МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

Выпуск 44

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2007

Выпуск содержит материалы XXXVI научной и учебно-методической конференции СПбГУ ИТМО «Достижения ученых, аспирантов и студентов университета в науке и образовании». Конференция была проведена 30 января - 2 февраля 2007 года Санкт-Петербургским государственным университетом информационных технологий, механики и оптики в сотрудничестве с

- ФГУП ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова»
- ФГУП НПК «ГОИ им. С.И. Вавилова»
- ФГУП НИТИОМ «ГОИ им. С.И. Вавилова»
- Институтом аналитического приборостроения РАН (ИАнП РАН)
- Институтом проблем машиноведения РАН (ИПМаш РАН)
- Комитетом по науке и высшей школе Санкт-Петербурга (КНВШ)
- ФГУП СПб ОКБ «Электроавтоматика»
- ВНИИМ им. Д.И. Менделеева
- ОАО «ЛОМО»
- ОАО «Техприбор»
- ЦНИИ «Электроприбор»
- ЗАО «БИ ПИТРОН»

В выпуске представлены работы, поддержанные финансированием в рамках:

- Федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002–2006 гг» (Федеральное агентство по науке и инновациям);
- аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006–08 гг.) (Федеральное агентство по образованию);
- Федеральной целевой программы развития образования на 2006–2010 гг. (Федеральное агентство по образованию),
- Российского фонда фундаментальных исследований, а также инициативные разработки.

Программный комитет конференции:

Васильев В.Н. (СПбГУ ИТМО) – председатель

Аронов А.М. (ОАО «ЛОМО») Маслов Ю.В. (ОАО «Техприбор»)

Викторов А.Д. (КНВШ) Максимов А.С.(КНВШ) Гатчин Ю.А. (СПбГУ ИТМО) Медунецкий В.М. (СПбГУ ИТМО)

Дукельский К.В.(ФГУП ВНЦ «ГОИ Немолочнов О.Ф. (СПбГУ ИТМО) им. С.И.Вавилова») Никифоров В.О. (СПбГУ ИТМО)

Жигулин Г.П. – начальник ИКВО Парамонов П.П. (ФГУП СПб ОКБ

Иванов А.Ю. (СПбГУ ИТМО) «Электроавтоматика») Иванов А.В. (СПбГУ ИТМО) Парфенов В.Г. (СПбГУ ИТМО)

Карасев В.Б. (ФГУП ВНЦ «ГОИ Пешехонов В.Г. (ЦНИИ «Электроприбор»)

им. С.И. Вавилова») Семенов А.Н. (СПбГУ ИТМО)

Козлов С.А. (СПбГУ ИТМО)
Колесников Ю.Л. (СПбГУ ИТМО)
Курочкин В.Е. (ИАнПРАН)
Смирнов С.Б. (СПбГУ ИТМО)
Стафеев С.К. (СПбГУ ИТМО)
Ткалич В.Л. (СПбГУ ИТМО)

Латыев С.М. (СПбГУ ИТМО) Ханов Н.И. (ВНИИМ им. Д.И. Менделеева)

Лукьянов Г.Н. (СПбГУ ИТМО) Шехонин А.А. (СПбГУ ИТМО) Яблочников Е.И. (СПбГУ ИТМО)

Организационный комитет конференции:

Никифоров В.О. – председатель, Студеникин Л.М. – зам. председателя, Казар Л.Н. – ученый секретарь, Горкина Н.М. Гусарова Н.Ф. Савельева Л.П.

ISSN 1819-222X

© Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2007

«ПОЧТИ КВАЗИСТАЦИОНАРНОЕ» ПРИБЛИЖЕНИЕ ДЛЯ ОПИСАНИЯ РОСТА ЗЕРЕН

И.В. Блинова, В.В. Гусаров, И.Ю. Попов

Предложено «почти квазистационарное» приближение для задачи об устойчивости фронта кристаллизации. Оно эффективно на начальной стадии роста зерен. Рассмотрена устойчивость цилиндрического и сферического фронтов. Учтены капиллярные силы. Проведен численный эксперимент.

1. Введение

Производство кристаллических материалов из расплавов интересно как единственный метод, позволяющий получить материалы с заданной морфологией зерен [1], которая предопределяется в основном формой зародышей, отношением скоростей зародышеобразования и роста зерен и формой растущих частиц. Обычно для описания процесса используют феноменологические модели и численные эксперименты. Теоретические модели конструируют на основе макронеравновесной феноменологической термодинамики, метастабильных диаграмм фазовых состояний [2] и кинетических диаграмм затвердевания [3]. Эти модели основаны на концепции локально равновесного процесса затвердевания [4]. Но для моделирования высокой скорости движения фронта необходимо учитывать неравновесные кинетические эффекты [5]. Такие модели нужны для процессов быстрого охлаждения (например, более чем 10⁵ K/с для металлов). Скорости охлаждения при производстве материалов с использованием техники расплавов значительно меньше, поэтому приемлемы локально равновесные модели. Анализ устойчивости фронта затвердевания и исследование дендритного роста основаны на квазистационарном приближении [2, 4, 6-9]. Но это приближение является грубым на начальной стадии процесса, когда размер частиц мал, а изменение кривизны поверхности значительно. В нашей статье предлагается более точная модель для этой стадии процесса. Рассмотрены сферические и цилиндрические зародыши [10]. Отметим наличие большого числа математических работ, посвященных задаче Стефана, близкой к рассматриваемой (см., например, [11-13]).

2. Сферическая граница

Стартуем со стандартного уравнения, когда граница движется со скоростью
$$\overline{\upsilon}$$
: $\rho c_p T'_t - k \Delta T + \rho c_p Q^{-1} div (T \overline{\upsilon}) = 0$. (1)

Здесь ρ – плотность, c_p – удельная теплоемкость жидкости, Q – удельная теплота плавления на единицу объема твердой фазы, T – температура, \vec{v} – скорость границы раздела. В качестве невозмущенной рассматриваем ситуацию, когда фронт сферичен и его радиус r_0 растет обратно пропорционально радиусу [2]: $\vec{v} = v r_0^{-2} \vec{r}$.

Замечание. В некоторых работах предполагают другую зависимость от r_0 :

$$\vec{\upsilon} = (\upsilon r_0^{-1} + \upsilon_0) r_0^{-1} \vec{r}, \tag{2}$$

но для малых r_0 вторым членом можно пренебречь.

Пусть
$$\tau = Tc_p/Q$$
, $l = k(\rho c_p |\vec{v}|)^{-1}$. Тогда (1) принимает безразмерный вид:
$$l\Delta \tau = r^{-1} \tau_r' + r^{-1} \tau + \upsilon^{-1} \tau_t'. \tag{3}$$

Заметим, что в [2] и [6] рассматривают квазистационарное приближение, т.е. решают уравнение Лапласа и предполагают, что решение зависит от времени. Мы же учитываем, что временная зависимость приводит к изменению исходного уравнения.

Пусть индекс 1 относится к твердой, а $2 - \kappa$ жидкой фазе. На границе Γ имеем следующие условия:

$$\tau_1 | \Gamma = \tau_2 | \Gamma = T_m c_n Q^{-1}, \tag{4}$$

$$l\vec{N}\nabla(\tau_1 - \tau_2)|\Gamma = (1 - a_t'r/|\vec{v}|)\vec{N}\vec{r}/r)|\Gamma.$$
(5)

Здесь \vec{N} — единичная нормаль к границе. В невозмущенном случае со сферической симметрией имеем:

$$lr \tau_{rr}'' + (2l - 1)\tau_r' - \tau = 0 \tag{6}$$

Решением (6) является следующая функция [15]: $\tau = r^{(1-l)/(2l)} Z_{(1-l)/l} \Big(2i \big(r \, / \, l \big)^{1/2} \Big),$

$$\tau = r^{(1-l)/(2l)} Z_{(1-l)/l} \Big(2i (r/l)^{1/2} \Big),$$

где Z_b — цилиндрическая функция. Имеем

$$\tau_1 = AI_{(1-l)/l} \Big(2(r/l)^{1/2} \Big), \ \tau_2 = BI_{(1-l)/l} \Big(2(r/l)^{1/2} \Big) + CK_{(1-l)/l} \Big(2(r/l)^{1/2} \Big). \tag{7}$$

Коэффициенты A, B, C определяются из условий (4), (5).

Рассмотрим возмущение $\tilde{\tau}(r,\theta,\phi)$ ехр χ основного решения. Разделяя переменные, получаем

$$\widetilde{\tau}(r,\theta,\phi) = R(r)\Theta(\theta,\phi),\tag{8}$$

$$\Delta_{\theta, \phi} \Theta - \lambda \theta = 0, \tag{9}$$

$$r^{2}R'' + r(2-1/l)R' + l^{-1}(\lambda - \gamma r^{2} / \upsilon - r)R = 0.$$
(10)

Здесь $\Delta_{\theta,\phi}$ есть оператор Лапласа-Бельтрами (угловая часть оператора Лапласа). Учитывая периодичность по углу ϕ , находим решение (9):

$$\lambda = -n(n+1),$$

$$\Theta = \sum_{m=0}^{n} \left(A_{nm} \cos m\phi + B_{nm} \sin m\phi \right) P_n^{(m)} (\cos \theta), \tag{11}$$

где n- натуральное, $P_n^{(m)}-$ присоединенный полином Лежандра. Радиальное уравнение (10) дает:

$$R(r) = \exp(-\xi/2r^{\beta}\eta(\xi)),$$

где

$$\begin{split} \eta &= c_1 F \left(-B, A, \xi \right) + c_2 \xi^{1-A} F \left(1-B-A, 2-A, \xi \right), \\ \xi &= -2r \left(\gamma (\upsilon l)^{-1} \right)^{1/2}, A = 2\beta + 2 - l^{-1}, \\ B &= \beta \left(1 - 1/(2l) \right) - \left(l \upsilon \gamma^{-1} \right)^{1/2} / (2l), \end{split}$$

 β есть корень уравнения

$$\beta^2 + (1 - 1/l)\beta - n(n+1)/l = 0$$
,

F – функция Похгаммера [14].

Чтобы оценить устойчивость возмущенной границы, используем следующие соображения. Температура на границе равна температуре затвердевания. Пусть $r = a(\theta, \phi)$ – уравнение границы и $r = a_0 = vt$ – уравнение невозмущенной границы. Уравнение (5) дает

$$\vec{N}\nabla \widetilde{\tau} = (\widetilde{\tau}_r' - \widetilde{\tau}_r'(a_0))a \sin\theta - \widetilde{\tau}_\theta' \sin\theta a_\theta' - \widetilde{\tau}_\phi' a_\phi' = (1 - \gamma a_0 / |\vec{v}|)a \sin\theta / l$$

Следовательно,

$$\gamma = \upsilon a_0^{-2} \left(1 - \frac{\tau a_0^2}{\tau_r' \upsilon} - l \left(\widetilde{\tau}_r' - \tau_r' - \widetilde{\tau}_0' a_0' a^{-1} - \frac{\widetilde{\tau}_\phi' a_\phi'}{a \sin \theta} \right) \right). \tag{12}$$

Используем следующее приближение для возмущенного фронта:

$$a(\theta, \phi) = a_0 - \tilde{\tau}(a_0, \theta, \phi) / \tilde{\tau}_r'(a_0, \theta, \phi). \tag{13}$$

Подстановка (13) в (12) дает условие устойчивости для различных θ , ϕ . А именно, если значение γ , полученное из этого соотношения, положительно, возмущение в этом направлении будет нарастать (т.е. имеем нестабильность). Если же оно отрицательно, то возмущение убывает (т.е. невозмущенный фронт устойчив). Можно рассмотреть ситуацию для различных членов суммы (11), т.е. для различных m,n, получая информацию об устойчивости конкретного возмущения сферической границы.

Можно рассмотреть случай постоянной скорости фронта $\vec{v} = v_0 r^{-1} \vec{r}$, когда имеем

$$l\Delta\tau = \tau_r' + 2\tau/l + \tau_t'/\upsilon_0 \tag{14}$$

вместо (3). Следовательно, в случае сферической симметрии невозмущенное уравнение есть

$$\tau'_r + 2\tau / l = l\tau''_{rr} + 2l\tau'_r / r$$
.

Соответствующее решение (ср. с (7)):

$$\tau_1 = A \exp r / l, \ \tau_2 = B \exp r / l + C \exp r / l \int_l^r u^{-2} \exp - u / l du$$
(15)

Что касается возмущенного решения, то его угловая часть $\Theta(\theta,\phi)$ та же, а уравнение для радиальной части R(r) таково:

$$r^{2}R'' + (2 - r/l)rR' + l^{-1}(\lambda - 2r - \gamma v_{0}^{-1}r^{2})R = 0$$
(16)

Заметим [15], что (16) можно свести к

$$ru'' + 2(k+1)u' - l^{-1}(1 + r(\gamma / \nu_0 + 1/(4l)))u = 0,$$

где

$$R(r) = r^k \exp r/(2l)u(r), k = 1/2 + (1/4 - \lambda/l)^{1/2}.$$

Чтобы учесть поверхностное натяжение, используем первое приближение для соответствующего квазистационарного решения Лангера [2]

$$u_{0}(r) = \begin{cases} -\Delta + \frac{a_{0}}{r} \left(\Delta - \frac{2d_{0}}{r} \right), r > a_{0}, \\ -\frac{2d_{0}}{a_{0}}, r \leq a_{0}. \end{cases}$$

В этом случае общее решение есть $u_0(r)+\widetilde{\tau}$, а $\widetilde{\tau}$ удовлетворяет неоднородному уравнению:

$$l\Delta \widetilde{\tau} - r^{-1} \widetilde{\tau}_t' - |\vec{\upsilon}| \widetilde{\tau}_t' - r^{-1} \widetilde{\tau} = r^{-1} (u_0' - u_0). \tag{17}$$

Уравнение для «углового» множителя то же, что и ранее, а для «радиального» множителя получаем соответствующее неоднородное уравнение. Общее решение радиальной части (17) (т.е. неоднородного уравнения, соответствующего однородному уравнению (10)) есть

$$\widetilde{R} = R_2 \int_{a_0}^{r} (u_0' - u_0) r^{-1} R_1 W^{-1} dr - \int_{a_0}^{r} (u_0' - u_0) r^{-1} R_1 W^{-1} dr + C_1 R_1 + C_2 R_2,$$

где $W = R_1 R_2' - R_1' R_2$ — вронскиан линейно независимых решений R_1, R_2 однородного уравнения. Коэффициенты C_1, C_2 определяются из граничных условий. Отметим, что в рассматриваемом случае выражение (13) заменяется на

$$a(\theta, \phi) = a_0 - \frac{\widetilde{\tau}(a_0, \theta, \phi) + d_0 K}{\widetilde{\tau}'_r(a_0, \theta, \phi)}. \tag{18}$$

Здесь K — средняя кривизна. Подстановка $\widetilde{\tau} = \widetilde{R}\Theta$ в (12) дает нам значение характеристического параметра γ при учете поверхностного натяжения. А именно, получаем следующее выражение:

$$\gamma = \upsilon a_0^{-2} \left(1 - \frac{d_0 K a_0^2}{\upsilon \widetilde{\tau}_r'} - \frac{\tau a_0^2}{\widetilde{\tau}_r \upsilon} - l \left(\widetilde{\tau}_r' - \tau_r' - \widetilde{\tau}_\theta' a_\theta' a^{-1} - \frac{\widetilde{\tau}_\phi' a_\phi'}{a \sin \theta} \right) \right). \tag{19}$$

3. Цилиндрическая граница

Рассмотрим случай, когда невозмущенная ситуация соответствует цилиндрической границе, движущейся со скоростью, пропорциональной r^{-1} : $\vec{U} = \mathcal{U} \rho^{-1} \vec{e}_{\rho}$, где ρ, ϕ, z — цилиндрические координаты, \vec{e}_{ρ} — соответствующий единичный вектор. Основное уравнение, соответствующее (3), будет таким:

$$l\Delta\tau = \tau'_{t}/\upsilon + \tau/\rho \tag{20}$$

Для невозмущенного случая с цилиндрической симметрией и $\tau_t' = 0$ имеем

$$\rho \tau_{\rho\rho}'' + \tau_{\rho}' - \tau / \rho = 0 \tag{21}$$

Решение (21) есть [15]

$$\tau(\rho) = Z_0 \left(2i(\rho/l)^{1/2} \right).$$

Значит, аналогично (7), получаем:

$$\tau_1 = AI_0((\rho/l)^{1/2}),$$

$$\tau_2 = BI_0((\rho/l)^{1/2}) + CK_0((\rho/l)^{1/2}). \tag{22}$$

Константы A, B, C определяются из граничных условий.

Возмущенное решение ищем в виде

$$\widetilde{\tau} = \exp \gamma t Z(z) R(\rho) \Phi(\phi). \tag{23}$$

Уравнение (20) дает

$$Z'' + \mu Z = 0, \qquad (24)$$

$$\phi'' + n^2 \phi = 0 \,, \tag{25}$$

$$\rho^{2}R'' + \rho R' - l^{-1}((\mu + \gamma / \nu)\rho^{2} + \rho + n^{2}l)R = 0.$$
(26)

Здесь $\mu > 0$, n – целое Соответствующее решение есть

$$Z = A\cos\mu^{1/2}z + B\sin\mu^{1/2}z ,$$

 $\phi = C \cos n\phi + D \sin n\phi$,

$$R = \rho^{-1/2} F\left(-\left(4(\gamma/\upsilon + \mu)/l\right)^{-1/2}, n, 2\rho((\gamma/\upsilon + \mu)/l)^{1/2}\right).$$

Здесь F есть функция Похгаммера.

На поверхности Γ , которая задается уравнением $\rho = a(z, \phi)$, граничное условие (4) имеет вид

$$\widetilde{\tau}_{\rho}' - \tau_{\rho}' - a_{z}'\widetilde{\tau}_{z}' - (\rho a)^{-1}\widetilde{\tau}_{\phi}' \Big| \Gamma = \left(1 - \gamma a / |\vec{v}|\right) / l . \tag{27}$$

Используем приближение для возмущенной границы

$$a = a_0 - \tau / \tau_\rho', \tag{28}$$

аналогичное (13). Здесь a_0 – радиус невозмущенной цилиндрической границы. Тогда (27), (28) дают

$$\gamma = \upsilon a_0^{-2} \left(1 - \frac{\tau a_0^2}{\upsilon \tau_\rho'} - l \left(\widetilde{\tau}_\rho' - \tau_\rho' - a_z' \widetilde{\tau}_z' - a^{-2} \widetilde{\tau}_\phi' \right) \right). \tag{29}$$

Здесь сделана подстановка

$$\rho = a = a_0 - \tau / \tau'_{\rho}.$$

Условием устойчивости будет $\gamma > 0$, а неустойчивости, соответственно, $\gamma < 0$. Главный член υa_0^{-2} совпадает с тем, что получен в [2, 6] (при отсутствии капиллярных эффектов). Можно видеть, что для некоторых размеров образца и для некоторых направлений наблюдается устойчивость. Экстремальный рост в некоторых направлениях может быть началом дендритного роста.

Если учитывать поверхностное натяжение, то надо произвести изменения, аналогичные сферическому случаю. В частности, выражение (28) заменяется на

$$a = a_0 - \left(\tau + d_0 K\right) / \tau_o', \tag{30}$$

где K – средняя кривизна. Окончательно получаем

$$\gamma = \upsilon a_0^{-2} \left(1 - \frac{d_0 K a_0^2}{\upsilon \widetilde{\tau}_{\rho}'} - \frac{\tau a_0^2}{\upsilon \tau_{\rho}'} - l \left(\widetilde{\tau}_{\rho}' - \tau_{\rho}' - a_z' \widetilde{\tau}_z' - a^{-2} \widetilde{\tau}_{\phi}' \right) \right). \tag{31}$$

Поверхностное натяжение дает, естественно, стабилизирующий эффект.

4. Результаты моделирования и обсуждение

Проведено численное моделирование роста частиц с цилиндрической симметрией. Рассматривается двумерный случай. Начальный фронт – окружность. В начальный момент частицы хаотически движутся с заданной величиной скорости. Изучается два процесса осаждения молекул: 1) на окружность, 2) на возмущенную окружность.

1) При моделировании предполагается, что при достижении частицей фронта она далее может перемещаться лишь по направлению к центру, если там имеется свободное место. При этом скорость перемещения прилипших частиц другая, чем в свободном состоянии. В результате частицы образуют компактную структуру, показанную на рис. 1.



Рис.1. Осаждение молекул на гладкую поверхность.

2) В другой ситуации рассматривается изначально возмущенный фронт (рис. 2).



Рис. 2. Начальное состояние возмущенного фронта.

Далее, мы допускаем возможность для прилипших частиц перемещаться и в касательном к окружности направлении, что моделирует влияние поверхностного натяжения. На рис. 3–7 показаны результаты моделирования в случае различных отношений тангенциальной и нормальной скоростей прилипших частиц.



Рис. 3. Отношение скоростей – 1/50



Рис. 4. Отношение скоростей – 1/55



Рис. 5. Отношение скоростей – 1/60



Рис. 6. Отношение скоростей – 1/75



Рис. 7. Отношение скоростей – 1/250

При отношении скоростей менее 1/50 (в этой ситуации капиллярные силы играют решающую роль) фронт затвердевания устойчив. Это соответствует случаю, когда $\frac{d_0 K a_0^2}{\upsilon \tilde{\tau}_o^2}$ близко к 1. Что касается нашей формулы (31) и соответствующих формул в [2,

6], то разница составляет около 15–20 % (на начальной стадии роста зерна). Когда кривизна фронта становится малой, разница уменьшается, и становится предпочтительно использовать формулы [2, 6] ввиду их простоты. При меньших значениях отношения скоростей наблюдается неустойчивость фронта (в частности, при отсутствии поверхностного натяжения)

Выводы

Рассмотрен процесс роста зародышей. Изучена устойчивость фронта затвердевания для зерен сферического и цилиндрического типов. Этот анализ важен для начальной стадии процесса, когда размер частиц мал. Здесь вероятность неустойчивости ве-

лика. Заметим, что начальная стадия процесса предопределяет характер эволюции системы, поэтому изучение его важно при разработке методов получения поликристаллических материалов с заданной структурой с использованием технологии расплавов [16—18].

