Предложен способ решения поставленной задачи с использованием метода наименьших квадратов. Приведены и проанализированы результаты вычислений.

Введение. Математическое моделирование является эффективным инструментом исследования различных технологических процессов. Оно также необходимо для построения автоматизированных и автоматических систем управления этими процессами.

Чтобы гарантировать стабильность управляемых параметров качества, достаточно иметь адекватную математическую модель, устанавливающую взаимосвязь между ними и влияющими на них управляющими параметрами.

Трудность реализации многих математических моделей связана с отсутствием необходимых значений (физических констант или зависимостей) для коэффициентов уравнений, входящих в модель. Таким образом, возникает задача идентификации параметров технологического процесса. Высокие требования к точности моделей вынуждают рассматривать неизвестные величины параметров модели распределёнными в пространстве либо во времени.

Одним из примеров может служить процесс тепломассопереноса в слитке, движущемся внутри машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), математическая модель которого разработана в работе [1]. В этой модели процессы внутреннего теплообмена описываются нелинейными параболическими уравнениями в частных производных и учитывают конвективный перенос тепла вместе с движущейся средой (слитком). При моделировании такого процесса для конкретных производственных условий каждый раз требуется определять некоторые теплофизические параметры, в частности коэффициент теплоотдачи (КТ) на поверхности слитка в зоне вторичного охлаждения (ЗВО), который зависит от многих факторов. В связи с тем, что КТ может принимать различные значения вдоль поверхности слитка в ЗВО, возникает задача идентификации распределённого параметра.

Величина КТ зависит от многих факторов, например, имеет значение, находится ли данный участок поверхности под факелом, распыляющим охлаждающую водо-воздушную смесь, образовалась ли паровая прослойка между поверхностью слитка и охлаждающей смесью, покрыта ли поверхность слитка окалиной, и многое другое. Всё это в значительной степени усложняет задачу определения коэффициента теплоотдачи. Кроме того, для использования математической модели в системе управления, желательно установить зависимость коэффициента теплоотдачи от расхода охлаждающей воды.

Существуют различные способы определения КТ, например, в [2] описан метод, использующий уравнение зависимости теплофизических и

конструктивных параметров. В работе [3] приведены следующие способы идентификации КТ:

метод автоматизированного подбора КТ при помощи аналоговых средств, например, устройств, в которых тепловой процесс моделируется аналогичным электрическим процессом;

способ идентификации граничных условий при большой интенсивности теплообмена путём определения фиктивного коэффициента теплоотдачи $\alpha_{\text{ф}}$ (или фиктивного внешнего термического сопротивления $1/\alpha_{\text{ф}}$) на некоторой условной границе, находящейся на расстоянии δ от поверхности;

способ определения КТ в виде кусочно-постоянной функции методом итераций.

Постановка задачи. Чтобы уменьшить выкладки, приведём упрощённую математическую модель в прямоугольных координатах.

Рассмотрим некоторый участок непрерывно движущегося стального слитка в системе координат, привязанной к конструкции машины непрерывного литья.

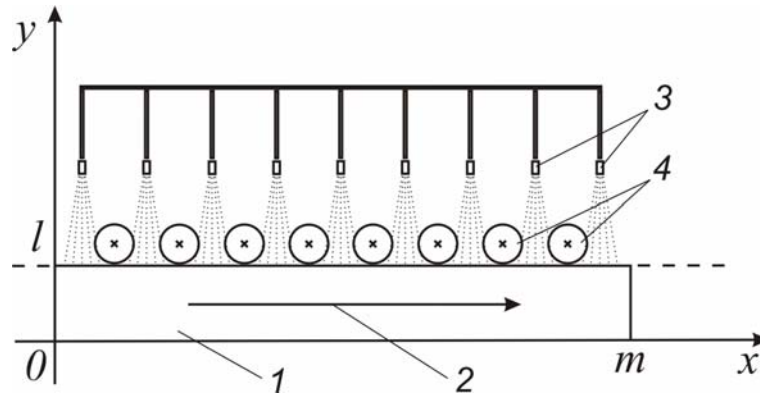


Рис. 1. Участок непрерывного слитка. 1 – слиток, 2 – направление движения слитка, 3 – форсунки, распыляющие охлаждающую водо-воздушную смесь, 4 – опорные и приводные ролики.

Уравнение тепломассопереноса для двумерной модели в прямоугольнике $(0, l) \times (0, m)$ выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial T(\tau, x, y)}{\partial \tau} + v(\tau) \frac{\partial T(\tau, x, y)}{\partial x} = \frac{1}{c(T)\rho(T)} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right] \right\}, \quad (1)$$

где $v(\tau)$ – скорость движения среды, $T(\tau, x, y)$ – температура, $c(T)$ – удельная теплоёмкость, $\rho(T)$ – плотность, и $\lambda(T)$ – теплопроводность сплошной среды.

Заданы начальные:

$$T(0, x, y) = T_0(x, y) \quad (2)$$

и граничные условия:

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, \quad \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=m} = 0, \quad (3)$$

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0, \quad \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=l} = \alpha(x) \cdot (T_{o.c.} - T|_{y=l}) + \sigma (T_{o.c.}^4 - (T|_{y=l})^4). \quad (4)$$

здесь $\alpha(x)$ – коэффициент конвективной теплоотдачи, σ – приведённый коэффициент лучистого теплообмена, T – температура внутри слитка, $T|_{y=l}$ – температура на поверхности слитка, $T_{o.c.}$ – температура окружающей среды.

Для упрощения задачи на трёх участках границы рассматриваемого прямоугольника тепловой поток задан равным нулю. На границе, соответствующей охлаждаемой поверхности слитка, заданы граничные условия

3-го рода. В общем случае тепловой поток в ЗВО имеет две составляющие: конвективную (закон Ньютона-Рихмана) и лучистую (закон Стефана-Больцмана). Так как поверхность слитка в ЗВО находится в диапазоне температур, при которых значительная доля в общем тепловом потоке принадлежит лучистой составляющей, граничные условия (4) учитывают оба эти вида теплоотдачи.

Требуется определить коэффициент теплоотдачи $\alpha(x)$. В качестве дополнительной информации выступают данные измерений температуры на поверхности слитка.

Такие задачи называются граничными обратными задачами [3,4]. Они являются некорректными в классическом смысле. Корректность в классическом смысле (или ещё говорят корректность по Адамару) означает существование решения поставленной задачи, его единственность и устойчивость (т.е. непрерывную зависимость от входных данных). В нашем случае не выполняется третье условие – условие устойчивости.

Метод прямого обращения. Чтобы получить представление о степени неустойчивости решения обратной задачи, воспользуемся методом прямого обращения. Для этого из (4) выразим $\alpha(x)$

$$\alpha(x) = \frac{\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=l} - \sigma (T_{o.c.}^4 - (T|_{y=l})^4)}{T_{o.c.} - T|_{y=l}}. \quad (5)$$

Измерения температуры на поверхности слитка известны, поэтому поставленная задача распадается на две: определение температурного поля внутри слитка и затем уже определение коэффициента теплоотдачи $\alpha(x)$. Первая задача является краевой задачей с граничными условиями 1-го рода (условия Дирихле) и 2-го рода (условия Неймана). Для её решения используется метод конечных разностей. В рассматриваемом нами прямоугольнике введём конечно-разностную сетку $\omega_{q,p}$, равномерную по каждому направлению с шагами $q, p = const, q=l/N, p=m/M$, где N, M – число отрезков разбиения вдоль пространственных координат x и y соответственно (рис.2).

В результате решения конечно-разностной задачи мы получаем поле температур рассматриваемого нами участка.

Чтобы вычислить производную $\frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=l}$ в узлах введённой сетки, заменим

её конечно-разностным аналогом

$$\frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{i,N} = \frac{T_{i,N-2} - 4T_{i,N-1} + 3T_{i,N}}{2q} + O(q^2). \quad (6)$$

Из (5) и (6) получим выражение для вычисления $\alpha(x)$:

$$\alpha_i = \frac{\lambda_{i,N} \frac{T_{i,N-2} - 4T_{i,N-1} + 3T_{i,N}}{2q} - \sigma (T_{o.c.}^4 - T_{i,N}^4)}{T_{o.c.} - T_{i,N}}. \quad (7)$$

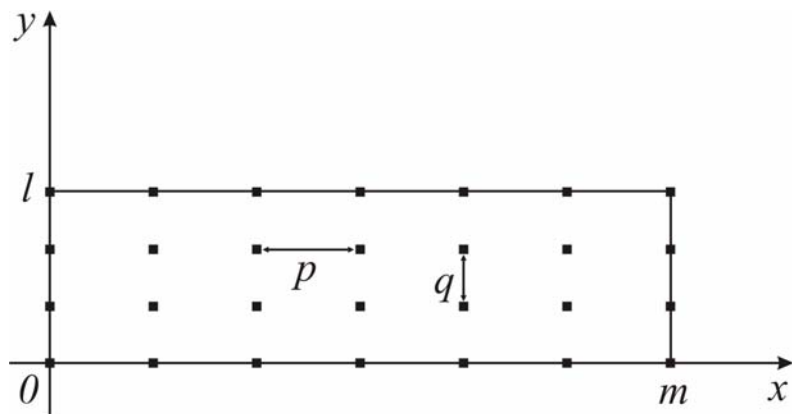


Рис. 2. Конечно-разностная сетка

Коэффициент теплоотдачи, найденный таким способом, мало пригоден для практического использования. Слагаемое, соответствующее лучистому теплообмену, увеличивает погрешность до четвертого порядка. Кроме того, в формуле присутствует численное дифференцирование, которое само по себе является некорректной задачей. В конечном итоге относительно малым отклонениям (ошибкам в измерениях) температуры соответствуют достаточно большие отклонения в значениях коэффициента теплоотдачи. Результаты вычислений методом прямого обращения представлены на рис. 4.

Метод наименьших квадратов. Для применения метода наименьших квадратов примем во внимание следующую информацию.

Коэффициент $\alpha(x)$ имеет специальное распределение вдоль поверхности слитка. Известно, что на участке, накрываемом факелом форсунки, его можно приблизить параболической функцией, которая приобретает максимальное значение в точке, соответствующей координате сопла форсунки, а на остальных участках – константой. Так как форсунки в рассматриваемой нами секции однотипные, они дают одинаковый водо-воздушный факел, следовательно, и коэффициент теплоотдачи – одна и та же парабола, сдвинутая вдоль оси абсцисс (рис. 3).

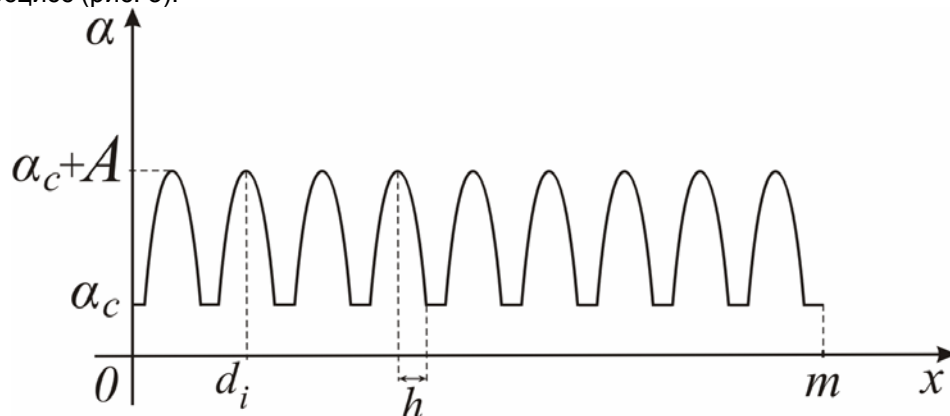


Рис. 3. Вид распределения коэффициента теплоотдачи вдоль поверхности

Приведём все участки под форсунками к началу координат таким образом, чтобы вершина параболы находилась над началом координат. Величина h определяется полушириной захвата факела форсунки. Следовательно, нам остаётся определить всего два параметра – A и α_c . Как уже

было сказано, $\alpha_c = \text{const}$, а на участках, подвергающихся принудительному охлаждению, будем искать $\alpha(x)$ в виде

$$\alpha(x) = \alpha_c - \frac{A}{h^2} x^2 + A. \quad (8)$$

Рассмотрим сначала участки, на которых $\alpha(x) = \alpha_c = \text{const}$. Обозначим множество узлов x_i , в которых мы считаем КТ постоянным, K . Множество остальных узлов, где КТ распределяется согласно параболическому закону, обозначим B . Из (7) получаем формулу для невязки тепловых потоков на границе:

$$\delta = \lambda_{i,N} \frac{T_{i,N-2} - 4T_{i,N-1} + 3T_{i,N}}{2q} - \sigma(T_{o.c.}^4 - T_{i,N}^4) - \alpha_c(T_{o.c.} - T_{i,N}).$$

Обозначим

$$P_{1i} = \lambda_{i,N} \frac{T_{i,N-2} - 4T_{i,N-1} + 3T_{i,N}}{2q} - \sigma(T_{o.c.}^4 - T_{i,N}^4), \quad P_{2i} = T_{o.c.} - T_{i,N}.$$

Требуется найти такое α_c , чтобы сумма квадратов невязок была минимальной, т.е. чтобы выполнялось условие

$$S = \sum_i (P_{1i} - \alpha_c P_{2i})^2 \rightarrow \min, \quad \forall i: x_i \in K.$$

Необходимое условие существования экстремума $S(\alpha)$:

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha} = -2 \sum_i P_{2i} (P_{1i} - \alpha_c P_{2i}) = 0.$$

Отсюда находим α

$$\alpha_c = \frac{\sum_i P_{2i} P_{1i}}{\sum_i P_{2i}^2}.$$

Каждому узлу x_i из множества B поставим в соответствие точку y_i на отрезке $[-h, h]$ таким образом, чтобы $|y_i|$ равнялось расстоянию от соответствующего x_i до координаты ближайшей форсунки. Из (7) и (8) получаем невязку

$$\delta = \lambda_{i,N} \frac{T_{i,N-2} - 4T_{i,N-1} + 3T_{i,N}}{2q} - \sigma(T_{o.c.}^4 - T_{i,N}^4) - \left(\alpha_c - \frac{A}{h^2} y_i^2 + A \right) (T_{o.c.} - T_{i,N})$$

Найдём такое A , при котором

$$S = \sum_i (P_{1i} - (\alpha_c - \frac{A}{h^2} y_i^2 + A) \cdot P_{2i})^2 \rightarrow \min.$$

Из необходимого условия существования экстремума

$$\frac{\partial S}{\partial A} = 2 \sum_i \left(P_{1i} - \left(\alpha_c - A \left(\frac{y_i^2}{h^2} - 1 \right) \right) P_{2i} \right) \left(P_{2i} \left(\frac{y_i^2}{h^2} - 1 \right) \right) = 0$$

находим A

$$A = \frac{\alpha_c \sum_i P_{2i}^2 \left(\frac{y_i^2}{h^2} - 1 \right) - \sum_i P_{1i} P_{2i} \left(\frac{y_i^2}{h^2} - 1 \right)}{\sum_i P_{2i}^2 \left(\frac{y_i^2}{h^2} - 1 \right)^2}.$$

Следует также отметить, что в определённых при помощи МНК значениях α_c и A выполняется достаточное условие существования минимума функции S . Легко проверить, что частные производные второго порядка S по каждому из этих параметров строго больше нуля.

Таким образом, мы нашли сплайн-аппроксимацию распределённого в пространстве коэффициента теплоотдачи на поверхности движущегося слитка, которая даёт нам минимальное среднеквадратичное отклонение между температурой поверхности измеренной и вычисленной по модели в результате решения прямой задачи.

Результаты вычислений. Обоими описанными выше способами были проведены численные расчёты. В качестве теплофизических параметров для модели были выбраны данные процесса непрерывной разливки стали (для марки ст 40), ширины сляба 1м, полутолщины сляба $l = 0,1\text{м}$ и скорости движения слитка $v = 1\text{м/мин}$. Данные вычислений представлены на рис. 4. Здесь хорошо видно, что решение, полученное методом прямого обращения, является неустойчивым и непригодным для практического использования. Вторая кривая представляет сплайн-аппроксимацию, которая является результатом решения той же задачи методом наименьших квадратов.

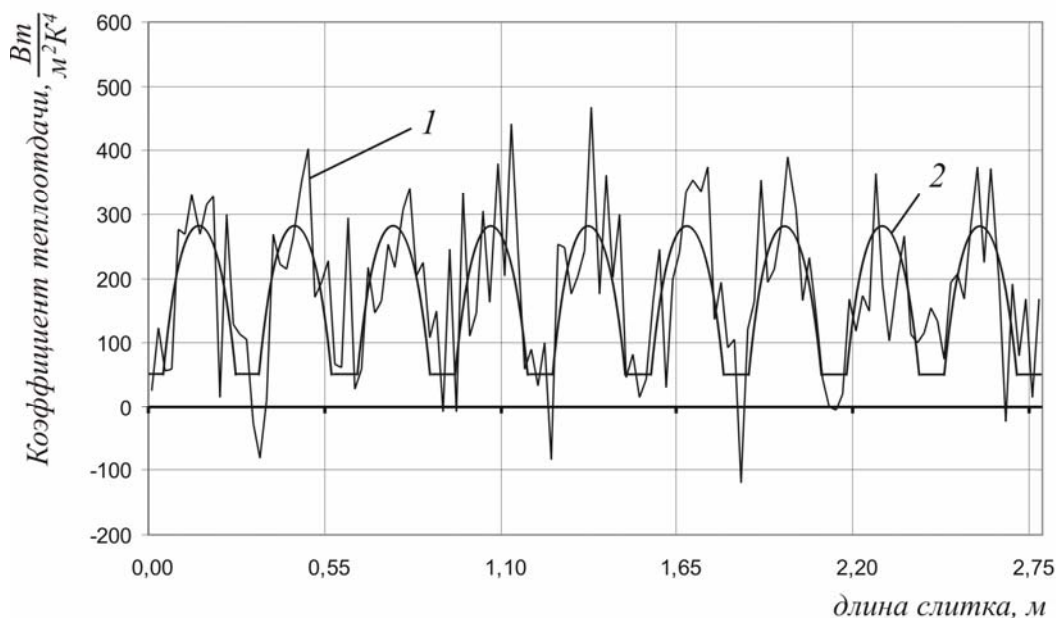


Рис. 4. Результаты определения коэффициента теплоотдачи. 1 – методом прямого обращения, 2 – методом наименьших квадратов

Выводы. Таким образом, метод наименьших квадратов позволяет достаточно легко и быстро найти удобное для практического использования решение задачи идентификации в виде сплайн аппроксимации распределенного в пространстве параметра. Преимуществом данного метода является также и то, что полученное решение устойчиво относительно погрешности измерения температур на поверхности исследуемого тела.

Литература

1. В. Н. Ткаченко, А. А. Иванова. Анализ температурных полей криволинейной МНЛЗ на основе математического моделирования. // Матеріали 3-ї міжнародної науково-практичної конференції "Прогресивні технології у металургії сталі: XXI сторіччя". Донецьк: ДонНТУ. – 2007. – с. 242-249.

2. А. А. Иванова. Математическая модель процесса затвердевания непрерывного слитка в зоне вторичного охлаждения. // Труды ИПММ НАН Украины. – Вып.12. – Донецк, ИПММ. – 2006. – С.76-84.
3. Ю.М. Мацевитый. Обратные задачи теплопроводности. В 2-х т. : Т.2. Приложения. – НАН Украины, институт проблем машиностроения. – Киев: Наукова думка, 2003.
4. А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. Численные методы решения обратных задач математической физики. // М.: Едиториал УРСС, 2004.

УДК 621.318.13

Толмачев С.Т., Рожненко Ж.Г.

МАТЕРИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ АНИЗОТРОПНОЙ СРЕДЫ

Предложен простой способ моделирования нелинейных анизотропных свойств ферромагнитных материалов в безгистерезисном приближении на основе трех характеристик, две из которых задают магнитные свойства в ортогональных направлениях, а третья формирует параметры выпуклости энергетического потенциала. Рис. 7, ист. 8.

Постановка проблемы. В последние годы интерес к проблеме материальных уравнений значительно возрос. Это обусловлено быстрым ростом вычислительных возможностей современных ЭВМ и естественным повышением требований к точности математических моделей. Значительные упрощающие предположения при описании магнитных свойств анизотропных материалов являются основным ограничительным фактором при совершенствовании этих моделей с целью повышения точности решения задач в полевой постановке.

В работах ряда авторов (см., например, [1-3]) предложены некоторые теоретические и экспериментальные подходы для учета нелинейной анизотропии электротехнических материалов. Эти идеи получили дальнейшее развитие в работах авторов данной публикации [4-7]. Однако в настоящее время отсутствует единое мнение об оптимальной форме учета магнитных свойств нелинейных анизотропных материалов, в частности, о достоверности и объеме справочной информации, о постановке экспериментов, о способах учета векторных характеристик намагничивания при решении полевых задач. Поэтому практически отсутствуют публикации с изложением результатов физических и вычислительных экспериментов по расчету магнитных полей в электротехнических устройствах с учетом магнитной анизотропии материалов.

Ниже рассмотрен один из простых способов построения материального уравнения ферромагнитной среды в безгистерезисном приближении, основанный на задании информации в виде характеристик намагничивания в “лёгком” и “трудном” направлениях, а также дополнительной кривой, позволяющей учесть процессы намагничивания в промежуточных направлениях. Не претендуя на универсальность, предложенный способ может оказаться полезным как при оценке эффективности различных алгоритмов и программ моделирования поля в сложных объектах, так и при моделировании нелинейной анизотропии магнитных материалов.

Производящая функция для потенциалов анизотропной среды. В работах [1, 4-6] показана эффективность применения энергетического подхода к построению векторной модели магнитного состояния среды $\mathbf{B}(\mathbf{H})$, который сводится к определению энергетических потенциалов $W(\mathbf{B})$ или $\Psi(\mathbf{H})$. В

частности, в предположении положительной определенности дифференциальной магнитной проницаемости потенциалы W и Ψ должны быть выпуклыми функциями [4-6].

С учетом выпуклости потенциалов можно сформулировать некоторые свойства эквипотенциалей - замкнутость, квазиэллиптичность, отсутствие точек перегиба, четность (симметрия относительно координатных осей) и др. (рис.1). Кроме того, в области технического насыщения ($J \rightarrow J_S$) выполняются асимптотические свойства [7], в результате чего магнитная анизотропия сказывается все меньше, а эквипотенциали постепенно перерождаются из квазиэллипсов в окружности.