Подобная неустойчивость изучалась в [2, 6] для локально равновесного процесса в рамках квазистационарного приближения. Мы рассматриваем более общий случай, а именно, учитываем, что при изменении радиуса зерна изменяется и основное уравнение. Получено условие устойчивости в «почти квазистационарном» приближении. Учтены капиллярные силы. Заметим, что в [2, 6] поверхностное натяжение тоже учтено. Однако в квазистационарном случае капиллярные силы являются единственным стабилизирующим фактором. В нашем же, более точном, приближении получается, что геометрические факторы тоже могут играть стабилизирующую роль. Проведено численное моделирование роста зародыша цилиндрического типа

Работа поддержана грантом РФФИ.

Литература

- 1. Bourdillon A.J., Tan N.X., Savvides N., Sharp J. Gravity aided texture growth in ceramic superconductors // Modern Phys. Lett. B 1989. V. 3. № 14. P. 1053–1060.
- 2. Langer J.S. Instabilities and pattern formation in crystal growth. // Rev. Modern Phys. 1980. V. 52. № 1. P. 1–28.
- 3. Борисов В.Т. Кинетические диаграммы для кристаллизации сплавов // Докл. АН СССР. 1962. Т. 142. С. 69–71.
- 4. Ivantsov G.P. Temperature field around spherical, cylindrical and spinelike crystal growing from supercooled melt // *Dokl. Akad. Nauk SSSR.* 1947. V. 58. P. 567–569.
- 5. Galenko P. Local-nonequilibrium phase transition model with relaxation of the diffusion flux. // *Phys. Lett.* 1994. V. 190 A. P. 292–294.
- 6. Mullins W.W., Sekerka R.F. Morphological stability of a particle growing by diffusion or heat flow. // J. Appl. Phys. 1963. V. 34. № 1. P. 323–329.
- 7. Karma A., Langer J.S. Impurity effects in dendritic solidification. // Phys. Rev. 1984. V. 30A № 6. P. 3147–3155.
- 8. Галенко П.К., Журавлев В.А. Физика дендритов. М.: Металлургия, 1993.
- 9. Brener E.A., Saito Y., Muller-Krumbhaar H., Temkin D.E. Growth of spine-like crystal near wall // JETP Lett. 1995. V. 61. № 4. P. 285–289.
- 10. Kuzovlev Yu.E., Soboleva T.K., Filippov A.E. Appearing of «wire-like» structures in the process of nucleation // JETP Lett. 1995. V. 58. « 5. P. 353–357.
- 11. Visintin A. Pattern evolution // Ann. Sc. Norm. Sup. Pisa . 1990. V. 17. « 2. P. 197–225.
- 12. Doole S.H. A Stefan-like problem with a kinetic condition and surface tension effects .// Mathl. Comput. Modelling 1996. V. 23. « 3. P. 55–67.
- 13. Радкевич Е.В. Условия существования классического решения модифицированной задачи Стефана (закон Гиббса-Томсона). // Докл. АН СССР. 1991. Т. 316. С. 1311—1315.
- 14. Bateman H., Erdelyi A. Higher Transcendental Functions. New York: McGraw-Hill,1953.
- 15. Kamke E. Di erentialgleichungen Losungsmethoden und Losungen. 1, Leipzig. 1959.
- 16. Jin S. Processing techniques for bulk high-Tc superconductors // J. Metals 1991. V. 38. № 2. P. 7–12.
- 17. Tretyakov Yu.D., Kazin P.E. New problems and solutions in material science for superconducting cuprates // Neorgan. Mater. 1993. V. 29. № 12. P. 1571–1581.
- 18. Oleynikov N.N., Lee S.R., Goodilin E.A., Kazin P.E. A modified QMG method of high Jc YBCO preparation. // J. Alloys Compounds. 1993. V. 195. P. 27–29.

ФИЗИКА И ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКОВ ВЕЩЕСТВА В МИКРОФЛЮИДНЫХ ЧИПАХ

А.Н. Тупик, А.А. Евстрапов

На основе экспериментальных данных представлены оценки подвижности электроосмотического потока в каналах микрофлюидных чипов, изготовленных различными методами. Выявлено, что технология герметизации чипов, а также химическая обработка оказывают существенное влияние на величину подвижности электроосмотического потока.

Определяющими тенденциями сформировавшейся в конце 1990-х гг. концепции построения микроаналитических систем µТАЅ (Micro-Total Analysis Systems) являются миниатюризация, автоматизация и интеграция. Согласно этой концепции, под микроаналитической системой подразумевается система, состоящая из микрфлюидного чипа (МФЧ) — устройства с размерами в несколько квадратных сантиметров с системой каналов, реакторов, микрососудов и других вспомогательных элементов (с характеристическими размерами от нескольких до сотен микрометров), позволяющих реализовать полный цикл транспортных и аналитических действий с изучаемой пробой [1]. Возможности применения подобных устройств чрезвычайно обширны: медицинский анализ, фармацевтические исследования, биотехнологии, судебная медицина и криминалистика, экологический мониторинг и т.д. [2].

В данной работе рассматриваются особенности электрокинетических процессов, свойственных электрофоретическим методам анализа на микрочипе. Необходимым процессом при реализации аналитических методов на МФЧ является создание управляемых транспортных потоков жидкости (пробы и реагента) [3]. При движение таких потоков в микро- и наноканалах необходимо учитывать возрастающий эффект влияния свойств поверхности канала. Характеристики поверхности канала зависят от множества различных факторов, в частности, от материала, в котором сформирован канал, от качества поверхности и технологий обработки канала и герметизации микрочипа. Одним из эффективных способов получения информации о свойствах поверхности канала является измерение подвижности электроосмотического потока.

Основными способами управления движением потоков жидкости в МФЧ являются гидравлическое и электрокинетическое воздействие на жидкость [4].

Гидравлический транспорт подразумевает перемещение жидкости под действием разности давления. Этот способ управления прост в обращении и применяется в микроаналитических системах для движения раствора с пробой и реагентов. Его недостатками являются высокие требования к стабильности создаваемого потока, трудности при заполнении каналов с гидрофобным покрытием, необходимость надежных гидравлических интерфейсов и получаемый при этом параболический профиль потока, что снижает точность аналитических определений [5].

Электрокинетический транспорт основан на формировании электрофоретического и электроосмотического потоков под действием внешнего электрического поля. Преимуществом данного способа является образование плоского профиля потока [4]. К недостаткам можно отнести нежелательное разделение компонентов пробы под действием внешнего электрического поля.

Природа электроосмотического потока обусловлена явлениями, возникающими на границе раздела «жидкость-поверхность канала». В микрофлюидных аналитических системах на основе стекла или кварца из-за диссоциации силанольных групп в поверх-

ностном слое образуются отрицательные заряды. Соответственно в электролите вблизи границы раздела индуцируются положительные заряды. Такая система пространственно разделенных зарядов на границе раздела фаз называется двойным электрическим слоем (ДЭС) [6]. Вблизи границы раздела фаз, где преобладает действие электрического поля поверхности канала, в электролите образуется неподвижный слой ионов (слой Штерна). По мере удаления от границы раздела фаз силы притяжения ослабевают, и начинает преобладать тепловое движение. Образуется подвижный диффузионный слой с избытком катионов, постепенное уменьшение концентрации которых приближается к общей концентрации электролита в объеме.

Двойной электрический слой на границе раздела обусловливает особенности взаимодействия электролита с электрическим полем. Под действием электрического поля диффузионный слой с повышенной концентрацией катионов перемещается в сторону катода, увлекая за собой остальную массу жидкости в канале (вследствие молекулярного сцепления и внутреннего сопротивления), что формирует так называемый электроосмотический поток. Электроосмотический поток (ЭОП) дает возможность проведения синхронного анализа катионов, анионов и нейтральных частиц. При рН от нейтрального до щелочного ЭОП гораздо сильнее электрофоретической миграции, поэтому все частицы перемещаются потоком по направлению к катоду. Незаряженные молекулы перемещаются со скоростью, равной скорости ЭОП, в то время как различная электрофоретическая подвижность заряженных ионов способствует их разделению [5]. Кроме того, ЭОП используется для транспортировки нейтральных или частично заряженных проб к детектору [5]. Этот способ позволяет изучать биологические пробы (молекулы белка, ДНК, живые клетки), избегая травмирующих воздействий высокого напряжения электрического поля.

ЭОП присутствует во всех электрофоретических методах разделения, так как никогда не удается полностью исключить возникновение поверхностных зарядов. Следовательно, при проведении электрофоретических методов анализа электроосмотический поток должен контролироваться или подавляться для достижения точных и воспроизводимых результатов исследования. При определении подвижности пробы полученное значение является результирующей подвижностью электрофоретического $\mu_{3\varphi}$ и электроосмотического $\mu_{3\varphi}$ потоков [5]: $\mu_0 = \mu_{3\varphi} \pm \mu_{3\varphi}$

Скорость ЭОП u можно описать, используя уравнение Гельмгольца-Смолуховского [3]:

$$u = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E \zeta}{k \eta} \,,$$

где ξ – электрокинетический дзета-потенциал, B; k – коэффициент, учитывающий форму частиц (равный 4 для цилиндрических и 6 для сферических); η – вязкость электролита, Па·с; E – напряженность электрического поля, B/м; ε – диэлектрическая проницаемость; ε_0 – электрическая постоянная, равная $8.85\cdot10^{-12}$ Ф/м.

Таким образом, скорость ЭОП определяется диэлектрической проницаемостью среды, вязкостью среды и ξ -потенциалом, зависящими от вида электролита, температуры и свойств поверхности канала.

В работе исследовалось влияние свойств поверхности канала на ЭОП в микрочипах, полученных разными способами. Были исследованы образцы МФЧ с канализированной пластиной из стекла К8. Ширина канала микрочипа 60 мкм, глубина 12 мкм, длина канала 42.9 мм.

Чипы 1 и 2 имели защитную пластину из стекла Ф1, были герметизированы способом термического связывания, предварительно были подвергнуты химической обработке: в первом случае — 65%-ной серной кислотой, во втором — концентрированной фосфорной кислотой. Чип 3 имел защитную пластину из стекла К8, был герметизирован методом глубокого оптического контакта (ГОК). Дополнительной химической обработки не проводилось.

В качестве электролита выбран фосфатно-цитратный буфер рН 7,55 концентрации 0.5 моль/л, ζ -потенциал равен $-7.3 \cdot 10^{-3}$ В.

Электроосмотическую подвижность оценивали по методу Хуанга К. (Huang X. et. al.) [7]. Метод основан на регистрации зависимости изменения тока во времени, что не требует использования специальных реагентов и детектора. Стремление системы к выравниванию концентрации за счет ЭОП приводит к повышению сопротивления, вызывающему уменьшение значения тока. После выравнивания концентрации буфера величина тока стабилизируется. Экспериментально определив время t изменения величины тока, можно получить скорость ЭОП:

$$u_{\text{эоп}} = L/t,$$
где L – длина канала.

В процессе подготовки к эксперименту чипов 1 и 2 проводилась промежуточная щелочная (чип 1) и кислотная (чип 2) обработка. Введение в канал слабых растворов гидроксида натрия или соляной кислоты сопровождалось последующим промыванием канала дистиллированной водой. Следует отметить кратковременную нестабильность результатов, проявляющуюся в существенном уменьшении значений подвижности ЭОП. Подобные явления характерны для первой серии измерений, поэтому для получения воспроизводимых результатов несколько экспериментов проводились без применения разности концентраций буфера.

Подвижность ЭОП определяется по формуле

$$\mu_{20\Pi} = \nu_{20\Pi} / E$$
.

Учитывая, что напряженность электрического поля E = U/L, где U – приложенный потенциал, можно вычислить подвижность ЭОП:

$$\mu_{90\Pi} = (L^2)/(Ut)$$
.

Полученные результаты представлены в таблице и дают возможность заключить, что метод герметизации $M\Phi \Psi$ и тип используемого защитного стекла оказывают существенное влияние на величину подвижности электроосмотического потока.

№ чи-	Напряжение,	Кол-во изме-	μ·10 ⁻⁴ ,	Метод герметизации
па	В	рений п	$cm^2/(B \cdot c)$	
1	1000	8	2,6±0,2 (7%)	термическое связывание
2	1000	8	3,1±0,6 (18%)	термическое связывание
3	1000	12	1,6±0,1 (9%)	ГОК

Таблица. Значения подвижности электроосмотического потока в МФЧ

Заметим, что в случае герметизации МФЧ способом термического связывания проводилась дополнительная химическая обработка. Следовательно, в этом случае наблюдается сочетание химического и термического влияний на поверхность канала. Кислотная обработка канала за счет образования химических комплексов может оказывать влияние на структуру поверхностного слоя.

Значения подвижности ЭОП для чипов 1 и 2 (таблица) близки по величине, но отличаются характером скорости изменения величины тока (рис. 1). На начальном участке измерений характер изменения скорости dI/dt у всех чипов одинаков — наблюдается спад сигнала с разной скоростью. Для чипов 1 и 3 спад сменяется выходом на плато — скорость изменения тока становится постоянной на некотором временном участке, а затем происходит уменьшение скорости изменения тока до нулевого уровня. Но для чипа 2 характерно другая зависимость изменения сигнала — наблюдается непрерывное изменение скорости dI/dt на всем интервале изменения тока. Выход dI/dt на плато, повидимому, свидетельствует об установившемся скоростном режиме изменения тока.

Так как измеряемый ток пропорционален количеству переносимых ионов (т.е. вещества), то можно полагать, что этот режим соответствует некоторому стабильному состоянию, при котором наблюдается постоянный ЭОП. Таким образом, наиболее корректным будет являться определение подвижности ЭОП на участке dI/dt=const. Зависимость, наблюдаемая для чипа 2, вероятно, свидетельствует о более сложных процессах, происходящих с участием поверхностного слоя канала (возможно, отражающих какиелибо химические процессы).

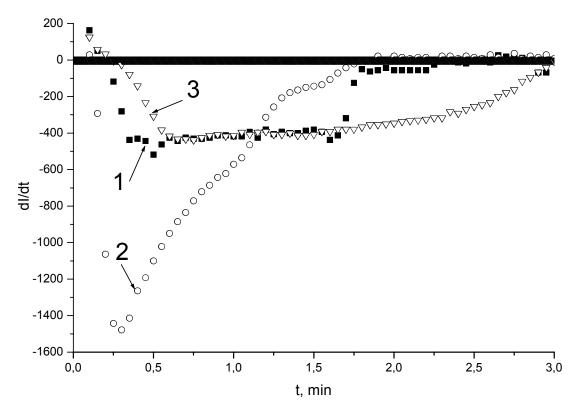


Рис. 1. Скорость изменения величины тока для образцов МФЧ: 1 – чип 1, 2 – чип 2, 3 – чип 3

Вышеизложенное позволяет сделать вывод, что химическая обработка влияет на свойства поверхности канала, несмотря на неявное различие в оценках подвижности ЭОП.

На основании анализа можно сделать следующие выводы.

- 1. Очевидное различие значений подвижности ЭОП для чипов, полученных разными технологиями, означает, что в процессе герметизации МФЧ происходит изменение свойств поверхности канала.
- 2. Химическая обработка поверхности чипа перед процессом термического связывания оказывает влияние на структуру поверхности канала и, следовательно, на характер создаваемого ЭОП, но существенно не отражается на величине подвижности ЭОП.
- 3. МФЧ, герметизированные методом термического связывания, оказываются чувствительными к кислотности раствора при обработке и требуют предварительной подготовки перед проведением экспериментов.

Исследование характера влияния технологии обработки и герметизации МФЧ на величину подвижности ЭОП позволяет прогнозировать значение электроосмотического потока, что дает возможность управления электрокинетическими потоками при реализации электрофоретических методов анализа на основе микрофлюидных чипов.

Литература

- 1. Беленький Б.Г., Комяк Н.И., Курочкин В.Е., Евстрапов А.А., Суханов В.Л. Микрофлюидные аналитические системы // Научное приборостроение. 2000. 10. 3. С. 253—258.
- 2. Huikko K., Kostiainen R., Kotiaho T. Introduction to micro-analytical systems: bioanalytical and pharmaceutical applications // European journal of pharmaceutical sciences. 2003. 20. P. 149–171.
- 3. Weigl B.H., Bardell R.L., Cabera C.R. Lab-on-chip for drug development // Advanced drag delivery reviews, 2003. 55. P. 349–377.
- 4. Micro- and nano-scale diagnostic techniques, Ed. Breuer K.S., Springer Verlag, New York, 2003.
- 5. Руководство по капиллярному электрофорезу. / Пер. Вартапетян Р.Ш., под ред. Волошука А.М. М, 1996. 111 с.
- 6. Ельцов С.В., Водолазкая Н.А. Физическая и коллоидная химия. Харьков, 2005. 240 с.
- 7. Huang X., Gordon, M.Y. Zare, R.N. Current-monitoring method for measuring the electroosmotic flow rate in capillary zone electrophoresis // Analytical chemistry. 1988. 60. P. 1837–1838.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИИ ОТКЛИКА ЭНЕРГОДИСПЕРСИОННОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛЕТЕКТОРА

А.С. Бахвалов, А.Г. Бородинов, В.А. Ермолинская, В.Б. Совков

Моделирование функции отклика детектора необходимо для реализации ряда методов количественного рентгенофлуоресцентного анализа. Для этого требуется знать интенсивность излучения на входе детектора. В связи с невозможностью ее прямого измерения рассмотрен вариант теоретического расчета. Отношение зарегистрированной интенсивности к расчетной позволяет найти искомую функцию отклика детектора.

Введение

Энергодисперсионные полупроводниковые детекторы используются в рентгенофлуоресцентных спектрометрах для регистрации характеристического излучения исследуемого образца. Их применение стало особенно актуальным, когда, благодаря развитию микроэлектроники, их энергетическое разрешение достигло 120-130 эВ. Этих значений достаточно, чтобы разделять основные аналитические линии элементов, используемые в рентгенофлуоресцентном анализе (РФА). Преимуществом полупроводниковых детекторов является одновременная регистрация всего спектра в требуемом энергетическом диапазоне, что способствует значительному сокращению длительности анализа пробы [1].

Целью рентгенофлуоресцентного анализа является нахождение элементного состава вещества и количественное определение концентраций элементов в анализируемой пробе. Расчет концентраций основан на зависимости интенсивности аналитических линий элементов от их содержания в пробе. Как правило, количественный анализ происходит следующим образом: сначала по результатам измерений образцов известного состава (стандартных образцов) находят некоторую градуировочную зависимость, а затем с ее помощью рассчитывают концентрацию определяемого элемента. Для нахождения градуировочной зависимости используются различные регрессионные методы. В зависимости от сложности состава проб и от количества определяемых в них элементов может потребоваться измерение довольно большого числа стандартных образцов.

Метод фундаментальных параметров

В ряде случаев набор стандартных образцов ограничен и недостаточен для применения регрессионных методов анализа. В таких случаях может применяться метод фундаментальных параметров. Этот метод основан на моделировании физических процессов взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Он полностью физически обоснован, но в то же время требует точного описания всего эксперимента — от параметров рентгеновской трубки и геометрии измерений до характеристик детектора.

Практически все эти параметры известны из постановки эксперимента. Так, в частности, заранее известен материал анода и углы отбора излучения из рентгеновской трубки, углы падения и отбора излучения от пробы. Кроме того, накоплен большой банк данных — фундаментальных параметров, необходимых для моделирования основных процессов в $P\Phi A$ (генерирования первичного излучения, поглощения и рассеяния излучения в пробе, возбуждения характеристического спектра и т.д.) [2].

Единственным неопределенным параметром является функция отклика детектора – отношение скорости счета на выходе детектора к числу квантов, попавших на чувствительный слой детектора за единицу времени. Функция отклика зависит от многих параметров: условий регистрации, типа детектора, характеристик чувствительного слоя. В связи с этим целесообразно ее определение для каждого отдельного прибора. Напря-

мую измерить интенсивность излучения на входе детектора можно лишь на специальном стенде с применением эталонного регистрирующего устройства. В готовом приборе вариант прямого измерения неосуществим, поэтому был предложен альтернативный алгоритм, основаны на теоретическом расчете интенсивности излучения по способу фундаментальных параметров.

Алгоритм определения можно разбить на следующие этапы:

- 1. теоретический расчет интенсивностей линий характеристического излучения элементов в пробах известного состава на входе детектора;
- 2. измерение проб;
- 3. определение экспериментально измеренных интенсивностей линий всех элементов;
- 4. нахождение отношения экспериментальных интенсивностей к теоретическим. Найденное отношение и является искомой функцией отклика детектора.

Теоретический расчет интенсивностей линий характеристического излучения элементов

В первую очередь необходимо смоделировать спектр излучения рентгеновской трубки. Физически он всегда состоит из двух компонент — тормозного излучения и характеристических линий материала анода. Тормозное излучение представляет собой сравнительно гладкую функцию энергии кванта (длины волны), испытывающую разрывы при значениях энергии, равных краям поглощения материала анода. Характеристические линии в нулевом приближении представляют собой дельтаобразные особенности, наложенные на спектр тормозного излучения, однако при более точном описании они уширяются и представляют собой гауссовоподобные контура с полушириной, определяемой физическими и аппаратными причинами, интенсивности которых просто складываются с интенсивностями спектра тормозного излучения.

Тормозное излучение формируется в результате изменения скорости электрона при его торможении материалом анода. Наиболее точное математическое описание тормозного излучения трубки дает выражение [3, 4]

$$n_{E} = \begin{cases} 2.62 \cdot 10^{9} \cdot i_{a} A_{a} (E_{0} / E - 1) R_{a} L_{E}^{-1} f(\chi_{E}^{a}), (0 < E < E_{0}) \\ 0, (E > E_{0} \underline{u} E \le 0) \end{cases},$$
(1)

где n_E — плотность по оси энергий числа фотонов тормозного излучения, испущенных в единицу времени в единичный телесный угол; E — энергия испущенных фотонов; E_0 =eV — энергия электрона при столкновении с анодом; e — заряд электрона; V — напряжение на аноде; i_a — сила анодного тока; A_a — атомная масса анода; R_a =1.23- $\ln Z_a$ /6 — фактор обратного рассеяния электрона; Z_a — атомный номер анода; L_E вычисляется по формуле

$$L_E = ln \left[\frac{1.166(E_0 + E)/2}{0.0115 \cdot Z_a} \right]; \tag{2}$$

 $f(\chi_E^a)$ — поправка на поглощение фотонов с энергией E в аноде, вычисляемая по модифицированной формуле Филибера:

$$f(\chi_E^a) = \left[\left(1 + \frac{\chi_E^a}{\sigma} \right) \left(1 + \frac{h}{1+h} \cdot \frac{\chi_E^a}{\sigma} \right) \right]^{-1}, \tag{3}$$

$$\chi_E^a = \mu_{mE}^a / tg\psi_a \,; \tag{4}$$

 μ_{mE}^{a} — массовый коэффициент ослабления рентгеновского излучения энергии E материалом анода; ψ_{a} — угол отбора излучения из анода; $\sigma = 4.5 \cdot 10^{5} (E_{0}^{1.67} - E^{1.67})$; $h = 1.2 \cdot (A_{a}/Z_{a}^{2})$.

Для расчета интегральной интенсивности характеристической линии может использоваться выражение [3, 4]:

$$n_{ql} = 5 \cdot 10^{14} i_a b_q \varpi_q^a P_{ql}^a R_a (Z_a L_{ql}^a)^{-1} f(\chi_{ql}^a) [U_0 \ln U_0 - (U_0 - 1)] (1 + \Delta_2^q),$$
 (5)

где n_{ql} — число фотонов, испущенных в единицу времени в единичный телесный угол; q нумерует серию, к которой относится линия ($q=K,L,\ldots$); l нумерует линию внутри серии ($l=\alpha_1,\alpha_2,\beta_3,\ldots$ или эквивалентная информация об уровнях, участвующих в переходе); b_q — коэффициент в сечении ионизации атомов, определяемый экспериментально и равный [3–5] $b_K=0.6055,\ b_L=2.1375;\ \varpi_q^a$ — средний выход флуоресценции q-уровня; величины ϖ_q^a — табличные величины, характеризующие атом; p_{ql}^a — вероятность излучения l-линии q-серии (также табличные значения); $U_0=E_0/E_q^a$ — энергия электронов, падающих на анод, в единицах энергии связи (ионизации) q-уровня анода: экспериментальные энергии ионизации всех важных для рентгеновской спектроскопии уровней известны [2, 6]; Δ_2^q — доля вторичного возбуждения за счет тормозного излучения; для K-уровня можно использовать упрощенную формулу Грина-Косслета [3, 4] $\Delta_2^K \approx 1.06 \cdot 10^{-7} Z_q^4$, для L-уровня, аналогично, $\Delta_L^2 \approx 0.072 \cdot 10^{-7} (Z_q-20)^2 Z_q^2$.

Необходимость рассматривать линии других серий, кроме K и L, не возникает.

Формула (5) совместно с табличными значениями энергий соответствующих линий позволяет рассчитать характеристическую часть спектра излучения рентгеновской трубки в дельтаобразном приближении. Для учета эффекта уширения линий можно воспользоваться гауссовским приближением для профиля линии, что дает для распределения фотонов характеристической линии по оси энергий

$$n_E^{(ql)} = \frac{n_{ql}}{\Delta E_{ql} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left[\frac{E - E_{ql}}{\Delta E_{ql}}\right]^2\right),\tag{6}$$

где n_{al} рассчитывается по формуле (5), ΔE_{al} – полуширина линии.

Моделирование интенсивностей линий флуоресценции образца – чрезвычайно сложная задача. Поэтому в большинстве случаев ограничиваются простыми приближенными подходами, позволяющими учесть основные эффекты, влияющие на интенсивности линий. Атомный переход, формирующий линию, происходит в некотором элементарном объеме, расположенном в толще образца. Первичное излучение, спектр которого уже известен, падает на плоскую поверхность образца, испытывая при этом поглощение и рассеяние, и возбуждает атомный переход. Испущенные при этом кванты распространяются через толщу образца, также испытывая поглощение и рассеяние, и часть этих квантов регистрируется детектором, расположенным над поверхностью образца под определенным углом регистрации. При более точном описании приходится также учитывать вторичные эффекты, обусловленные возбуждением аналитических линий линиями флуоресценции образца, а не непосредственно первичным излучением. При суммировании по элементарным объемам, в которых возбуждается флуоресценция, предполагается, что выполнено условие полного поглощения, т.е., благодаря геометрии эксперимента, все падающие на образец первичные кванты полностью поглощаются в массе образца.

Математический аппарат представленной модели описан в [3, 7], численные значения фундаментальных параметров (массовых коэффициентов поглощения и ослабления, энергий краев поглощения и т.п.) представлены в [2] и [6]. Все геометрические параметры известны из постановки эксперимента.

Измерение и определение экспериментальных интенсивностей линий характеристического излучения элементов

Для упрощения расчета и уменьшения влияния вторичных эффектов, возникающих в многокомпонентных пробах, были выбраны чистые металлы: Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo (содержание примесей не более 0,001 %). Измерения проводились на спектрометре PEAH 404 (ОАО «Научные приборы»). Рентгеновская трубка – с родиевым анодом, все геометрические параметры известны. Регистрация излучения проводилась посредством полупроводникового детектора КЕТЕК с электроохлаждением на Пельтье-элементах. Именно его функцию отклика и требовалось найти. Для эксперимента был выбран следующий режим измерений: напряжение на рентгеновской трубке U = 30 kB; ток I = 100 мA; время измерения t = 300 c; среда в аналитической камере – воздух.

В качестве аналитических линий для всех указанных элементов были выбраны *Ка*-линии. Определение их интенсивностей производилось с помощью программного пакета ExACT, входящего в комплект поставки спектрометра PEAH404. Данный пакет, основанный на алгоритме «Оптимизационное моделирование», позволяет с высокой точностью отделить полезную составляющую спектра от фоновой и получить интегральные интенсивности искомых линий. Поскольку измерения проводились в воздушной среде, в расчет интенсивностей на входе детектора также вводилась поправка на поглощение излучения воздухом. Итоговые расчетные и экспериментальные значения интенсивностей линий указанных элементов приведены в табл. 1.

Элемент	Атомный номер	Энергия	Интенсивность линии	
		линии, кэВ	Расчетная	Экспериментальная
Ti	22	4,511	30055	17504
Cr	24	5,415	35373	19091
Mn	25	5,899	34792	18745
Ni	28	7,478	32814	16012
Cu	29	8,048	32023	15275
Zn	30	8,639	31265	14628
Zr	40	15,775	24185	5710
Nb	41	16,615	23570	4936
Mo	42	17,479	22984	4195

Таблица 1. Расчетные и экспериментальные значения интенсивностей

Моделирование функции отклика детектора

Отношение экспериментальных значений интенсивностей линий к теоретически рассчитанным значениям интенсивностей на входе детектора фактически и является искомой функцией детектора для излучения с энергией, соответствующей аналитическим линиям измеренных элементов. Проведение аппроксимирующей линии по найденным точкам позволило получить зависимость функции отклика детектора от энергии регистрируемых квантов. Вид полученной зависимости приведен на рис. 1. Более эффективная регистрация квантов с меньшей энергией объясняется их лучшим поглощением чувствительным слоем детектора, в то время как кванты с большей энергией могут пролететь насквозь без поглощения.

Необходимо отметить, что приведенная зависимость является приближенной и требует уточнения. В первую очередь, требуется повторение эксперимента в разреженной среде для исключения поглощения рентгеновского излучения воздухом. Также для уточнения функции отклика в области малых (менее 4 кэВ) и высоких (более 18 кэВ) энергий требуется измерение элементов с атомными номерами меньше 20 и больше 45, соответственно. Возможно, уточненная зависимость будет отличаться от линейной, представленной на рис. 1. Однако даже данные, полученные на текущем этапе работы, свидетельствуют о возможности применения предложенного алгоритма для определения функции отклика детектора и ее использования для количественного рентгенофлуоресцентного анализа методом фундаментальных параметров.

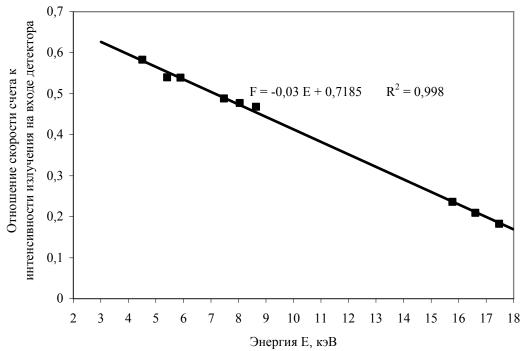


Рис. 1. Вид функции отклика детектора, полученной при моделировании **Литература**

- 1. Жуковский А.Н., Пшеничный Г.А., Майер А.В. Высокочувствительный рентгенофлуоресцентный анализ с полупроводниковыми детекторами. М.: Энергоатомиздат, 1991.
- 2. Блохин М.А., Швейцер И.Г. Рентгеноспектральный справочник. М.: Наука, 1982.
- 3. Бахтиаров А.В. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ в геологии и геохимии. Л.: Недра, 1985.
- 4. Рид С. Электронно-зондовый микроанализ. М.: Мир, 1979.
- 5. Storm E. Emission of Characteristic L and K Radiation from Thick Tungsten Targets // J. Appl. Phys., 1972, Vol. 43. No.6. P. 2790–2796.
- 6. http://physics.nist.gov/PhysRefData/contents-xray.html
- 7. Борходоев В.Я. Оптимизация численного интегрирования при рентгеноспектральном анализе по способу фундаментальных параметров // Журнал аналитической химии, 1988. Т. XLII. Вып. 9. С. 1584–1590.

11

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ ПРОИЗВОДСТВА В СРЕДЕ PDM-СИСТЕМЫ

Д.Д. Куликов, Е.И. Яблочников

В работе предложена методика применения PDM-систем для управления технологической подготовкой производства приборов и машин. На базе PDM «SMARTIM» показано использование PDM для всех функций управления ТПП, а также отслеживание жизненного цикла изделия на стадии ТПП.

Управление технологической подготовкой производства (ТПП) — это сложный, динамический процесс, от эффективного выполнения которого во многом зависит не только трудоемкость и стоимость технологической подготовки запускаемого изделия, но и стоимость изготовления самого изделия. Использование современных информационных технологий (ИТ) позволит по-новому организовать управления ТПП, сократить время и стоимость ТПП, повысить качество принимаемых решений. Однако в настоящее время мало работ, посвященные вопросам управления ТПП на базе информационных технологий, что и определяет актуальность данной статьи. В работе изложен один из возможных подходов по управлению ТПП с помощью систем класса PDM (Product Data Management — управления данными о продукте).

В результате анализа возможностей ИТ разработана методика управления ТПП, которая базируется на следующих основных положениях:

- управление ТПП основывается на использовании иерархической многоуровневой сети управления;
- управление ТПП ведется в среде PDM-системы, которая является основным инструментальным средством управления ТПП;
- управление ТПП выполняется с помощью распоряжений, хранимых в дереве проекта PDM-системы;
- для автоматизации контроля управления применяется технология «workflow», встроенная в PDM-систему.

РDM-система дает возможность организовать открытую информационную среду для быстрого авторизованного доступа ко всем информационным объектам, необходимым для управления ТПП [1, 2]. В качестве PDM-системы выбрана система SMARTEAM (разработка SmarTeam Corp./Dassault Systems).

На рис.1 изображена достаточно традиционная схема управления организационной системой, модули которой реализуют основные функции управления. Контур обратной связи образуется модулями учета, контроля и оперативного управления. В производственной практике функции, выполняемые этими модулями, объединяют в функцию диспетчирования ТПП.

Субъекты управления функционируют на базе автоматизированных рабочих мест, включенных в локальную или (и) глобальную сеть. Для этого в SMARTEAM используются следующие компоненты: SmartBox – организация внутренней почты, SmartWeb – доступ к дереву проектов через Интернет, SmartVault – сетевой обмен данными и их защита.

Субъекты управления разделены на три категории: лица, принимающие решение (ЛПР), наблюдатели и исполнители. ЛПР — это субъект управления, участвующий в управлении ТПП путем издания и передачи распоряжений на выполнение производст-

венных заданий. ЛПР – либо руководитель, например, главный технолог, начальник ТБ или КБ, либо лицо, которому руководитель подразделения делегировал свои полномочия на издание распоряжений. *Наблюдатель* – это субъект управления, выполняющий учет и (или) контролирующий выполнение ТПП изделия. В производственных условиях роль наблюдателя выполняет диспетчер. *Проектант* – это субъект управления, непосредственно выполняющий производственные задания. Проектантами считаются не только конструктора, технологи, расчетчики и программисты для станков с ЧПУ, но и лица, проверяющие и утверждающие документы, так как контроль документов требует высокой квалификации специалистов.



Рис. 1. Схема управления ТПП

Необходимо отметить, что, независимо от уровня автоматизации решаемой задачи, проектанты должны фиксировать результаты своей деятельности в электронном архиве. В противном случае управление ТПП с помощью PDM-системы становится невозможной. Проектант регистрирует вновь созданные информационные объекты в дереве проекта PDM-системы и заносит их в электронный архив.

Поток производственных заданий в ТПП является достаточно сложным и может быть выражен в виде «сети управления».

Сеть управления — направленный раскрашенный связный граф без петель, каждая вершина которого отражает производственное задание, а дуги — отношение следования между вершинами. Сеть управления имеет одну вершину-исток, называемую начальной вершиной сети, и одну вершину-сток, называемую конечной вершиной сети.

Дуга, отображаемая непрерывной линией, соответствует нормальному выполнению заданий. Дуга в виде пунктирной линии отображает возврат на повторное выполнение задания. Наличие возвратов отражает итерационный характер процесса управления, связанный с последовательным уточнением принимаемых решений и проведением необходимых изменений. Каждая вершина может находиться в трех состояниях: состояние ожидание (задание, закрепленное за вершиной сети, еще не выполнялось), активное состояние (задание находится в стадии решения), пассивное состояние (задание, выполнено). При оперативном управлении вершины сети переходят из одного состояния в другое.

Дуги, входящие в вершину, могут быть связаны отношением «И» или отношением «ИЛИ». Если входящие дуги связаны отношением «И», то активизация вершины возможна, если эти дуги идут только от пассивных вершин. При наличии отношения «ИЛИ» активизация вершины возможна, если входные дуги идут от вершин, из которых хотя бы одна вершина является пассивной. В правилах перехода для каждой вер-

шины фиксируются условия перехода к следующим вершинам на основе результатов выполнения задания, закрепленного за этой вершиной.

Обычно система управления ТПП является децентрализованной, и, следовательно, управление ведется по уровням — уровень ТПП, уровень подразделения, уровень группы специалистов. В теоретическом плане это означает, что каждая вершина на i-м уровне управления может быть развернута в сеть на i +1 уровне управления. Если вершину нельзя развернуть, то это означает, что вершина отображает задание, которое не раскладывается на другие задания. Такую вершину будем называть конечной, в противном случае вершина называется n

На первых этапах ТПП изделия сеть управления составляется лишь на первом, основном уровне, и далее, по мере осуществления ТПП, выполняется последовательное развертывание сети на нижних уровнях управления. Пример упрощенной сети управления показан на рис. 2.

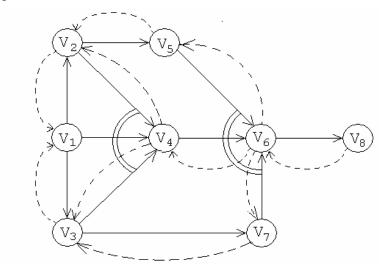


Рис. 2. Пример упрощенной сети управления ТПП

На рисунке приняты следующие обозначения: V_1 – проектирование технологического процесса; V_1 – проектирование технологического процесса на деталь; V_2 – проектирование специального инструмента; V_3 – проектирование специального приспособления (штампа, пресс-формы); V_4 – утверждение комплекта технологических карт на изготовление детали; V_5 – изготовление специального инструмента; V_6 – внедрение ТП в производство; V_7 – изготовление специального приспособления; V_8 – утверждение акта внедрения ТП.

Планирование ТПП. При рассмотрении вопросов планирования ТПП необходимо исходить из того, что деятельность подразделений ТПП выполняется по трем направлениям:

- работы, связанные со стратегическим направлением развития предприятия;
- технологическая подготовка изделий, выпуск которых необходимо начать;
- совершенствование самой технологической подготовки предприятия.

Первое направление является составной частью общей стратегии развития предприятия, направленной на обеспечение рыночных перспектив предприятия. По данному направлению возможен комплекс НИОКР, выполняемых как подразделениями ТПП, так и сторонними организациями. В этих рамках предполагается повышение технологического уровня предприятия путем приобретения перспективных технологий и технологического оснащения, а также исследование эффективных способов их использования. Третье направление связано с совершенствованием ТПП и имеет целью сокращение трудоемкости и стоимости ТПП. При планировании работ для этого направле-

ния в первую очередь ориентируются на применение в ТПП современных информационных технологий.

Планирование рассматривается не только как составная часть процесса управления, но и как часть процесса решения задач ТПП, так как требует определенных ресурсов, поэтому задачи планирования встраивается в каждую сеть управления как начальная вершина. По мере осуществления ТПП изделия и развертывания сети управления выполняется разработка сетевых графиков, отражающих сеть управления, или их корректировка из-за нарушения графиков планирования при возврате документов на доработку или при возникновении непредвиденных обстоятельств.

Независимо от примененных инструментальных средств, результаты планирования фиксируются в дереве проекта PDM-системы, что дает возможность субъектам управления осуществить быстрый и авторизованный доступ к сетевым графикам при выполнении действий, связанных с управлением ТПП изделия.

Для реализации указанного подхода был разработан класс данных, названный «График». На его базе может быть создан информационный объект «График». Этот информационный объект (ИО) состоит из объекта указанного класса и контрольных моделей, выражающих сеть управления и представляющих собой текстовые модели плановых документов.

Планирование ТПП для какого-либо объекта начинается после того, как издано необходимое распоряжение, зарегистрированное как ИО «График». На первом этапе планирования ИО «График» содержит лишь распоряжение, на основании которого он создан. Лицо, которому доверена разработка плановых документов, открывает учетную карточку папки-графика и вызывает приложение, с помощью которого выполняется планирование. В простейшем случае возможен вызов текстового редактора, с помощью которого и составляется план-график решения задачи ТПП. Однако более эффективным является использование специальных систем для решения задач планирования. В частности, возможно использование системы МЅ Ргојест для разработки пакета плановых документов. Эта система удобна тем, что позволяет на основе анализа графика Ганта минимизировать критический путь выполнения задачи. Кроме того, достаточно просто выполнять корректировку плановых графиков при нарушении сроков выполнения задач и повторно проверять критический путь.

Оперативное управление. Оперативное управление – это совокупность управляющих воздействий_в виде распоряжений, поступающих от ЛПР и направленных на активизацию действий субъекта над объектом управления. Для этого ЛПР:

- проводит анализ плановых документов;
- определяет задачи, которые необходимо начать выполнять;
- издает распоряжения на выполнение этих задач плана.

Распоряжения ЛПР регистрируется в дереве проекта PDM-системы и передаются через почтовые ящики субъектам управления. На основе распоряжения в дереве проекта регистрируется информационный объект и создается учетная карточка объекта, в которой фиксируются сроки выполнения задания. Если задача сложная, то распоряжения передается не проектанту, а ЛПР более низкого уровня управления для планирования задачи. В этом случае происходит развертывание сети управления.

После завершения задания субъект управления в папке для решенной задачи делает отметку о дате ее завершения, что для соответствующей вершины сети управления означает ее переход в пассивное состояние. Использование PDM-системы позволяет повысить эффективность оперативного управления ТПП на основе быстрого определения по дереву проекта состояния ТПП и передачи распоряжений средствами внутренней электронной почты.

Учет и контроль ТПП. Применения PDM-системы позволяет ускорить учет и контроль выполнения ТПП, а также получать адекватную информацию о ходе ТПП пу-

тем максимально быстрого выявления отклонений от план-графика ТПП. Автоматизация этих функций позволяет уменьшить потребность в проведении совещаний с руководителями подразделений о ходе выполнения ТПП. Своевременно обнаруженные отклонения способствуют выдерживанию общих сроков выполнения ТПП изделия.

В условиях использования PDM-системы функция учета реализуется на основе использования дерева проекта и учета фактических состояний информационных объектов по их учетным карточкам. Важным достоинством такого способа наблюдения за ходом ТПП является возможность наблюдателю (при соответствующих правах) быстро войти в любое место дерева проекта и проверить состояние любого ИО.

Функция контроля реализуется путем сравнения фактических с плановыми сроками выполнения заданий и определения отклонений от плановых заданий. Информация о плановых сроках выбирается либо из учетной карточки, если в ней есть атрибут «Дата окончания по плану», либо из распоряжения на выполнение задания.

Момент времени, для которого проводится анализ состояния дел, назовем точкой наблюдения, а срок завершения задания – контрольной точкой. Фокус наблюдения регулируют либо поиском по дереву проекта, либо с помощью запросов на поиск нужной информации на основе мощного поискового инструментария системы SMARTEAM. Для поиска могут быть разработаны типовые поисковые процедуры PDM-системы двух видов: запросы «о выполнении» и запросы «об отклонении».

Запросы первого типа выполняются путем поиска по учетным карточкам в дереве проекта и вывода на экран списка интересующих наблюдателя ИО. Запрос «об отклонении» позволяет найти задания, у которых нарушены либо сроки начала выполнения, либо сроки завершения выполнения. Отодвигая точку наблюдения на более ранние сроки, можно выявить, когда начались расхождения с графиком работ и какие меры предпринимались для устранения причин нарушения сроков. Для этого, например, анализируются распоряжений и определяют, кто, когда и почему проводил корректировку планов.