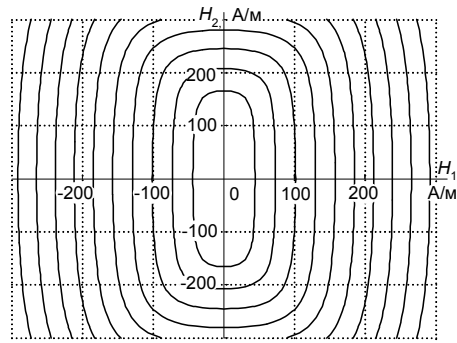


Рис. 1. Характерный вид эквипотенциалей анизотропной стали

В последующем более удобно рассматривать потенциал $\Phi(\mathbf{H})$ для вектора намагниченности \mathbf{J} [6]. Построение этого потенциала осуществим в классе функций, обладающих указанными выше свойствами и возможностью простой “деформации” этих функций путем изменения небольшого количества параметров. Важно, чтобы изменение этих параметров в широких пределах не приводило к выходу из указанного класса функций. Анализ показывает, что достаточно гибкая и

универсальная функция такого типа, которую в дальнейшем будем называть производящей, может быть задана уравнением

$$\frac{y^2}{A^2} + \frac{x^2}{B^2} - 1 = \frac{x^2 y^2}{kA^2 B^2}, \quad (1)$$

где A, B, k - определяющие параметры. Очевидно, что при $x=0$ $y=A$, а при $y=0$ $x=B$. Параметр k может изменяться в диапазоне $1 < k < \infty$ и фактически является коэффициентом выпуклости кривой $y(x)$, которая может при этом изменяться от прямоугольника до эллипса (рис. 2).

Определяющие параметры A, B, k должны зависеть от потенциала Φ . Поэтому в дальнейшем выражение (1) будем использовать в виде:

$$k(\hat{O}) [B^2(\hat{O})H_2^2 + A^2(\hat{O})H_1^2 - A^2(\hat{O})B^2(\hat{O})] - H_1^2 H_2^2 = 0, \quad (2)$$

где H_1, H_2 - компоненты вектора напряженности \mathbf{H} .

Поскольку функции $A(\Phi)$ и $B(\Phi)$ определяют зависимости потенциала соответственно от H_2 (при $H_1=0$) и H_1 (при $H_2=0$), они могут быть легко определены путем интегрирования заданных характеристик намагничивания вдоль координатных осей:

$$\hat{O}(H_2) = \hat{O}(A) = \int_0^{H_2} J_2(H_2) dH_2 = \int_0^H J_{\parallel}(H, \alpha = 90^\circ) dH; \quad (3)$$

$$\hat{O}(H_1) = \hat{O}(B) = \int_0^{H_1} J_1(H_1, 0) dH_1 = \int_0^H J_{\parallel}(H, \alpha = 0^\circ) dH. \quad (4)$$

В последних выражениях J_{\parallel} означает параллельную вектору \mathbf{H} составляющую вектора намагниченности \mathbf{J} , а α - угол между направлениями вектора \mathbf{H} и оси легкого намагничивания.

Функции $\Phi(A)$ и $\Phi(B)$ однозначны, поэтому всегда существуют обратные функции $A(\Phi)$ и $B(\Phi)$. В области сильного поля [7]

$$\lim_{H_1 \rightarrow \infty} J_1(H_1, 0) = \lim_{H_2 \rightarrow \infty} J_2(0, H_2) = J_s,$$

поэтому

$$\lim_{H_1 \rightarrow \infty} \frac{\partial \hat{O}}{\partial H_1} = \lim_{H_2 \rightarrow \infty} \frac{\partial \hat{O}}{\partial H_2} = J_s$$

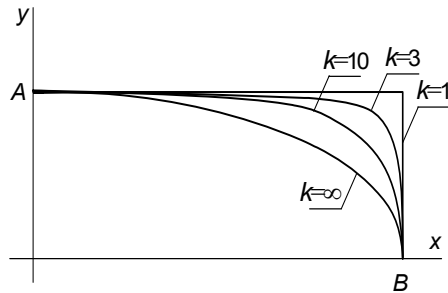


Рис. 2. Характеристики $y(x)$ для различных значений коэффициента k

и, следовательно, $A(\Phi) = a + \Phi/J_s$, $B(\Phi) = b + \Phi/J_s$ (a, b - некоторые константы), т.е. в области сильного поля кривые $A(\Phi)$ и $B(\Phi)$ параллельны. Последнее утверждение можно рассматривать как универсальное асимптотическое свойство ферромагнетиков.

Таким образом, задача построения математической модели сведена к расчету скалярной функции $\Phi(\mathbf{H}) \equiv \Phi(H_1, H_2)$ на основе нелинейного уравнения (2). Расчет векторных характеристик намагничивания производится по

выражению:

$$\mathbf{J}(\mathbf{H}) = \text{grad}_{\mathbf{H}}[\Phi(\mathbf{H})] = i_1 J_1(H_1, H_2) + i_2 J_2(H_1, H_2), \quad (5)$$

причем операции с уравнениями (2), (5) легко реализуются современными вычислительными средствами. Очевидно, как по объёму информации, так и по простоте её использования при выполнении полевых расчетов задание нелинейной анизотропии в виде зависимости $\Phi(\mathbf{H})$ является оптимальным.

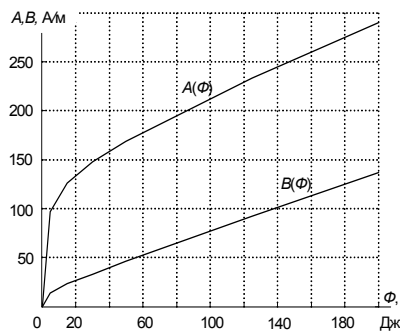


Рис. 3. Характеристики $A(\Phi)$ и $B(\Phi)$

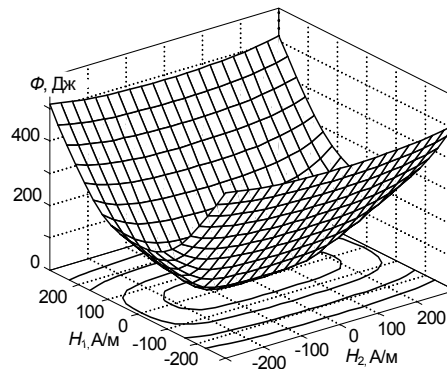


Рис. 4. Зависимость $\Phi(\mathbf{H})$

Важно подчеркнуть, что приведенная выше процедура учета нелинейной анизотропии обеспечивает «точное» воспроизведение заданных характеристик в направлениях главных осей анизотропии при произвольной зависимости $1 < k(\Phi) < \infty$. Для её конкретизации необходима дополнительная информация о магнитных свойствах среды в направлениях, не совпадающих с направлениями осей анизотропии. Однако даже при отсутствии такой информации задание некоторой «гладкой» зависимости $k(\Phi)$, например, $k(\Phi) = \text{const}$, обеспечивает плавный переход магнитного состояния между предельными направлениями намагничивания.

Результаты вычислительных экспериментов. В качестве анизотропного материала выбрана холоднокатаная электротехническая сталь

марки 3405 (0,35 мм). По её характеристикам намагничивания под углами $\alpha=0^\circ$ и $\alpha=90^\circ$ к направлению прокатки [8] рассчитаны зависимости $A(\Phi)$ и $B(\Phi)$, приведенные на рис. 3. Функция энергетического потенциала $\Phi(H)$, рассчитанная по уравнению (2) для $k(\Phi)=\text{const}=1,25$ и $0 \leq H_1, H_2 \leq 300$ А/м, приведена на рис. 4.

На рис. 5 показаны характеристики намагничивания для продольной составляющей вектора намагнитченности $J_{||}(H)$ для различных направлений α , полученных численным дифференцированием потенциала $\Phi(H)$ в соответствии с выражением (5). Точками на рис. 5 показаны исходные экспериментальные значения для магнитных характеристик в направлении осей «легкого» и «трудного» намагничивания. Для иллюстрации влияния функции выпуклости $k(\Phi)$ на этом же рисунке сплошными линиями показаны характеристики $J(H)$ для $k(\Phi)=1.25$, а пунктирными – для $k(\Phi)=11.1 \cdot 10 \exp(-0.1\Phi)$.

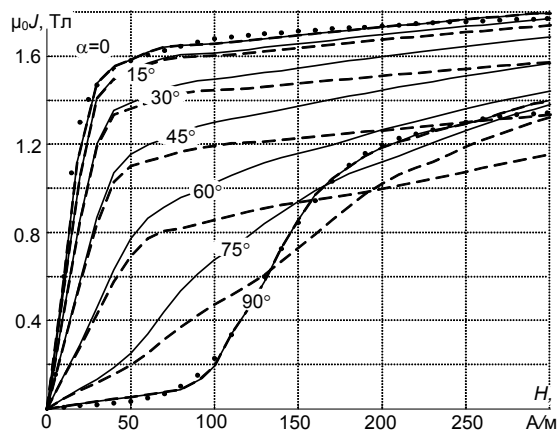


Рис. 5. Характеристики намагничивания, полученные дифференцированием энергетического потенциала $\Phi(H)$

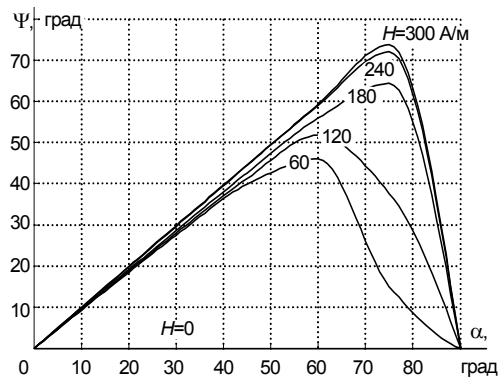


Рис. 6. Угловые характеристики для нелинейной анизотропной среды

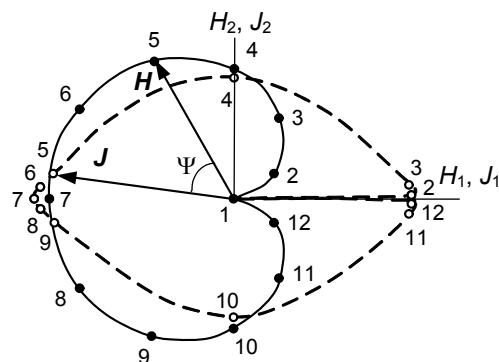


Рис. 7. Зависимость $\mathbf{J}(\mathbf{H})$ при $H=250\exp(\pi jk/6)\sin(\pi k/12)$ А/м

Рис. 6 показывает изменение угла Ψ между векторами \mathbf{H} и \mathbf{J} при различных состояниях и наглядно иллюстрирует наличие анизотропии и ее нелинейный характер. Как видно из этого рисунка, рассогласование векторов \mathbf{H} и \mathbf{J} может достигать более 70° и особенно интенсивно изменяется в диапазоне углов $60^\circ < \alpha < 90^\circ$. Наконец, на рис. 7 показан процесс изменения вектора намагниченности \mathbf{J} при изменении вектора напряженности магнитного поля по закону

$$H=250\exp(\pi jk/6)\sin(\pi k/12) \text{ А/м}, k=0, 1, \dots, 12.$$

Масштаб вектора \mathbf{J} легко установить из рис. 5. Существенное отличие годографов векторов \mathbf{H} и \mathbf{J} также наглядно иллюстрирует нелинейный характер связи между модулями векторов \mathbf{H} и \mathbf{J} и значительное несовпадение их направлений, что является главной особенностью анизотропии.

Выводы. 1. Достоинствами предложенного способа моделирования нелинейных анизотропных свойств ферромагнитных материалов в безгистерезисном приближении являются небольшой объем исходной информации и возможность простого определения магнитного состояния при произвольном значении вектора напряженности.

2. Оптимальной формой математической модели рассматриваемых сред является скалярный энергетический потенциал, обладающий свойствами выпуклой функции. Этот потенциал позволяет точно воспроизвести магнитные свойства в направлении главных осей анизотропии. Условия наилучшего приближения для промежуточных состояний обеспечиваются подбором скалярной функции, которая формирует локальные параметры выпуклости энергетического потенциала.

3. Предложенный метод учета нелинейных анизотропных свойств ферромагнитных материалов может быть легко реализован на ЭВМ при выполнении вычислительных экспериментов по расчету сложных электротехнических устройств и механизмов.

Литература

1. Колесников Э.В., Ткачев А.Н., Горбунцов А.Ф. Экспериментальное исследование и математическое моделирование планарного перемагничивания холоднокатаной стали // Изв. Вузов. Электромеханика. – 1983. – №6. – С. 23-30.
2. Сидельников А.В. Способы описания магнитных свойств анизотропной безгистерезисной стали при расчетах электромагнитных полей // Электротехника. -1989.- №4.- С. 65-68.
3. Калинин Е.В. Экспериментальное исследование и математическое описание векторных характеристик намагничивания анизотропных листовых

- электротехнических статей. – Электронный сборник “Электротехника”. Выпуск №2, 2000 г.
4. Толмачев С.Т., Рожненко Ж.Г. Универсальные свойства кривых намагничивания безгистерезисной среды // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. - Вип. 5 (28). – 2004. – С. 8 -12.
 5. Толмачев С.Т., Рожненко Ж.Г. Математическая модель ферромагнитных анизотропных материалов в безгистерезисном приближении // Разработка рудных месторождений. Научно-технический сборник, вып.85. – 2004. – Криворожский технический университет. – С. 113-117.
 6. S.T.Tolmachev, Z.G.Rozhnenko The Theory of the Defining Equations for Nonlinear Anisotropic Materials // Proceedings of the XIII International Symposium on Theoretical Electrical Engineering ISTET'05. – 2005. – Lviv. – P. 97-100.
 7. Рожненко Ж.Г., Толмачев С.Т. Асимптотические свойства характеристик намагничивания безгистерезисных анизотропных материалов // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – Вип. 7. – Кривий Ріг. – 2005. – С. 132-135.
 8. Холоднокатанные электротехнические стали. Справочник. / Под ред. Б.В. Молотилова - М.: Металлургия, 1989. -168 с.

УДК 681. 51

Ульшин В.А., Горбунов А.И.

К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕНОВЫХ КАМНЕЙ

Предложена классификация комплексов для изготовления стеновых камней, приведены результаты исследований жизненного цикла и дан сравнительный анализ технического уровня комплекса, на основе которых сформулированы основные функциональные требования к АСУ комплексом.

1. Введение. Формулирование проблемы

Исследование проблемы разработки автоматизированной системы управления комплексом по изготовлению камней на примере комплекса БСДИ СМТ – 251 (далее по тексту - комплекс) и ее концептуальной версии потребовали научно обоснованного подтверждения целесообразности осуществления этих работ [1]. Авторам было предложено обосновать целесообразность и необходимый технический уровень автоматизированной системы управления комплексом. Обязательными условиями являются возможности использования последних достижений в области современных производственных технологий по изготовлению мелкоштучных строительных изделий и микроконтроллерных средств управления сложными техническими системами.

Ранее были установлены основные технологические потоки, которыми являются потоки исходного сырья, технологической оснастки и готовых изделий, а также выделены механизмы в составе комплекса, выполняющие функционально законченные операции. Качественный и количественный анализ информационных, управляющих, энергетических и материальных связей между агрегатами комплекса позволил отнести его к классу сложных систем.

На основе имеющихся данных, с использованием методов системологии теории больших технических систем, следует:

- определить класс, к которому целесообразно отнести указанный комплекс в соответствии с действующей классификацией сложных систем;
- теоретически обосновать необходимость модернизации системы управления комплексом;

- на основании анализа технических характеристик выпускающихся в настоящее время производственных комплексов по выпуску мелкоштучных строительных изделий установить перспективность дальнейшего использования комплекса;

- определить возможность применения на автоматизированном комплексе последних достижений в области производственных технологий;

- на основании сравнительного анализа с выпускающимися современными комплексами установить перечень основных требований к техническому уровню автоматизированной системы управления.

2. Целью статьи является анализ комплексов для изготовления мелкоштучного производства строительных камней и определение возможности и целесообразности разработки автоматизированной системы управления, а также уточнение технических требований к системе.

Определение принадлежности комплекса к определенному классу. В настоящее время авторы, занимающиеся теорией сложных систем, признают, что в специальной литературе не удается найти приемлемого, достаточно общего определения сложной системы. Также невозможно сослаться на сколько-нибудь обоснованные критерии разделения сложных или больших систем [2,3,4].

В соответствии с наиболее общей научно-теоретической классификацией сложных систем рассматриваемый комплекс классифицируется как материальная система. Из всего многообразия материальных систем комплекс принадлежит к классу искусственных систем. Поскольку в данном комплексе в основе функционирования лежат процессы, совершаемые машинами, классификация искусственных систем выделяет его в класс технических систем [2].

По результатам исследований авторов [1] этот комплекс состоит из 16 различных по функциональному назначению взаимосвязанных агрегатов – подсистем, решающих единую конечную задачу. Поэтому в данной работе принята наиболее подходящая, по мнению авторов, научно-теоретическая формулировка большой системы, предлагаемая в [2], в соответствии с которой анализируемый комплекс можно классифицировать как большую техническую систему (БТС).

Анализ отрасли, занимающейся производством строительных материалов, показывает, что в настоящее время существует значительное разнообразие автоматизированных производственных комплексов, существенно отличающихся друг от друга. Тем не менее в них можно выделить признаки, позволяющие выполнить классификацию по конструктивно–технологическим признакам.

В данном случае можно использовать классификацию, приведенную в [5] как одну из возможных классификаций по указанным выше признакам. Если рассматриваемый комплекс классифицировать по приводимой в [5] семиуровневой методике, то становится очевидным, что в этой классификации слишком много признаков, не соответствующих уровню АСУ ТП и АСУП, применяемых, как правило, для автоматизации сложных систем.

Так, «простые комплексы», «сборно-разборные комплексы», «передвижные комплексы» априори не нуждаются в АСУ ТП или АСУП по конструкционному и организационным признакам, а «механизированные комплексы» не могут быть включены в классификацию для автоматизированных комплексов. Поэтому такие сложные технические системы, как комплексы по производству мелкоштучных строительных изделий, возможно классифицировать только по одному (максимум двум) из перечисленных признаков.

В частности, при разработке АСУ она должна рассчитываться на

реализацию только тех режимов управления, которые возможно воспроизвести на оборудовании конкретного комплекса, избегая, таким образом, избыточности в системе управления. При этом подразумевается, что оборудование комплекса обеспечивает выполнение всех производственных операций, предусмотренных в технологическом процессе изготовления изделий, а номенклатура изделий состоит из нескольких единиц.

В таблице 1 предлагается классификация, определяющая уровень разрабатываемой АСУ в зависимости от характера и степени автоматизации производственных процессов и организационных мероприятий при эксплуатации производственных комплексов.

Общий признак классификации – степень автоматизации основных производственных процессов и организационных мероприятий, которые, в свою очередь, обуславливаются объемами производства, режимом работы комплекса, номенклатурой выпускаемых изделий. Перечисленные признаки в основном определяют конфигурацию АСУ и реализуемые ею функции.

Анализ жизненного цикла комплекса. Системный анализ любой БТС во времени и пространстве позволяет отражать период существования анализируемого комплекса как БТС через понятие «жизненный цикл». В соответствии с этим подходом различают два генеральных периода жизненного цикла комплекса (рис. 2): развитие (Ц1) и целевое функционирование с постепенно развивающейся деградацией (Ц2).

При анализе исследуемого комплекса рассмотрим цикл Ц2, так как этап Ц1 – разработка, проектирование и изготовление комплекса в рассматриваемом случае интереса не представляет. Второй период жизненного цикла комплекса связан с выполнением полезной работы (Ц₂₁) по выпуску стеновых камней, в течение которой осуществляется восстановление функциональных характеристик (Ц₂₂) в процессе регламентных ремонтов и обслуживания (Ц₂₂₁), сохранение уровня эффективности комплекса (Ц₂₃) с применением капитальных ремонтов и заменой подсистем (Ц₂₃₁), а также модернизацией и модификацией (Ц₂₃₂).

Таблица 1

Автоматизируемые производственные процессы	Автоматизируемые организационные мероприятия	Характер производственного процесса	Номенклатура изделий	Уровень АСУ
Управление головным агрегатом под контролем оператора	Ежесменный и суточный учет отформованных изделий	Дискретно - непрерывный	Изменяемая	АСУ одиночным объектом
Управление транспортной подсистемой головного агрегата		Дискретно - непрерывный, периодический		
Управление подготовкой исходной смеси	Учет израсходованных исходных материалов	Периодический		АСУ

Управление агрегатами комплекса под контролем операторов	Ежесменный и суточный учет отформованных изделий	Дискретно - непрерывный	Изменяемая	ТП
Управление режимом тепловлажностной обработки	Учет обработанных изделий	Непрерывный		
Управление подготовкой и качеством исходной смеси	Учет израсходованных исходных материалов и планирование в их потребности	Периодический		АСУП
Управление всеми агрегатами комплекса под контролем диспетчера	Ежесменный, суточный, учет выпущенных изделий, учет аварийности и потерь от нее	Непрерывный, дискретно - непрерывный, периодический	Изменяемая	
Управление складом готовой продукции и отгрузкой готовой продукции клиентам	Суточный, месячный и годовой учет поступления готовой продукции, учет брака и реализации	Непрерывный		

Именно наличие циклов C_{23} , C_{231} и C_{232} дает прямое подтверждение о необходимости проведения работ по модернизации и замене подсистем для продления жизненного цикла комплекса. В [18] указывается на необходимость модернизации существующего оборудования по производству строительных материалов для вывода этой отрасли Украины на международный уровень.

По данным, приведенным в работе авторов [1], комплекс выпущен в 1988 году, что указывает на наличие и развитие факторов физического и морального старения, также подтверждающих необходимость модернизации. Определение продолжительности жизненного цикла комплекса непосредственно через продолжительность отдельных его периодов невозможно, так как процессы жизненного цикла имеют суперпозиции по времени. Поэтому эффективность продления жизненного цикла в результате модернизации определяется на каждом комплексе индивидуально.

Таким образом, модернизация АСУ комплексом может рассматриваться как обоснованное научно-техническое мероприятие, связанное как с продлением в целом жизненного цикла комплекса, так и с повышением эффективности его эксплуатации на рассматриваемом этапе.

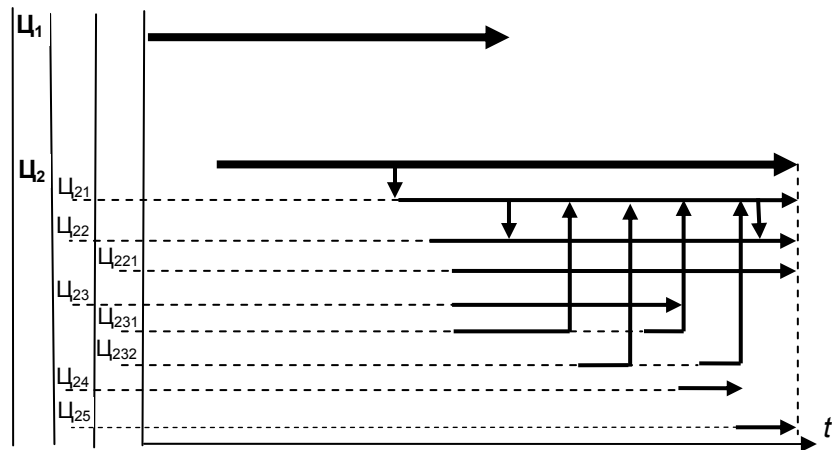


Рис. 2. Структура жизненного цикла комплекса:

Ц₁ – развитие комплекса; Ц₂ – целевое функционирование и деградация; Ц₂₁ – выпуск стеновых камней; Ц₂₂ – восстановление функциональных характеристик комплекса; Ц₂₂₁ – регламентные работы; Ц₂₃ – сохранение уровня эффективности комплекса; Ц₂₃₁ – капитальный ремонт и замена подсистем; Ц₂₃₂ – модификация и модернизация; Ц₂₄ – снятие с серийного производства; Ц₂₅ – снятие с эксплуатации

Сравнительный анализ комплексов. Основными направлениями технического и технологического развития производства мелкоштучных строительных материалов являются:

- улучшение технических показателей и совершенствование конструкции комплексов и производственных линий;
- совершенствование производственных технологий изготовления стеновых камней, в том числе и за счет применения химических добавок к бетонной смеси;
- разработка и внедрение автоматизированных систем управления как производственными комплексами, так и отдельными технологическими операциями.