Наблюдение за ходом ТПП изделия требует определенных затрат времени, и чем сложнее изделие, тем больше времени необходимо для анализа хода ТПП изделия. Поэтому целесообразно функции учета и контроля выразить в виде самостоятельных задач по контролю ТПП. Для этого в сети создаются вершины с прикрепленными к ним задачам контроля ТПП. Решение таких задач заключается в выводе информации, необходимой для оценки хода ТПП изделия, например, списка задач, сроки выполнения которых просрочены.

Использование программной среды, которую предоставляет PDM-система, а также библиотеки процедур для работы с деревом проекта и библиотека типовых запросов позволяет разработать информационно-справочную систему (ИСС) для автоматизированного учета и анализа хода ТПП. Такая ИСС должна выполнять сбор и подготовку информации о ходе выполнения ТПП изделия. Результаты функционирования ИСС должны представлять собой документы, содержащие информацию в разрезе, необходимом наблюдателю – например, отчеты, предоставляющие как полную информацию о ходе ТПП конкретного изделия, так и лишь информацию об отклонениях от графика выполнения ТПП.

Технология «workflow». Эффективность управления ТПП может быть существенно повышена за счет автоматизации документооборота, основанного на технологии «workflow». Эта технология реализуется с помощью компоненты SmaptFlow, входящей в состав SMARTEAM. Сеть управления, называемая в этой технологии деловым процессом (ДП) или бизнес-процессом, визуально выражается в виде диаграммы потока производственных заданий (flowchart). Эта диаграмма представляет собой совокупность узлов и соединителей, по которым информация перемещается от одного узла к другому. Узел определяет производственное задание и его характеристики. При составлении производственного задания для каждого узла указывается информация об

исполнителе и задание, которое он должен выполнить, а также сроки или другие условия выполнения задания.

Диаграммы потоков могут быть достаточно быстро разработаны в режиме диалога с помощью специального компонента Flow Chart Designer. Специальное окно позволяет наблюдать за статусом любого задания в реальном масштабе времени. В систему могут быть включены шаблоны типовых графиков заданий. При использовании указанной технологии процесс планирования ТПП изделия завершается разработкой и вводом необходимых диаграммы потоков.

Оперативное управление в этих условиях выполняется следующим образом. После инициирования делового процесса в стартовом узле диаграммы инициируются те узлы, которые связаны соединителями со стартовым узлом. Проектанты, прикрепленные к этим узлам, средствами внутренней электронной почты получают распоряжения о необходимости выполнить указанные задания. Вместе с распоряжением передается вся необходимая для работы информация. После того, как проектант выполнил производственное задание, он сообщает системе о его выполнении. Это инициирует следующие узлы диаграммы, которые имеют соединения с данным узлом, и т.д. до завершения выполнения всех работ в конечном узле диаграммы. Таким образом, на базе технологии «workflow» возможно обеспечить высокий уровень автоматизации оперативного управления.

Функция наблюдения и анализа хода ТПП изделия в дополнение к имеющимся средствам наблюдения может выполняться на основе анализа диаграмм потоков. Узлы диаграммы имеют специальную цветовую пометку, позволяющую определить состояние узла. Изменение состояния узла происходит в реальном масштабе времени.

Разработка и корректировка нормативов планирования. Нормативы планирования используются для составления планов. Использование современных информационных технологий ведет к необходимости коррекции нормативов планирования. Корректировка нормативов возможна по мере накопления статистики о времени выполнения тех или иных задач ТПП. На базе программных средств PDM системы возможно создание программных модулей, накапливающих статистику о фактической продолжительности решения задач ТПП для различных видов объектов. На базе полученных статистик проводится корректировка плановых нормативов. Своевременно проведенные корректировки нормативов позволяют повысить достоверность планирования и способствуют выполнению ТПП изделий в заданные сроки.

Выводы

- 1. PDM «SMARTEAM» обладает широкими функциональными возможностями и может быть использована для автоматизированного управления ТПП.
- 2. Предложенная методика применения PDM-системы позволяет повысить эффективность управления ТПП и, в конечном счете, существенно сократить сроки и стоимость подготовки изделий к производству.
- 3. Для практического использования методики необходимо разработать комплекс программных приложений на базе API PDM «SMARTEAM» и провести их испытания на конкретных промышленных предприятиях. В настоящее время исследования по управлению ТПП в среде PDM «SMARTEAM» выполняются на кафедре технологии приборостроения СПб ГУ ИТМО.

Литература

- 1. Яблочников Е.И. Методологические основы построения АСТПП. СПб: СПбГУ ИТМО, 2005.- 84 с.
- 2. Зильбербург Л.И., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Реинжиниринг и автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении. СПб: Компьютербург, 2003. 152 с.

ВОПРОСЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ С НЕСТАНДАРТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

В.М. Медунецкий, С.А. Горбунов

Данная статья посвящена основным проблемам изготовления и оптимизации зубчатых механизмов. В статье рассматриваются нестандартные зубчатые зацепления и новые технологии изготовления малогабаритных зубчатых колес.

Ввеление

В настоящее время в технике наблюдается тенденция к миниатюризации механизмов и использовании различных видов современных пластических масс и композиционных материалов. В этом случае найден определенный баланс между техническими, технологическими и эксплутационными показателями механических устройств, с одной стороны, и экономическими – с другой. Широкое применение современных пластмасс стало возможным благодаря комбинации их технических свойств – низкой плотности, высокой эластичности и износостойкости, химической и коррозиционной стойкости, низким коэффициентом трения. Одно из основных достоинств таких материалов – возможность изменять технические свойства в большом диапазоне. Пластмассовые зубчатые колеса применяют при небольших нагрузках и повышенных требованиях к шуму, коррозионной стойкости, износостойкости. Кроме того, зубчатые колеса из пластмассы и композиционных материалов в 3-5 раз легче, чем зубчатые колеса из металлов и сплавов. Это позволяет использовать такие передачи в узлах современных малогабаритных роботов и в условиях, где важное место занимает масса и геометрические параметры передачи, например, в космической промышленности. Целесообразно использовать пластмассы для колес, работающих в узлах современных роботов, условиях низких давлений или в вакууме, например для летательных аппаратов и космической промышленности. Основным недостатком, вследствие использования менее прочных материалов, является уменьшение прочности изделий, в частном случае - контактной и изгибной прочности зубчатых колес.

Основная часть

В некоторых малогабаритных зубчатых механизмах назначаются различные режимы эксплуатации в различных направлениях в связи с миниатюризацией зубчатых передач. Также малогабаритные зубчатые передачи стали работать в напряженных условиях. Поэтому во многих случаях возникает необходимость повышения нагрузочной способности зубчатых передач, повышения их надежности и работоспособности. Одним из вариантов оптимизации зубчатых механизмов является использование нестандартных зубчатых колес. Используя нестандартные зубчатые зацепления, можно повысить показатели прочности зубчатой передачи без значительного увеличения габаритов. Однако изготовление нестандартных зубчатых колес очень часто затруднено сложностью геометрической формы зуба, что, в свою очередь, ведет к высоким затратам на изготовление нестандартных зубчатых звеньев либо к невозможностью изготовления зубчатых колес данного вида классическими методами. Целью работы служит предложение новых технологий для изготовления нестандартных зубчатых колес.

К нестандартным зубчатым колесам следует, в первую очередь, отнести двухвенцовые зубчатые колеса и зубчатые колеса с несимметричным профилем.

Задачу повышения нагрузочной способности, а также плавности работы зубчатой передачи в некоторых случаях можно решить, используя двухвенцовые зубчатые колеса. Известно, что металлические двухвенцовые передачи рассматривались П.В. Миро-

новым (который проводил исследования под руководством профессора К.И. Гуляева) с точки зрения улучшения плавности работы зубчатой передачи (для улучшения условий пересопряжения в зоне зацепления). В данном случае рассматриваются двухвенцовые зубчатые колеса с укороченным по высоте зубом с целью увеличения не только плавности работы, но и изгибной прочности за счет увеличения толщины зуба, что, в свою очередь, позволяет увеличить нагрузочную способность.

Зубчатые венцы шестерни и зубчатого двухвенцового колеса состоят из двух одинаковых частей на единой основе-ободе (рис. 1), которые повернуты относительно своих осей вращения и, соответственно, друг относительно друга на 0,5 P, где P — шаг по делительным окружностям. Зацепление в такой передаче осуществляется попеременно (последовательные циклы зацепления). Для осуществления именно последовательного попеременного зацепления коэффициент зацепления каждой пары в отдельности теоретически должен быть равен ε_{12} = 0,5 и ε_{21} = 0,5. Суммарный номинальный коэффициент всей передачи ε = ε_{12} + ε_{21} = 1,0. В этом случае имеется возможность увеличения нагрузочной способности передачи за счет увеличения толщины зубьев венца [3].

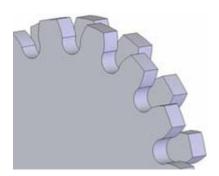


Рис. 1. Фрагмент двухвенцового зубчатого колеса

Передачи, составленные из зубчатых колес с несимметричными зубьями, используются тогда, когда нагрузка на зуб при вращении в прямом и обратном направлении неодинакова, либо нагрузка одинакова, но используется для одного из профилей в течение существенно более длительного периода времени. Применяя зубчатые передачи с несимметричным профилем звеньев, можно значительно повлиять на геометрические параметры зацепления: при необходимости увеличить угол зацепления, повысить коэффициент перекрытия, уменьшить удельное скольжение профилей, а между зубцами впадины вписать более пологую переходную кривую и, таким образом, спроектировать зубцы с наименьшей концентрацией напряжений у основания. Зубчатая пара, составленная из колес с несимметричными зубьями, работает в прямом и обратном направлении вращения при различных углах зацепления (рис. 2) [4].

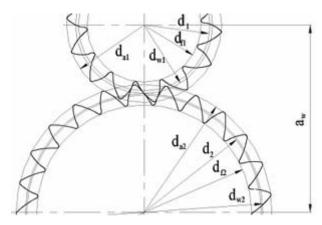


Рис. 2. Зубчатая пара, составленная из колес с несимметричными зубьями

Таким образом, целесообразно применять нестандартные зубчатые звенья в малогабаритных механизмах и в передачах

По сравнению с другими методами (изготовление моделей из пенопласта и прочих подобных материалов или на станках с ЧПУ), существовавшими до середины 1980-х гг., появление систем быстрого изготовления прототипов было переворотом в технологии. Вместо того чтобы ждать физические модели на протяжении нескольких недель, конструкторы могут получать их через несколько дней или часов.

В настоящее время на рынке существуют различные RP-системы, производящие модели по различным технологиям и из различных материалов. Однако все существующие системы для быстрого прототипирования работают по схожему, послойному принципу построения физической модели, который заключается в следующем:

- считывание трехмерной геометрии из 3D CAD-систем в формате STL (обычно твердотельные модели, или модели с замкнутыми поверхностными контурами). Все CAD-системы твердотельного моделирования могут выдавать файлы STL;
- разбиение трехмерной модели на поперечные сечения (слои) с помощью специальной программы, поставляемой с оборудованием или используемой как приложение;
- построение сечений детали слой за слоем снизу вверх, до тех пор, пока не будет получен физический прототип модели.

Возможности RP-технологий в плане точности изготовления, а также использования различных материалов пока ограничены. В связи с этим некоторые изделия ввиду сложности конструкции, функциональных свойств и свойств материалов целесообразно изготавливать путем сочетания RP-технологий с традиционными.

Технология литья под вакуумом в силиконовые формы применяется для изготовления небольших (20–80 шт.) партий деталей из полиуретановых материалов и эпоксидных смол, имитирующих эксплуатационные свойства термопластов (ПЭ, ПП, АБС, ПММА, ПК и др.). Основными преимуществами данной технологии являются:

- быстрота изготовления оснастки;
- возможность применения полученных деталей по прямому назначению;
- получение партии деталей в течение двух-трех недель;
- изготовление деталей различных габаритов и сложности (в том числе и любого нестандартного зубчатого контура), максимально приближенных по потребительским свойствам к серийным деталям.

Мастер-модель для литья в силиконовые формы может быть изготовлен с помощью любого из методов быстрого прототипирования или другими способами.

В крупносерийном и массовом производствах пластмассовых изделий стойкость пресс-форм должна обеспечивать изготовление тысяч изделий, что предопределяет необходимость использования металлических пресс-форм из качественных сталей. Проблема усложняется тем, что для получения высококачественных изделий необходимо обеспечить строгий и равномерный режим охлаждения пластмассы в пресс-форме. Практически это означает то, что охлаждающие каналы должны максимально повторять формы изготавливаемых изделий, что невозможно сделать с помощью традиционных технологий.

В результате анализа современных возможностей технологий быстрого прототипирования было определено, что для вышеуказанной цели больше всего подходит идея RP-технологии с использованием листовых материалов. Суть этой технологии заключается в следующем. Изделие, в данном случае пресс-форма, проектируется на компьютере, при этом форма и размеры охлаждающих каналов соответствуют строгим теоретическим расчетам, гарантирующим высокое качество изготавливаемого изделия. По результатам компьютерного проектирования каждый слой изготавливается с помощью лазерной установки из листового материала требуемой марки. В частном случае эта операция может выполняться с помощью традиционных технологий (например, фрезе-

рованием). Изготовленные из листового металла слои пресс-формы собираются вместе и сжимаются с помощью специальных устройств, например скоб [1]. Сжатый пакет листовых слоев сваривается с помощью диффузионной сварки, приобретая монолитный характер, соответствующий по прочности цельному изделию. В случае необходимости, отдельные поверхности изделия можно подвергать традиционной механической дополнительной обработке.

Этот процесс создания изделий от возникновения идеи до запуска в производство схематически изображен на рис. 3.

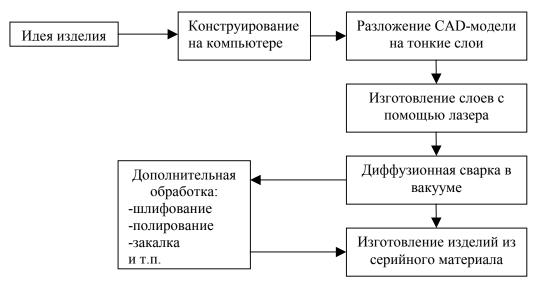


Рис. 3. Схема создания пресс-форм из листовых материалов

В том случае, когда требуются 20–100 прототипов зубчатых колес (т.е. для мелкосерийного производства) и необходимо, чтобы они были отлиты под давлением из промышленной пластмассы, эластичная оснастка не подходит. В то же время при изготовлении нескольких сотен или нескольких тысяч деталей, невозможно окупить затраты на стальную серийную оснастку. Эту задачу можно решить с помощью так называемой «промежуточной оснастки», которая используется в тех случаях, когда применение серийной оснастки экономически нецелесообразно, а эластичная оснастка не позволяет изготавливать детали, которые по характеристикам аналогичны деталям, изготавливаемым литьем пластмасс под давлением.

Один из наиболее эффективных способов – литье под давлением в формы, построенные непосредственно из стереолитографического полимера.

При изготовлении зубчатых колес с несимметричным профилем следует обратить внимание на некоторые особенности. Важно выдержать время цикла при работе с оснасткой. Очень важно не пытаться слишком быстро разнимать форму. Опыт показал, что разрушение форм, изготовленных из полимера, происходит не в процессе литья, а возникают как раз во время извлечения отливки из пресс-формы. Поэтому более длительный цикл позволяет обеспечить лучшее остывание залитой пластмассы, уменьшая прилипание отливки к полимерной вставке.

Другим моментом, представляющим интерес, является использование антиадгезивов для пресс-форм. Антиадгезив необходимо наносить на формообразующие поверхности перед каждым циклом впрыск/извлечение. Без этого отливка будет прилипать к формообразующей поверхности, и при ее извлечении на форме могут появиться трещины и сколы. В дальнейшем при отливке изделий на их поверхности будут воспроизведены эти дефекты.

Основное преимущество такого способа изготовления формы состоит в том, что формообразующие пуансона и матрицы изготавливаются непосредственно на установ-

ке стереолитографии. Следовательно, никакие вспомогательные процессы, за исключением очистки стереолитографической детали, удаления элементов поддержки, пескоструйной обработки и полировки, не требуются. Однако существуют и недостатки.

Удельная теплопроводность отвержденных стереолитографических полимеров приблизительно в 300 раз ниже, чем у стандартной инструментальной стали, что значительно снижает скорость передачи тепла от пластмассовой детали к оснастке [1]. Поэтому рекомендуемый цикл составляет 4–5 мин., в отличие от стандартного цикла (5–15 с) для литья под давлением с использованием стальной оснастки.

Стереолитографические формы имеют невысокую механическую прочность, особенно при высоких температурах литья под давлением. Как указывалось ранее, повреждение оснастки часто возникает при извлечении отливки, особенно если сокращено время цикла.

Заключение

Таким образом, в малогабаритных механизмах целесообразно использовать нестандартные зубчатые звенья, способные работать в экстремальных условиях.

В результате анализа современных технологий были выделены технологии, позволяющие изготовить практически любой нестандартный зубчатый профиль в условиях единичного, мелкосерийного и массового производства.

Литература

- 1. Валетов В.А., Бобцова С.В. Новые технологии в приборостроении СПб:СПБГУ ИТМО, 2004
- 2. Валетов В.А., Мурашко В.А. Основы технологии приборостроения / Учебное пособие. СПб: СПБГУ ИТМО, 2006
- 3. Медунецкий В.М. Обеспечение качественных показателей комбинированных цилиндрических передач СПб: Политехника, 2002. 160 с.
- 4. Тимофеев Б.П., Фролов Д.А. Расчет геометрических параметров цилиндрических эвольвентных передач с несимметричными зубьями // Теория механизмов и машин. Вып. 2 (6). Т. 3. СПб: СПбГПУ, 2005 С. 15–29.

ИННОВАЦИОННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА «УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА»

А.П. Акимов, И.А. Манько, А.В. Перепелкин, С.Ф. Соболев

Лаборатория поверхностного монтажа создается с целью повышения уровня знаний выпускаемых специалистов и организации в Санкт-Петербурге повышения квалификации специалистов в области поверхностного монтажа с полным информационным обеспечением в системе класса PLM (Product Lifecycle Management) с ППП «Allegro» фирмы Cadence. Реализация данного проекта предполагает создание межкафедральной лаборатории сборки и поверхностного монтажа на базе кафедры технологии приборостроения.

Описание лаборатории

В последнее время роль электронных систем в приборах резко возросла, и появились новые технологии изготовления электронных систем, в том числе и поверхностного монтажа. В настоящее время целый ряд фирм поставляет специализированное оборудование для поверхностного монтажа, вспомогательные материалы и т.п.: ESSEMTEC AG, TRESTON, FINNSONIC, X_TEK, Bruel&Kjer, LEM, PACE and WELLER, CRAMOLIN, FLUKE, AGILENT (HP), KENWOOD, METRIX, PHOTNIX CONTACT, SIEMENS, TEKTRONIX, MAГИСТР, ОАО «Компания ИМПУЛЬС», ПО «Белвар», АО «Римеда».

Предполагается производство плат с поверхностным монтажом для изготовления опытных и серийных образцов по разработкам кафедры электротехники и прецизионных электромеханических систем (ЭТ и ПЭМС) и других заказчиков. Методическое руководство работой учебной лаборатории осуществляет преподаватель кафедры технологии приборостроения (ТПС). Заместителем его по обеспечению производственной и коммерческой деятельности назначается сотрудник кафедры ЭТ и ПЭМС.

В рамках данной программы решаются инновационные, образовательные и научно-производственные задачи.

Инновационные задачи:

- организация учебного процесса в тесной кооперации с научными и производственными отделами «ОАО Техприбор», а также с инновационными коммерческими компаниями;
- использование в учебном процессе новейших информационных технологий мирового уровня, реализуемых программными системами класса PLM (Product Lifecycle Management), которые обеспечивают информационную поддержку жизненного цикла изделий (ИПИ-технологии);
- создание интегрированных систем проектирования и изготовления изделий на основе технологий поверхностного монтажа.

Образовательные задачи:

- формирование ряда учебных курсов, циклов лекций и лабораторных работ, обеспечивающих комплексную подготовку специалистов по применению технологии поверхностного монтажа;
- создание многоуровневой системы подготовки специалистов в области компьютеризации процессов проектирования и изготовления изделий на основе технологий поверхностного монтажа;
- создание системы сопровождения, обеспечивающей сквозное отслеживание качества процесса обучения специалиста по всему жизненному циклу обучения (абитуриент студент специалист).

Научно-производственные задачи:

- создание участка поверхностного монтажа с полным информационным обеспечении в системе класса PLM (Product Lifecycle Management);
- разработка методов и программных компонентов технологической подготовки производства, необходимых для информационной поддержки жизненного цикла изделий на предприятии;
- разработка методов и создание программных механизмов адаптации универсальных PLM-решений к особенностям отечественного производства.

Технологический процесс поверхностного монтажа предполагает следующие операшии:

• комплектовочная;

- подготовительная;
- подготовка основания печатной платы;
- установка ЭРЭ и ИМС на печатную плату;
- пайка;
- промывочная;
- лакировочная;
- контроль и настройка, устранение дефектов;
- упаковочная.

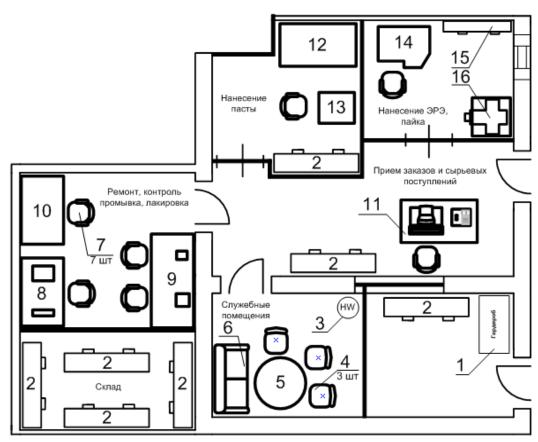


Рис. 1. Проект лаборатории: 1 – гардероб, 2 – шкаф, 3 – кулер для воды, 4 – стул, 5 – стол круглый, 6 – диван, 7 – стул вращающийся, 8 – стол промывки печатных плат с ультразвуковыми ваннами DSC, 9 – стол с ремонтными паяльными станциями, 10 – стол с системой визуального контроля MIGHTY MAG, 11 – стол с ПК и телефоном, 12 – стол подготовки паяльной пасты, 13 – устройство трафоретной печати, 14 – устройство установки ЭРЭ на печатную плату, 15 – шкаф с ЭРЭ, 16 – стол с паяльной печью

Лаборатория может быть размещена на произвольной площади. Оборудование, необходимое для технологического процесса, схематически разделяется на следующие зоны: нанесение пасты, установка ЭРЭ, пайка, а также зона для ремонта, промывки, контроля и лакировки изделий. Также предусмотрены помещения для приема заказов, складские помещения и место для отдыха.

На участках должно быть установлено следующее оборудование.

1. Полуавтоматическое устройство трафаретной печати SPR-40 фирмы APS. Предназначено для нанесения паяльной пасты или клея на печатные платы методом трафаретной печати через металлические шаблоны или сетчатые трафареты.

Максимальная зона работы 406×457 мм.

Размеры 724×838×355 мм.

Ориентировочная стоимость 8153 у.е.

2. Устройство нанесения ЭРЭ на печатную плату L-40 фирмы APS (рис. 2). Предназначено для установки компонентов поверхностного монтажа на печатную плату в условиях серийного производства.

Размеры 965×1220×1320 мм.

Ориентировочная стоимость 31458 у. е.



Рис. 2. Устройство нанесения ЭРЭ на печатную плату

3. Конвейерная печь полного конвекционного оплавления GE-12 фирмы APS. Предназначена для профессиональной пайки компонентов на печатные платы методом оплавления в условиях серийного производства.

Размеры 990×813×483 мм.

Ориентировочная стоимость 10000 у. е.

4. Ультразвуковые настольные ванны серии SC фирмы SONICOR. Предназначены для удаления загрязнений с поверхности электронных модулей после монтажа.

Внутренние размеры $140 \times 127 \times 63 \text{ мм } (1.1 \text{ л}) - 406 \times 355 \times 274 \text{ мм } (39.5 \text{ л}).$

Ориентировочная стоимость 341–4734 у. е.

5. Система визуального контроля – линза с подсветкой MIGHTY MAG фирмы AVEN TOOLS. Предназначена для контроля качества монтажа поверхностных компонентов.

Размеры экрана 152×157 мм. Ориентировочная стоимость 150 у. е.

6. Ремонтная цифровая паяльная станция ЕХ-750 фирмы А.Р.Е. Предназначена для сборочных и ремонтных работ в условиях опытного и мелкосерийного производства.

Имеет в своем составе контактный паяльник, термовоздушный паяльник, термопинцет, термоотсос.

Ориентировочная стоимость

2488 y. e.

7. Паяльная станция SVS-500AS фирмы TAIYO ELECTRIC IND.CO.,LTD. Предназначена для сборочных и ремонтных работ в условиях опытного и мелкосерийного производства. Имеет в своем составе контактный паяльник, термоотсос.

Ориентировочная стоимость

1017 y. e.

Общая стоимость оборудования, без учета настройки и расходных материалов, составляет 55000 у.е.

Учебный процесс

Учебный процесс состоит из лекций и лабораторных работ общей продолжительностью 16 академических часов.

Лекция 1. Технология электромонтажа элементов, устанавливаемых в отверстие, и поверхностный монтаж. Преимущества и недостатки, себестоимость электромонтажных работ. Контрольно-измерительное оборудование.

Лабораторная работа 1. Пайка с использованием паяльной станции электроэлементов, устанавливаемых в отверстие.

Методика проведения лабораторной работы заключается в ознакомлении с методическими указаниями, изучении материалов для пайки, выполнении пайки на имеющемся оборудовании, выполнении выпайки элементов, оформлении отчета.

Лекция 2. Поверхностный монтаж. Типовой технологический процесс. Отработка конструкции платы на технологичность. Технологическое оборудование, обеспечивающее технологический процесс.

Лабораторная работа 2. Установка электроэлементов поверхностным монтажом и пайка в конвекционной печи.

Методика проведения работы заключается в ознакомлении с методическими указаниями, знакомстве с паяльной станцией М-50 или другой, ознакомлении с технологическими возможностями станции, знакомстве с установкой ПМИ и ее конструктивными характеристиками, выполнении работы с конкретными характеристиками ПМИ, демонтаже изделий, оформлении отчета.

Лекция 3. Выбор оборудования для изготовления шаблонов и нанесения защитных масок. Методы испытаний и испытательное оборудование.

Лабораторная работа 3. Нанесение защитной маски методом шелкографии.

Методика работы заключается в ознакомлении с методическими указаниями, знакомстве с защитными масками (существующими и имеющимися в наличии), выполнении работы по нанесению защитной маски на существующем оборудовании методом шелкографии, очистке платы от нанесенной маски в соответствующих растворах, оформлении отчета.

Лекция 4. Выбор оборудования для установки электроэлементов в зависимости от применяемой элементной базы и типа производства. Системы управления оборудованием – ручное управление, с запоминанием и повторением процесса, автоматизированные установки.

Лабораторная работа 4 на монтажной станции с использованием ПК.

Методика работы заключается в ознакомлении с существующим оборудованием для установки ПМИ в зависимости от конструкции изделия и типа производства, знакомстве с существующими системами управлениями оборудования на имеющимся компьютерном оборудовании в аудитории кафедры ТПС, выборе оборудования и системы управления им для конкретных типов элементов плат. В зависимости от типа

производства используются как ручные, так и автоматизированные системы управления.

Обучение студентов современным методам изготовления плат печатного монтажа позволит существенно повысить уровень знаний выпускаемых специалистов. Подробные методики проведения работ будут разработаны после получения оборудования.

Заключение

Описанная в работе лаборатория позволит значительно увеличить качество подготовки специалистов в таких актуальных областях, как компьютеризация процессов систем проектирования и изготовление изделий на основе технологий поверхностного монтажа. Лаборатория способна взять на себя производство опытных и серийных образцов по разработкам кафедры ЭТ и ПЭМС на коммерческой основе с целью поддержки пополнения материально-технической базы кафедры и университета в целом для совершенствования качества учебного процесса.

Литература

- 1. http://www.torex.spb.ru/>
- 2. http://www.pribor.ru/>
- 3. http://www.tlt-micro.spb.ru/

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИРТУАЛЬНОГО СТРОКОВОГО ПРОСТРАНСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ И КОММУНИКАТИВНОГО ФОРМАТА MARC

А.Н. Филиппов, А.Н. Сисюков

В статье описана структура российской версии коммуникативного формата MARC и его применение. Показан пример наложения полей данных формата в триплексное представление ВСПТД. Рассмотрен реализованный механизм макета документа для записей в формате RUSMARC.

Введение

Эффективное обеспечение информацией экспертных систем предполагает возможность взаимодействия с коммуникативными форматами, широко представленными в сети Интернет. Направления, в которых проводились работы по развитию формата ВСПТД [3, 4], были связаны также и с получением информации, представленной в Российском коммуникативном формате RUSMARC. Российский коммуникативный формат не является совершенно новой, отдельно стоящей разработкой — это российская версия Международного коммуникативного формата UNIMARC в трактовке и категориях действующих в России ГОСТов и Правил каталогизации, базирующаяся на выборе наиболее общих схем представления элементов данных. С практической точки зрения это означает, что любая запись, переданная в Российском коммуникативном формате, должна адекватно восприниматься любым программным обеспечением, о котором заявлено, что данное программное обеспечение работает с форматом UNIMARC.

Запись в формате MARC может быть принята из глобальной сети по протоколу Z39.50. Реализованный клиент может общаться с серверами в сети, поддерживающими спецификацию ISO 23950. При наличии в полученной записи полей категории «электронный документ» может быть получена ссылка на полнотекстовый вариант документа.

Структура формата RUSMARC

Российский коммуникативный формат (рис. 1), как и UNIMARC, реализует библиографическую запись в машиночитаемой форме в структуре международного стандарта ISO 2709. Каждая библиографическая запись, подготовленная для обмена, должна содержать:

- МАРКЕР ЗАПИСИ состоящий из первых 24-х символов элемент записи, в котором определяются ее основные характеристики;
- УКАЗАТЕЛЬ, состоящий из 3-х цифровой метки для каждого поля данных, длины поля и позиции начального символа, относящегося к первому полю данных;
- ПОЛЯ ДАННЫХ переменной длины, отделенные друг от друга разделителем поля. Общая структура:

МАРКЕР ЗАПИСИ	УКАЗАТЕЛЬ	ПЕРЕМЕННЫЕ ПОЛЯ	%

% – Разделитель записи

В дальнейшем устанавливается, что данным в полях не обязательно предшествуют индикаторы, и они не обязательно подразделяются на подполя. Российский коммуникативный формат, как и UNIMARC, использует следующие положения, установленные Международным стандартом ISO 2709.

ISO 2709 предписывает, что каждая запись начинается с 24-х символьного маркера записи. Он содержит данные, относящиеся к структуре записи, определения которых

даются в стандарте ISO 2709, а также некоторые элементы данных, выделенные для особого применения. Эти элементы данных, определяемые при применении, связаны с типом записи, ее библиографическим уровнем и положением в иерархии уровней, степенью полноты записи и использованием правил ISBD или других основанных на ISBD правил подготовки записи. Элементы данных в маркере записи предназначены прежде всего для обработки записи и только косвенно – для идентификации самих библиографических материалов.

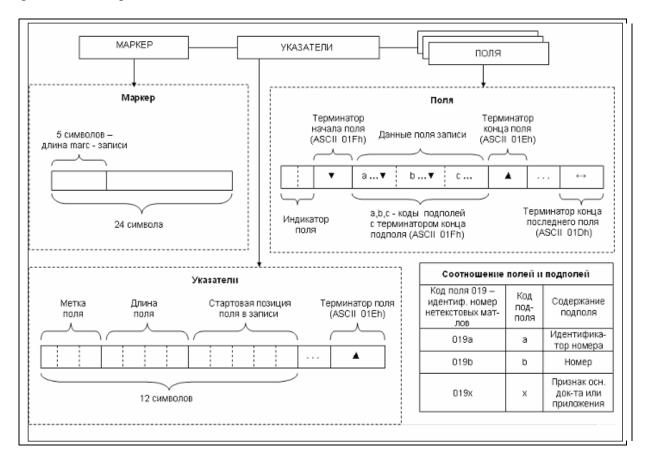


Рис. 1. Структура MARC-записи

За маркером записи следуют указатели. Каждая статья указателя состоит из трех частей – трехцифровой метки, четырехзначного числа, указывающего длину поля данных, и пятизначного числа, указывающего начальную символьную позицию. Другие символы в статье указателя не допускаются.

Более подробное описание формата RUSMARC представлено в различных источниках [1, 2, 5].

Для работы с форматом MARC применяются сложные и дорогие программные системы, приобретение которых не всегда целесообразно. В связи с этим была поставлена задача перевода данных из формата MARC в представление ВСПТД (конвертирование). В рамках этой проблемы были выработаны следующие соглашения:

- имена подполей представляются в виде nnx, где nnn kog поля (в формате MARC), а x kog подполя;
- имена индикаторов представляются в виде Innn;
- в качестве префиксов в триплете применяется номер повторяемости поля;
- повторяемые подполя представляются как вектор значений с заданным разделителем;
- маркеру MARC-записи присваивается код поля 000.

Пример представления записи в формате RUSMARC и ВСПТД

Рассмотрим пример библиографической записи:

Митрофанов С.П., Куликов Д.Д., Миляев О.Н., Падун Б.С. Технологическая подготовка гибких производственных систем. / Под общей редакцией С.П. Митрофанова. Л.: Машиностроение, 1987. - 352 с.

Представление записи в формате RUSMARC:

000: \$00755naa2 2200373 450

001: \$1:1-0039129

005: \$20070124150255.8

100: \$a20061015a19939999m a0rusa02||||||ca

101:0 \$arus

102: \$aRU

106: \$ar

110: \$aafaaaap0az0

200: 1\$а Технологическая подготовка гибких производственных систем. \$gПод общей редакцией С.П. Митрофанова

210: \$аЛ.\$c Машиностроение \$d1987

215:: \$a352 c.

700: 1\$а Митрофанов \$bС.П. (*)

701: 1\$а Куликов \$ЬД.Д.

701: 1\$a Миляев \$bO.H.

701: 1\$а Падун \$ЬБ.С.

Поясним фрагмент записи (*). Поле 700 содержит в форме точки доступа имя лица, имеющего первичную интеллектуальную ответственность (первое или единственное лицо в заголовке, содержащем имя индивидуального автора). Индикатор со значением «1» означает, что имя лица записано под фамилией (родовым именем, отчеством и т. д.). Подполе «а» содержит фамилию со значением «Митрофанов». Подполе «b» содержит инициалы со значением «С.П.».

Представление записи в формате ВСПТД:

```
$0.000='01255naa2 2200373 450'; $0.001'1:1-0039129'; $0.005='20070124150255.8';$0.100a='20061015a19939999m a0rusa02|||||||ca'; $0.101a='rus'; $0.102a='RU'; $0.106a='r'; $0.110a='afaaaap0az0';$0.200a='Tехнологическая подготовка гибких производственных систем';. $0.200g='Под общей редакцией С.П. Митрофанова'; $0.210a='Л.'; $0.210c='Машиностроение'; $0.210d=1987; $0.215a='352 c'; $0.700a= 'Митрофанов'; $0.700b='C.П.';$0.701a='Куликов'; $0.701b='Д.Д.'; $1.701a='Миляев'; $1.701b='O.H.';$2.701='Падун'; $2.701b='Б.С'; $0.1200a='1 ';$0.1700='1 '; $0.1701='1 '; $1.1701='1 ';$2.1701='1 ';
```

Организация макетов документов в формате RUSMARC

При извлечении информации из сети Интернет, представленной в формате MARC, возникает необходимость представления содержания записей в удобной для прочтения форме. Для этих целей разработан язык макетов документов. Макет документа состоит из заголовка макета и тела макета.

Заголовок макета. Номер документа указывается в первой строке (управляющей) после символа #. Далее в этой же строке указываются в триплексном формате параметры документа. Главные из них следующие:

Q.W=nn - ширина документа, 5 < nn < 128, по умолчанию – 60 (в символах).

Q.H=nn-высота документа для экранного редактирования, 3<nn<23, по умолчанию — 10 (в строках).

\$Q.Z='Заголовок документа';

Пример первой (управляющей) строки документа:

#1 \$Q.W=48;\$Q.H=16;\$Q.Z='Осн. карточка';

Здесь #2 – номер макета 2; ширина документа – 48 символов; высота документа – 16 строк; заголовок документа – «Осн. карточка».

Тело макета документа. Тело документа может условно состоять из одной или двух частей — левой и основной. Если документ состоит из двух частей, то в конце макета размещается следующая конструкция:

```
$LEFT: $Q.W=w;
----
Содержание
----
$ENDLEFT:
```

Задается левая часть документа. \$Q.W=w; - ширина левой части документа.

Базовый синтаксис

Любой текст, который необходимо отобразить в макете, задается в кавычках ". Для задания текста из марковского поля указывается его код со знаком "\$". Т.е. последовательно указываются марковские коды реквизитов со знаком "\$", участвующих в описании документа в той последовательности, которая характерна для данного документа.

Код, указанный с новой строки, означает его запись с новой строки. Однако если в конце какой-либо строки макета документа стоит \$CL (Continue Line), то следующая строка считается продолжением текущей. Между кодами в произвольном порядке может быть указано символьное выражение в кавычках.

В макете документа можно использовать средства для отображения условности печати того или фрагмента документа. Например: ':n' — не печатать предыдущий фрагмент макета документа при отсутствии последующего реквизита, заданного марковским кодом; ':r' — задает повторяемость; :p' — не печатать последующий фрагмент макета документа при отсутствии предыдущего реквизита; ':d' — декодирование, если в записи хранится код реквизита, то будет сформировано значение по коду; \$CL — следующая строка есть продолжение предыдущей; \$NL — перевод на новую строку (антипод \$CL); \$NR — указатель номера поля при распечатке повторяемых полей (применяется внутри квадратных скобок в конструкции вида: :r[...\$NR...]

Пример: пусть задан список авторов, которые требуется распечатать с нарастающей нумерацией:

```
701 #0$аИванов$bИ.С
```

701 #0\$аПетров\$bА.Н

701 #0\$аСидоров\$bЯ.Г.

Применение конструкции вида:

:r[\$NR"- "\$701a#|r-r :a " " \$701b#|r-r :a " "]

приведет к формированию в документе следующей строки:

1– Иванов, И.С. 2 – Петров, А.Н. 3 – Сидоров, Я.Г.

При выводе повторяемых значений по группе различных полей, рассматривая их как реляционные структуры (таблицы), можно применять следующую конструкцию:

:r["текст1" \$cod1#xr-r "текст2" \$cod2#xr-r..."текстN"...\$NL],

где codi и х описаны выше, а 'r-r' – указатель на повторяемость с нарастанием. При этом можно ввести внутри квадратных скобок \$NL – перевод строки. Допустимо локальное условие внутри повторяемых полей:

:r[\$cond: ...условие... \$endcond: \$cod1#xr-r "текст2" \$cod2#xr-r..."текстN"...\$NL]

Здесь условие может быть таким же, как и при описании \$COND: (следует иметь в виду, что начало и конец локального условия пишутся с маленькой буквы). Часто применяется следующая конструкция для определения повторяемости полей ...

\$codn# -r-r...

Эта конструкция обеспечит вывод повторяемых полей с повторяемыми подполями, выведенными с разделителем '-' . Знаки пунктуации между полями определяются в тексте (."текстN"). Реализован также механизм формирования неравномерной повторяемости поле.

Организация выполнения макета по условию

В системе предусмотрено выполнение различных вариантов макета по условию:

\$COND: условие n

текст макета п

\$ENDCOND:

\$COND: условие 1

текст макета 1

\$ENDCOND:

\$COND: условие 2

текст макета 2

\$ENDCOND:

Некоторые функции условия:

PRE (\$Code) – присутствие значения,

ABS (\$Code) – отсутствие значения,

EQU (\$Code=Value)- может осуществляться также проверка на равенство, неравенство, включение, не включение поля заданному значению:

VPRE(\$cod), VABS(\$cod) – проверка наличия/отсутствия кода подполя в текущей словарной таблице. В этом случае код cod может иметь формат: c*, где с – начальная часть кода. Символ '*' указывает на проверку наличия/отсутствия всех подполей, имеющих заданную начальную часть кода.

\$COND: EQU(\$100a[1,2]="ab")

LENDIGIT – выдает число цифр в значении подполя.

! Пример: IF(PRE(\$016) & LENDIGIT(\$016)!=10) THEN MSGBOX(Неверный номер ISBN - количество цифр!=10) .

DATE Допускается фильтрация по дате:

- 1. в заданном диапазоне: DATE(\$005:19970101-19981231);
- 2. вне диапазона: DATE(\$005:19970101<>19981231).

Максимальная глубина условия вложения не ограничена.

Макросы

Некоторые повторяющиеся фрагменты макета можно вынести в отдельные макросы. Макросы располагаются после описания всех макетов. Начало списка макросов – \$MACROS:, конец списка макросов – \$ENDMACROS:.

Все макросы находятся внутри области макросов. Имя макроса пишется с первой позиции и имеет вид nakpoca - //. Вызов макроса в макете может быть применен в любом месте и имеет вид NC:

Включение макроса в основной макет документа имеет вид \$INC: имя макроса. Например, включение описания ББК может выглядеть так:

\$INC: \$BBK

Заключение

Описана структура российской версии коммуникативного формата MARC, его применение. Показан пример наложения полей данных формата в триплексное представление ВСПТД. Реализован механизм представления макета документа для записей в формате RUSMARC. Показаны примеры формирования макетов документа. Рассмотрены возможности создания макросов.

Литература

- 1. Российский коммуникативный формат представления библиографических записей в машиночитаемой форме http://www.nlr.ru/rba/rusmarc/content.htm.>
- 2. Американский коммуникативный формат представления библиографических записей. СПб: Изд-во РНБ, 1990. 673 с.
- 3. Сисюков А.Н. Виртуальное строковое пространство технологических данных // XXXII неделя науки СПбГПУ. Материалы межвузовской научно-технической конференции, 2004.
- 4. Филиппов А.Н. Разработка и исследование методов экспертных систем в САПР ТП механической обработки. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Л., 1991.
- 5. Цветкова И.Б.и др. Российский коммуникативный формат представления библиографических записей в машиночитаемой форме [Текст]. СПб: Изд-во РНБ, 1998. 356 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СРЕДЕ PDM-СИСТЕМЫ

В.В. Богданов, Д.Д. Куликов

В данной статье рассматриваются предложения по созданию методологии моделирования технологических процессов при помощи языка XML, а также интеграции полученной модели и средств работы с ней с PDM системой SmarTeam.

Введение

Компьютеризация — один из основных методов повышения производительности труда в сфере технологической подготовки производства. Современная методология автоматизации технологической подготовки производства предполагает широкое использование CAD/CAM/CAE систем и их интеграцию в единую информационную систему предприятия, управление которой осуществляется при помощи PDM-системы. PDM-система организует единое информационное пространство предприятия, обеспечивая прием информации от различных систем проектирования, автоматически поддерживая механизм ведения версий информации и документов и многое другое. В данной статье рассматриваются возможности современных информационных технологий для создания моделей технологических процессов и организации системы проектирования технологических процессов, применение которой возможно совместно с PDM-системой SmarTeam.