Сравнительный анализ технического уровня. Для определения технического уровня конструкции анализируемого комплекса по отношению к выпускающимся в настоящее время аналогам выполнен сравнительный анализ оборудования комплексов для производства мелкоштучных строительных материалов. В результате сравнительного анализа использовались как данные из научных и периодических изданий, так и данные заводов-изготовителей комплексов.

Анализируемый комплекс для производства стеновых камней является универсальной технологической линией, в которой головным агрегатом является гидравлический вибропресс для объемного прессования. Формовка и перемещение изделий до полной готовности осуществляется на формовочных поддонах. Отвердевание изделий происходит во время движения по камере тепловлажностной обработки при температуре около 60°C и влажности 95...100%. Вид теплоносителя – сухой пар [6].

Обзор предложений оборудования для производства мелкоштучных строительных материалов на рынке СНГ показывает, что технологии вибропрессования продолжают распространяться благодаря своей универсальности и низкой себестоимости.

Новые образцы оборудования принципиально не отличаются от ранее выпускавшихся комплексов. Усовершенствования связаны, как правило, с расширением ассортимента прессуемых изделий на одном агрегате и

повышением их качества при помощи вибропрессов нового поколения ПТ – 11, СДК – 1Б (Россия) [7,8]. Вторым направлением модификации является создание прессов новой конструкции с учетом анализа работы лучших зарубежных конструкций аналогичного назначения. По этому пути пошли разработчики механического пресса для полусухого прессования К04.СК0738 (Россия), в конструкции которого учтены достоинства прессов фирмы «LAEIS-BUCHER» [9]. На основе этого пресса разработан автоматизированный комплекс АКД 0537 для изготовления лицевого кирпича или камня [10].

Из краткого анализа следует, что в конструкции последних моделей оборудования для производства мелкоштучных строительных материалов не используются принципиально новые физические принципы и технические решения, что позволяет сделать вывод о возможности дальнейшей эксплуатации комплекса на уровне современных требований к качеству выпускаемых изделий.

Сравнительный анализ технологических процессов. Анализ применяемых технологий для производства мелкоштучных строительных материалов показывает, что основными решаемыми задачами на современном этапе является повышение прочности бетона и сокращение времени производства единицы продукции с одновременным снижением энергоемкости ее производства. В качестве основного решения предлагается использование в производственных технологиях современных химических добавок, позволяющих достигать нужных результатов при минимальном вмешательстве в конструкцию оборудования и технологический процесс.

ЗАО «Владимирский ЖБК» (Россия) производит и применяет химическую добавку к бетону суперпластификатор С-3 и суперпластификатор С-3 (ВО), позволяющую повышать прочность бетонов с одновременным снижением расхода цемента [11].

Аналогичными свойствами обладают химические добавки «ЛИГНОПАН Б-1» - «ЛИГНОПАН Б-4», «БИО-НМ» фирмы «Биотех» (Россия) [12,13].

Универсальная добавка для бетонов, растворов и сухих смесей «Д-11» способна заменить несколько традиционных добавок и позволяет повышать прочность бетона, исключать или сокращать сроки пропарки в 2-3 раза с одновременным снижением расхода цемента на 15 – 20% [14].

Примерно такими же свойствами обладает химическая добавка – модификатор «Полипласт СП-1», а добавка «Криопласт СП15-1» обладает противоморозным эффектом и обеспечивает проведение бетонных работ в зимнее время при температуре до -15°С [15].

В процессе анализа также установлено, что технология применения химических добавок не требует введения в конструкцию оборудования каких-то специализированных агрегатов или узлов, отсутствие которых делает невозможным процесс изготовления изделий на анализируемом комплексе.

Уровень автоматизации производимых комплексов. При создании новых технологических комплексов просматривается устойчивая тенденция, предусматривающая, как правило, полную автоматизацию производственного процесса. Это обусловливается рядом неоспариваемых фактов, утверждающих, что автоматизированные технологические комплексы и линии являются основой современного высокоэффективного и энергосберегающего производства строительных материалов. Экономические и технические обоснования этих положений приводятся в [5].

В качестве современной системы управления качеством приготовления бетонной смеси можно привести автоматизированную систему, реализующую принцип управления как по возмущающим воздействиям, так и по отклонению управляемой величины [16]. Микропроцессорная система является адаптивной, самообучающейся с гибко варьируемым алгоритмом управления.

Описание АСУ ТП бетонного завода, приведенное в [17], также указывает на применение в качестве комплектующих изделий микроконтроллера фирмы «Fastwel», устройств нормализации сигналов и интерфейсов фирмы «Advantech» и персональных ЭВМ. Система имеет несколько режимов управления и двухуровневую иерархическую структуру.

Комплексы, описанные в [9,10], также представлены как автоматизированные, но без описания систем управления.

В общем тенденция эволюции автоматизированных систем управления для производств мелкоштучных строительных изделий ведёт к полной автоматизации производственного цикла с использованием многоуровневых многокритериальных иерархических автоматизированных систем управления.

Выводы

1. Комплекс по изготовлению стеновых камней рассматривается как большая техническая система с дискретно-непрерывным характером производства, автоматизация которого обеспечит существенное повышение эффективности его функционирования.

2. Установлено, что для комплексов по производству строительных материалов необходимо использовать двухуровневую АСУ ТП, обеспечивающую автоматическое управление непрерывными процессами нижнего уровня и координацию функционирования локальных систем в реальном масштабе времени, а также автоматизированное управление всем комплексом.

3. Предложено для продления этапа целевого функционирования комплексов по производству стеновых камней, подверженных моральному и физическому старению как большие технические системы, выполнять модернизацию путём совершенствования АСУ ТП.

4. Использование во вновь выпускаемых моделях технологического оборудования для производства мелкоштучных строительных изделий химических добавок принципиально не меняет существующие технологии изготовления изделий и не требует внесения существенных изменений в конструкцию комплексов. В связи с этим может быть реализована общая концепция автоматизации существующих и перспективных комплексов.

5. Установлено, что для автоматизации комплексов по изготовлению стеновых камней в настоящее время используются технические средства автоматизации отдельных операций и не существует общей концепции системной автоматизации и соответствующих критериев.

7. Для автоматизированного управления комплексом целесообразно разработать иерархическую двухуровневую адаптивную АСУ ТП, допускающую режимы автоматического, автоматизированного и ручного управления.

Литература

1. Ульшин В.А., Горбунов А.И. Концепция автоматизации механизированного комплекса производства бетонных изделий (БСДИ)//Вісник СНУ ім. В. Даля – 2006 №1. (УДК 681.5.042).
2. Саркисян С.А., Ахундов В.М., Минаев Э.С., Большие технические системы. Анализ и прогноз развития.– М., «Наука», 1977, стр. 350.
3. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. – М., Изд-во «Советское радио», 1973, 440 с.
4. Дружинин В., Конторов Д.С. Системотехника. – М.: Радио и связь, 1985. – 200 с.
5. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Ежемесячный информационный научно – технический журнал. ООО «РИА Композит» при поддержке ЗАО УИСЦ «Композит», Москва, - №4, 2004, с. 57-59.
6. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. Учебник для вузов. Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, У.Х. Магдеев. – М.: Изд – во АСВ, 2004 – 256 с.

7. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Ежемесячный информационный научно-технический журнал. ООО «РИА Композит» при поддержке ЗАО УИСЦ «Композит», Москва, - №4, 2003, с. 34-35.
8. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Ежемесячный информационный научно-технический журнал. ООО «РИА Композит» при поддержке ЗАО УИСЦ «Композит», Москва, - №7, 2003, с. 21-23.
9. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Ежемесячный информационный научно-технический журнал. ООО «РИА Композит» при поддержке ЗАО УИСЦ «Композит», Москва, - №10, 2003, с. 20-21.
10. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Ежемесячный информационный научно-технический журнал. ООО «РИА Композит» при поддержке ЗАО УИСЦ «Композит», Москва, - №10, 2004, с. 33.
11. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Ежемесячный информационный научно-технический журнал. ООО «РИА Композит» при поддержке ЗАО УИСЦ «Композит», Москва, - №8, 2004, с. 19.
12. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Ежемесячный информационный научно-технический журнал. ООО «РИА Композит» при поддержке ЗАО УИСЦ «Композит», Москва, - №9, 2005, с. 13.
13. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Ежемесячный информационный научно-технический журнал. ООО «РИА Композит» при поддержке ЗАО УИСЦ «Композит», Москва, - №4, 2006, с. 30-31.
14. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Ежемесячный информационный научно-технический журнал. ООО «РИА Композит» при поддержке ЗАО УИСЦ «Композит», Москва, - №9, 2006, с. 28-29.
15. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Ежемесячный информационный научно-технический журнал. ООО «РИА Композит» при поддержке ЗАО УИСЦ «Композит», Москва, - №12, 2005, с. 16-17.
16. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Ежемесячный информационный научно-технический журнал. ООО «РИА Композит» при поддержке ЗАО УИСЦ «Композит», Москва, - №7, 2005, с. 31.
17. СТА Современные технологии автоматизации. Издательство «СТА-ПРЕСС», - №3, 2006 с. 52-56.
18. Будівництво України. Науково-виробничий журнал. Віддруковано ПП «ГРАНМНА», Київ, - №5, 2006, ст. 29-33.

УДК 537.591.15

Филоненко А.Д., Хлевнюк А.В., Хлевнюк В.С.

ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ТЕЛ, ОБТЕКАЕМЫХ ПОТОКОМ ГАЗА

В статье приведены результаты экспериментального исследования различных возможных механизмов электризации тел, обтекаемых потоком газа. Ист. 6, рис. 2.

Введение

Механизм электризации, который будет обсуждаться в этой работе, вызывает явления, внешняя сторона которых хорошо известна читателю.

1. Например, во время полёта самолёт приобретает электрический заряд. После его приземления потенциал остаётся настолько высоким, что может вызвать искровой разряд с опасными последствиями. Для избежания этого на корпусе каждого самолёта устанавливают приспособления для стока зарядов.

2. С такой же целью к корпусу автомобиля прикрепляют электропроводящую гибкую ленту, которая при движении касается поверхности земли, обеспечивая электрический контакт для стока зарядов.

3. Хорошо известно явление электризации металлических изолированных предметов во время пылевых бурь. Заряженные частицы пыли отдают свой заряд при соприкосновении с металлическими предметами, которые могут зарядиться до потенциала, вызывающего электрический пробой на близко расположенные заземлённые предметы.

4. Не менее известно явление электрических разрядов в пылевом облаке в области кратера вулкана при его извержении.

5. Надёжно зарегистрирован факт радиоизлучения, сопровождающего взрыв атомной бомбы [1].

6. В работе [2] исследовано явление заряжения изолированного от земли корпуса ракетного двигателя. В этом опыте работающий двигатель в стендовых испытаниях заряжался до потенциала ~ 500 В. Авторы связали это явление с образованием гипотетических частиц, получающих заряд в реакции горения топлива.

7. Известен феномен образования радиочастотных импульсов при взрыве заряда ВВ [3]. Авторы данной работы сообщают об интенсификации радиоизлучения при добавлении к заряду ВВ сухого песка или металлических опилок.

Характерно, что во всех перечисленных выше явлениях передача заряда частицам вещества происходила при наличии потока газа. Существует не достаточно обоснованная, на наш взгляд, точка зрения, что явление электризации связано только с трением между поверхностью тела и обтекаемым его потоком. Вероятно, такое толкование связано с хорошо известным из школьного курса физики явлением электризацией стеклянных (или из какого-либо другого диэлектрика) палочек при натирании их об шерсть, волосы и т.д.

Попытка выяснить природу этого явления привела нас к выводу о том, что для объяснения эффектов, приведенных в примерах 1-7, недостаточно наличия только потока воздуха или какого-либо другого газа.

Экспериментальная часть

На рис.1 представлена схема экспериментальной установки, состоящей из воздушного насоса (1), ультрафиолетового облучателя (2), высокоомного усилителя (4) и металлической сферы (3).

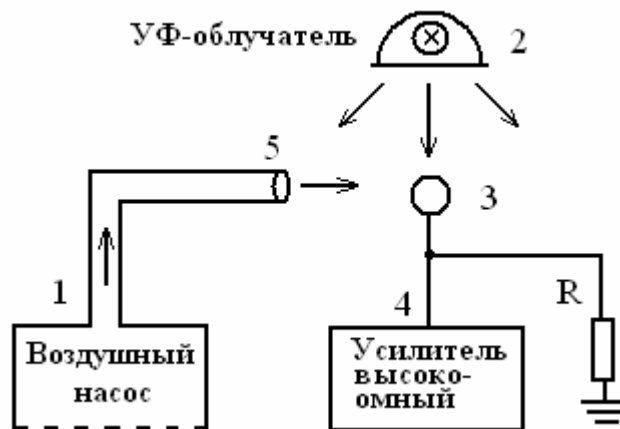


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Максимальная скорость потока воздуха на выходном отверстии (5) составляла приблизительно 10 м/с. Облучатель (2) – это ртутная лампа с кварцевым стеклом. Потребляемая мощность от блока питания не превышала 100 Вт. Сфера (3) изготовлена из титана и специальных мер для обработки

поверхности (кроме очистки растворителем) не предпринималось. На входе высокоомного усилителя включён полевой транзистор КП-305Е с током утечки затвора $\sim 10^{-12} \text{ А}$ (по справочным данным). Эта величина трудноконтролируема и может сильно зависеть от индивидуальных свойств отдельного транзистора. Сфера (3) соединена с общим проводом через сопротивление $R = 10^{12} \text{ Ом}$, которое в некоторой степени сглаживает эту неопределённость.

Эксперимент проводился для следующих 3-х вариантов:

1) Поток обдувает сферу, облучатель выключен.

2) Поток отсутствует, облучатель включён.

3) Поток обдувает сферу, облучатель включён.

Различные варианты воспроизводились многократно и только в третьем варианте эксперимента зафиксировано падение напряжения U_e на сопротивлении R . При описанных выше условиях оно в среднем составляло 1 вольт и соответствует положительному потенциалу по отношению к земле. Отклонения, не превышающие 100% в различных опытах, вероятно, были вызваны изменениями условий эксперимента при перестройке установки, например, отклонениями от оси потока, состоянием поверхности металлической сферы и т.д.

Главное в этих опытах, по нашему мнению, состоит в том, что положительный результат (т.е. наличие потенциала на сфере) соответствовал только третьему варианту. Прежде чем установить соответствие между результатом эксперимента и явлениями, описанными во вступлении, сделаем некоторые теоретические оценки на основании качественной модели явления, которая состоит в следующем.

Граница прозрачности кварцевых стёкол лежит в области длин волн $\sim 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ [5]. Это соответствует энергии кванта приблизительно 6 эВ. Работа выхода электрона из титана равна 4 эВ. Следовательно, имеет место явление фотоэффекта. Если поток воздуха отсутствует, то электроны, выбитые фотонами, за время порядка 10^{-8} с (см., например, [6]), «прилипают» к нейтральным молекулам, образуя «шубу» из отрицательных зарядов. Она экранирует поле положительно заряженной сферы. Через некоторое время устанавливается динамическое равновесие. Отрицательные ионы и электроны не могут полностью покинуть наружную область сферы, так как этому препятствует её положительный заряд. При таком равновесии количество образованных фотоэлектронов, выбитых фотонами из металла, равно количеству электронов, возвратившихся в металл вследствие явления диффузии. Ток через сопротивление R и падение напряжения на нём в этом случае будут отсутствовать. Как только металлическую сферу начинает обдувать поток газа, то это равновесие нарушается, и часть отрицательных зарядов будет снесена потоком. Это приведёт к повышению положительного потенциала сферы и установлению нового равновесного состояния, при котором металлическая сфера вместе с отрицательно заряженной «шубой» будет иметь избыточный положительный заряд. Этот заряд вызовет повышение потенциала сферы, которое и будет отмечено измерительным устройством.

Теперь на основании этой модели сделать теоретическую оценку величины потенциала при известной скорости потока, учитывая явление фотоэффекта. Условием того, что установилось динамическое равновесие, является равенство скорости потока и скорости дрейфа отрицательного иона в поле положительного заряда сферы. Тогда это условие можно выразить зависимостью:

$$v_d = \mu E, \quad (1)$$

где v и E – скорость потока газа и напряжённость поля в той точке, где находится отрицательный ион, μ – его подвижность.

Считая, что металлическая сфера имеет электрическую ёмкость $C = 4\pi\epsilon_0 r$ и что избыточный заряд распределён по её поверхности однородно, найдём из (1) напряжённость поля и потенциал, создаваемый избыточными зарядами. Подстановка $v_d = 10 \text{ м/с}$, $\mu = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / (\text{с} \cdot \text{В})$ даёт $E = 0,5 \cdot 10^5 \text{ В/м}$. Откуда находим расчётное значение потенциала сферы

$$U_i = Er = 0,5 \cdot 10^3 \text{ В} \quad (2)$$

Эта величина на три порядка превышает результат измерений, т.е. $U_T \gg U_e$. По нашему мнению такое расхождение вызвано наличием значительного тока утечки затвора полевого транзистора и сопротивления R . Эквивалентная электрическая схема цепи, по которой текут токи, изображена на рис.2.

Работу сторонних сил, разделяющих заряды, для поддержания постоянного тока в цепи совершает поток воздуха, уносящий ионы на бесконечность. Это условно показано посредством включения в цепь э.д.с. E_0 с некоторым воображаемым внутренним сопротивлением R_0 . Ток I_0 вызван оттоком зарядов на «бесконечность» (т.е. в конечном итоге в землю). Сфера (3) и окружающие предметы (4) составляют конденсатор, заряжающийся до напряжения $U = R \cdot I_0$. Очевидно, падение напряжения U равно $U = \frac{E_0 R}{R_0 + R}$.

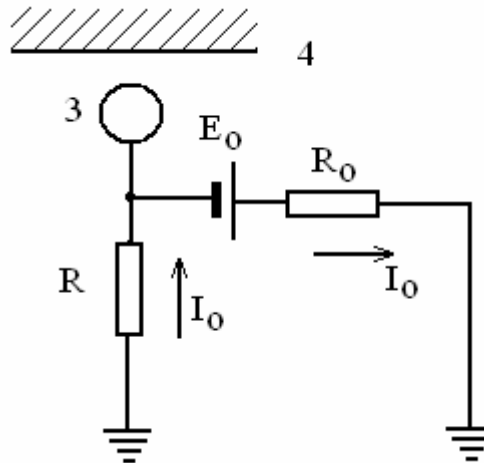


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема цепи

Если предположить, что $R \ll R_0$, то разность потенциалов U между землёй и сферой намного меньше E_0 , т.е. $E_0 / U \sim R_0 / R$. Понятно, что если бы затвор транзистора не имел утечки или, другими словами, $R = \infty$, то $U = E_0$. Это значит, что в данном случае потенциал сферы $U_e = U_i$.

Обсуждение результатов

Если принять такую точку зрения на процессы, происходящие при одновременном воздействии потока и УФ-излучения, то каждый из семи примеров, приведенных во введении, имеет простое и наглядное толкование. Рассмотрим их в соответствующем порядке.

1. УФ-излучение солнца на высоте ~ 10 км достаточно жёсткое и составляет значительную долю от общего потока [5]. Имеем для оценок следующие величины. Скорость набегающего потока воздуха превышает 100-200 м/с, работа выхода электронов из алюминия $\sim 4,3$ В, потенциал ионизации ~ 6 эВ. Корпус самолёта ($r \sim 10$ метров) играет в этом примере роль сферы (см. рис.1) и заряжается согласно (2) до потенциала порядка $U_i = Er \sim 10^7$ В. Очевидно, напряжённость поля вблизи корпуса столь велика $E \sim 10^6$ В/м, что простейшие приспособления для стока зарядов работают достаточно эффективно. Однако возможна ещё одна причина электризации, более подробное рассмотрение которой будет дано в п.6.

2. Этот пример нельзя объяснить действием потока и излучением, так как ультрафиолетовое излучение солнца практически не достигает поверхности земли. Однако здесь полная аналогия с примером 6, который будет рассмотрен ниже.

3. Известно, что при пылевой буре мелкие частицы грунта достигают высоты 10-20 км. На такой высоте УФ-излучение солнца достаточно жёсткое не только для совершения работы выхода, но и для непосредственной ионизации атомов. Например, работа выхода из углерода и кремния, входящих в состав грунта, равна $\sim 4-5$ эВ. Потенциалы ионизации равны, соответственно, 11 и 8 эВ. Мелкие пылевые частицы попадают на поверхность массивных металлических тел и заряжают их до высокого потенциала.

Здесь следует сделать количественные оценки. Пусть размер частицы $r \sim 0,01$ мм, скорость относительно воздуха $v \sim 1$ м/с. Электризация возможна на высоте ~ 10 км при воздействии солнечного УФ-компонента. Тогда потенциал, согласно (1-2), достигнет значения $\sim 0,1$ В. Сможет ли поток таких пылинок зарядить металлический предмет до значительного потенциала? Дело в том, что с течением времени потенциал металлического предмета может вырасти настолько, что отдельные пылинки не смогут достичь его поверхности, чтобы передать ему электрический заряд. Для оценок предположим, что форма частиц близка к сферической. Если радиус пылинок r , то в соответствии с (2), заряд её будет

$$q_1 \approx 4\pi\epsilon_0 r^2 \frac{v}{\mu}. \quad (3)$$

Масса пылинки

$$m \approx \frac{4}{3}\pi r^3 \rho,$$

где ρ – плотность вещества. Условие, при котором пылинка сможет достичь поверхности тела, можно записать в виде

$$\frac{mv^2}{2} > q_1\varphi, \quad (4)$$

где φ – потенциал металлического тела. После подстановки характерных величин $\rho = 2 \cdot 10^3$ кг/м³, $v = 1$ м/с, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, $\mu = 2 \cdot 10^{-4}$ м²/(с·В) получаем:

$$\varphi < \frac{1}{6\epsilon_0} r \rho v \mu = 10^8 \cdot r \quad (В). \quad (5)$$

Из (5) видно, что потенциал порядка 1000 вольт металлический предмет приобретёт, если размер пылинок будет не менее 0,01 мм, что кажется вполне возможным.

4. (а также 2 и 6) Для объяснения примеров 2, 4, 6 нужно заметить следующее. Для реализации механизма электризации тел в потоке газа характер природы электронной эмиссии не является принципиальным.

Очевидно, что тот же эффект можно связать не только с фотоэмиссией электронов, но и с термоэлектронной эмиссией. Например, в п.6 высокотемпературный поток газа в реактивном двигателе может вызвать термоэлектронную эмиссию из металлических предметов, находящихся вблизи камеры сгорания. Для этого достаточно, чтобы его температура была выше $\sim 10^3 K$. Далее процесс выноса отрицательных ионов будет в точности повторять вышеописанный механизм.