Постановка задачи

Для автоматизации проектирования технологических процессов необходимо иметь методологию, которая даст возможность формализовать технологические данные и применять ЭВМ для их обработки. Возможность формализации технологических знаний определяется средствами, методами, инструментальным аппаратом формализации этих знаний. Проектирование ТП на уровнях формирования последовательности этапов, операций и переходов складывается из двух фаз – структурного и параметрического синтеза. Структурный синтез должен установить последовательность элементов на соответствующем уровне. Задача параметрического синтеза заключается в формировании свойств элементов, включенных в технологический процесс. Основными операциями параметрического синтеза являются выбор средств технологического оснащения (станков, приспособлений, инструмента) и нормирование, включающее расчет режимов обработки [1]. Источник информации и степень инвариантности знаний структурного синтеза определяются иерархическим уровнем решаемой проблемы – проектирование маршрута изготовления детали (набора этапов и операций) или проектирование операционной технологии (набора переходов обработки). В первом случае знания существенно зависят от организационно-технической структуры предприятия и его традиций. Эти знания индивидуальны для каждого предприятия. Во втором случае знания черпаются из справочников, методических пособий и нормативных материалов. Знания этого уровня относительно инвариантны и могут с минимальными изменениями использоваться на различных предприятиях. Учитывая эти особенности, необходимо, чтобы методология моделирования технологических процессов была достаточно гибкой. Необходимо разработать способы моделирования технологических процессов, позволяющие реализовать САПР ТП, которая будет удовлетворять следующим требованиям.

- Возможность сочетания в модели разнородной информации.
- Возможность использования информации из различных источников данных.

- Возможность представления модели в виде, понятном для предметного специалиста, не обладающего специальными навыками работы с ЭВМ.
- Адаптивность и гибкость, возможность интеграции с другими приложениями.

Моделирование ТП

Структура технологического процесса является сложной, динамичной и может быть представлена в виде трех уровней (рис. 1): уровень маршрута, уровень операций, уровень переходов. Уровень рабочих и вспомогательных ходов не рассматривается. Каждый уровень характеризуется множеством допустимых для уровня параметров. Однако для конкретного ТП может использоваться лишь часть этих параметров. В процессе проектирования ТП эта структура последовательно модифицируется: в процесс добавляются новые операции, а в операции – новые переходы. При нормировании процесса в операцию добавляют нормы времени, а переходы – режимы резания. В процессе утверждения ТП может существенно измениться как по составу, так и по содержанию параметров. Таким образом, технологические процессы – это сложные объекты, отличающиеся друг от друга структурой и динамически меняющиеся во времени.

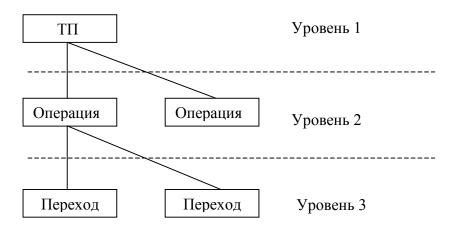


Рис. 1. Структурная модель ТП



Рис. 2. Фреймовая модель ТП

Каждый из объектов определенного уровня можно представить в виде набора данных (фрейма). Каждый фрейм содержит заголовок и тело фрейма. В заголовке фрейма содержится информация о названии фрейма и его назначении. Тело фрейма

формируется из слотов, каждый из которых содержит информацию о каком-либо параметре ТП. Группируя фреймы в логическое дерево согласно содержащейся в них информации, можно получить фреймовую модель ТП. Основанная на дереве фреймов модель ТП позволяет достаточно легко модифицировать ТП без полного переформирования модели процесса. Модификация ТП сведется к простому добавлению или удалению одного или нескольких фреймов без изменения остального фреймового дерева. Для реализации такого метода моделирования ТП на практике необходимо предусмотреть механизмы, позволяющие производить операции с фреймами, не нарушая целостности фреймового дерева. Фреймовая модель ТП приведена на рис. 2.

Использование фреймовой модели ТП позволяет проектировать ТП поэтапно [2]. Это означает, что представляется возможным создавать модели ТП с разным уровнем детализации. На первом этапе выполняется моделирование, отражающее лишь маршрутную технологию, при этом модель ТП содержит лишь модель маршрута, содержащую перечень выполняемых операций и модели этих операций. На втором этапе модель маршрута дополняется списками переходов, выполняемых на операциях, и дополняется моделями этих переходов. На третьем этапе модель ТП дополняется моделями операционных эскизов и моделями управляющих программ. Модель ТП на любом уровне детализации может быть создана с любой заданной степенью полноты описания. Для этого в модель заносят лишь те параметры, которые необходимы для решаемой задачи или класса задач. Использование такого подхода к проектированию ТП позволяет организовывать базы знаний, содержащие типовые шаблоны ТП, а также широко применять в процессе разработки данные, хранящиеся в электронном архиве. Эти возможности должны значительно сократить затраты на проектирование ТП.

Реализация моделирования на практике

Реализация моделирования ТП на практике осуществляется при помощи комплекса стандартов ХМL. Основным принципом формирования ХМL документов является то, что документ формируется на основе структуры данных, содержащихся в документе, а не на их представлении. Независимость данных, отделение данных от их представления – вот основная характеристика ХМL. Отсутствие в документе инструкций форматирования значительно упрощает структуру документа и делает XML универсальным способом представления информации. XML обладает достаточной гибкостью и идеально подходит для создания приложений, требующих максимальной совместимости. Поскольку семантика и структурированное представление информации в XML создает возможности для обработки ХМL-документов любым предложением, то появляются широкие возможности для интеграции различных систем ТПП между собой. Так как XML является открытым стандартом, на его основе можно реализовать широкий набор инструментальных средств для моделирования ТП. Для обеспечения возможности интеграции подсистем ТПП между собой необходимо создавать средства проектирования ТП, основываясь на интеграции этих средств в единое информационное пространство предприятия.

Основным преимуществом XML при выборе его в качестве средства реализации моделирования ТП является наличие в составе комплекса стандартов XML стандарта DOM. DOM (Document object model, объектная модель документа) – это технология обработки XML (и не только XML) документа, а также основанный на этом методе прикладной интерфейс программирования (API) для работы с XML-документами, который является нейтральным по отношению к платформам и языкам. DOM предоставляет стандартный набор интерфейсов (т.е. объектов, методов, свойств и т.д.) для манипулирования содержимым XML-документов. Различные производители и поставщики программного обеспечения реализуют DOM в своих синтаксических XML-анализаторах.

Поскольку практически все современное программное обеспечение использует для обработки XML один из XML-анализаторов, поставляемых ведущими производителями ПО, то можно считать, что DOM — это практически повсеместно применяемый стандарт. Поскольку XML-документы иерархически структурированы, они представляются в объектной модели в виде древовидной структуры [3]. Так как в описанном ранее методе моделирования ТП тоже использовалось дерево объектов (фреймов), то для реализации модели на практике достаточно просто выразить фреймы в виде XML. Ниже приведен пример модели ТП, выраженной при помощи XML.

```
<?xml version = "1.0"?>
<TП>
Общая Информация >
<Обозначение изделия >Фланец 2006
<Обозначение детали>Фланец

Собщая Информация >

<p
```

При использовании XML в качестве носителя информации представляется возможным сразу реализовать семантическую проверку данных, внесенных в модель ТП, за счет использования XML-схем и определений XML-документов (DTD). Ввиду того, что XML-схема и DTD содержат только техническую информацию и зависят от конкретного XML-документа, пример XML-схемы или DTD не приводится.

Интеграция с PDM

PDM-система организует единое информационное пространство предприятия, обеспечивая прием информации от различных систем проектирования, автоматически поддерживая механизм ведения версий информации и документов и многое другое. Интеграция системы проектирования ТП с PDM системой в условиях современного автоматизированного процесса технологической подготовки производства представляется совершенно необходимой. Рассмотрим процесс интеграции процесса моделирования TП с PDM-системой на примере PDM-системы SmarTeam. SmarTeam обеспечивает обработку информации, созданной на разных этапах жизненного цикла изделия, причем ее ввод может выполняться либо в системах проектирования, либо в самой SmarTeam. Хранение информации осуществляется в базе данных известных СУБД, например Oracle, InterBase, MS SQL. В состав поставки SmarTeam включается достаточно большое количество средств обеспечения интеграции этой РДМ-системы с другим программным обеспечением. В частности, SmarTeam полностью интегрируется с прикладным программным обеспечением семейства Microsoft Office. Также в состав SmarTeam входит подсистема SmartWeb, которая позволяет организовать работу с PDM в среде WEB. И, наконец, существует прикладной программный интерфейс (АРІ), который позволяет создавать новые приложения, специально предназначенные для работы в среде этой PDM-системы, или дорабатывать уже существующие приложения таким образом, чтобы они могли работать со SmarTeam. Наличие этих средств, а также использование в качестве хранилища информации одной из широко распространенных СУБД делает возможной реализацию моделирования и проектирования TП в среде этой PDM системы.

Для обеспечения работы с моделью ТП необходим модуль, позволяющий создавать и редактировать модель ТП, а также дополнять ее технологической информацией. Такой модуль может быть выполнен в виде отдельного приложения, web-приложения или построен на базе других программных продуктов (например, Microsoft Office). Однако такой модуль сам по себе не может быть интегрирован с хранилищем данных PDM-системы. Для реализации доступа к данным PDM требуется еще один модуль, который обеспечит передачу данных от БД PDM-системы к модулю работы с моделью и в обратном направлении. В связи с тем, что для моделирования ТП используется ХМL, разработку модуля передачи данных целесообразно проводить на основе модели web-сервисов, поскольку в ее основе так же лежит представление данных в виде ХМL. Таким образом, получается структура, представленная на рис. 3.

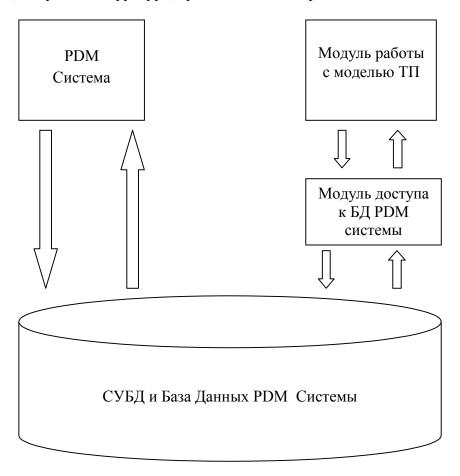


Рис. 3. Обмен данными между модулями

В представленной схеме модуль доступа к БД может быть выполнен на базе специализированного ПО для интеграции различных информационных систем, например Microsoft BizTalk Server.

Заключение

Создание прикладного программного обеспечения, интегрированного с PDM системой и предназначенного для обеспечения автоматизации процесса проектирования технологических процессов, является достаточно важной и актуальной задачей. Реализация таких проектов может быть выполнена с использованием различных технологий и методов. Использование тех или иных технологий и методов зависит от потребностей и предпочтений того или иного предприятия, однако средства, основанные на примене-

нии web-технологий, обеспечивают большие возможности по масштабируемости решений по сравнению с остальными методами, а также являются более гибкими и простыми в реализации. Необходимы дальнейшие исследования для выработки наиболее рациональных концепций применения web-технологий для автоматизации технологической подготовки производства.

Литература

- 1. Яблочников Е.И., Маслов Ю.В. Автоматизация ТПП в приборостроении. Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2003.
- 2. Куликов Д.Д., Яблочников Е.И. Организация технологической подготовки производства на основе современных информационных и коммуникационных технологий // VII Конференция «РИ-2000». Тезисы доклада. Часть 1. СПб, 2000. С. 104–105.
- 3. David Hunter, Kurt Cagle, Chris Dix, Beginning XML, 2nd Edition: XML Schemas, SOAP, XSLT, DOM, and SAX 2.0, Wrox Press Media, 2003.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CMS СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Р.В. Бондаренко, С.В. Богданов, Д.Д. Куликов

В статье приводится описание CMS систем их структура, функции, виды, а также рассматривается возможность их применения для решения технологических задач как систем, обладающих хорошей адаптацией к проблемной среде.

Ввеление

В настоящее время web-технологии все чаще используются для реализации тех или иных технологических задач. Одной из таких технологий является и система управления контентом (content management system, CMS). Применение этой системы с учетом необходимых изменений в настоящее время обеспечивает наибольшую адаптацию по входным и выходным параметрам, а также, как следствие, адаптацию к проблемной среде. Слово content означает «нечто, содержащееся внутри» и применительно к письменным работам обычно входит в словосочетание table of contents — содержание, перечень разделов (скажем, книги). Отличительная черта контента состоит в том, что он конструируется из отдельных кусочков.

История управления контентом началась с управления документами в традиционном смысле этого слова, т.е. текстовыми файлами. По мере развития понятия «документ» системы управления документами стали называть системами управления контентом. Считается, что это позволяет подчеркнуть способность таких систем управлять информацией независимо от формы ее представления, а также отделить информацию—контент от документа—формы. Однако абстрактно управлять информацией невозможно — она обязательно должна быть представлена в какой-либо форме. Пытаясь управлять контентом, мы неизбежно приходим к управлению документами. Системы управления контентом, действительно, «научились» разделять управление документами (хранение, изменение и т.п.) и их представление конечному пользователю. Но они все-таки управляют документами в какой-то форме, а не информацией.

Само понятие «управление контентом» первоначально прочно ассоциировалось с процессом публикации и обновления информации на web-сайтах — требовалась технология, позволяющая следить за ее актуальностью. Поэтому в качестве синонима content management часто используют термин web content management. Применительно к организациям, оперирующим огромным количеством информации, уместно говорить уже о системах управления информационными ресурсами предприятия (enterprise content management, ECM). В результате термин content management расширился: им стали обозначать управление не только информацией на сайте, но и всеми разрозненными и разнообразными фрагментами корпоративной информации. Есть и другие определения.

Функции систем управления контентом можно разделить на несколько основных категорий.

- Создание предоставление авторам удобных и привычных средств создания контента.
- Управление хранение контента в едином репозитории. Это позволяет следить за версиями документов, контролировать, кто и когда их изменял, убеждаться, что каждый пользователь может изменить только тот раздел, за который он отвечает. Кроме того, обеспечивается интеграция с существующими информационными источниками и ИТсистемами. СМЅ поддерживает контроль за рабочим потоком документов, т.е. контроль за процессом их одобрения. Короче говоря, управление контентом включает в себя хранение, отслеживание версий, контроль доступа, интеграцию с другими информационными системами и управление потоком документов.
- Публикация автоматическое размещение контента на терминале пользователя. Соответствующие инструменты автоматически «подгоняют» внешний вид страницы к дизайну всего сайта.

• Представление – дополнительные функции, позволяющие улучшить форму представления данных; например, можно строить навигацию по структуре репозитория.

CMS-системы управляют небольшими взаимосвязанными единицами информации, и в данном контексте документ приобретает смысл гипертекста. Поскольку CMS-системы управляют информацией, а у информации есть свой жизненный цикл, то, естественно, эти системы должны иметь адекватные средства управления контентом на каждом из этапов его жизни (создание, модификация, публикация, передача в архив и т.д.). В этом смысле CMS можно рассматривать как часть комплекса ILM (information lifecycle management).

Среди CMS-систем часто выделяют так называемые каркасы (content management framework, CMF) – инструментарии для создания системы. Естественным расширением CMS стали ECM-системы, которые управляют всей разрозненной информацией предприятия, взаимодействуя с другими приложениями, такими как ERP и CRM. Наиболее известный производитель ECM-систем – компания Documentum. Paspaботкой систем управления контентом занимаются многие компании, в том числе IBM, Microsoft, Oracle, Macromedia. В последнее время начали появляться организации, пытающиеся объединить разработчиков CMS, создать единую информационную среду для потенциальных пользователей подобных систем, продвигать и утверждать единые стандарты. Прежде всего, это ассоциации OSCOM (Open Source Content Management) и CMSWatch.

OSCOM утвердила такие стандарты, как WebDav, RSS, ATOM и JSR-170. Один из ее проектов, CMSML, предусматривает создание основанного на XML языка для описания систем управления контентом, списка свойств CMS, словаря для их описания и соответствующих имен для каждого свойства в XML-разметке. Свойства разделены на три больших класса – создание, управление и доставка контента конечному пользователю.

В свою очередь, CMSWatch ежегодно выпускает отчет, включающий в себя обзор рынка CMS-систем, сравнение некоторых из них, описание жизненного цикла контента и управления им в CMS-системах.

В этой статье мы будем придерживаться классификации, основанной на модели представления данных – объектной, сетевой или модульной.

Объектная модель

Объектная модель представления данных оперирует такими понятиями, как класс и объект. Классы определяют структуру данных и представляют собой набор атрибутов (текстовая строка, целое число, изображение и т.д.). Представители класса (объекты) имеют определенную структуру и могут содержать другие объекты, образуя произвольную иерархическую структуру. Объекты могут наследовать свойства, содержание и поведение объектов, которые в них содержатся. Примерами объектов служат документы, картинки, папки и учетные записи пользователей. Класс контента не хранит в себе реальных данных — такую информацию содержат объекты (экземпляры класса). Определив один класс, можно создать множество его представителей (контент-объектов).

В CMS-системах данные обычно хранятся в реляционной или объектной базе данных. В первом случае объектная модель данных отображается на реляционную модель базы данных. Связи между объектами создаются, например, с помощью таблиц вида id, from_object, from_object_version, to_object. На рис. 1 приведена возможная структура класса «Статья» и его представителя.

Среди объектно-ориентированных СМS-систем можно встретить каркасы. Классический пример – Zope CMF. Вообще, Zope – ведущий свободно распространяемый сервер приложений, специализирующийся на управлении контентом в порталах и пользовательских приложениях. На основе этого сервера приложений построен каркас управления контентом Zope CMF, с помощью которого, в свою очередь, создан целый ряд CMS-систем, в частности, Plone.

Еще одна очень распространенная CMS этого класса – eZ Publish. Ее относят и к каркасам, и к ECM. Системы семейства eZ базируются на свободно распространяемом продукте eZ Publish. Наличие двух лицензий – GPL и профессиональной – позволяет создавать коммерческие продукты на основе каркаса eZ Publish, обеспечивая этой системе поддержку как сообщества Open Source, так и профессиональных разработчиков.

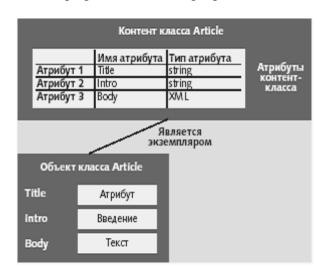


Рис. 1. Пример организации контента с помощью объектной модели данных

К этому классу можно отнести и систему APC ActionApps, которая позволяет зарегистрированным пользователям обновлять контент их сайта с помощью только браузера. Особенность этой системы состоит в том, что она имеет настраиваемый вывод. APC ActionApps интегрируется в существующие системы, позволяя упростить структуру и автоматизировать работу сложных порталов и Web-сайтов. Кроме того, механизм content pooling и наличие инструментов редактирования делают эту систему подходящей для распределенных команд, совместно подготавливающих публикацию контента.

Місгоsoft Content Management Server (MCMS) представляет собой систему управления web-контентом, которая дает возможность создавать, развертывать и поддерживать динамично меняющиеся web-сайты. Благодаря тесной интеграции с Visual Studio .NET и поддержке функций управления исходными кодами MCMS позволяет разработчикам создавать сайты, которые потом могут управляться и поддерживаться как ИТ-специалистами, так и бизнес-пользователями. Первые могут централизованно управлять брэндингом, рабочим потоком документов и безопасностью, тогда как вторые — создавать собственный контент, управлять им и публиковать его, используя знакомые приложения, такие как Word или Internet Explorer.

Объектная модель поддерживает разработку в среде Visual Studio .Net и .Net Framework. Возможно объединение через Microsoft Solutions for Internet Business (MSIB) Content Connector с сервером Microsoft Commerce Server для создания решений в области электронной коммерции.

Как правило, системы, основанные на объектно-ориентированной модели данных, наиболее функциональны, гибки, но в то же время и наиболее сложны.

Сетевая модель

Данная модель представления данных опирается на теорию графов: структура информации представляется в виде узлов с помеченными связями между ними. Фундаментом системы может служить как сетевая, так и традиционная реляционная СУБД, на которую отображена сетевая модель описания данных. В реляционных таблицах хранится информация об узлах, их атрибутах и связях между ними. Связь отличается от атрибута тем, что в ней

хранится ссылка на другой узел, а в атрибуте — собственно значение. Для извлечения данных из направленного графа обычно используются рекурсивные процедуры обработки, такие как составление списков узлов, определение атрибутов узла по атрибутам родителя и другие варианты организации структуры данных сайта в виде графа. Системы такого типа — Соттипіware — вариант организации структуры данных сайта в виде графа. Эта система представляет собой инструментарий нового поколения для создания вертикальных web-сайтов и порталов.

Модульная модель

В подобных системах контент разделен на отдельные модули по типам содержимого. Структура данных зависит от модуля, и вся работа с контентом сосредоточена внутри модуля. Модули независимы и полностью отвечают за работу с документами данного типа. Документы описываются с помощью фиксированного набора характеристик – типы документов строго фиксированы. Расширять функциональность можно за счет добавления нового модуля, замены или редактирования существующего кода. Чаще всего нет никакой системы связей между документами разных модулей и между документами одного и того же модуля. Стандартный набор типов контента (модулей) таков: ссылки, статьи, файлы, новости, разделы, форум.

Несмотря на очевидную ограниченность модели данных, системы на ее основе наиболее популярны благодаря своей простоте. В качестве примера можно упомянуть такие системы, как PHPNuke, Mambo и Xoops.

У модульных СМS-систем есть один общий недостаток — строго фиксированная в пределах модуля структура содержимого. Однако для расширения их функциональности можно воспользоваться внешними модулями, которых в Сети немало. Очевидное преимущество этих систем — возможность получения почти полностью готового к использованию портала за короткое время.

Понятие Content management (управление информацией) на сегодняшний день включает в себя широкий спектр программного обеспечения, начиная с набора коротких скриптов, позволяющих добавлять новости или пресс-релизы на одной странице сайта, и кончая полноценными системами паблишинга, поддерживающих процессы workflow (цепочки Автор—Корректор—Редактор), обеспечивающих различные схемы разграничения доступа, автоматически создающих «связанные» документы.

Практическая реализация

Прототипом CMS-системы для ТПП можно считать работу Ф.В. Киселева, проделанную на кафедре ТПС в СПбГУ ИТМО в виде интеграции модуля расчета режимов резания для механообработки в систему «ТИС–Адрес» которая позволяет разрабатывать технологические процессы.

На рис. 2. представлен общий алгоритм работы модуля, а на рис. 3 – интеграция модуля в систему «ТИС-Адрес».

Реализация данной системы в виде web-приложения предоставляет возможность любому клиенту, имеющему браузер, полноценно работать и создавать технологические процессы посредством web-интерфейса. Данный модуль расчета режимов резания позволяет на основе общего web-интерфейса взаимодействовать с системой проектирования посредством использования XML-структур данных.

В качестве исходных данных (информация о параметрах обработки, материале заготовки, выбранном инструменте и т.д.) модуль может использовать данные из системы проектирования, затем откорректировать исходные данные и произвести расчет режимов резания. Выходные данные могут быть переданы обратно в систему проектирования технологических процессов для дальнейшего использования.

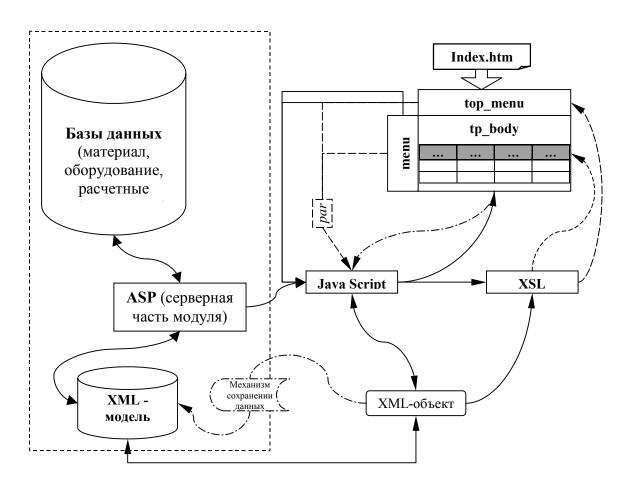


Рис. 2. Общий алгоритм работы модуля

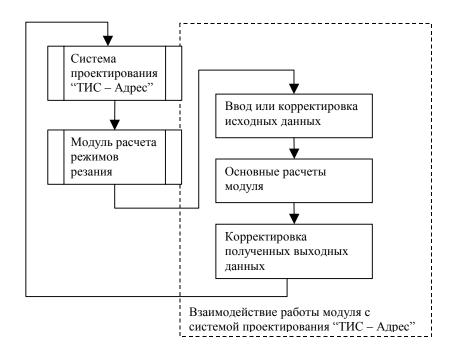


Рис. 3. Интеграция модуля в систему «ТИС-Адрес»

В настоящее время существует уже много готовых решений, которые реально работают и приносят прибыль в бизнесе, такие как C-gator, Optimizer, Stikler и т.д.

Заключение. Будущее СМЅ

Будущее CMS-систем возможно за счет объединения компаний-разработчиков и покупки более мелких специализированных компаний. Ориентируясь на растущие потребности предприятий, лидеры сферы ECM выходят за рамки управления содержимым web-сайтов и управления документами.

Тем не менее, очевидно, что потребность пользователей в средствах автоматизации web-сайтов не только останется неизменной, но даже повысится. Эту нишу должны занять свободно распространяемые продукты модульного или объектного типа, если разработчики будут стремиться сделать их применение более простым. Системы сетевого типа, пожалуй, не получат широкого распространения. В России же системы управления контентом пока не слишком популярны, да и рынок их невелик.

Литература

- 1. Открытые системы. 2004. № 4.
- 2. Выпускная квалификационная работа Киселева Ф.В.
- 3. http://www.cmsobzor.ru/>
- 4. Макаров С. Что такое ЕСМ. // Директор информационной службы. 2003. № 4.
- 5. Жарикова Е. Выбор системы управления контентом интернет-ресурса http://www.ibusiness.ru/marcet/tele/20905/> .
- 6. Ллойд Б. Введение в технологию Zope. http://sun.med.ru/zope.net.ru/Zope/Intro/Brian Lloyd/>.
- 7. Коржов В. Использование сетевой модели данных для управления информационным наполнением // Computerworld Россия. 2000. № 21.
- 8. Акопянц А. Системы управления web-контентом // eCommerce World. 2000. № 2.

«ТАБЛИЦА СЕМЕЙСТВ» КАК СРЕДСТВО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ ЗАГОТОВОК

Ю.В. Храбров

В статье сформулированы требования, предъявляемые к формированию операционных заготовок. Представлено понятие «конструкторско-технологической модели детали». Предложен способ проектирования КТМД с помощью «таблицы семейств».

Введение

При проектировании технологических процессов изготовления деталей на предприятиях, использующих современные CAD/CAM системы, возникает необходимость проектирования твердотельных моделей операционных заготовок для повышения уровня автоматизации работы технолога. Создание ТМОЗ позволяет интегрировать процесс технологической проработки в создание единой информационной модели изделия.

Согласно методу, предложенному Д.Д. Куликовым и Е.И. Яблочниковым и описанному в [1], проектирование операционных заготовок наиболее целесообразно выполнять добавлением припусков на обрабатываемые поверхности путем создания дополнительных конструктивных элементов, соответствующих удаляемому на данной операции материалу исходной детали. Наращивание «материала» происходит до тех пор, пока из модели детали в итоге не получится модель исходной заготовки.

Конструкторско-технологическая модель детали (КТМД)

В настоящее время предлагаются различные способы представления так называемой «конструкторско-технологической модели детали», т.е. модели детали, разработанной конструктором, к которой добавляются элементы, описывающие удаляемый на данной операции механообработки материал и «аннотации» — символы баз, операционные размеры, предельные отклонения и т.д. Различия этих способов зависят от конкретной системы проектирования, от поставленной задачи, от конкретных свойств детали и других факторов. Основными способами являются:

- работа со слоями;
- метод сборки;
- метод мастер-моделей.

Мы не будем подробно останавливаться на описаниях этих способов, а предложим еще один, наиболее универсальный, метод получения КТМД и назовем его методом «таблицы семейств».

Требования к операционным заготовкам

При проектировании твердотельных моделей операционных заготовок необходимо, как минимум, следовать нижеприведенным условиям.

- 1. ТМОЗ должны быть информативны, т.е. включать в себя максимум технологических данных о детали: базы, технологические размеры и припуски, параметры шероховатости и т.д.
- 2. ТМОЗ должны быть ассоциативны с исходной моделью детали, т.е. изменения в модели детали должны отражаться и в моделях всех заготовок.
- 3. ТМОЗ и модель детали должны содержаться в едином файле, чтобы не загромождать файловую систему и не нарушать структуры файлов в папке со сборкой изделия.

Исходя из представленных выше критериев, мы предполагаем, что для проектирования операционных заготовок целесообразно воспользоваться модулем, который позволяет получать различные варианты исполнения детали. В системе Pro/Engineer этот модуль носит название «Таблица семейств» [2].

Таблица семейств (Family Table) – это внутренняя ассоциативная электронная таблица для представления исполнений модели [3], т.е. для создания групповой детали. При проектировании исполнений в таблицу заносится информация об изменении конструкторских размеров, параметров, присутствии/отсутствии конструктивных элементов в конкретном исполнении и т.д. Мы предлагаем использовать эту опцию для проектирования моделей операционных заготовок, представляя, таким образом, в качестве групповой модели последовательность операционных заготовок.

Формирование КТМД с использованием таблицы семейств

Рассмотрим конкретный пример проектирования ТМОЗ детали «плита нижняя» (рис. 1) при помощи таблицы семейств.

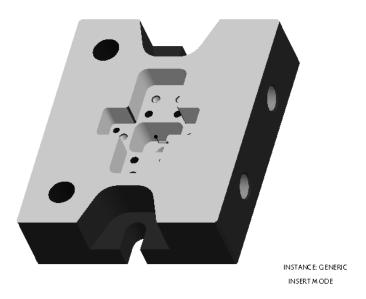


Рис. 1. Исходная деталь

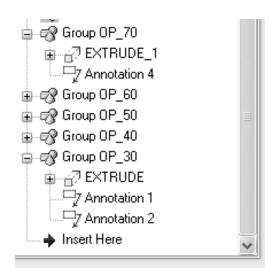


Рис. 2. Фрагмент дерева модели

Добавим группы фичеров, описывающие удаляемый материал (Extrude) и представляющие технологические данные (Annotation) в последовательности, обратной процессу изготовления детали (рис. 2).

Технологические размеры с допусками, параметры шероховатости и базы задаются в модуле Annotations [3] («Аннотации» — создание трехмерных чертежей). Пример трехмерного операционного эскиза приведен на рис. 3.

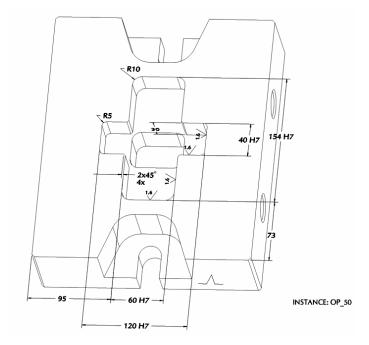


Рис. 3. Трехмерный операционный эскиз

Затем создадим таблицу семейств. Строками таблицы являются варианты исполнения модели, т.е. модели операционных заготовок, а столбцами — фичеры или группы фичеров удаляемого материала. Добавление фичеров осуществляется в режиме диалога. Окно таблицы выглядит так, как представлено на рис. 4.

Family Table :PLITA_NIZ File Edit Insert Iools											
Look In: PLITA_NIZ											
Туре	Instance Name	F14153 OP_20	F14162 OP_30	F14174 OP_40	F14007 OP_50	F13668 OP_60	F14192 OP_70				
	PLITA_NIZ	N	N	N	N	N	N				
	OP_20	N	Υ	Υ	Υ	Υ	Υ				
	OP_30	N	N	Υ	Υ	Υ	Υ				
	OP_40	N	N	N	Υ	Υ	Υ				
	OP_50	N	N	N	N	Υ	Υ				
	OP_60	N	N	N	N	N	Υ				
	OP_70	N	N	N	N	N	N				
		·									
<u>O</u> K <u>○</u> Open <u>Cancel</u>											

Рис. 4. Окно заполнения таблицы семейств

На пересечении каждого столбца и строки должен стоять символ присутствия данного фичера в исполнении (Y) либо его отсутствия (N). Общий вид таблицы семейств для описания КТМД представлен в табл. 1.

Таблица 1

Feat_N	Feat_N-1		Feat_3	Feat_2	Feat_1
N	N	N	N	N	N
N	Υ	Υ	Υ	Υ	Υ
N	N	Υ	Υ	Υ	Υ
N	N	N	Υ	Υ	Υ
N	N	N	N	Υ	Υ
N	N	N	N	N	Υ
N	N	N	Ν	Ν	N
	N N N N	N Y N N N N	N N N N N Y Y N N N N N	N N N N N N N N N N Y Y Y N N N N N Y Y N	N N N N N N N N N N N N N N Y Y Y Y N N N N N Y Y Y N N N N N N Y N

После создания таблицы необходимо подавить в модели фичеры удаляемого материала с помощью команды Supress или Insert Mode, вернувшись, таким образом, к исходной модели детали (рис. 1).

Следует отметить, что таблицы семейств являются многоуровневыми. Это означает, что, если конструктор проектирует деталь в нескольких исполнениях и использует при этом таблицы семейств, то технолог может создавать модели операционных заготовок и присваивать таблицы каждому из исполнений.

Конструкторско-технологическая модель детали, спроектированная с использованием таблицы семейств, отвечает всем предложенным требованиям. Кроме того, такая модель занимает меньший по сравнению с полученными другими способами моделями объем дискового пространства. Объем модели суммируется из объема конструкторской модели и объема, занимаемого информацией о дополнительных конструктивных элементах и аннотациями. Кроме того, таблицы семейств в Pro/Engineer имеют двухстороннюю ассоциативность с табличным редактором Excel [3].

Заключение

Проектирование операционных заготовок позволяет повысить уровень автоматизации работы технолога и интегрировать процесс технологической проработки в создание единой информационной модели изделия. В общем случае формирование твердотельных моделей операционных заготовок осуществляется добавлением к исходной модели конструктивных элементов, описывающих удаляемый на каждой операции механообработки материал. В статье сформулированы общие требования к операционным заготовкам и рассмотрен универсальный способ формирования конструкторскотехнологической модели детали методом «таблицы семейств». Этот способ удовлетворяет требованиям, предъявляемым к операционным заготовкам, и позволяет хранить конструкторские и технологические данные о детали в одном файле.

Литература

- 1. Куликов Д.Д., Яблочников Е.И. Проектирование операционных заготовок с использованием трехмерных САD-систем. // Известия вузов. Приборостроение. 2001. Т.44. № 9. С. 65–70.
- 2. Чемоданова Т.В. Pro/Engineer: деталь, сборка, чертеж. СПб: ВНV-СПб, 2003. 548 с.
- 3. Randy Shih. Parametric Modeling with Pro/ENGINEER Wildfire 2 package. Schroff Development Corporation, 2004. 378 c.

ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ МИКРОГЕОМЕТРИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

А.В. Терещенко

В статье рассматриваются современные подходы к автоматизации анализа и контроля микрогеометрии поверхностей, а также описывается предлагаемый автором способ решения данной проблемы

Ввеление

Микрогеометрия поверхности является одной из важных характеристик качества поверхности деталей и оказывает большое влияние на эксплуатационные показатели. В условиях эксплуатации машины или прибора внешним воздействиям в первую очередь подвергаются поверхности их деталей. Износ трущихся поверхностей, зарождение усталостных трещин, смятие, коррозионное и эрозионное разрушения, разрушение в результате кавитации и т.д. — это процессы, протекающие на поверхности деталей и в некотором прилегающем к поверхности слое. Естественно, что придание поверхностям деталей специальных свойств способствует существенному повышению показателей качества машин в целом и в первую очередь — показателей надежности.

Качество поверхности является одним из важнейших факторов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства деталей машин и приборов, и обусловливается свойствами материала и методами обработки — механической, электрофизической, электрохимической, термической и т. д. В процессе механической обработки (резание лезвийным инструментом, шлифование, полирование и др.) поверхностный слой деформируется под действием нагрузок и температуры, а также загрязняется примесями (например, частицами абразива).

В настоящее время достаточно изучены вопросы влияния микрогеометрии поверхностей на функциональные свойства деталей и узлов машин и приборов. Можно утверждать, что микрогеометрия играет важнейшую роль в таких свойствах поверхностей, как адгезия, электрическая проводимость, трение и износ при скольжении и качении, жидкостное трение, контактная жесткость, прочность прессовых соединений, отражательная способность, износостойкость при переменных нагрузках, коррозионная стойкость и качество лакокрасочных покрытий и т.д. – всего не менее двадцати функциональных свойств. Таким образом, возникает необходимость и возможность индивидуализации поверхностей деталей для достижения высокого уровня конкретного функционального свойства. т.е. ее оптимизации.

Актуальность данной проблемы объясняется еще и тем, что оптимизация микрогеометрии поверхностей — это один из немногих практически осуществимых в настоящее время способов повышения качества изделий. Традиционные методы, такие как, например, использование новых материалов или повышение точности изготовления, либо неспособны удовлетворить объем запросов массового или крупносерийного производства, либо практически подошли к порогу экономической целесообразности своего применения. Поэтому создание оптимального микрорельефа рабочих поверхностей деталей, наряду с применением термических и физико-механических способов улучшения их поверхностного слоя, является одним из основных и наиболее эффективных резервов значительного повышения качественных показателей машин и приборов.

Немаловажно то, что успешное решение задач оптимизации микрогеометрии возможно только лишь при наличии возможности полного и точного описания микрорельефа функциональных поверхностей. Можно утверждать, что применяемый способ описания микрогеометрии и методы ее контроля являются основой, определяющим фактором успешности процесса оптимизации.

Современные подходы к контролю микрогеометрии и предлагаемый автором вариант

В настоящее время существует достаточно большое разнообразие подходов к контролю микрогеометрии поверхностей. Обобщая, среди них можно выделить два основных направления: подходы, не использующие (или ограниченно использующие) возможности современных ЭВМ, и подходы, целиком основанные на их применении.

Первые, по своей сути, представляют автоматизированные решения, построенные на базе современных профилометров—профилографов, способных выдавать результаты измерений в виде распечатки набора стандартных параметров. При этом в обязательном порядке в систему контроля как неотъемлемая и весьма важная часть включается оператор — человек, осуществляющий установку контролируемых объектов, проводящий непосредственно сами измерительные операции и следящий за общим ходом процесса. Такой подход характеризуется большой долей ручного труда, весьма ограниченным набором контролируемых параметров, которые при этом фактически диктуются производителем профилографа, так как у пользователя нет возможности добавлять свои. По мнению автора, такой вариант обладает весьма ограниченной применяемостью вследствие ограниченной гибкости и производительности такого решения и далее рассматриваться не будет.

Подходы второго типа более перспективны, так как используют значительный потенциал современной компьютерной техники для повышения уровня качества, производительности и автоматизации процессов контроля микрогеометрии.

В подходах этого направления можно выделить характерные черты: как правило, измерительная система представляет собой контактный или бесконтактный профилометр, который используется исключительно как измерительный орган, вся обработка получаемых данных, выдача результатов, а также управление процессом измерений осуществляется стандартным компьютером. Такой подход заметно повышает гибкость, расширяемость и степень автоматизации измерительной системы за счет возможности использования произвольного набора параметров (единственное ограничение – наличие реализованного в виде компьютерной программы алгоритма их расчета), увеличения возможностей обработки получаемых данных (использование современных математических пакетов с их мощнейшими библиотеками подпрограмм обработки), а также уменьшения степени участия человека (теоретически весь процесс контроля может быть автоматизирован, т.е. управляться компьютером — от установки детали на стол профилометра до выдачи рекомендации пользователю по результатам сопоставления полученных параметров микрогеометрии и установленных норм).

В настоящее время существует два основных способа получения информации о состоянии микрогеометрии поверхности – контактный (или контактно-щуповой) и бесконтактный (или оптический). Приборы первого типа наиболее распространены и более дешевы, чем основанные на оптическом принципе. В то же время им присущ определенный ряд недостатков, ограничивающих их применение. Среди них можно выделить такие основные моменты, как невозможность контроля сложных поверхностей, заметное количество помеховых примесей в получаемом сигнале, относительная медленность проведения измерения, а также невозможность получения поверхностных параметров шероховатости (измерение производится по линии), в то время как, например, поверхности чаще контактируют именно поверхностями [1, 2]. К отличительным особенностям бесконтактных приборов, в свою очередь, можно отнести более высокую точность измерений, заметно большую скорость получения данных, а также возможность проведения измерений не только по линии, но также и по плоскости.

Как уже было сказано, в настоящее время автоматизация процесса контроля микрогеометрии, как правило, решается путем включения в состав измерительного ком-

плекса компьютера, на который возлагаются задачи расчета требуемых параметров и вывода их в виде отчетов. По мнению автора, такой подход является несколько ограниченным и не раскрывает всех возможностей как автоматизации процесса в целом, так и использования компьютера как его составной части.

С учетом внутренней структуры процесса контроля микрогеометрии можно предложить алгоритм его автоматизации, в котором предусмотрена комплексная автоматизация процесса — через автоматизацию всех его стадий (рис. 1).



Рис. 1. Алгоритм автоматизации процесса контроля микрогеометрии поверхностей **Автоматизация получения профиля (снятия профилограммы поверхности)**

В настоящее время снятие профилограммы происходит чаще всего неавтоматизированным, ручным способом, в то же время здесь имеются значительные резервы для превращения этого процесса в автоматизированный и даже автоматический, с полным исключением человека. В настоящее время ведущими мировыми производителями измерительной техники, такими, как, например, «Карл Цейс», производятся координатно-измерительные машины, способные измерять линейные и угловые параметры изделий сложнейшей конфигурации, работающие в автоматизированном или автоматическом режимах.

 $Aвтоматизация\ ввода\ данных\ o\ профиле\ в\ ЭВМ$ состоит из двух составляющих – оцифровка данных аналого-цифровым преобразователем и получение данных на сто-

роне ЭВМ при помощи программного обеспечения работы с профилометром. Аппаратная часть реализуется современными средствами АЦП. С точки зрения программной части автоматизация этого этапа заключается в разработке программного модуля считывания данных с профилометра (в простейшем случае) или полноценного драйвера профилометра, позволяющего, помимо только считывания, управлять работой профилометра (в том, конечно, случае, если профилометр поддерживает такую возможность). Следует закладывать в программную часть свойства расширяемости и тиражируемости, что обеспечит ей больший жизненный цикл.

Автор данной работы придерживается мнения о том, что при автоматизации процесса контроля микрогеометрии основными показателями оценки должны быть выбраны непараметрические критерии как наиболее информативные и точно отражающие малейшие изменения состояния микрогеометрии поверхности. Это было не раз убедительно доказано создателем непараметрических критериев — д.т.н., профессором В.А. Валетовым в его публикациях и работах. Кроме того, так как действующий стандарт устанавливает иную систему параметров оценки микрогеометрии, целесообразно предусматривать возможность расчета этих параметров.

Перед обработкой, из-за наличия множества помех и погрешностей в течение процесса измерения микрогеометрии, необходимо произвести очистку полученных данных. Как было показано [3, 4], эффективнее всего осуществлять это на базе преобразования Фурье.

Обработка данных, характерная для процесса контроля микрогеометрии, как расчетная задача достаточно хорошо поддается автоматизации путем реализации алгоритмов обработки данных на ЭВМ, при этом участие пользователя системы, в основном, сводится лишь к выбору входных данных и рассчитываемых параметров.

Автоматизация выдачи результатов обработки данных заключается в разработке удобных средств, предназначенных для пользователя программной системы контроля микрогеометрии, для автоматизированной (или автоматической) генерации отчетов по результатам обработки данных. Должна иметься возможность использовать и представлять результаты ее работы вне самой системы, когда она не запущена. Эти отчеты для удобства просмотра и распространения целесообразно представлять в каком-либо распространенном стандартном формате (форматах), как, например, широко применяемый для представления информации в сети Internet формат HTML-страниц или набирающий значимость в области обмена данными формат XML-документов.