5. (7) При любом взрыве имеются все компоненты, необходимые для электризации разлетающихся при взрыве частиц. УФ-источником при этом является само ВВ. Естественным образом можно объяснить и интенсификацию электризации при предварительном перемешивании ВВ с металлическими опилками. В этом случае плотность частичек металла намного выше, чем ВВ, потому и скорость их относительно потока выше, чем для продуктов взрыва. Суммарный заряд облака из металлической пыли достигнет величины, при которой возможен разряд на близлежащие электрически нейтральные предметы. Электрический разряд, как известно, сопровождается электромагнитными радиоимпульсами. Очевидно, этот процесс можно ещё более интенсифицировать, добавляя к заряду ВВ компоненты, сгорание которых сопровождается мощным излучением УФ.

В заключение заметим, что перечень описываемых здесь эффектов далёк от полноты, и это направление исследований может принести новые и интересные результаты.

Литература

1. Компанеев А.С. ЖЭТФ, 1968, т.35, №6 (12), с.1538.
2. Brunet A. 20-th Int. Conf. Phenomen Ionized Gazez. II Cioco 8-th -12-th July, 1991, Contrib. pap.1.-Pisa,1991, p. 77-78.
3. Curtis G.D. Proc. IRE, 1962, v.50, p.2298-2301
4. Боронин А.П., Медведев Ю.А., Степанов Б.М. ДАН СССР, 1972, т.206, №3, с.580-583.
5. Таблицы физических величин. Справочник под. ред. Кикоина И.К. – М., Атомиздат, 1976, 1006с.
6. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М., Наука, 1987, 591с.

УДК 621.301

Хвищун А.І., Качмар В.О., Бунь Р.А.

МЕДИЧНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА «ДОКТОР ЕЛЕКС»: ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ЗБЕРІГАННЯ МЕДИЧНИХ ДОКУМЕНТІВ

Представлено основні принципи побудови медичної інформаційної системи «Доктор Елекс», яка призначена для інформаційної підтримки та автоматизації всіх видів діяльності сучасного медичного закладу. Описано основні складові частини інформаційної системи, зокрема підсистеми «реєстратура», «лікар» «лабораторія», «адміністрування» та ін. Показано принципи автоматизованого формування шаблонів оглядів. Наведено фізичну та логічну структури інформаційної системи. Рис. 3, дж. 11.

Вступ. Інформатизація медицини є одним із пріоритетних завдань останніх років [1,2]. Особливої уваги набули завдання збереження інформації про пацієнтів, статистичний аналіз, швидкий доступ до даних тощо [3-5]. Оскільки центральною фігурою у будь-якому медичному закладі є лікар, то основними напрямками, які вимагають першочергового опрацювання, є підходи до

підвищення ефективності його праці, уникнення помилок при діагностиці та записі інформації, стандартизація основних процедур [6-9].

В розвинутих країнах усі медичні установи обладнані сучасною комп'ютерною технікою і складним діагностичним обладнанням [10,11]. Натомість в умовах українського ринку медичні заклади не можуть собі дозволити дорогого програмного забезпечення західних постачальників. Поза тим, комп'ютеризація документообігу є необхідним кроком в напрямку майбутнього національної медицини. Представлена в статті медична інформаційна система «Доктор Елекс» розроблена для автоматизації роботи медичних закладів незалежно від їхніх розмірів і профілю. Важливим елементом інформаційної системи є безпосередня взаємодія та сумісність з сучасним медичним обладнанням. Ця система є також відкритою для стикування в майбутньому з створюваною експертною системою для прогнозування, оптимізації і контролю лікувального процесу.

Загальна характеристика інформаційної системи. Центральним елементом системи є інформаційний супровід лікарських оглядів. Для ефективного здійснення цієї важливої процедури розроблено інноваційний спосіб введення, зберігання і аналізу результатів оглядів. Класичний підхід до вирішення цієї проблеми вимагає створення для кожного огляду спеціальної таблиці з відповідними полями [2,5]. Недоліком такого підходу є погана масштабованість даних, він вимагає багато ресурсів для підтримки і аналізу. Іншим підходом є зберігання інформації про огляди у текстовій формі. Проте представлені в такому вигляді дані в подальшому практично неможливо аналізувати.

Новизна пропонованого підходу полягає у відокремленні метаданих від даних з результатами конкретних оглядів. Метадані – це шаблон документа про лікарський огляд або будь-якого іншого документу, що зберігається у виді дерева, вузлами якого є елементи документа. Перевагами запропонованого підходу є: швидке та ефективне здійснення оглядів; динамічне створення шаблонів оглядів кінцевими користувачами – лікарями; оптимізація процесу введення інформації про огляд; ефективний доступ до даних для аналізу. При цьому програмне забезпечення системи забезпечує зручний облік пацієнтів, формування розкладу роботи медичного персоналу та автоматизацію документообігу.

Модульна структура інформаційної системи. Програмне забезпечення системи складається з модулів, які забезпечують функціонування відповідних автоматизованих робочих місць. Доступними є такі робочі місця: “реєстратура”, “лікар”, “лабораторія”, “адміністрування”, “шаблони”.

Автоматизоване робоче місце забезпечує для користувача швидкий і інтуїтивний доступ до потрібної функціональності. В майбутньому будуть розроблені також спеціалізовані модулі для великих медичних закладів, наприклад, “фармацевт”, “медсестра онкологічного відділу”, “адміністративний модуль” для керування розміщенням та слідкування за станом пацієнтів стаціонару. Робочі місця забезпечують введення документів різних типів. Доступ до робочих місць і типи документів, з якими вони працюють, визначається адміністратором відповідно до ролі кожного користувача в системі. В цьому полягає динамічність робочих місць – при однаковому розміщенні об'єктів на екрані для медичних працівників різних спеціалізацій показується різна інформація. Нижче детальніше описано кожен модуль.

Модуль “реєстратура”. Призначення цього модуля – супроводження процедур приймання пацієнтів, керування розкладом роботи лікарів і обслуговування пацієнтів, ведення усієї не медичної інформації, що стосується пацієнта. Модуль веде також облік здійснених процедур, курсів лікування, історії пацієнтів. Персоналу реєстратури доступні такі функціональні блоки: облік

пацієнтів; облік лікарського розкладу; швидкий пошук інформації про пацієнта; облік наданих пацієнту послуг, ведення документів, які напряду не стосуються лікування – інформації про пацієнта.

Модуль “лікар”. Лікар є центральною фігурою у проекті “Доктор Елекс”. Робоче місце лікаря полегшує, систематизує і оптимізує роботу з хворими. Вся необхідна інформація має бути доступною і зручною у користуванні. Для робочого місця лікаря доступними є опції формування розкладів прийому пацієнтів, оперування з документами вибраного пацієнта і швидкого введення даних огляду. Коли пацієнт приходить на прийом, лікар має можливість переглянути документи, що стосуються цього хворого, створені іншими спеціалістами – аналізи, діагнози, огляди. Також для лікаря створено можливості швидкого і ефективного введення інформації огляду, причому дані з медичних апаратів автоматично вставляються в документи оглядів.

Модуль “лабораторія”. Завданням цього модуля є швидкий і безпомилковий аналіз та введення інформації про лабораторні дослідження. Лабораторію не цікавить особа пацієнта, а лише його аналізи. Для оптимізації процесу вводу результатів аналізів кожен пацієнт отримує спеціальний ідентифікаційний номер. Отримавши аналізи, спеціаліст лабораторії вибирає потрібний тип аналізів, вводить номер пацієнта і заповнює карту аналізів. По завершенню документ зберігається, вводиться номер наступного пацієнта і так далі. Працівник лабораторії має доступ до документів, які він створював протягом дня для внесення можливих корекцій. Зручне та швидке введення інформації, перевірка даних в процесі вводу, миттєвий доступ лікаря до введених документів – поширення інформації в клініці – все це робить інформаційну систему “Доктор Елекс” центральною ланкою, яка об’єднує різні спеціалізації медичного закладу.

Модуль “адміністрування”. Адміністратор – це працівник медичного закладу, від якого не вимагається медичної підготовки. Його функції – забезпечити роботу інформаційної системи, правильне налаштування робочих місць, керування доступом, управління правами користувачів системи. Також його обов’язком є обслуговування бази даних і регулярний аудит записів про операції, які здійснено користувачами. Аудит є важливим аспектом діяльності клініки, адже будь-які зміни в медичній інформації, будь-який доступ до інформації мають бути санкціонованими. У випадку вводу неправильної інформації або несанкціонованого доступу до документації потрібно мати можливість швидко та ефективно відслідковувати усі дії користувачів. Виконання саме таких функцій забезпечує робоче місце адміністратора: управління користувачами; управління ролями; управління доступом ролей до документів; налаштування робочих місць працівників лабораторії, реєстратури і лікарів; управління доступом до функціонального наповнення програмного забезпечення; аудит діяльності користувачів. Проста у використанні, гнучка і ефективна система адміністрування дає відповідному персоналу повний контроль над роботою інформаційної системи.

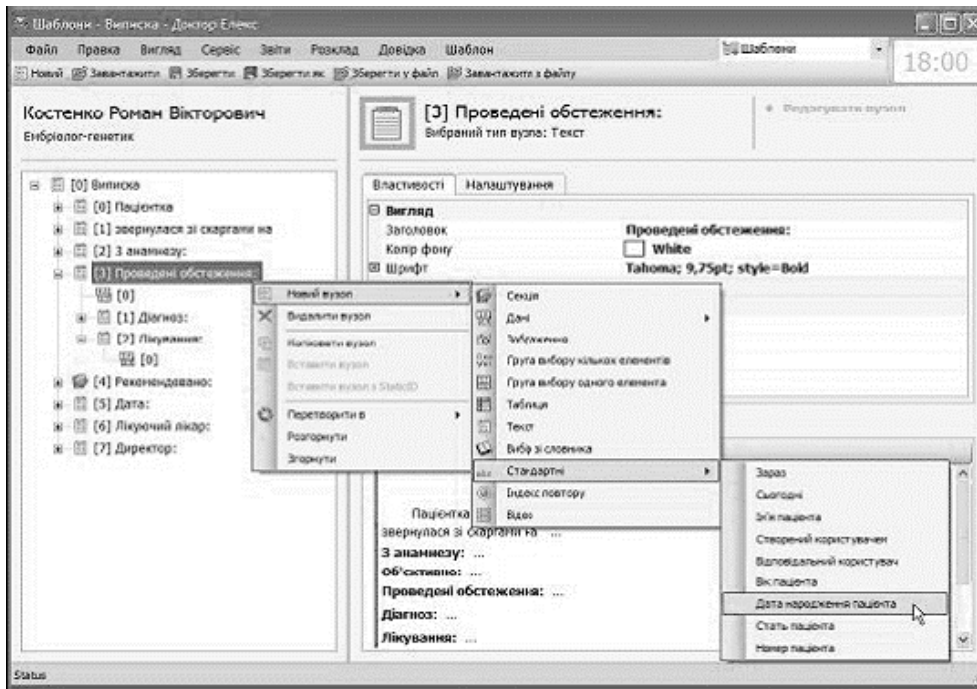


Рис. 1. Приклад формування шаблону огляду

Модуль "шаблони". Шаблони документів є однією з основних частин інформаційної системи. Для їхнього формування створено спеціальне робоче місце. Стандартизація оглядів є важливою складовою діяльності клініки, процедури оглядів розробляються спеціально навченими лікарями, потім затверджуються на консилиумах, оптимізуються і удосконалюються протягом усього часу функціонування медичного закладу. Програмне забезпечення робочого місця розробника шаблонів складається з трьох частин: дерева огляду, деталей вибраного вузла і перегляду результуючого документа. Детальніше логіку формування шаблонів документів розглянуто нижче. На рис. 1 наведено приклад створення одного з шаблонів.

Шаблони документів. Важливою компонентою інформаційної системи "Доктор Елекс" є деревовидні шаблони оглядів. Сама ідея розділення даних і метаданих не є новою, вона використовується в сучасних базах даних. Натомість уніфікація можливих елементів документів і представлення логічних зв'язків між ними у виді дерева є новими.

Документи створюються на базі шаблонів. Шаблони і дані документів зберігаються окремо. Для перегляду користувачем генерується спеціальне представлення у форматі HTML. Шаблон визначає зовнішній вид і внутрішнє наповнення документа. Для підтримки старих документів використовується версійність – документ завжди працює на основі версії шаблону, за допомогою якої його було створено.

Типи вузлів. В інформаційній системі "Доктор Елекс" шаблон огляду представляється у вигляді дерева з вузлами різного типу, зокрема:

- секція (частина документа, яка може повторюватись багато разів);
- дані (дата, цілочисельні, дробові, стрічкові, нотатка, так/ні);
- зображення;
- група вибору кількох елементів;
- група вибору одного елемента;
- елемент групи;

таблиця;
текст;
вибір зі словника (словник діагнозів, процедур, установ тощо);
стандартні (ім'я пацієнта, його вік, стать, лікар який лікує, та ін.);
посилання (елемент попередньо створеного документа).

З цих елементів легко і швидко формуються складні документи. Дані документів стають потім доступними для аналізу і використання в інших документах.

Динамічність і гнучке налаштування. Інноваційним є підхід до представлення процедури опитування пацієнта у виді дерева. Якщо у пацієнта є якісь проблеми, то ці проблеми деталізуються. Якщо відповідної проблеми немає, то гілки опитування, які відповідають за її деталізацію, просто не показуються. Такий підхід дозволяє гнучко адаптувати процедуру опитування і зробити при потребі деталізацію будь-якого рівня.

Для завантаження стандартних (часто вживаних у медичних документах) даних використовуються елементи типу "стандартні". Це дозволяє суттєво зменшити кількість помилок вводу і прискорити заповнення стандартних полів документа. Також автоматично вставляється дата введення та ім'я і прізвище особи, яка здійснює заповнення документа. Для забезпечення автоматичного підвантажування даних, записаних в попередніх документах, використовується вузол типу "посилання". Він дає можливість вставляти в документ значення вузла іншого документа, попередньо створеного для пацієнта. На базі цього типу вузла генеруються виписки з історії хвороби.

Версійність. Важливим елементом підходу є версійність шаблонів документів. Якщо за шаблоном створено хоча б один документ, його не можна змінювати. Натомість для редагування шаблону створюється нова версія, яка копіюється з попередньої. В результаті всі нові документи створюються згідно з новою версією шаблону, а старі документи відображаються і редагуються відповідно до старших шаблонів. Версійність породжує проблему аналізу даних – потрібно знати, який вузол є копією іншого. Для цього в системі введено спеціальні ідентифікатори вузлів – так звані статичні ідентифікатори. Вузли з однаковими статичними ідентифікаторами мають те саме значення. Це дозволяє досліджувати динаміку зміни параметрів пацієнта в часі незалежно від версій документа. Тобто вузли мають значення самі по собі. Якщо в оглядах різних спеціалістів використовуються однакові елементи обстежень, вони будуть мати однакові статичні ідентифікатори. Завдяки цьому реалізовано так зване зв'язування документів – заповнення нової інформації документа на основі попередньо створеного документа в історії хвороби пацієнта.

Репозиторій. Для підтримки і легкого управління великою кількістю стандартних шаблонів оглядів створено репозиторій шаблонів оглядів. Репозиторій забезпечує виконання таких функцій:

збереження поточних шаблонів документів в репозиторій з певною назвою;

завантаження шаблонів документів з репозиторія;

завантаження первинної версії шаблону документа з репозиторія;

зберігання поточної версії шаблону документа на місце первинної версії в репозиторій;

завантаження шаблону документа з репозиторія.

Такий набір функцій дозволяє легко керувати доступними шаблонами документів і налаштовувати набір шаблонів під конкретну медичну установу. Наприклад, онкологічній клініці не потрібні гінекологічні огляди, гінекологічній – онкологія. Великим лікарням потрібне і те, й інше. Репозиторій інформаційної системи "Доктор Елекс" – це фактично база знань, яка дозволяє легко і швидко донести потрібну інформацію до цільової аудиторії.

Взаємодія з діагностичними пристроями. В оглядах можуть використовуватись зображення та числові дані, отримані з діагностичного обладнання. Розроблений інтерфейс забезпечує введення даних різних типів медичної інформації:

- зображення (рентген чи томографія);
- відеозображення (наприклад, результати УЗІ);
- результати лабораторних аналізів.

Інформація з медичних діагностичних пристроїв автоматично потрапляє в елементи огляду. Сумісність зі стандартом DICOM дозволяє формувати і зберігати візуальну інформацію в форматі, зручному для подальшого аналізу. Стандарт HL7 дає можливість обмінюватись інформацією зі складними діагностичними пристроями з використанням спеціальних протоколів.

Виписка. Важливим елементом медичного процесу є виписка з історії хвороби пацієнта. Виписка – це підсумковий документ про стан пацієнта, його діагнози і лікування. Виписка фактично є узагальненням інформації, попередньо введеної під час оглядів, та інформації з інших документів, що стосуються пацієнта. Виписка сама по собі є документом. У виписках широко застосовуються вузли типу “посилання” на інші документи. За складними правилами, використовуючи результати оглядів, генеруються фрази виписки. Можливість копіювання шаблонів із збереженням логічних зв'язків дає можливість генерувати виписки різними мовами. Мова виписки – природна, коротка, базована на логічному аналізі документів пацієнта.

Фізична структура системи. Інформаційна система складається з трьох шарів: сервера бази даних, веб-сервера, який забезпечує комунікацію між клієнтами і базою та клієнтських програм. Схему підключень представлено на рис. 2.

Сервер бази даних, орієнтований на Microsoft SQL Server 2005, IIS Web Server, написаний за допомогою Microsoft Net Framework 2.0, відділяє користувачів від бази даних. Він маршрутизує запити від клієнта до сервера бази даних і повертає клієнту інформацію з бази. Протокол взаємодії між веб-сервером і сервером бази даних – SQL Native Client – новий протокол, розроблений фірмою Microsoft. Напрямку клієнти з базою не взаємодіють. Вони взаємодіють з веб-сервером через найпопулярніший зараз для медичної сфери протокол SOAP (Simple Object Access Protocol), який в свою чергу використовує для транспортування інформації протокол HTTP (Hyper Text Transport Protocol). Такий підхід дає можливість використовувати мережу Інтернет для доступу до сервера медичної установи. До сервера бази даних може бути під'єднано кілька веб-серверів, тобто один сервер бази даних достатньої потужності, захищений спеціальними протоколами безпеки, може обслуговувати кілька медичних закладів, навіть якщо він фізично від них віддалений.

Розглянемо детальніше елементи системи: сервер бази даних, веб-сервер та клієнтське забезпечення.

Сервер бази даних. Сервер бази даних побудовано на анонсованому в 2006 р. Microsoft SQL Server 2005. Використання саме цього сервера бази даних дає швидкий і оптимальний доступ до даних, дає простоту налаштування і управління, підтримки і розширення. Для написання коду програми використовується спеціальна система генерації програмного коду за метаданими. Ця система дозволяє легко поєднувати генерований код із кодом, написаним вручну, дозволяє регенерувати код.

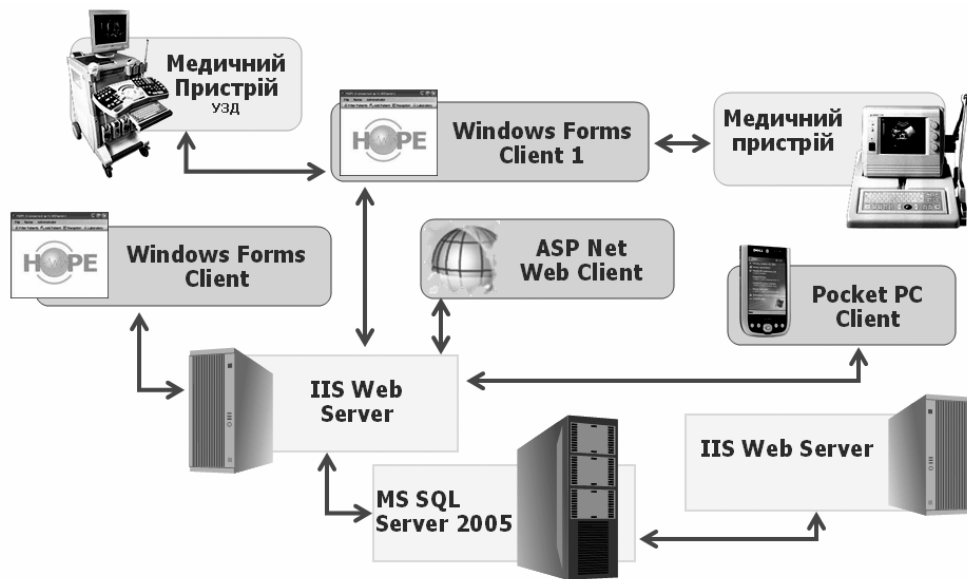


Рис. 2. Фізична структура інформаційної системи

Веб-Сервер. Веб-сервер працює, використовуючи IIS (Internet Information Services), і написаний за допомогою технології .Net 2.0. Веб сервер імплементує веб-методи, доступні через SOAP, і забезпечує комунікацію з сервером бази даних. Також веб-сервер займається обліком сесій користувачів і кешуванням часто використовуваної інформації. Кешування дозволяє значно зменшити навантаження на сервер бази даних, забезпечуючи системі додаткову масштабованість.

Клієнт. Клієнтом може бути будь-яка програма, сумісна з інтерфейсом сервера системи. Це може бути Windows Forms Application – стандартний додаток Windows, може бути Internet Explorer – тонкий клієнт, може бути Pocket PC. Важливо, щоб вони вміли звертатись до сервера, використовуючи SOAP-запити і отримувати інформацію. Зараз розробляється Windows Forms клієнт, але архітектура системи дозволяє додавати будь-які інші клієнти, написані на .Net-платформі – навіть для операційної системи Linux.

Логічна структура системи. Інформаційна систем “Доктор Елекс” складається з ряду підсистем, які взаємодіють між собою (рис. 3).

Нижче описано основні підсистеми та їхню взаємодію.

Безпека. Підсистема безпеки відповідає за контроль доступу користувачів до даних. Вона також здійснює управління ролями і забезпечує аудит дій, які відбувались в системі.

Інфраструктура. Ця підсистема відображає реальну інфраструктуру медичного закладу, його приміщення, відповідальних осіб, персонал. Модуль інфраструктури тісно пересікається з модулем безпеки і планування.

Пацієнти. Інформація про пацієнтів, її оптимальне введення і аналіз є ключовим елементом системи. Для пацієнта ведеться історія хвороби – історія усіх його курсів лікування, подій лікувального процесу і осіб, які відповідальні за нього.

Шаблони документів. Підсистема шаблонів документів відповідає за логічну структуру документів, представлену вище.

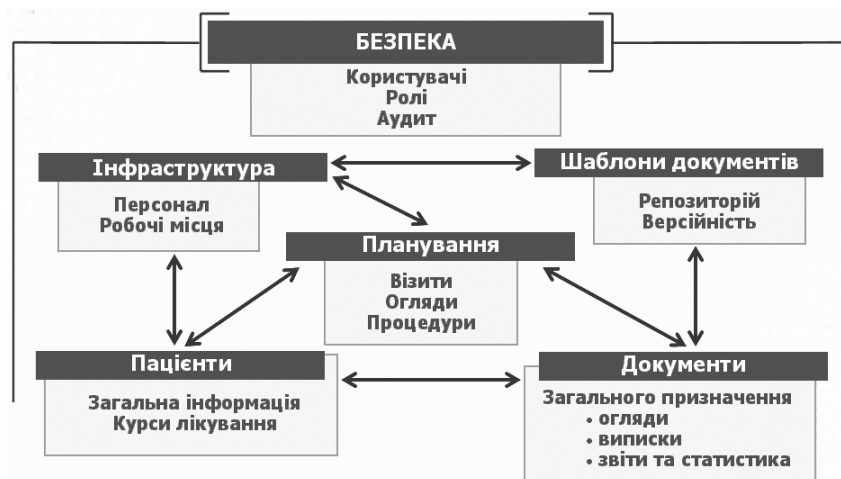


Рис. 3. Логічна структура інформаційної системи

Документи. Документи пацієнтів є таких типів: документи загального призначення, які вводяться в реєстратурі, аналізи з лабораторії, огляди, виписки. Окремо виступають звіти та статистичні дані, для яких використовується Microsoft Reporting Services 2005.

Планування. Підсистема планування об'єднує усі підсистеми інформаційної системи в одне ціле, вона дає можливість реєстратурі планувати візити пацієнта, лікарю - знати, коли він прийде, лабораторії - знати, коли їй потрібно проводити аналізи і т.д. Також планування дозволяє оптимальним чином сформувати розклад використання приміщень і персоналу в медичному закладі, а також уникнути накладок у розкладі пацієнта.

Висновки. Розроблено інформаційну систему "Доктор Елекс" для автоматизації роботи сучасних медичних закладів. Проект впроваджено в: центрі репродуктології «Інтерсоно»; науковому медико-діагностичному центрі «Астар»; медичному центрі «Венера»; Міжнародній клініці відновного лікування; Івано-Франківській обласній клінічній лікарні; Львівському обласному кардіологічному центрі. Потенційними замовниками є ряд українських медичних установ різних напрямків. Проект виграв грант Центральноєвропейської ініціативи, увійшовши в п'ятірку кращих інноваційних проектів для малих і середніх підприємств з шістдесяти проектів, представлених з 17 європейських країн. Проект також було представлено на конкурсі Microsoft Imagine Cup 2006 в Києві, де він отримав друге місце по Україні. Здійснюється активна робота по впровадженню – створюються необхідні шаблони оглядів, аналізується процес лікування пацієнтів, удосконалюється зв'язок з медичними приладами. Регулярно проводяться консультації з лікарями та досліджується ринок сучасних медичних інформаційних систем.

Література

1. Kalra D., Beale T., Heard S., Lloyd D. An EHR architecture for Archetyped Health Information Systems.- <http://www.openehr.org>, 2003. "
2. Electronic Healthcare Record Support Action.- 2002.- <http://www.chime.ucl.ac.uk/Health/EHCR-SupA/>
3. Electronic Health Records and Communication for Better Health Care / F.Mennerat, ed.- Proc. of EuroRec '01.- Vol. 87: Studies in Health Technology and Informatics.- 2002.- 144 p.
4. Regional Health Economies and ICT Services: The PICNIC Experience / N.Saranummi, D.Piggott, D.G.Katehakis, M.Tsiknakis, K.Bernstein, eds.- Vol. 115: Studies in Health Technology and Informatics.- 2005.- 248 p.

5. Person-Centered Health Records: Toward HealthPeople / J.Demetriades, R.Kolodner, G.Christopherson, eds.- 2005.- 279 p.
6. Емелин И.В, Перов Ю.Л., Серегин Ю.С., Эльчиан Р.А. Концепция построения открытых медицинских информационных систем // Кремлевская медицина. Клинический вестник, 1998 № 1.- 147-156.
7. Емелин И.В. Интеграция стандартов медицинской информатики // Кремлевская медицина. Клинический вестник.-2000.-№4.-С. 68-76.
8. Малых В.Л., Юрченко С.Г. Документальный уровень представления знаний в интегрированной медицинской информационной системе ИПС РАН.– Переяславль-Залесский, 2004.- 304 .
9. Лапшин М.А. Расширенная архитектура PACS в распределенной медицинской информационной системе ИПС РАН.– Переяславль-Залесский, 2004.- 188 с.
10. Waegemann P., Tessier C. A report on information capture and report generation. — Newton, MA: Medical Records Institute, 2002.- 228 p.
11. The Synapses Project.- 2002.- <http://www.chime.ucl.ac.uk/Health/ SYNAPSES/>

УДК 681.324

Шмитько А.А.

ЭЛЕКТРОННЫЕ НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ

Рассмотрены основные аспекты развития электронных научных изданий. Предложена структура издательской системы сбора, обработки и хранения электронных научных статей и оригинал-макетов печатных научных изданий.

Введение

Для допечатной подготовки газет, журналов и каталогов издательства внедряют системы автоматизации редакционной деятельности. Слово “редакционной” – это скорее дань традиции, более точно выражает суть этих систем, например, такая формулировка: системы автоматизации обработки цифровой информации. Поскольку эти системы могут с успехом использоваться в различных областях: от управления базой данных оптового магазина и выпуски прайс-листов для различных регионов до построения on-line – версии биржи с публикацией результатов в реальном времени. В обширную категорию таких систем входят издательские системы, системы управления цифровым архивом и системы допечатной подготовки. Их составными частями могут быть: системы приема и обработки информации (новостей, объявлений, рекламы, статей, заказов), системы планирования «публикации», ее автоматизированного формирования, конвертации и распространения (ведение базы данных подписчиков, в случае www – версии рассылка «тиража» или уведомлений) и т. д.

Постановка задачи исследований

Глобальные компьютерные сети, такие как Интернет, способствовали созданию комплексных систем электронной коммуникации, которые значительно модифицировали обмен информацией, в том числе между научными сообществами и отдельными учеными. Причем сначала изменился стиль неформального общения (благодаря возможностям электронной почты, телекоммуникационных конференций и т.п.), а затем и стиль формальных научных контактов (публикации в сети книг, статей, материалов конференций и др.). Как правило, электронные документы имеют по крайней мере эквивалентный печатный вариант и обладают дополнительными возможностями: гипертекстовыми ссылками, трехмерной графикой, элементами видео.

Все больше научных журналов выходит в электронном формате, однако их существенные признаки остаются такими же, как и у традиционных изданий, а меняются только технические характеристики. Несмотря на большое количество проектов создания полнотекстовых баз данных и электронных периодических изданий, доступных в среде Интернет, какой-либо единой признанной модели и технологии создания соответствующих документов не существует. Каждый проект использует, как правило, свою технологию подготовки журналов, унифицируются лишь средства доступа к данным.

В то же время наблюдается быстрый рост периодических научных изданий, существующих только в электронном виде и издаваемых самими учеными без участия традиционных издателей. С упрощением процесса публикации в Интернете значительно возрастает объем авторских материалов, не прошедших рецензирования и редактирования.

Проблемы сосуществования новых и традиционных способов научной коммуникации волнуют многих исследователей. Предлагаются различные модели электронных периодических научных изданий – как внутри-, так и междисциплинарные. Обсуждается даже возможность выхода журнала в виде не отдельного номера или тома, а отдельных статей.

Таким образом, отсутствуют соответствующие требования, которым должна удовлетворять электронная система научной коммуникации, отвечающая нуждам отдельных специалистов, научных сообществ, работников библиотек и систем межбиблиотечного обмена, и их необходимо разработать.

Основное требование – круглосуточный доступ к электронным документам во всех больших компьютерных сетях. Они должны выявляться мощными общетематическими или специализированными поисковыми системами, позволяющими специалистам точно определить их местонахождение и получать файлы установленного формата для работы на персональном компьютере или копирования. Причем электронные документы должны храниться в сети в течение достаточно длительного времени, а их электронный адрес не должен меняться.

В электронных системах научной коммуникации могут быть представлены документы с различным уровнем редакторской обработки (авторские оригиналы, отредактированные, отрецензированные электронные документы). Основное требование безопасности в этой связи – защита первоисточника от искажений. Поэтому исправлять, обновлять и изменять электронный документ вправе только автор, однако оригинальный вариант должен сохраняться, а оригинал и последующие варианты должны быть четко обозначены.

Для определения степени новизны и важности научной работы могут использоваться разнообразные показатели: уровень цитируемости, частота обращения к электронному документу и т.д. Однако поскольку запросы пользователей на информацию должны быть конфиденциальны, то при подсчетах числа пользователей компьютерные системы их не идентифицируют.

Для борьбы с переизбытком информации создается индивидуализированный сервис – автоматическое оповещение отдельных специалистов о появлении новой работы в области их научных интересов. Эта услуга строится на основе ключевых слов публикаций, поскольку четко структурировать современные работы по узким областям знания нельзя. В этой связи встает вопрос: кто же будет осуществлять эту информационную деятельность?

Существуют два основных сценария электронного книгоиздания. По первому из них научная информация "делится" и дублируется в различных сервисных службах, каждая из которых выполняет определенную функцию, развивается и поддерживается различными участниками информационного

процесса. Эта модель продолжает и расширяет существующие службы. По второму сценарию научная информация хранится в одном месте, и библиографическое обслуживание осуществляет издатель научной литературы. Очевидно, что по разным причинам в нашей стране постепенно более широкое распространение получит именно последний вариант. Анализ тенденций в распространении научной периодики в электронном формате позволяет утверждать: функции хранения информации в целом переходят от библиотек к издательствам.

В рамках электронных издательств можно также организовать условия для неформального общения ученых. Они должны иметь возможность легко и быстро обмениваться идеями условленным способом (краткие оперативные сообщения, обзоры и комментарии до и после публикации документа и т.п.). Таким образом, легче будет распознаваться плагиат в научных публикациях.

В электронную эру суть журнала, содержащего статьи и выходящего в виде отдельных номеров, вероятно, изменится, но некоторые его характеристики как вида издания сохранятся. К ним относятся название, по которому оформляются библиографические ссылки, даты поступления материала и принятия его к публикации, система независимого рецензирования, указание о соответствии печатной и электронной версии и т.п.

Самым сложным вопросом остается финансовое обеспечение этих проектов. Все исследователи научной периодики и читатели (ученые) сходятся во мнении, что электронные документы должны распространяться по минимальным ценам или бесплатно. Обязанности по поддержанию необходимого уровня редактирования, рецензирования и распространения информации остаются у издателя. Часть расходов по подготовке электронных документов ряд авторов предлагает переложить на пользователей телекоммуникационных систем. При этом необходимо разработать методы идентификации пользователей.

Авторские права на электронные документы принадлежат их авторам, которые определяют и ограничения их использования, и то, за что взимается плата (например, за просмотр полной версии документа, его распечатывание или копирование). Владелец авторских прав должен быть известен пользователям, как и порядок получения разрешения на использование электронного документа. При этом ученые должны получить возможность использовать электронную информацию в некоммерческих целях, что будет способствовать свободному обмену научными идеями.

Для развития прочной системы электронной научной коммуникации будут существенны также еще несколько факторов: доступные цены на использование Интернета и развитие национальных, университетских, библиотечных компьютерных сетей, а также соответствующей телекоммуникационной пользовательской инфраструктуры в учебных и научно-исследовательских центрах.

Выводы

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что необходима централизованная издательская система, позволяющая выпускать электронные издания и создавать оригинал-макеты для печатных изданий. Эта система состоит из следующих компонентов:

- Web-сервер. Выполняет задачу авторизации пользователей и прием-передачу статей, выполняет их обработку и размещение в общей базе. Также предоставляет доступ к готовым электронным изданиям. Позволяет общаться и обмениваться информацией между авторами.

- Data-server. Это централизованное хранилище. Здесь хранятся готовые электронные издания и оригинал-макеты, а также обработанные и необработанные статьи.

У каждого издания существуют свои требования к оформлению, поэтому чтобы облегчить работу автору по форматированию статьи, используется система, позволяющая предоставлять оригинал статьи, который будет автоматически отформатирован в соответствии с требованиями издания. Можно выделить несколько вариантов приведения статьи к нужному формату:

1) автор передает статью в оригинале на сервер, статья размещается в общей базе в таблице статей на предварительную обработку. Затем эти статьи выгружаются и обрабатываются издателем, после чего загружаются в базу в таблицу обработанных статей, готовых к включению в издание;

2) автор передает статью в оригинале на сервер, статья размещается в общей базе в таблице статей на предварительную обработку. И статья автоматически обрабатывается сервером;

3) автор перед передачей статьи получает скрипт, который выполняет 90% работы по форматированию, и пользователю остается только проверить и внести мелкие поправки, если есть необходимость, после чего статья загружается в базу в таблицу обработанных статей, готовых к включению в издание.

Из этих трех вариантов наиболее подходящий третий. Он позволяет снять нагрузку с сервера и автор сразу видит статью в том виде, в котором она опубликуется.

На web-сервере предоставляется возможность скачать как полностью электронный журнал, так и отдельные его статьи. Полностью защитить авторские права в электронных изданиях можно только после выхода аналогичного издания из печати. Можно только ограничить возможности использования скаченного электронного издания или статьи путем конвертации его в формат pdf, который позволяет пользователю только читать документ без возможности скопировать или распечатать. При необходимости можно ввести систему разрешения скачать файл. Если кто-то захочет скачать статью, он должен получить разрешение от автора. В этой системе разрешений есть только один минус: при отсутствии контакта с автором возможность скачать файл недоступна.

В целом такая система не только ускорит и автоматизирует некоторые издательские процессы, но и более информативна и доступна.

УДК 616-073.65

Юдачев А.В., Кисарин О.А.

КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДАТЧИК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫХ БАТ

Изложены результаты разработки полупроводникового датчика на основе смещенного в прямом направлении р-п-перехода полупроводникового диода для измерения температуры и других параметров репрезентативных биологически активных точек. Предложена конструкция датчика с применением медной или серебряной теплопроводящей контактной сборки.

Введение. Медицинская электронная техника становится незаменимым

инструментом врача при диагностике, лечении и профилактике различных заболеваний. Диагностические приборы позволяют врачу оперативно контролировать некоторые внешние параметры жизнедеятельности организма пациента и на основе полученных данных с учетом медицинской практики сделать заключение о наличии или отсутствии того или иного расстройства, т.е. отклонения от состояния гомеостаза. К таким параметрам традиционно относятся артериальное давление, температура тела, частота пульса и т.д.

В последнее время для диагностики состояния пациента врачами широко используются параметры биологически активных точек (БАТ) [1]. Информативными параметрами БАТ являются: электрокожное сопротивление точки (ЭКС), температура точки (Т), концентрация выделяющегося из БАТ углекислого газа и т.д. Эта область медицины называется электропунктурной диагностикой и рефлексотерапией.

Состояние проблемы. При проведении мониторинга состояния пациента в целом или отдельных его органов с помощью традиционных методов контроля приходится производить сложные исследования (анализы), которые могут иметь высокую стоимость, требуют больших затрат времени и приводят к значительным нагрузкам на организм пациента, а результаты часто не дают однозначного ответа. Так, например, измерение температуры тела пациента дает косвенную грубую оценку состояния пациента (болен или нет), а измерение параметров артериального давления используется лишь для определения состояния сердечно-сосудистой системы пациента.

В настоящее время актуальной задачей является создание устройств и методик, дающих возможность производить такой контроль более оперативно с более высокой точностью. Желательно, чтобы указанные методики были неинвазивными и простыми в исполнении. Эта задача также актуальна и в акупунктурной диагностике и рефлексотерапии при исследовании БАТ.

К характеристикам кожного покрова пациента, несущим информацию обо всех его органах и системах, относятся ЭКС БАТ и их температура Т [2]. ЭКС БАТ несет информацию об активности органов пациента, а температура кожного покрова Т – о состоянии его нервной системы и кровенаполнении тканей [3]. В настоящее время технологии измерения ЭКС репрезентативных БАТ отработаны, их достоинства и недостатки, анализ погрешностей неоднократно описаны [4,5]. В то же время техника измерения температуры репрезентативных БАТ, вопросы конструирования датчиков для проведения таких измерений и анализ их погрешностей практически не исследовались. В работах А.И. Нечушкина и А.М. Гайдамакиной [4,5] определен диапазон изменения температуры репрезентативных БАТ, который находится в пределах от 22 до 37°С. Из этих же работ следует необходимость разработки простой конструкции датчика для измерения температуры репрезентативных БАТ с точностью не хуже 0,02°С (0.05%).

Постановка задачи исследований. В настоящей работе предложена конструкция комбинированного полупроводникового датчика для измерения температуры репрезентативных БАТ и их ЭКС. Датчик должен удовлетворять следующим техническим требованиям:

- минимальная масса и теплоемкость термочувствительного элемента датчика;

- максимальная линейность зависимости выходного параметра от температуры;

- минимальная погрешность преобразования;

- минимальное тепловое сопротивление термочувствительный элемент – кожа;

- максимальное тепловое сопротивление термочувствительный элемент – окружающая среда;

достаточный уровень сигнала датчика для его дальнейшей обработки.

Результаты эксперимента. В связи с тем что для измерения ЭКС БАТ необходим электрический контакт с кожей, было решено использовать контактный метод измерения температуры на основе полупроводникового датчика.

В качестве термочувствительного элемента использован прямо смещенный р-п переход полупроводникового диода, аналитическая зависимость падения напряжения ΔU от температуры T БАТ на котором, как известно [2], имеет вид:

$$\Delta U = \frac{kT}{e} \ln\left(1 + \frac{I}{I_0}\right), \quad (1)$$

где ΔU – напряжение на прямо смещенном р-п переходе, k – постоянная Больцмана, T – температура (Кельвин), e – заряд электрона, I – сила тока, протекающего через р-п переход полупроводникового диода, I_0 – величина обратного теплового тока р-п перехода.

Если силу тока I через р-п переход поддерживать равной I_0 , то рабочая точка диода будет находиться на нелинейном участке вольтамперной характеристики диода, и зависимость падения напряжения U можно представить так:

$$\Delta U = KT, \quad (2)$$

где $K = \frac{k \ln 2}{e}$ – постоянный коэффициент пропорциональности или чувствительность датчика.

Из формулы (2) видно, что при постоянном токе I через прямо смещенный переход диода напряжение на нем прямо пропорционально температуре. Чувствительность такого датчика K определяется согласно формуле (2) и для выбранного диапазона температур составляет примерно $6,1 \text{ мВ} \cdot \text{К}^{-1}$ [6].

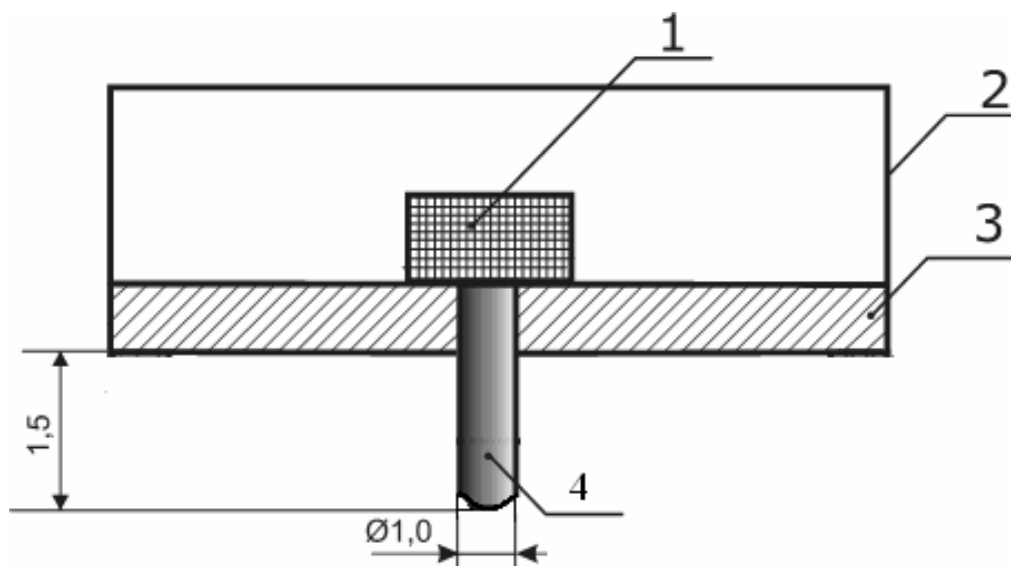
Сила тока через диод нами выбрана равной $0,1 \text{ мА}$. При такой силе тока не будет происходить нагрева структуры р-п перехода диода и, следовательно, не будет возникать дополнительная погрешность измерения температуры БАТ. Для стабилизации тока I термочувствительного элемента необходимо применить прецизионный стабилизатор тока (точность стабилизации не хуже $0,01\%$), который может быть выполнен с применением операционного усилителя.

Выходной аналоговый сигнал датчика преобразуется в цифровой с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), который в значительной мере влияет на величину основной систематической погрешности измерения температуры БАТ. В настоящее время все микропроцессорные комплекты, выпускаемые различными фирмами, имеют в своем составе 10-разрядные АЦП. Для нормальной работы АЦП входной сигнал должен быть отмасштабирован до уровня $3 - 5 \text{ В}$ с помощью линейного усилителя с погрешностью масштабирования не более $0,01\%$. Это позволит получить необходимую точность преобразования температуры БАТ в цифровой код (не хуже $0,05\%$). Масштабирующий усилитель с таким коэффициентом усиления (≈ 300) можно выполнить на операционных усилителях как отечественного, так и зарубежного производства.

Конструкция разработанного термочувствительного элемента комбинированного датчика приведена на рис. 1.

Корпус совместно с теплоотражающими поверхностями и теплоизолятором образуют эффективный тепловой экран, который обеспечивает тепловую изоляцию датчика от внешней среды. Теплопроводящая контактная сборка с полупроводниковым датчиком, установленная в биологически активную точку (БАТ), служит для измерения ЭКС БАТ и

одновременно для измерения ее температуры T . Все элементы датчика крепятся на основании, которое исполняет роль несущей конструкции. Для установки и фиксации датчика на БАТ служит устройство крепления, представляющее собой разъемный браслет быстрой фиксации. Он выполнен в виде ленты из полиэфирного материала с устройством быстрой фиксации. Таким образом, устройство крепления датчика может иметь размеры, необходимые для установки датчика практически на любую БАТ.



1 – полупроводниковый датчик; 2 – корпус; 3 – основание; 4 – теплопроводящая контактная сборка

Рис. 2. – Конструкция датчика для измерения температуры БАТ

Для повышения чувствительности датчика его желательно выполнить в виде четырех полупроводниковых диодов, соединенных последовательно и расположенных на одной пластине. Данный узел должен быть выполнен в едином технологическом цикле изготовления. Это позволит получить идентичность характеристик применяемых в датчике диодов и увеличить его чувствительность в четыре раза при сохранении линейности зависимости (2).

Расчет температурной инерционности датчика выполнен по формуле:

$$d\tau = \frac{Q_{кр} dl}{\lambda \Delta T dF} = \frac{(m_{кр} C_{кр} + m_{ТКС} C_{ТКС}) \Delta T dl}{\lambda \Delta T dF} = \frac{(m_{кр} C_{кр} + m_{ТКС} C_{ТКС}) dl}{\lambda dF}, \quad (3)$$

где $m_{кр}$ – масса кристалла датчика, $C_{кр}$ – удельная теплоемкость материала кристалла датчика, ΔT – изменение температуры кристалла датчика, λ – теплопроводность материала, ΔT – изменение температуры кристалла датчика, dF – площадь сечения, через которое производится теплопередача, $d\tau$ – время, необходимое для передачи количества теплоты ΔQ , dl – длина теплопроводника.

Таким образом, время, необходимое для стабилизации показаний датчика, зависит от длины, площади и материала теплопроводника датчика. Для получения минимальных величин тепловой инерции датчика в качестве теплопроводника необходимо использовать материал с большим коэффициентом теплопроводности и с малым удельным электрическим сопротивлением. В качестве материала для этих целей максимально подходят такие материалы, как медь и серебро. Диаметр теплопроводящей контактной сборки должен быть не более 1 мм, так как диаметр биологически активной

точки согласно [3,4,9] равен 1,0...1,2 мм. Длина теплопроводящей контактной сборки должна быть не более 1,5 мм, так как согласно [1,3] для нормального электрического контакта теплопроводящей контактной сборки с биологически активной точкой он должен выполнить прогиб кожи на 1,0-1,5 мм.

Расчет показал, что время, необходимое для стабилизации температуры датчика зависит от материала теплопроводящей контактной сборки и составляет для меди 0,112 с, а для серебра – 0,091 с.

Разработанная конструкция комбинированного датчика дает возможность наряду с измерением ЭКС БАТ проводить измерение температуры БАТ с интервалом времени 60 минут, что соответствует интервалу пиковой активности БАТ.

Выводы. Предложенная конструкция комбинированного датчика на основе прямо смещенных р-п переходов совместно с системой обработки информации позволяют выполнять одновременное измерение температуры и ЭКС БАТ. Это дает дополнительный информативный параметр, с помощью которого можно точнее диагностировать состояние пациента. Время для проведения одного такого измерения не превышает 10 секунд. Например, время для снятия параметров с 12 (двенадцати) репрезентативных БАТ не превышает 120 секунд (2 минуты). Такое сокращение времени получения результатов и возможность повторения аналогичных измерений с интервалом через 60 минут (1 час) позволяют проводить мониторинг состояния пациента.

Литература

1. Здоровье и альтернативная медицина [Электронный ресурс] / Диагностика и лечение методом риодораку. - Электрон.дан.- Режим доступа: // http://www.about-health-care.com/ryodoraku_page/ryodoraku_method.html, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз.рус.
2. Ф. Г. Портнов. Электropунктурная рефлексотерапия.– Рига: "Зинатне", 1997.
3. Бойцов И.В. Электropунктурная диагностика по «Риодораку». Витебск. 1999.
4. Нечушкин А. И., Гайдамакина А. М. // Экспериментальная и клиническая медицина. - 1981. - Т.21. -С. 164-172.
5. Нечушкин А. И., Гайдамакина А. М. Стандартный метод определения тонуса вегетативной нервной системы в норме и патологии //Журн. эксперим. и клинич. медицины. 1981. Т. 21. № 2. С. 164 – 172.
6. Гордов А.Н., Жагулло О.М., Иванова А.Г. Основы температурных измерений.– М.: Энергоатомиздат, 2002.
7. Г.Н. Алексеев. Общая теплотехника.– Москва: «Высшая школа», 1990г.
8. В.Е. Кузмичев. Законы и формулы физики. Справочник.– Киев: Наукова думка, 2001.
9. Пак Чжэ Ву. Лекции по Су-Джок акупунктуре.– Москва. Су-Джок академия, 2001.

УДК 622. 794. 4 - 52

Ульшин В.А., Довженко В.П., Бардамид В.И., Сапельников М.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ УГЛЯ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Приведены результаты исследований сушильной установки как объекта автоматического управления. Разработана математическая модель и система автоматической стабилизации влажности высушенного угля. Выполнены исследования САУ процессом сушки.

Введение. На действующих углеобогащительных фабриках термической сушке подвергается до 30-35% от количества поступающего на обогащение угля. В настоящее время в эксплуатации находятся в основном три вида сушильных установок: барабанные сушильные установки (58%), трубы-сушилки (34%) и сушильные установки кипящего слоя (8%).

На действующих сушильных установках осуществляется лишь контроль теплотехнических и аэродинамических параметров, регламентируемых правилами техники безопасности и контролируемых органами госнадзора. Управление сушильной установкой ведется вручную на основании результатов наблюдений, показаний приборов и рекомендаций режимной карты, поэтому качество (влажность высушенного угля) значительно зависит от опыта машиниста и его интуиции.

Постановка задачи. Для повышения качества сушки предложено автоматически стабилизировать влажность высушенного угля, что позволит снизить удельные затраты энергии. Систему управления сушильной установкой целесообразно построить по иерархическому принципу с выделением подсистем подготовки сушильного агента и собственно процесса сушки. Кроме этого должны выполняться следующие требования: автоматическая регистрация требуемых правилами техники безопасности технологических параметров, сигнализация об отклонениях технологических параметров от нормируемых значений, блочно-модульный принцип построения схем контроля и управления.

Сложность задачи заключается в том, что все типы сушильных установок имеют различные динамические характеристики. Так, сушильный барабан имеет транспортное запаздывание до 25 – 30 минут, в то время как в трубе-сушилке процесс сушки заканчивается в течение нескольких секунд. В сушильных установках кипящего слоя это время составляет десятки секунд. Для всех типов сушильных установок желательно использовать унифицированную систему автоматического управления, в которой необходимо предусмотреть не только различные параметры настройки регуляторов, но и разные законы регулирования. Такую систему можно реализовать на элементах с гибкой перестраиваемой структурой.

Такие же требования предъявляются и к системе управления механизмами сушильной установки, так как для разных фабрик технологические схемы и количество механизмов существенно отличаются. Требования правил безопасной эксплуатации сушильных установок также имеют значительные отличия для разных типов сушилок. Так, для процесса сушки в кипящем слое необходим дополнительный контроль и сигнализация о состоянии ряда параметров (температура в слое сушимого угля, превышение давления газа под решёткой, превышение температуры в сушилке более 120°C и др.)

Повышенные требования в настоящее время предъявляются и к системе пылеулавливания. Эффективность её работы влияет на уменьшение выноса твёрдой фазы в дымовых газах и улучшение санитарно-гигиенического состояния окружающей среды. По действующим санитарным нормам содержание угольной пыли в выбрасываемых в атмосферу газах не должно превышать 100 мг/м³. Существующие системы пылеулавливания не всегда обеспечивают эти нормы.

При сушке угольных концентратов до влажности 8% вынос тонких классов из сушильной камеры составляет до 25%. Поэтому для уменьшения выноса из сушильной установки необходимо не только применять эффективную систему пылеулавливания, но и настраивать режим работы сушильной установки в зависимости от конечной влажности высушенного угля.

Решение задачи. В общем случае задачу управления процессом сушки можно сформулировать так: отклонение влажности высушенного угля w_2 не должно превышать заданной величины w_2^*

$$|w_2| \leq w_2^* \quad (1)$$

при этом затраты на получение высушенного угля заданного качества должны быть минимальными

$$I = \min \int_0^t \sum_{i=1}^k c_i z_i(t) dt, \quad (2)$$

где I – затраты на получение угля заданной влажности;

c_i – стоимостный коэффициент по i – той статье затрат;

z_i – величина затрат по i – той статье.

Для выбора принципа построения системы автоматического управления процессом сушки выполнены экспериментальные исследования разных типов в промышленных условиях. Исследования проводились активно–пассивными методом. Для этого разработан специальный стенд, с помощью которого осуществлялась многосуточная регистрация десяти параметров одновременно, а также отбирались пробы исходного и высушенного угля с последующим химическим анализом на влажность.

Время запаздывания определялось путём добавления в сушимый уголь контрастного материала такого же гранулометрического состава и последующим определением времени появления его на конвейере высушенного угля.

Для идентификации динамических характеристик использован метод кривых разгона. Динамические свойства сушильной установки для всех типов сушилок аппроксимируются передаточной функцией $W(p)$ вида

$$W(p) = ke^{-\tau p} (T_1 p + 1)(T_2 p + 1), \quad (3)$$

где τ – время чистого запаздывания;

T_1, T_2 – постоянные времени объекта регулирования;

k – коэффициент усиления объекта регулирования.

Результаты определения параметров объекта управления по различным каналам управления сведены в таблицу. Из таблицы следует: по основному каналу управления «расход исходного угля – влажность высушенного угля» постоянные времени изменяются в пределах 150 – 170с и запаздывание - 96 – 360с. Большие значения динамических характеристик относятся к барабану большего типоразмера. Отмечена значительная нестабильность динамических параметров во времени. Труба–сушилка по каналу «расход исходного угля – влажность высушенного угля» аппроксимируется инерционным звеном с постоянной времени 50с и запаздыванием 40с.

Экспериментальными исследованиями установлено, что сушильный агрегат

Т а б л и ц а

Параметры барабанной сушилки

Тип сушильной установки	Канал объекта управления	Коэффициент усиления, k	Постоянная времени, с			Чистое запаздывание, с, τ
		Размерность	Величина	T_1	T_2	

1	2	3	4	5	6	7
Барабан сушильный СБ2,8*14	Расход исходного угля – влажность высушенного угля	$\frac{\%}{кг/с}$	1)	110	50	100
			0.72	100	50	50
	Расход исходного угля – температура в разгрузочной камере	$\frac{°C}{кг/с}$	2)			
			0.70			
			5			
	Расход исходного угля – температура в разгрузочной камере	$\frac{°C}{кг/с}$	1)	130	50	135
			3.07	80	70	120
			2)			
			1.6			
	Расход исходного угля – разрежение в разгрузочной камере	$\frac{Па}{кг/с}$	28.8	70	0	96
	Расход исходного угля – перепад давления на барабане	$\frac{Па}{кг/с}$	31.7	70	40	140
	Высота слоя топлива – температура в разгрузочной камере	$\frac{°C}{кг/с}$	84.4	300	40	1390
Барабан сушильный СБ3,5*18	Расход топлива в топке – температура в разгрузочной камере	$\frac{°C}{кг/с}$	58.4	400	140	240
			6			
	Расход топлива – влажность высушенного угля	$\frac{\%}{кг/с}$	13.2	240	0	280
	Расход исходного угля – влажность высушенного угля	$\frac{\%}{кг/с}$	0.03	170	0	960
	Влажность исходного угля – влажность высушенного угля		1.0	228	0	360
			0.7	360	0	480
Труба - сушилка	Расход исходного угля – влажность высушенного угля	$\frac{\%}{кг/с}$	0.34	50	0	40

обладает значительной нестабильностью параметров. Экспериментальные исследования невозможно выполнять во всех возможных режимах, особенно предаварийных,

поэтому при синтезе системы управления процессом сушки использовано моделирование.

Исследования выполнялись на статической и динамической моделях. Статическая модель разрабатывалась на основании известных уравнений теплового и материального баланса [1], динамическая – на основании экспериментально полученных передаточных функций. Расчёты выполнялись на ЭВМ по стандартным программам. Исследования на статической модели и результаты обработки данных экспериментальных исследований показали, что исследуемые параметры сохраняют стационарность только на коротких участках реализации. Влажность высушенного угля при этом определялась через передаточные функции трех каналов:

$$w_2(p) = \frac{0,03e^{-960p}}{168p+1} G(p) + \frac{0,7e^{-480p}}{360p+1} w(p) + \frac{0,2}{360p+1} v(p), \quad (4)$$

где $G(p)$ – преобразованная по Лапласу нагрузка по входу;

$w_1(p)$ – преобразованная по Лапласу влажность исходного угля;

$v(p)$ – преобразованный по Лапласу расход топлива.

Время спада автокорреляционных функций и частотный спектр исследуемых параметров также изменяются в широких пределах. Например, время спада корреляционной функции влажности исходного угля (ЦОФ «Червоноградская») в пределах нескольких реализаций изменяется в диапазоне от 470 до 3400 с, а влажности высушенного угля для этой же фабрики – от 600 до 1960 с.

При анализе корреляционных функций по отдельным параметрам установлено, что имеет место гармоническая составляющая, обусловленная характером возмущений. Большой диапазон изменения времени спада корреляционных функций свидетельствует о том, что такое изменение во времени возмущающего воздействия может привести к нарушению условия осуществимости и эффективности системы регулирования по отклонению $|z|$, для которого должно выполняться условие

$$\tau_{w_2} > \tau_0, \quad (5)$$

где τ_0 – время транспортного запаздывания в сушильной установке, с;

τ_{w_2} – время спада автокорреляционной функции влажности высушенного угля, с.

Время транспортного запаздывания угля в сушильном барабане не остаётся постоянным, а также изменяется от 1460 до 3020с (ЦОФ «Червоноградская»).

Корреляционные функции возмущающих воздействий в общем виде могут быть аппроксимированы выражением

$$r_x(\tau) = \sum_{i=1}^n A_i e^{-\alpha|\tau|} \cdot \cos \omega_i \cdot \tau, \quad (6)$$

где A_i, ω_i – амплитуда и частота спектра возмущений;

n – количество гармоник.

Уравнения регрессии зависимости влажности высушенного угля от параметров процесса сушки показали, что коэффициенты уравнения при одних и тех же параметрах изменяются как количественно (в 2 – 10 раз), так и по знаку, что свидетельствует о нестационарности процессов.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

а) возмущения, действующие на сушильную установку, в нормальном режиме работы могут рассматриваться как стационарные случайные функции с нормальным законом распределения только на коротком интервале времени;

б) по рангам влияния на влажность высушенного угля входные возмущения располагаются в такой последовательности: расход топлива, влажность исходного угля, теплота сгорания топлива, расход сушеного угля;

в) коэффициент корреляции между влажностью высушенного угля и температурой теплоагента в разгрузочной камере сушильной установки составляет 0.52. Это свидетельствует о возможности использования данного параметра в САУ влажности в качестве косвенного параметра, характеризующего влажность высушенного угля;

г) время транспортного запаздывания в сушильном барабане также изменяется в зависимости от производительности.

Транспортное запаздывание в сушильной установке составляет 10 – 16 мин., а время переходного процесса при использовании стандартного регулятора не менее 2τ , что является максимально допустимым /5/. Использование специальных регуляторов Смита и Ресвика, а также способ, предложенный в работе /3/, основанный на моделировании процесса сушки с последующей задержкой сигнала на время транспортного запаздывания и использовании его в качестве заданного значения, также не сможет обеспечить время регулирования, меньше теоретически возможного 2τ . В связи с тем, что время спада корреляционной функции конечной влажности угля изменяется в значительных пределах, управление по отклонению для барабанных сушильных установок проблематично.

Поэтому регуляторы, основанные на компенсации транспортного запаздывания, можно использовать для сушилок с небольшими величинами запаздывания (для труб-сушилок и сушилок кипящего слоя). Однако для унификации системы управления сушилками, имеющими различные динамические характеристики, целесообразно использовать комбинированное управление с компенсацией по возмущению – влажности сырого угля. Структурная схема такой комбинированной системы управления приведена на рисунке 1, а на рисунке 2 – структурная схема САУ процессом сушки угля с использованием компенсации транспортного запаздывания.

Разработанные системы управления этого класса представлены в работе /3/, а алгоритм их функционирования имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= \frac{1}{168} [0.03 \cdot (G + K_{10} (\frac{w^*}{w_1(t)} - 1)) - y_1]; \\ \frac{dy_2}{dt} &= \frac{1}{360} [0.7 \cdot w_1(t) - y_2]; \\ \frac{dy_3}{dt} &= \frac{1}{360} [0.2K_{11}(w_2^* - w_2) + K_{12} \cdot (w_2^* - w_2)^3 + K_{13} \int_t (w_2^* - w_2) dt - y_2]; \end{aligned} \quad (7)$$

$$W_2 = y_1(t - 960) + y_2(t - 480) - y_3;$$

где y_1 – реакция по каналу “расход сырого угля – влажность высушенного угля”;

t - текущее время;

G – расход исходного угля (производительность сушильной установки);

y_2 – реакция по каналу “влажность исходного угля – влажность высушенного угля”;

Решение системы уравнений (7) выполнялось с использованием стандартных программ методом Рунге-Куты. Выбор коэффициентов регуляторов осуществлялся таким образом: при максимально допустимом заданном значении величины перерегулирования $\sigma = 20\%$ (из требований устойчивости процесса), время регулирования должно быть минимальным.

На рисунке 3 приведены графики переходных процессов в системе управления процессом сушки с параметрической компенсацией возмущений при детерминированных и случайных возмущениях. Переходный процесс при детерминированных возмущениях носит колебательный характер, величина перерегулирования составляет $\sigma = 20\%$, время регулирования $t_n = 2000$ с, статическая ошибка отсутствует.

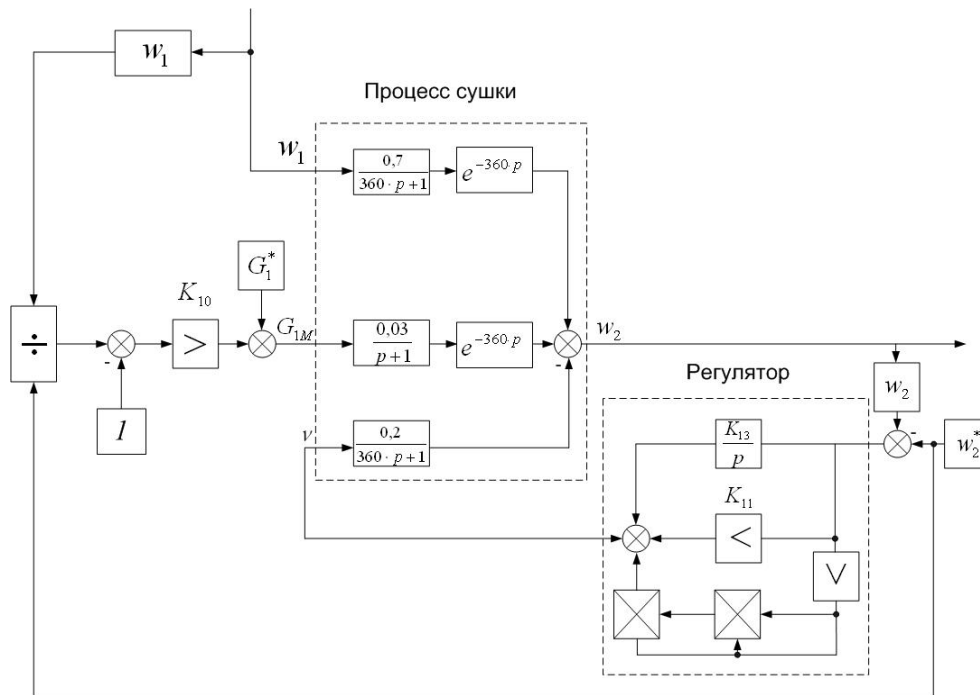


Рис. 1. Структурная схема комбинированной САУ процессом сушки угля

w_2^*, w_2 – заданная и текущая влажность высушенного угля;

y_3 – реакция по каналу “скорость сушильного агента – влажность высушенного угля;

$K_{10} - K_{13}$ – коэффициенты усиления нелинейных регуляторов;

w_1 – влажность исходного угля, поступающего на сушку.

При случайных возмущениях влажности исходного угля время регулирования увеличивается в пять раз, а процесс регулирования носит колебательный характер.

Поэтому вместо текущего значения влажности $w_1(t)$, необходимо использовать его среднее значение, вычисленное по выражению (7). Для снижения длительности переходного процесса подбирается коэффициент компенсации возмущений K_{10} , при котором минимизируется переходный процесс в контуре регулирования по отклонению (расход сушильного агента). На рисунке 4 приведены графики переходных процессов при полной компенсации возмущающего воздействия. В этом случае перерегулирование и статическая ошибка в системе равны нулю, а переходный процесс приближается к оптимальному по быстродействию, $t_n = 600$ с.

На рисунке 5 приведены графики изменения влажности высушенного угля при использовании САУ с компенсацией транспортного запаздывания. Как видно из кривых переходных процессов, в системе отсутствует колебательный режим, а переходный процесс заканчивается за 2τ , что приближает указанный регулятор к регуляторам Смита и Ресвика. Однако в системе имеет место значительная статическая ошибка, составляющая 40 – 45%. Следовательно, предложенная система управления устойчива при широком диапазоне параметров настройки регулятора.

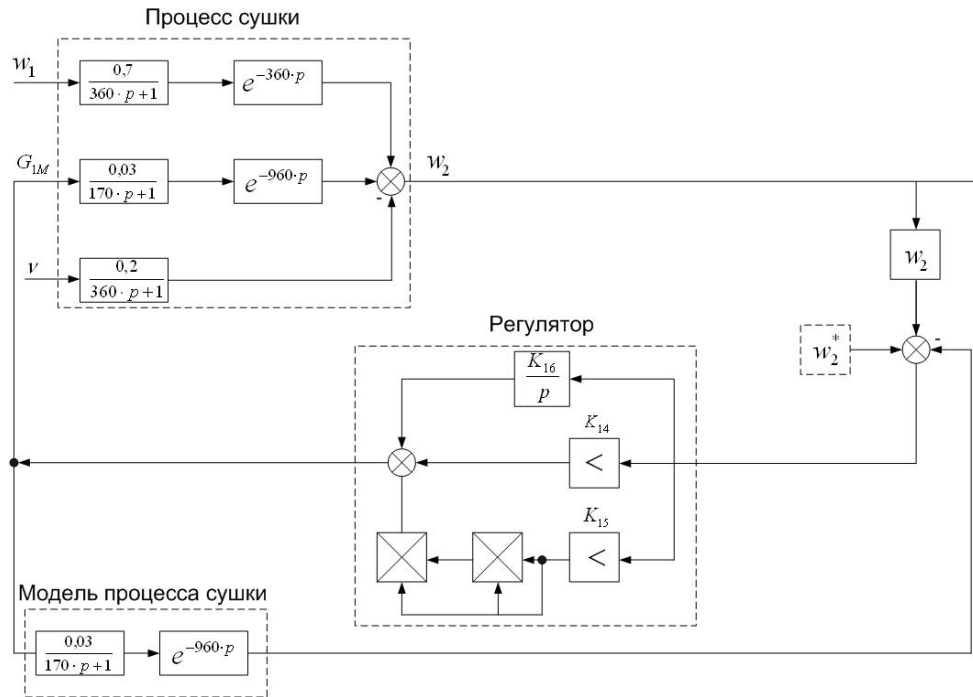


Рис.2. Структурная схема САУ процессом сушки с компенсацией транспортного запаздывания

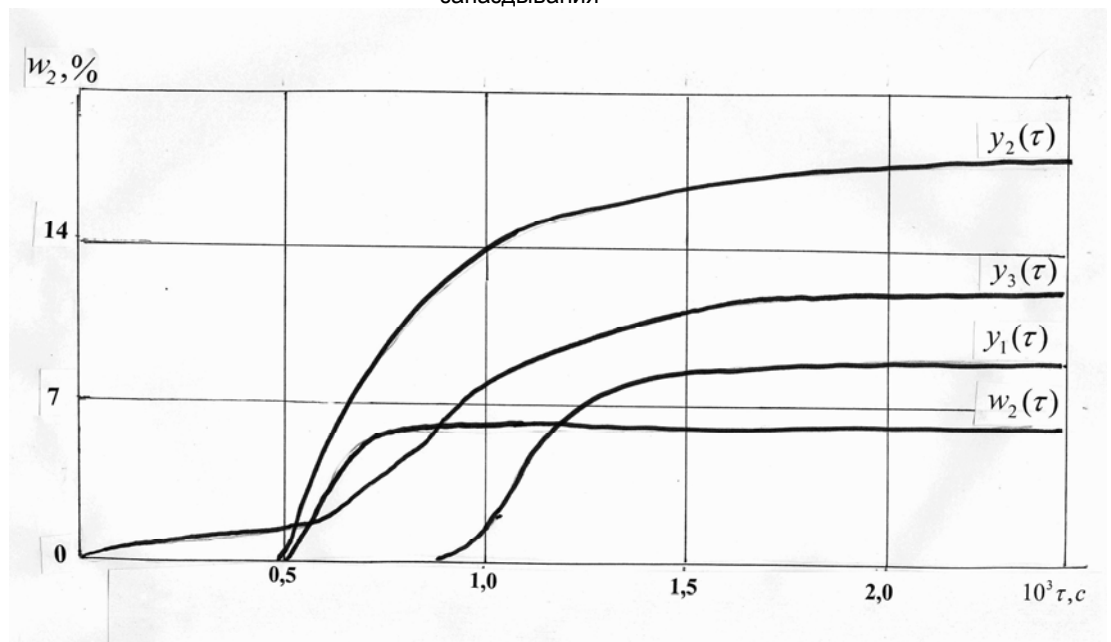


Рис.3. Переходный процесс в комбинированной САУ процессом сушки с параметрической компенсацией возмущений. Параметры настройки: $K_{10} = 12$; $K_{11} = 0,1$; $K_{12} = 0,01$; $K_{13} = 0,001$

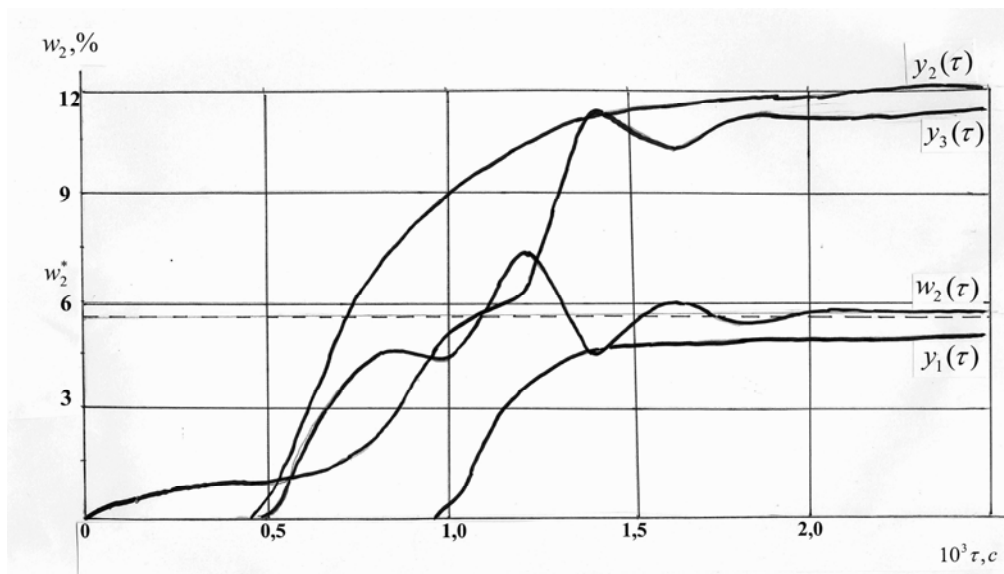


Рис. 4. Переходный процесс в комбинированной САУ процессом сушки с параметрической компенсацией возмущений. Параметры настройки: $K_{10} = 6$; $K_{11} = 0,1$; $K_{12} = 0,01$; $K_{13} = 0,0001$

По результатам исследований сушильных установок разработан, изготовлен и испытан в производственных условиях образец аппаратуры автоматизации процесса сушки угля в барабанной сушильной установке на базе микропроцессоров. Испытания образца подтвердили эффективность принятых технических решений. Установлено, что САУ процессом сушки позволяет снизить среднюю влажность высушенного угля на 4 – 4.5% по сравнению с ручным управлением. Результаты испытаний показали также, что для автоматического режима управления процессом сушки наиболее эффективны алгоритмы с параметрической компенсацией возмущений.

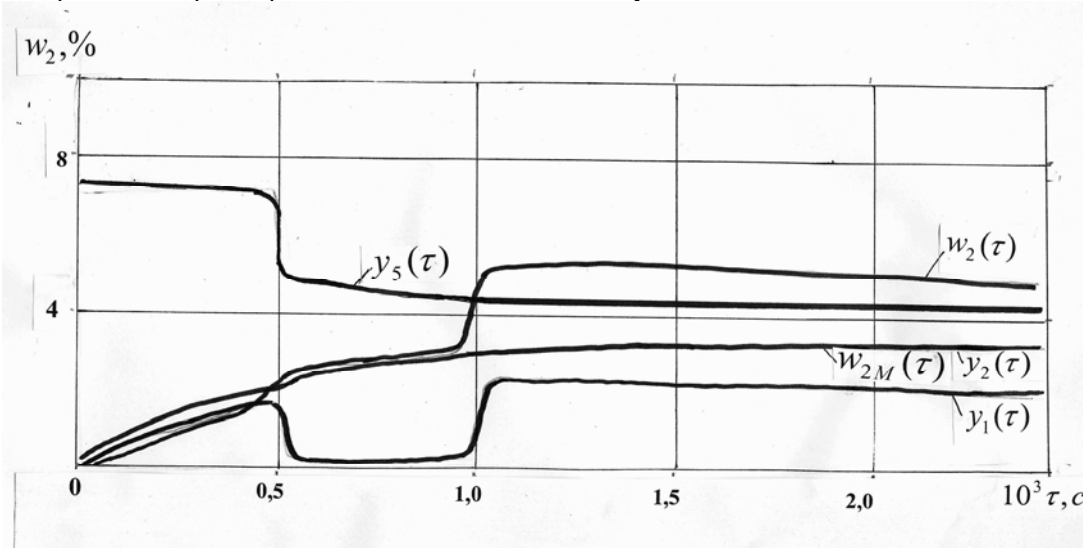


Рис.5. Переходный процесс в САУ процессом сушки с компенсацией транспортного запаздывания. Параметры настройки: $K_{14} = 0,1$; $K_{15} = 0,1$; $K_{16} = 0,001$

Литература

1. Филиппов В.А. Конструкция, расчёт и эксплуатация устройств и

- оборудования для сушки минерального сырья. – М.; Недра, 1979. – 309с.
2. Романенко А.Ф., Сергеев И.А. Вопросы прикладного анализа случайных процессов. М.: Советское радио, 1968. – 255с.
3. А.С. 1016646 СССР, МКИ Г26 В25/22. Способ автоматического регулирования процесса сушки сыпучих материалов. А.С.Меняйленко, В.А.Ульшин, В.И.Бардаמיד, П.Я.Матвиенко (СССР) заявлено №3304550/24/06 от 11.06.81; опубл. 07.05.83 Бюл. №17-150с.
- 4.Попов Е.П. Прикладная теория процессов управления в нелинейных системах. – М.: Наука, 1973 – 584с.
- 5 Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. Перев. с польского. – М.: Машиностроение, 1974. – 328с.

АННОТАЦИИ

УДК 62-68:629.331

Бербец А.Н., Петренко С.А.

ПРИМЕНЕНИЕ БИОТОПЛИВА ДЛЯ АВТОМОБИЛЯ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Упомянуто, что представляют собой современные виды биотоплива, приведены виды биотоплива для автомобиля, перспективы его применения и проблемы использования. Ист. 3.

Berbets A.N., Petrenko S.A.

USING BIOFUEL FOR CAR // Visnik SNU – 2008 №1

Mentioned that present itself modern types biofuel, brought types bio-fuel for car, prospects of his(its) using and problems of the use. Ist. 3.

УДК 681.5

Бодянский Е.В., Zubov Д.А.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ САМОНАСТРАИВАЮЩИЙСЯ АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ КВАЗИПРЯМОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ДИСКРЕТНОГО УПРАВЛЕНИЯ МИМО-ОБЪЕКТАМИ С ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛЬЮ И ЗАПАЗДЫВАНИЕМ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Рассмотрен вопрос модификации самонастраивающегося адаптивного алгоритма квазипрямого автоматического дискретного управления МИМО-объектами с линейной моделью и запаздыванием. Представлены алгоритмы адаптивного дуального и активно-адаптивного управления указанным классом МИМО-объектов и аналитически показано их преимущество относительно известного подхода С.Хана (С.Han)

Bodyansky E.V., Zubov D.A.

INNOVATIVE SELF-TUNING ADAPTIVE ALGORITHM OF AUTOMATIC DISCRETE CONTROL BY MIMO-OBJECTS WITH A LINEAR MODEL AND DELAY // Visnik SNU – 2008 №1

The question of innovative self-tuning adaptive algorithm of automatic discrete control by MIMO-objects with a linear model and delay is considered. The algorithms of dual-adaptive and active-adaptive control by the specified class of MIMO-objects are represented and their advantage is analytically shown in relation to the known C.Han approach

УДК 519.6

Бунь Р.А., Гамаль Х.В.

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Представлены математическая модель и геоинформационная технология пространственной инвентаризации парниковых газов в энергетической области на региональном уровне. Описаны основные компоненты геоинформационной технологии. Используя результаты осуществленных числовых экспериментов по пространственной инвентаризации парниковых газов прямого действия на уровне элементарных участков (10x10 км), проанализирована структура суммарных выбросов по областям экономики по результатам хозяйственной деятельности Львовской обл. в 2004 г. и оценен вклад каждого административного района, а также городов областного подчинения в суммарные выбросы. Рис. 5, ист. 10.

Bun R.A., Hamal K.V.

GEOINFORMATION TECHNOLOGY FOR SPATIAL GREENHOUSE GAS EMISSIONS INVENTORY IN ENERGY SECTOR // Visnik SNU – 2008 №1

Mathematical model and geoinformation technology for spatial greenhouse gas emissions inventory in energy sector on the regional level is considered. Main components of the geoinformation technology are described. The structure of total emissions in economy sectors, according to economical activity results in Lviv region in 2004 is analyzed and each administrative unit's contribution to summarized emissions is estimated on the basis of executed numerical experiments, dedicated to spatial direct-acting greenhouse gas inventory on the level of elementary plots (10x10 km). Fig. 5, ref. 10.

УДК 519.6

Бунь А.Р., Йонас М.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ ПО ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ: СРАВНЕНИЕ УКРАИНЫ И СТРАН ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Представлена информационная система для анализа неопределенностей при инвентаризации парниковых газов, которая дает возможность осуществлять детальные исследования эмиссий парниковых газов. С использованием предложенного инструментария осуществлен анализ эмиссий парниковых газов в странах Европейского Союза и Украины за период 2002-2004 гг. Рис. 3, ист. 10.

Bun A.R., Jonas M.

INFORMATION SYSTEM FOR VERIFICATION OF COMPLIANCE WITH GREENHOUSE GAS EMISSION COMMITMENTS: UKRAINE AND EUROPEAN UNION MEMBER STATES // Visnik SNU – 2008 №1

An information system for analysis of uncertainty of greenhouse gas inventory is presented. It allows analyzing of greenhouse gas emissions considering uncertainty. Proposed information system was used for carrying out analysis of greenhouse gas emissions by EU Member States and Ukraine in 2002–2004. Fig. 3, ref. 10.

УДК 621.316

Голенков Г.М., Веремеенко А.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОММУТАЦИОННОГО АППАРАТА С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБМОТКОЙ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Рассмотрены коммутационные аппараты и проанализирована работа приводов исполнительных механизмов разъединителей. Предложена конструкция разъединителя, приводом которого является коаксиально-линейный асинхронный электродвигатель с комбинированной обмоткой бегуна, его схема замещения, промоделированы электромеханические переходные процессы коммутатора

Golenkov G.M., Veremeenko A.V.

DESIGN OF WORK OF INTERCONNECT VEHICLE WITH THE COMBINED PUTTEE OF LINEAR ASYNCHRONOUS ENGINE // Visnik SNU – 2008 №1

Interconnect vehicles are considered and work of drives of executive mechanisms of disconnecter is analysed. The construction of disconnecter the drive of which is a coaxially-linear asynchronous electric motor with the combined puttee of runner, his chart of substitution, is offered, modeled electromechanics transients of switchboard

УДК 621.313.323, 65.002.5-868

Голенков Г.М.; Пархоменко Д.І., Макогон С.А., Бондар Р.П.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОАКСІАЛЬНО-ЛІНІЙНОГО ІНДУКЦІЙНОГО ВІБРАТОРА З МАГНІТНИМ ПІДВІСОМ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Досліджено питання і проведено експериментальні випробування, пов'язані з використанням магнітного підвісу для зміни жорсткості пружного елемента в коаксиально-лінійному індукційному вібраторі. Рис. 4, дж. 8.

Golenkov G.M.; Parkhomenko D.I., Makogon S.A., Bondar R.P.

RESEARCH OF WORK OF COAXIALLY LINEAR INDUCTION VIBRATOR WITH MAGNETIC BRACKET // Visnik SNU – 2008 №1

Investigational a question is conducted experimental tests, CPLD with the use of magnetic bracket for the change of inflexibility of resilient element in a coaxially linear induction vibrator. Img. 4, src. 8.

УДК 523.165

Голубничий П.И., Филоненко А.Д., Филоненко В.А., Хлевнюк А.В., Хлевнюк В.С.

О ПРОБЛЕМЕ КОМПАКТНОСТИ В МОДЕЛЯХ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

В решении проблемы компактности источника гамма-всплеска важную роль играет правильная оценка длительности импульса излучения. Для упрощения этих оценок в модели фаерболла считается предпочтительным использование принципов классической механики, а не релятивистской. В настоящей работе показано, что применение релятивистских постулатов для оценки длительности излучения гамма-всплеска в сопутствующей системе координат приводит к уменьшению величины показателя степени лоренц-фактора в два раза. Это в свою очередь увеличивает оптическую толщину в модели фаерболла на несколько порядков и предъявляет к ней более жёсткие требования. Ист.7, рис. 2.

Golubnichii P.I., Filonenko A.D., Filonenko V.A., Khlevniuk A.V., Khlevniuk V.S.
ON PROBLEM OF COMPACTNESS IN THE MODEL OF GAMMA RAY BURST //

Visnik SNU – 2008 №1

In solving the problem of compactness of gamma-burst source an important role is played by the correct estimation of duration of the radiation's pulse of the radiation. For simplification of the estimation in the fireball models it is considered that one uses Newton mechanics rather than relativistic. In present work it is shown that using relativistic postulate for estimation of duration of the gamma-burst radiation in commoving frame brings about a reduction of the value of the order Lorentz-factor by two times. This, in turn, enlarges the optical thickness in the fireball model by several orders and presents to the fireball models a more hard requirements. Ref. 7, Fig. 2.

УДК 21.382-541.5

Горбань А.Н., Кравчина В.В., Гомольский Д.М.

ФОРМИРОВАНИЕ БЫСТРОВОСТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ КРЕМНИЕВЫХ СИЛОВЫХ ДИОДОВ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

В работе проводилось исследование зависимости времени восстановления при отжиге диодных структур после их облучения электронами различной энергии 4 и 10 МэВ с дозами $6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ и $8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Диоды с минимальным временем восстановления $t_{rr} = 0,2 - 0,3 \text{ мкс}$ и максимальным коэффициентом формы K_f тока восстановления получены при отжиге структур после облучения электронами энергией 4 МэВ и дозой $6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$. Оптимизация состава рекомбинационных центров и времени восстановления на диодных структурах заключается в оптимизации отношения концентрации дивакансии $E_3(0,37)$ к концентрации остальных дефектов

Gorban A.N., Kravchina V.V., Gomol'skiy D.M.

FORMING OF QUICK RECOVERABLE OF SILICIC POWER DIODES // Visnik

SNU – 2008 №1

Research of dependence of time of renewal at annealing of diode structures was in-process conducted after their irradiation the electrons of different energy 4 and 10 MEV with doses $6 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ and $8 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$. Diodes with minimum time of renewal of $t_{rr} = 0,2 - 0,3 \text{ mks}$ and got the maximal coefficient of form of K_f of current of renewal at annealing of structures after an irradiation electrons by energy 4 MEV and dose $6 \cdot 10^{15} \text{ see}^{-2}$. Optimization of composition of recombination centers and time of renewal on diode structures consists in optimization of relation of concentration of divacancy $E_3(0,37)$ to the concentration of other defects

УДК 681.513.2

Горбунов А.И., Карлов В.В., Карлов Е.В.

КОНСТРУКЦИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АГРЕГАТА ФОРМОВКИ СТЕНОВЫХ БЛОКОВ ДЛЯ ОПРОБОВАНИЯ И НАЛАДКИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

На основании анализа функционирования агрегата для формовки стеновых блоков и его словесного описания определены алгоритм работы и основные требования к конструкции физической модели функционирования этого агрегата, при помощи которой возможны опробование и наладка алгоритма и программы для управляющего агрегатом автомата. Рис. 6, ист. 6

Gorbunov A.I., Karlov V.V., Karlov E.V.

CONSTRUCTION OF PHYSICAL MODEL OF FUNCTIONING OF AGGREGATE OF MOULDING OF WALL BLOCKS FOR ASSAY AND ADJUSTING OF CONTROL THE PROGRAM // Visnik SNU – 2008 №1

On the basis of analysis of functioning of aggregate for moulding of blocks and his verbal description the algorithm of work and the basic requirements is certain to the construction of physical model of functioning of this aggregate, which an assay and adjusting of algorithm and program for a manager the aggregate of automat is possible through. Fig. 6, src. 6

УДК 681.3:621.3

Демиденко Е.А., Кисарин О.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ В ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Представлен новый подход к цифровым интегральным схемам с применением оптических связей, описан макет оптоэлектронной цифровой интегральной схемы на оптоэлектронных логических элементах типа ИЛИ-НЕ. Ист. 11.

Demydenko O. Kysaryn O.

APPLICATION OF OPTICAL CONNECTIONS IN DIGITAL OPTOELECTRONIC INTEGRATED CIRCUITS // Visnik SNU – 2008 №1

The new approach to digital integrated circuits with application of optical connections is submitted, the breadboard model the optoelectronic digital integrated circuit on the optoelectronic logic elements of type NOR-NOT is described

УДК 681.516

Денищик С.С., Литвинов А.И.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕАЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ // ВІСНИК СНУ ІМ. В. ДАЛЯ – 2008 №1

В работе рассматриваются проблемы построения оптимальных регуляторов с получением недоступных измерению фазовых координат получением производных и исследуются принципы синтеза реальных производных в системе регулирования

Denischik S.S., Litwinow A.I.

SYNTHESIS OF OPTIMUM CONTROL WITH APPLICATION REAL DERIVATIVE // Visnik SNU – 2008 №1

In job the problems of construction of optimum regulators with reception of phase coordinates, inaccessible to measurement, by reception derivative are considered and the principles of synthesis real derivative in system are investigated

УДК 537.591.15

Дзьобак С.В., Филоненко А.Д.

О ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕНКОВСКОГО РАДИОИМПУЛЬСА ЧЕРЕЗ ИОНОСФЕРУ ЗЕМЛИ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Рассмотрены эффекты, возникающие при распространении короткого биполярного радиосигнала длительностью ~ 1нс через ионосферу Земли. Обсуждается возможность применения эффектов дисперсии для отделения полезного сигнала от радиопомех местного происхождения. Ист. 17, рис. 5.

Dzyobak S., Filonenko A.

PASSING OF CHERENKOV RADIOIMPULS THROUGH IONOSPHERE OF THE EARTH // Visnik SNU – 2008 №1

The effects, appearing when spreading short bipolar radio signal by duration ~ 1ns through ionosphere of the Earth are considered. The possibility of using effect to dispersions for branch of the useful signal from radio noise of the local origin is discussed. Ref. 17. Fig. 5.

УДК 620.179.16

Еременко В.С., Суслов Е.Ф., Монченко Е.В.

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

На примере системы импедансного контроля рассмотрены аспекты применения современных информационных технологий в приборостроении. Показано, что разработка специализированного информационного обеспечения систем позволяет расширить их функциональные возможности, а также использовать дополнительные методы обработки информативных сигналов, позволяющие повысить достоверность контроля. Рис. 3, ист. 4.

Eremenko E.F. Suslov O.V Monchenko

MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES IN SYSTEMS OF NONDESTRUCTIVE TESTING // Visnik SNU – 2008 №1

By the example of impedans testing system considered aspects of using of modern information technologies in instrument-making. Design of particularized software for testing system allow to expand functional capabilities of similar systems. Also using additional methods of informational signal processing allow to raise quality of testing

УДК 681.324 004.738.52

Жариков Э. В., Малахов К. К.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Сложные высокотехнологичные устройства получили широкое распространение в деловой и повседневной жизни человека. Вместе с тем возросло количество неисправностей и актуальной является разработка многоагентных экспертных систем для повышения эффективности методов диагностики и поддержки принятия решений. Предложена архитектура многоагентной системы для диагностики неисправностей на примере мобильных телефонов. Приведены основные преимущества использования экспертных систем в многоагентных системах

Zharikov E. V., Malakhov K. K.

USING MULTI-AGENT SYSTEMS FOR THE DECISION OF PROBLEMS OF DIAGNOSTICS // Visnik SNU – 2008 №1

Complex hi-tech devices have received a wide circulation in business and daily human life. At the same time the amount of malfunctions has increased and development Multi-Agent expert systems for increase of efficiency of methods of diagnostics and support of decision-making is actual. The architecture Multi-Agent systems for diagnostics of malfunctions on an example of mobile phones is offered. The basic advantages of use of expert systems in Multi-Agent systems are resulted

УДК 621.311

Жиленков А.А.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР – ВЫПРЯМИТЕЛЬ – ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ СОИЗМЕРИМОСТИ МОЩНОСТЕЙ ГЕНЕРАТОРА И ДВИГАТЕЛЯ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Для анализа работы систем, включающих полупроводниковые преобразователи, в основном используются оценочные выражения, не позволяющие проводить исследования их работы в динамике. С другой стороны, математическое моделирование негармонических периодических процессов как в электрических сетях, так и в отдельных устройствах, является востребованной и актуальной современной научной проблемой

Zhilentkov A.A.

MATHEMATICAL MODEL OF SYSTEM SYNCHRONOUS GENERATOR IS RECTIFIER IS ENGINE OF DIRECT-CURRENT AT COMMENSURABLENESS OF POWERS OF GENERATOR AND ENGINE // Visnik SNU – 2008 №1

For the analysis of work of the systems, including semiconductor transformers, evaluation expressions, not allowing to conduct research of their work in a dynamics, are mainly utilized. De autre part, mathematical design of inharmonious batch processes both in electric networks and in separate devices, is the claimed and актуальной modern scientific problem

УДК 621.316.925

Кобазев В.П.

ПОХИБКИ ФАЗОВОГО ПОКАЖЧИКА НАСТРОЙКИ ДУГОГАСНОГО РЕАКТОРА ЗІ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ЗА НАПРУГОЮ НЕЙТРАЛІ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Наведені співвідношення для розрахунку абсолютної і відносної похибок, що викликані неідеальністю джерела струму у виді додаткового конденсатора, який вмикається між фазою мережі і землею. Результати розрахунку показали, що відносна похибка показчика не перевищує одного відсотка. Рис. 3, дж. 2.

Kobazev V.P.

ERRORS OF PHASE INDICATOR OF ARC-SUPPRESSING REACTOR CONTROL WITH NEUTRAL VOLTAGE FEED-BACK // Visnik SNU – 2008 №1

The relationships for absolute and relative errors, which are caused by current source no ideality in the form of additional condenser, which is connected between network phase and ground, are listed. The calculation results showed that indicator relative error doesn't exceed one percentage. Fig. 3, source 2.

УДК 621.396

Кострюков В.П., Кохан Е.В.

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СООРУЖЕНИЙ // Вісник СЧУ ім. В. Даля – 2008 №1

В работе разработана нечеткая база знаний экспертной системы оценки надежности сооружений. Разработана структура базы знаний, представлен алгоритм получения знаний от экспертов и алгоритм нечеткого логического вывода. Рис. 3, ист. 5.

Kostrukov V., Kohan E.

DEVELOPMENT OF BASE OF KNOWLEDGES OF CONSULTING MODEL OF DIAGNOSTICS OF BUILDINGS // Visnik SNU – 2008 №1

The unclear base of knowledges of consulting model of estimation of reliability of buildings is developed in work. The structure of base of knowledges is developed, the algorithm of collecting knowledges from experts and algorithm of unclear logical conclusion is presented

УДК 621.396

Кострюков В.П., Лобур С.Н.

РАЗРАБОТКА САМОНАСТРАИВАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННОЙ // Вісник СЧУ ім. В. Даля – 2008 №1

В работе разработана самонастраивающаяся система управления тарельчатой ректификационной колонной. Оптимальный закон управления получен из условия предсказания выходной координаты объекта управления. Оценка параметров модели выполнена на основе рекуррентного МНК. Ист. 5.

Kostrukov V, Lobur S.

ADAPTIVE CONTROL A RECTIFICATION COLUMN SYSTEM // Visnik SNU – 2008 №1

The adaptive control a rectification column system is developed in work. The optimum law of management is got from the condition of prediction of output co-ordinate of management object. The estimation of model parameters is executed on the basis of recurrent MNK. Src. 5.

УДК 532.785

Курнацкий А.В., Коломоец А.Г.

ПРОБЛЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ НАТРИЯ-КАЛИЯ ВИННОКИСЛОГО // Вісник СЧУ ім. В. Даля – 2008 №1

В настоящей работе рассмотрены теоретические вопросы кристаллизации из водных растворов, предложена конструкция термостабилизатора, дана обобщенная методика выращивания пьезоэлектрических кристаллов натрия-калия виннокислого. Рис. 1, ист. 2.

Kurnatsky A.V., Kolomoets A.G.

THE PROBLEM OF CULTIVATION OF SINGLE CRYSTALS OF SEGNET SALTS // Visnik SNU – 2008 №1

In the present work theoretical questions of crystallization from water solutions are considered, the design of a heat stabilizer is offered, the generalized technique of cultivation of piezoelectric crystals of segnet salts is given. Fig. 1, Ref. 2.

УДК 621.317

Куч Ю.В., Лапіга І.М., Монченко О.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІКОННОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ В ЗАДАЧАХ ФАЗОМЕТРІЇ // Вісник СЧУ ім. В. Даля – 2008 №1

Розглянуто метод зменшення методичної похибки вимірювань фазових характеристик сигналів з використанням перетворення Гільберта, яка виникає внаслідок скінченного часу обробки сигналів. Зменшення похибки досягається за рахунок віконної обробки сигналів вікном Чебишева. Рис.6, дж.4.

Kuc Yu.V., Lapiga I.M., Monchenko O.V.

RESEARCH OF WINDOW TREATMENT OF SIGNALS IN TASKS OF PHASEMETRICS // Visnik SNU – 2008 №1

The method of diminishing of methodical error of measurings of phase-shift-frequencies of signals is considered with the use of transformation of Gilbert, which arises up as a result of complete time of treatment of signals. Diminishing of error is arrived at due to window treatment of signals the window of Chebisheva. lmg.6, src.4.

УДК 371. 671: 004: 371.31.001.71

Луцишин С.И.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНИК КАК СРЕДСТВО ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

// Вісник СЧУ ім. В. Даля – 2008 №1

Приведена концепция дистанционного обучения, как одна из форм современных непрерывных образовательных услуг, предоставляемых широкому населению на любом расстоянии без личного контакта обучающего и обучаемого. Ист. 3.

Lucishin S.I.

ELECTRONIC TEXTBOOK AS TOOL OF THE CONTROLLED FROM DISTANCE TEACHING // Visnik SNU – 2008 №1

Conception of the controlled from distance teaching is resulted, as one of forms of modern continuous educational services, given a wide population on any distance without the personal contact teaching and taught. Src. 3

УДК 371.3.001.73:004

Луцишин С.И., Петренко С.А.

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЦЕССЕ

РЕФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ // Вісник СЧУ ім. В. Даля – 2008

№1

Приведены новые технологии обучения, созданные возникновением и развитием Интернета, электронных учебников и др. средств, пригодных для массового и дистанционного обучения. Ист. 4.

Lucishin S.I., Petrenko S.A.

NEW INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF REFORMATION OF DEPARTMENTAL // Visnik SNU – 2008 №1

New technologies are resulted teaching, created an origin and development of the Internet, electronic textbooks and other of tools, suitable for the mass and controlled from distance teaching. Src. 4

УДК 371. 671: 004: 371.31.001.71

Луцишин С.И., Петренко С.А.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНИК – АВАНГАРД ПРОГРЕССИВНЫХ МЕТОДОВ

ОБУЧЕНИЯ // Вісник СЧУ ім. В. Даля – 2008 №1

Рассмотрены вопросы построения электронных учебников на базе интерфейсов с использованием аудио- и видеоподсказок и других средств обучения. Ист. 4.

Lucishin S.I., Petrenko S.A.

ELECTRONIC TEXTBOOK IS ADVANCE-GUARD OF PROGRESSIVE METHODS OF TEACHING // Visnik SNU – 2008 №1

The questions of construction of electronic textbooks are considered on the base of interfaces with the use of sound and videoprompts and other tools of teaching. Src. 4

УДК 621.539.3

Малахов О.В., Смирный М.Ф., Солодовник М.Д., Малахова М.О.,

Семенова С.С.

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

ОБОЛОЧЕЧНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЫ // Вісник СЧУ ім. В. Даля – 2008 №1

Дана оценка экспериментальным и аналитическим результатам по определению недопустимых комбинированных нагрузок на несущие конструкции трубопроводного транспорта. Обосновывается необходимость непрерывного магнитометрического контроля трубопроводов, работающих в условиях техногенно опасных производств

Malakhov O.V., Smirniy M.F., Solodovnik M.D., Malakhova M.O.,

Semenova S.S.

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES ON STABILITY OF

OBOLOCHETCHNIH METALLOKONSTRUKTSIY OF THE LIMITED LENGTH //

Visnik SNU – 2008 №1

Estimation is given to the results experimental and analytical on determination of the impermissible combined loading on bearing constructions of pipeline transport. The necessity of continuous magnetometer control of pipelines working in the conditions of tehnogenno dangerous productions is grounded

УД К 621.83

Мединцева Ю.В., Балицкая Т.Ю., Ратов Д.В.

О ДВУХТОЧЕЧНОСТИ КОНТАКТА В ЗУБЧАТЫХ КВАЗИГИПЕРБОЛОИДНЫХ ПЕРЕДАЧАХ НОВИКОВА // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

На основе аналитических критериев соблюдения и отклонения двухточечного контакта в передачах Новикова проведено численное исследование влияния погрешностей изготовления и монтажа на существование двухточечного контакта в зубчатых квазигиперболоидных передачах Новикова для ряда известных и новых исходных контуров

Medinceva Y.V., Balitskaya T.Y., Ratov D.V.

ABOUT CONTACT IN KVASIGIPERBOLOID GEARS TRANSFERS OF NOVIKOV // Visnik SNU – 2008 №1

On the basis of analytical criteria of observance and a deviation of point-to-point contact in transfers of Novikov numerical research of influence of errors of manufacturing and installation on existence of point-to-point contact in gear kvasigiperboloid transfers of Novikov for lines of known and new initial contours is lead

УДК 543.257.2(088.8)

Михайлин В.Н., Тисличенко А.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ХЛОРСЕРЕБРЯНОГО ЭЛЕКТРОДА // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Показано влияние паяных соединений на воспроизводимость стандартных потенциалов электродов II рода. Предложена конструкция хлорсеребряного электрода без паяных соединений. Рис. 1, источн. 4.

Mikhailin V.N., Tislichenko A.S.

INVESTIGATION OF A SILVER/SILVER CHLORIDE ELECTRODE'S NEW CONSTRUCTION // Visnik SNU – 2008 №1

Influence of solder junctions to reproduction of second kind electrodes' standard potentials is shown. Construction of the silver/silver chloride electrode without solder junctions is proposed. Pic. 1, sources 4.

УДК 621.31

Мороз Н.Г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА В РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Рассматривается способ реализации спектрометра ионизирующих излучений на базе цифрового сигнального процессора, анализирующего форму сцинтилляционного импульса

Moroz N.

USAGE OF DIGITAL SIGNAL PROCESSOR IN RADIOMETRIC EQUIPMENT // Visnik SNU – 2008 №1

Examine method of realization radiation spectrometer on the basis of digital signal processor, analyses shape of scintillation pulse

УДК 620.179

Мороз Н.Г., Клочко Н.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЛОКАЦИИ СКРЫТЫХ ОБЪЕКТОВ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Рассматривается применение параметрических методов для локации скрытых объектов и для неразрушающего контроля

UDK 620.179

Moroz N., Klochko N.

USAGE OF THE PARAMETRIC METHOD LOCATION OF LATENT OBJECTS // Visnik SNU – 2008 №1

View application the parametric methods location of latent objects and for nondestructive check

УДК 65.011.44

Слободчук Д.В., Петренко С.А.

РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ДЕЛОВОЙ АКТИВНОСТИ

ПРЕДПРИЯТИЯ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Выполнена оценка рентабельности капитала и рентабельности деятельности как основных показателей рентабельности предприятия, а также влияния на него внешних факторов. Ист. 4.

Slobodchukov D.V., Petrenko S.A.

PROFITABILITY AS INDEX OF BUSINESS ACTIVITY OF ENTERPRISE // Visnik

SNU – 2008 №1

The estimation of profitability of capital and profitability of activity is executed as basic indexes of profitability of enterprise, and also influence on it of external factors. Src. 4.

УДК 338.47

Слободчук Д.В., Петренко С.А.

УЧЁТНАЯ ПОЛИТИКА ПРЕДПРИЯТИЙ АВТОСЕРВИСА // Вісник СНУ ім. В.

Даля – 2008 №1

Кратко изложены методы ведения учетной политики на предприятиях автосервиса с учетом их особенностей и возможных изменений. Ист. 2.

Slobodchukov D.V., Petrenko S.A.

REGISTRATION POLICY OF ENTERPRISES OF CAR-CARE CENTER // Visnik

SNU – 2008 №1

The methods of conduct of registration policy are briefly expounded on the enterprises of car-care center taking into account their features and possible changes. Ist. 2

УДК 330.101

Слободчук Д.В., Петренко С.А.

ТЕОРИИ МОТИВАЦИИ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Показана трансформация методов мотивации с повышением роли человеческого фактора и изменением уровня профессионализма, роли моральных факторов и потребностей сотрудников в действиях персонала. Ист. 3.

Slobodchukov D.V., Petrenko S.A.

THEORIES OF MOTIVATION // Visnik SNU – 2008 №1

Transformation of methods of motivation with the increase of role of human factor is rotined the change of level of professionalism, roles of moral factors and necessities of employees in the actions of personnel. Src. 3.

УДК 681.5

Смолий В.Н.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА
ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1**

В работе проанализирована система производства ЭА. Обнаруженный эффект ложного срабатывания ЭА под влиянием внешних возмущений рассмотрен как свойство эмерджентности системы. Разработан метод анализа параметров ЭА и синтеза управляющих воздействий для синтеза системы поддержки принятия решения на основании правил продукции. Рассмотрены возможные методы исследования системы и обоснован выбор метода, позволяющего анализировать и синтезировать управляющие воздействия и системно решать все вопросы, возникающие в процессе производства. Рис. 3, табл. 3, ист. 6.

Smoliy V.N.

**RESEARCH OF METHODS FOR ANALYSIS OF SYSTEM OF THE AUTOMATED
PROCESS OF PRODUCTION OF ELECTRONIC VEHICLES // Visnik SNU – 2008
№1**

The system of production of EA is in-process analysed. The found out the effect of false wearing-out of EA under influence of external indignations is considered as property of the emergent system. The method of analysis of parameters of EA and synthesis of managing influences is developed for the synthesis of the system of support of decision-making on the basis of rules products. The possible methods of research of the system are considered and the choice of method, allowing to analyse and synthesize managing influences and system to decide all of questions, arising up in the process of production is grounded. Fig. 3, table. 3, src. 6

УДК 681.513.54

Ткачев Р.Ю., Дрючин В.Г.

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ
ОБЪЕКТОВ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1**

Рассматривается синтез систем управления нелинейными и линейными объектами с запаздыванием при наличии информации только о выходной координате. Приводятся выражения, обеспечивающие расчет параметров регуляторов на базе интегрирующих фильтров по заданным показателям качества. Рис 2, ист. 3.

Tkachov R.Y., Dryuchin V.G.

**ANALYTICAL DESIGNING OF REGULATORS FOR NONLINEAR OBJECTS WITH
DELAY // Visnik SNU – 2008 №1**

The synthesis of control systems of nonlinear and linear objects with delay is considered(examined) at presence of the information only about target coordinate. The expressions ensuring account of parameters of regulators on the basis of integrating filters on given parameters of quality are resulted. Rice 2, sours. 3.

УДК 681.513.54

Ткачев Р.Ю.

**СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ НА БАЗЕ
КОНЦЕПЦИИ ЛЯПУНОВА А.М. О ВОЗМУЩЕННОМ-НЕВОЗМУЩЕННОМ
ДВИЖЕНИИ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1**

Разработан оптимальный по квадратичному критерию качества регулятор с модифицированным упредителем Смита. Данный алгоритм основан на концепции Ляпунова А.М. о возмущенном-невозмущенном движении. Это позволило синтезировать регулирующее устройство, эффективно подавляющее влияние внешних и параметрических возмущений. Рис.3, ист.5.

Tkachov R.Y.

**SYNTHESIS OF CONTROL SYSTEMS OF OBJECTS WITH DELAY ON THE
BASIS OF THE CONCEPT LYAPUNOV A.M. ABOUT THE INDIGNANT - NOT
INDIGNANT MOVEMENT // Visnik SNU – 2008 №1**

The regulator with modified predictor Smits is developed optimum by square-law criterion of quality. The developed algorithm is based on the concept Lyapunov A.M. About the indignant - not indignant movement. It has allowed to synthesize the regulating device effectively overwhelming influence external and parametrical Indignationen. Fig. 3, src. 5.

УДК 681.5 : 51-74

Ткаченко В.Н., Иванова А.А.

МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ТЕПЛООБМЕНА ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Рассматривается задача идентификации коэффициента теплоотдачи в зоне вторичного охлаждения машины непрерывного литья заготовок. Нестационарные процессы внутреннего теплообмена описываются нелинейными параболическими уравнениями в частных производных. Граничные условия включают лучистую и конвективную составляющие теплообмена и учитывают сложный механизм теплоотвода за счёт водо-воздушного охлаждения. Предложен способ решения поставленной задачи с использованием метода наименьших квадратов. Представлены и проанализированы результаты вычислений

Tkachenko V.N., Ivanova A.A.

A LEAST-SQUARES METHOD BECAME FOR TASK OF AUTHENTICATION OF PARAMETERS OF EXTERNAL HEAT EXCHANGE OF PROCESS OF CONTINUOUS TEEM // Visnik SNU – 2008 №1

The identification problem of heat-transfer coefficient in the secondary cooling zone of continuous casting machine is considered. Non-stationary processes of internal heat exchange are described by the nonlinear parabolic partial differential equations. Boundary conditions include radiant and convective components of heat exchange and account for the complex mechanism of heat-conducting due to water-air cooling. The solution of the problem using the least squares method is proposed. The analysis of numerical results is performed

УДК 621.318.13

Толмачев С.Т., Рожненко Ж.Г.

МАТЕРИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ АНИЗОТРОПНОЙ СРЕДЫ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Предложен простой способ моделирования нелинейных анизотропных свойств ферромагнитных материалов в безгистерезисном приближении на основе трех характеристик, две из которых задают магнитные свойства в ортогональных направлениях, а третья формирует параметры выпуклости энергетического потенциала. Рис. 7, ил. 8.

Tolmachov S.T., Rozhnenco Z.G.

MATERIAL EQUALIZATION OF NONLINEAR ANISOTROPIC ENVIRONMENT // Visnik SNU – 2008 №1

It is offered a simple method of modelling the nonlinear anisotropic properties of ferromagnetic materials in the disgisterezis approach that based on three characteristics, two of which set the magnetic properties in orthogonal directions, and the third one forms the parameters of bulge of power potential. Fig. 7, ref. 8.

УДК 681.51

Ульшин В.О., Горбунов О.І.

ДО ПИТАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СТІННОГО КАМІННЯ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Запропонована класифікація комплексів для виготовлення стінного каміння, приведені результати досліджень життєвого циклу і даний порівняльний аналіз технічного рівня комплексу, на основі яких сформульовані основні функціональні вимоги до АСК комплексом.

Ulshin V.A., Gorbunov A.I.

TO QUESTION OF AUTOMATION OF PRODUCTION COMPLEX FOR MAKING OF WALLING STONE // Visnik SNU – 2008 №1

Classification of complexes for making of walling stone is offered, the results of researches of life cycle are resulted and the comparative analysis of technical level of complex is given, on the basis of which the basic functional requirements to ASC are formulated by a complex.

УДК 537.591.15

Филоненко А.Д., Хлевнюк А.В., Хлевнюк В.С.

ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ТЕЛ, ОБТЕКАЕМЫХ ПОТОКОМ ГАЗА // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

В статье приведены результаты экспериментального исследования различных возможных механизмов электризации тел, обтекаемых потоком газа. Ист. 6, рис. 2.

Filonenko A.D., Khlevniuk A.V., Khlevniuk V.S.

THE PHENOMENA OF ELECTRIZATION OF THE STREAMLINED BY THE GAS FLOW BODY // Visnik SNU – 2008 №1

The results of the experimental study different possible mechanism of streamlined flow of the gas body electrization are represented in the article.

Ref. 6, fig. 2.

УДК 621.301

Хвищун А.І., Качмар В.О., Бунь Р.А.

МЕДИЧНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА “ДОКТОР ЕЛЕКС”: ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ЗБЕРІГАННЯ МЕДИЧНИХ ДОКУМЕНТІВ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Представлено основні принципи побудови медичної інформаційної системи “Доктор Елекс”, яка призначена для інформаційної підтримки та автоматизації всіх видів діяльності сучасного медичного закладу. Описано основні складові частини інформаційної системи, зокрема підсистеми “реєстратура”, “лікар” “лабораторія”, “адміністрування” та ін. Показано принципи автоматизованого формування шаблонів оглядів. Наведено фізичну та логічну структури інформаційної системи. Рис. 3, дж. 11.

Hvyschun A.I., Kachmar V.O., Bun R.A.

HOSPITAL INFORMATION SYSTEM “DOCTOR ELEKS” – INNOVATE APPROACH TO MEDICAL DOCUMENT PROCESSING // Visnik SNU – 2008 №1

Article presents the basics of the hospital information system "Doctor Eleks" designed for information workflow automation of the modern medical institution. Main components of the information system are described, including "reception", "doctor", "laboratory" and "management" subsystems. Innovative approach to data input using examination templates is illustrated. Physical and logical structures of the system are explained. Pic. 3, ref. 11.

УДК 681.324

Шмитько А.А.

ЭЛЕКТРОННЫЕ НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Рассмотрены основные аспекты развития электронных научных изданий. Предложена структура издательской системы сбора, обработки и хранения электронных научных статей и оригинал-макетов печатных научных изданий

Shmitko A.A.

ELECTRONIC SCIENTIFIC EDITIONS // Visnik SNU – 2008 №1

The basic aspects of development of electronic scientific editions are considered. The structure of the publishing system of collection, treatment and storage of electronic scientific reasons and dummy layout of printing is offered scientific editions

УДК 616-073.65

Юдачев А.В., Кисарин О.А.

КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДАТЧИК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫХ БАТ // Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Изложены результаты разработки полупроводникового датчика на основе смещенного в прямом направлении р-п-перехода полупроводникового диода для измерения температуры и других параметров репрезентативных биологически активных точек. Предложена конструкция датчика с применением медной или серебряной теплопроводящей контактной сборки.

Yudachev A.V., Kisarin O.A.

COMBINED SEMICONDUCTOR SENSOR FOR MEASURING OF PARAMETERS OF REPRESENTATIVE BAT // Visnik SNU – 2008 №1

The results of development of semiconductor sensor are expounded on the basis of the p-n-transition of semiconductor diode displaced in direct direction for measuring of temperature and other parameters of active point's representative biologically. Construction of sensor is offered with the use of the copper or silver heat-conducting contact device

УДК 622. 794. 4 - 52

Ульшин В.А., Довженко В.П., Бардаמיד В.И., Сапельников М.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ УГЛЯ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ //

Вісник СНУ ім. В. Даля – 2008 №1

Приведены результаты исследований сушильной установки как объекта автоматического управления. Разработана математическая модель и система автоматической стабилизации влажности высушенного угля. Выполнены исследования САУ процессом сушки.

Ulshin V.A., Dovjenko V.P., Bardamid V.I., M.V. Sapelnikov

COAL DRYING PROCESS INVESTIGATION AS CONTROL OBJECT // Visnik SNU

– 2008 №1

Results of the coal drying process investigation as control object are shown. The mathematical model of control object was developed. The control automatic system modeling results with water content in drying coal parameter are considered.

ВІСНИК
Східноукраїнського національного університету
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
№ 1(119) 2008
науковий журнал

Відповідальний за випуск
Літературний редактор
Технічний редактор
Оригінал-макет

Ульшин В.О.
Андропова З.И.
Дроговоз Т.М.
Шмицько О.А.

Підписано до друку 18.01.2008 р.
Формат 70 x 108 1/16. Папір офсетний. Гарнітура Arial Суг.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 19,8. Обл. друк. арк. 20,3.
Наклад 300 прим. Вид. № 728 Замовлення № . Ціна вільна.

Видавництво
Східноукраїнського національного
університету
імені Володимира Далья

Адреса видавництва: 91034, м. Луганськ, кв. Молодіжний, 20 а,
Телефон (0642) 41-34-12. Факс (0642) 41-13-60.
E-mail: uni@snu.edu.ua