Все это может привести к созданию автоматических систем контроля микрогеометрии, например, систем выходного контроля качества поверхностей. В них будет реализован полностью автономный цикл работы: установка изделия роботом на стол автоматического профилометра, снятие профилограммы интересующей поверхности, расчет необходимых критериев оценки микрогеометрии и автоматическая проверка попадания графических изображений критериев в допускаемый интервал оптимальных для функционального свойства поверхности (это можно реализовать на основе методов распознавания образов) с отбраковкой изделия, если значения параметров не входят в интервал допустимых.

Заключение

В статье рассмотрены современный подходы к автоматизации контроля микрогеометрии поверхностей, выделены их характерные особенности, показаны достоинства и недостатки, а также приведен авторский взгляд на решение проблемы, основанный на комплексном подходе к автоматизации данного процесса через автоматизацию всех его стадий.

Литература

- 1. Миловзоров А.Н., Яковлев А.В. Контроль шероховатости поверхности с применением ЭВМ / Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: Материалы 10-й Международной науч.-техн. конф. Рязанская государственная радиотехническая академия, 2001. с. 155 158.
- 2. Васильков Д.В., Платонов А.В. Программная реализация комплекса контактнощупового контроля микрогеометрии функциональных поверхностей // Инструмент и технологии. 2004. №1. С. 58–71.
- 3. Валетов В.А. О практической пригодности некоторых критериев для оценки шероховатости поверхности. / В кн.: Технология корпусостроения, судового машиностроения и сварки в судостроении. ЛКИ, 1978. С. 62–65.
- 4. Валетов В.А. Оптимизация микрогеометрии поверхностей деталей в приборостроении. Учебное пособие. Л.: ЛИТМО, 1989.

12

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ САПР ТП Ю.А. Гатчин, Е.Г. Чернокнижная

Статья посвящена проблеме общесистемного подхода к проектированию САПР ТП. Определен общий круг проблем, рассмотрены принципы создания отдельных компонентов системы, важнейшим из которых является база данных, а также инструменты проектирования.

Современные САПР ТП – это сложные системы, состоящие из многочисленных взаимосвязанных звеньев с последовательными, параллельными и обратными связями. Поведение отдельных звеньев таких систем, их воздействие друг на друга и функционирование системы в целом могут иметь детерминированный, случайный и смешанный, детерминированно-стохастический характер. Проектирование и исследование таких систем требует системного подхода к решению различных задач, возникающих в процессе анализа и синтеза. Наиболее эффективным, по нашему мнению, является использование при проектировании САПР ТП нисходящего стиля блочно-иерархического проектирования, включающего ряд уровней и этапов [1].

Верхний уровень – концептуальное проектирование – выполняется на этапе предпроектных исследований, разработки технического предложения и эскизного проекта. Здесь разрабатываются детальные концептуальные модели прикладной технологической области, описывающие информационные потребности производства, особенности функционирования и т.д.

Основным результатом анализа САПР ТП является характеристика определенной группы ее свойств, основанная на описании системы в некотором диапазоне пространственно-временных границ (семантическая модель). Из этого следует, что целевая направленность проводимого анализа однозначно определяется оцениваемой совокупностью свойств конкретной САПР ТП. Однако системный подход предполагает ее исследование с важнейших сторон и на различных уровнях, что обусловливает необходимость проведения такого анализа, который раскрывал бы наиболее существенные ее свойства. С этой точки зрения практически каждая система может характеризоваться множеством функций, выполняемых ею, подсистемами и элементами системы, которые реализуют эти функции, а также информационными процессами в ней. Следовательно, представляется возможным выделить функциональный и информационный аспекты системы.

Каждый из указанных аспектов рассматривает самостоятельную область исследований, характеризующуюся, прежде всего, видом описания системы. Функциональное описание, в частности, состоит в определении функций САПР ТП и их взаимосвязи, информационное — в характеристике зависимости ее функциональных свойств от информации, циркулирующей внутри и вне системы.

Результатом являются модели двух типов — информационные, отражающие структуру и общие закономерности прикладной области, и функциональные, описывающие особенности решаемой задачи. В качестве информационного моделирования используется аппарат моделей «сущность—связь», или ER-моделей (Entity Relationship Model) [2]. Этот формализм позволяет представить информационные потребности в виде, наглядном и удобном для восприятия, что делает их хорошим средством коммуникации между проектировщиками и пользователями. Соответственно вводится и набор функций САПР ТП.

На этапе анализа применяются два метода с использованием ЭВМ. Первый метод состоит в том, что разработчик использует анализирующие возможности компьютера как средства моделирования. Второй метод подразумевает использование анализирующих возможностей ЭВМ для выбора оптимального решения. При этом компьютер сам изменяет входные параметры. Роль разработчика сводится в этом случае к определению параметров, которые следует изменять или оставить инвариантными.

По завершении этапа анализа начинается этап синтеза, т.е. создания методики решения задачи, алгоритма и программы. Этап синтеза характеризуется использованием не только информации о проблемной среде, отобранной на этапе анализа, но и использованием уже накопленных процедурных знаний (математических методов, пакетов алгоритмов и программ). Особенно успешным использование процедурных знаний будет при декомпозиции задачи на подзадачи, решение которых уже известно.

На основании концептуальных моделей вырабатываются технические спецификации будущей системы — определяется форма представления данных, структура и состав базы данных, специфицируется набор программных модулей и их реализация, проектируется оболочка САПР ТП.

Содержанием последующих этапов нисходящего проектирования является определение перечней приобретаемого оборудования и готовых программных продуктов, построение системной среды, детальное инфологическое проектирование баз данных и их первоначальное наполнение, разработка собственного оригинального программного обеспечения, которая, в свою очередь, делится на ряд этапов нисходящего проектирования.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

- цель создания БД;
- предметная область;
- информационные объекты;
- информационные потоки;
- выбор типа модели данных.

ЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Инфологическое

- определение существенных характеристик (свойств) информационных объектов;
- окончательное формирование информационных объектов;
- построение инфологической моде-

Даталогическое

- выбор целевой СУБД;
- определение логической структуры информационных объектов;
- описание механизмов обеспечения целостности данных.

ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

- реализация модели данных средствами выбранной СУБД;
- отладка и испытания на работоспособность;
- документирование проекта.

Рис. Основные этапы проектирования БД

При проектировании базы данных решаются две основных проблемы [3].

- Каким образом отобразить объекты предметной области в абстрактные объекты модели данных, чтобы это отображение не противоречило семантике предметной области и было по возможности лучшим (эффективным, удобным и т.д.)? Эту проблему называют проблемой логического проектирования баз данных.
- Как обеспечить эффективность выполнения запросов к базе данных, т.е. каким образом, имея в виду особенности конкретной СУБД, расположить данные во внешней памяти, создания каких дополнительных структур (например индексов) потребовать? Эту проблему называют проблемой физического проектирования баз данных

На этапе логического проектирования базы данных САПР ТП необходимо:

- определить основные функции приложения, работающего с базой данных;
- определить, информация о каких объектах (сущностях) должна храниться в базе данных, и идентифицировать их;
- определить, какие атрибуты данных для каждой сущности должны храниться в базе данных, и идентифицировать их;
- определить, какие отношения (связи) должны существовать между сущностями.

Физическое проектирование представляет собой реализацию базы данных с использованием конкретной СУБД в соответствии с созданной на этапе логического проектирования моделью, разработку необходимых форм для ведения базы данных, а также ее заполнение соответствующей информацией.

В большинстве СУБД используются реляционные модели, характеризующиеся простотой структуры данных, удобным для пользователя табличным представлением и возможностью использования формального аппарата реляционной алгебры и реляционного исчисления. Этот математический аппарат обладает большой выразительной мощностью: очень сложные запросы к базе данных могут быть выражены с помощью одного выражения реляционной алгебры или одной формулы реляционного исчисления. Именно по данной причине эти механизмы включены в реляционную модель данных. Заметим, что крайне редко алгебра или исчисление принимаются в качестве полной основы какого-либо языка БД. Обычно (как, например, в случае языка SQL) язык основывается на некоторой смеси алгебраических и логических конструкций.

Для поддержки технологии проектирования программного обеспечения и баз данных САПР ТП должны использоваться современные *CASE*-средства (*Computer-Aided Software/System Engineering*), которые охватывают обширную область поддержки многочисленных технологий проектирования информационных систем — от простых средств анализа и документирования до полномасштабных средств автоматизации, покрывающих весь жизненный цикл программного обеспечения. Современный рынок программных средств насчитывает около 300 различных *CASE*-средств, наиболее мощные из которых так или иначе используются практически всеми ведущими разработчиками. Интегрированное *CASE*-средство (или комплекс средств, поддерживающих полный жизненный цикл программного обеспечения) содержит следующие компоненты [4]:

- репозиторий, являющийся основой *CASE*-средства. Он должен обеспечивать хранение версий проекта и его отдельных компонентов, синхронизацию поступления информации от различных разработчиков при групповой разработке, контроль метаданных на полноту и непротиворечивость;
- графические средства анализа и проектирования, обеспечивающие создание и редактирование иерархически связанных диаграмм, образующих модели ИС;
- средства разработки приложений, включая языки 4GL и генераторы кодов;
- средства конфигурационного управления;
- средства документирования;

- средства тестирования;
- средства управления проектом;
- средства реинжиниринга.

Процесс решения любой технологической задачи невозможен без использования фактографической информации. Следовательно, отбор и эффективная организация фактографической информации является важным звеном в создании подсистем САПР ТП. До сих пор весьма мощным средством представления знаний являются естественный язык и некоторые некомпьютерные языки, включая табличные и графические языки. Применительно к САПР ТП — это справочники, стандарты технологического оснащения, технологические документы и т.д.

В состав технического обеспечения САПР ТП должны входить ЭВМ, периферийное и сетевое оборудование. Технические средства должны обеспечивать:

- достаточную производительность и емкость памяти;
- поддержку интерактивного режима работы за счет удобного пользовательского интерфейса;
- взаимодействие между технологами, работающими над общим проектом, путем объединения аппаратных средств в вычислительную сеть.

В результате архитектура технических средств представляет собой сеть, состоящую из узлов, связанных между собой средой передачи.

Одной из важных тенденций современных информационных технологий является создание открытых систем. Известно, что срок морального старения технических средств САПР/АСТПП составляет 1-2 года, а методов - 5-6 лет. Самым простым и очевидным является модернизация или замена технических и программных средств на новые, тех же фирм. Но темпы развития современных информационных технологий требуют гибкости в подходе к меняющимся условиям рынка. Такие системы должны быть переносимы на различные аппаратные платформы, иметь возможности модификации и комплексирования с другими системами для расширения функциональных возможностей и интегрируемости. Для этого, в первую очередь, САПР ТП должна иметь стандартизованный интерфейс по входу и выходу. Профилем открытой системы называют совокупность стандартов и нормативных документов, обеспечивающих выполнение системой заданных функций. Так в профилях САПР ТП могут фигурировать язык EXPRESS стандарта STEP, стандарт графического пользовательского интерфейса Motif, унифицированный язык SQL обмена данными между различными СУБД [5] и т.д. Проектирование открытых распределенных автоматизированных систем для проектирования и управления в промышленности составляет основу современных CALSтехнологий (Continuous Acquisition and Lifecycle Support – Поддержка непрерывных поставок и жизненного цикла) [6]. В этой технологии понятия изделия и его жизненного цикла являются базовыми в рассматриваемой концепции проектирования САПР ТП, так как они лежат в основе анализа организационной структуры систем, а также методологии создания открытой интегрированной производственной системы (ИПС) – Ореп Manufacturing System Integration (OMSI).

Предлагаемый вариант декомпозиции *жизненного цикла* (в данном случае *изделие* – это САПР ТП) включает в себя следующие фазы:

- анализ потребности (изучение рынка);
- проектирование;
- подготовка производства;
- производство;
- лабораторные исследования;
- передача САПР ТП в эксплуатирующую организацию;

• применение САПР ТП конечными пользователями (технологамипроектировщиками) по ее прямому назначению.

Завершение этапа синтеза, т.е. создание и отладка программ, представляет собой образование новой совокупности процедурных знаний, включаемую в общую сферу знаний.

Литература

- 1. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения. / Пер.с англ. М.:Конкорд, 1992. 512 с.
- 2. Entity-Relationship Approach to Information Modelling and Analysis//Amsterdam: North-Holland, 1983. 314 p.
- 3. Кренке Д. Теория и практика построения баз данных. СПб: Питер, 2005. 859 с.
- 4. Маклаков С.В. BPwin и ERwin. CASE-средства разработки информационных систем. М: Диалог-МИФИ, 2001. 144 с.
- 5. Коробейников А.Г., Гатчин Ю.А. Методы представления знаний в гибкой производственной системе сбора и обработки информации // Изв. вузов. Приборостроение. 1999. № 1. Т.42. С. 9–11.
- 6. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. М: МГТУ им. Баумана, 2002. 336 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ЗАЯВОК В СЛУЖБЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Р.В. Иванов, А.В. Маятин, А.Е. Михайленко

На примере процесса обработки заявок на ремонт офисной техники рассмотрено место технического обслуживания в жизненном цикле сложных технических систем. Проанализированы возможности и ограничения систем класса HelpDesk для поддержки этого процесса. Построена модель процесса, обладающая большей прогностической силой в условиях реального бизнес-процесса.

Введение

Информатизация современного бизнеса приводит к росту плотности и усложнению структуры информационных потоков, циркулирующих в офисе. Для организации службы технической поддержки (СТП) таких потоков уже недостаточно концепции независимо существующих единиц офисной техники, а требуется переход к концепции сложной технической системы (СТС). В литературе (см., например, [1–4]) представлены различные трактовки понятия СТС, но общими являются следующие аспекты:

- понятие СТС связывается не с размером (номенклатурой элементов), а с модельной сложностью;
- управление СТС организуется в условиях неопределенностей различного типа, в том числе параметрической, структурной, модельной;
- в состав СТС должны включаться звенья (например, экспертные системы), способные адекватно задаче компенсировать эту неопределенность;
- в качестве таких звеньев могут выступать люди как элементы принятия решения.

Соответственно, в качестве объекта технической поддержки в работе рассматривается система, включающая в себя офисную технику (аппаратное обеспечение), программное обеспечение и персонал офиса в различных ролевых позициях.

В соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО серии 9000 [5, 6] СТП должна переходить от устранения отдельных дефектов по мере их возникновения к менеджменту качества системы в целом. В систему менеджмента качества производственной системы [5, 6] как обязательные процедуры введены «Корректирующие действия» (КД) и «Предупреждающие действия» (ПД). В частности, процедура КД должна включать [7]:

- рассмотрение сообщений о несоответствиях продукции и рекламаций потребителей;
- изучение причин несоответствий и регистрацию результатов такого изучения;
- проверку выполнения КД и их результативности.
 - Процедура ПД должна включать:
- использование всех источников информации для выявления, анализа и устранения потенциальных причин несоответствий;
- определение требуемых мер;
- осуществление мер, проверку их выполнения и результативности;
- доведение информации о предпринятых действиях и их результатах до сведения руководства для анализа и принятия решения.

Согласно требованиям стандартов [5, 6], КД и ПД должны быть организованы в виде цикла Шухарта–Деминга (планирование–выполнение–контроль–воздействие, PDCA) [8, 9]. Этот цикл универсален и применим почти ко всем процессам в организации, но в силу высокого уровня общности требует конкретизации с учетом специфики производственной системы. В то же время высокая динамичность и вариативность объектов технической поддержки не позволяют рассматривать задачи проектирования конкретной СТП как уникальные, а требуют перехода к созданию САПР СТП.

Анализ факторов неопределенности, характерных для СТП

Как показывает практика, на большинстве предприятий, входящих в сегмент малого и среднего бизнеса (SMB), четкий регламент работы СТП отсутствует. На рис. 1 в нотации IDEF3 [10–12] представлена модель, описывающая процесс «как есть».

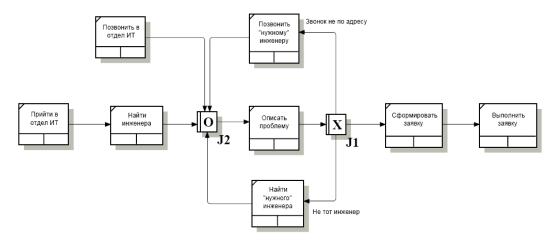


Рис. 1. Нерегламентированный процесс работы СТП

Выделим особенности такой организации СТП.

- При возникновении проблемы пользователю приходится самостоятельно определять ее причину, чтобы сообщить в СТП.
- Информация о проблеме передается, как правило, устно (по телефону) и должна быть повторена для каждого нового специалиста, подключившегося к ее решению.
- Отсутствуют средства структурирования и детальной фиксации проблемы (шаблоны и пр.).
- Диспетчирование и контроль прохождения заявки на обслуживание выполняются, как правило, на уровне межличностных отношений, соответствующие средства информационной поддержки отсутствуют или не используются.

Очевидно, что в этой модели СТП время и средства, затрачиваемые на устранение проблемы, неоправданно велики, что во многом связано с наличием в СТП факторов неопределенности различной природы.

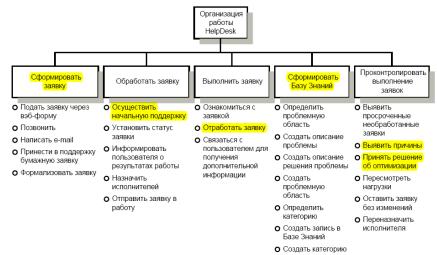


Рис. 2. Источники неопределенностей в СТП

Проведенный авторами анализ СТП офисной техники как СТС позволил выделить источники неопределенностей, возникающие на различных этапах обработки заявки (см. рис. 2).

Модельная сложность и неопределенности различного типа, присущие СТП офисной техники как СТС, выдвигают на первый план при построении САПР СТП офисной техники проблемы построения моделей процессов обслуживания, которые, с одной стороны, обладают достаточной прогностической силой для поддержки процедур КД и ПД, а с другой стороны – могут быть программно реализованы в рамках САПР как информационной системы.

Анализ возможностей парирования неопределенностей в существующих системах поддержки СТП

Рассматривая СТП как СТС, ее моделирование можно проводить на различных системных уровнях. Так, широкое распространение получили модели массового обслуживания. Модели типа систем массового обслуживания (СМО) используются обычно для оценки времен ожидания в случайных процессах с очередями. Такое моделирование системы предполагает, что:

- система функционирует в непрерывном времени;
- задача системы реагировать на поток заявок;
- заявки появляются и завершаются в случайные моменты времени, т.е. система является стохастической.

СМО определяется кортежем

Q = < W, U, Z, R, H, A>,

где W — подмножество входящих потоков (подмножество неуправляемых переменных), U — подмножество потоков обслуживания (подмножество управляемых переменных), Z — состояние системы, R — оператор сопряжения, формирующий направленный граф движения заявок, H — подмножество собственных параметров схемы, A — оператор алгоритмов (дисциплин) поведения заявок.

Как правило, получить оценки для СМО в аналитической форме удается только при сильных упрощающих предположениях, а именно для одноканальной схемы с маровским входящим потоком и марковским потоком обслуживания. Для оценки работы реальных СМО требуется имитационное моделирование. Даже в этом случае имеются проблемы, в том числе: параметры прибора обслуживания постоянны, не позволяет моделировать текущую активность звеньев обслуживания и текущую смену модельных представлений.

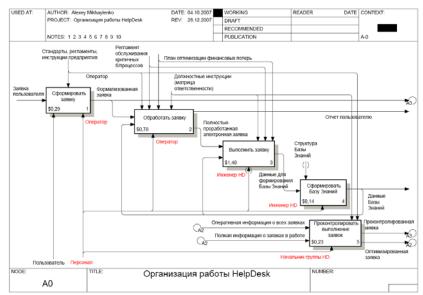


Рис. 3. Общая схема организации процесса работы систем класса HelpDesk

Поэтому широкое распространение получил альтернативный подход к моделированию СТП, состоящий в построении интегральной модели бизнес-процесса и последовательном ее уточнении вплоть до уровня отдельных бизнес-переходов, имеющих программно реализуемую информационную поддержку. На этой модели основаны информационные системы для поддержки СТП класса HelpDesk.

Системы класса Helpdesk – это информационные системы, предназначенные для обработка задач (запросов) любых пользователей, постановки задач между исполнителями, накопления информации о каждой из задач, назначения ответственных и отслеживание сроков реакции и выполнения. Обобщенная схема организации работы систем класса HelpDesk представлена на рис. 3.

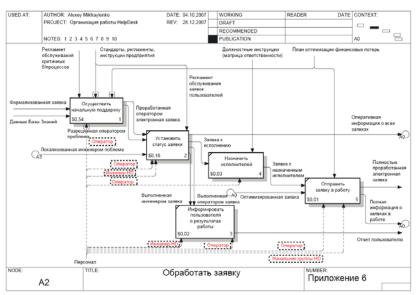


Рис. 4. Разделение ролей на этапе обработки заявки.

На рис. 3 выделены стандартные роли для такого класса БП:

- <u>пользователь</u> самостоятельно ищет решения возникшей проблемы в Базе Знаний или при помощи оператора-координатора или самостоятельно составляет заявку об инциденте;
- <u>оператор-координатор</u> при возможности помогает пользователю решить проблему с помощью собственных знаний и Базы Знаний или формализует заявку, относя ее к определенной категории, назначает инженера для разрешения заявки и фиксирует ее закрытие, следит за сроками исполнения заявок;
- <u>инженер HD</u> решает проблему и возвращает оператору-координатору отчет о выполнении заявки.
- <u>начальник группы HD</u> следит за сроками и качеством исполнения заявок, контролирует целостность базы знаний.

Системы класса HelpDesk поддерживают эффективность работы СТП за счет жесткой формализации ролей пользователей и связанных с этим прав доступа к системе (рис.4).

Выделим особенности такой организации СТП.

- При возникновении проблемы пользователь формулирует ее причину, самостоятельно или с помощью оператора, опираясь на информацию в БЗ.
- Информация о проблеме поступив в БД передается оператору для регистрации, быстрой обработки или передачи специалисту, все этапы обработки заявки фиксируются.
- Диспетчирование и контроль прохождения заявки на обслуживание максимально формализованы, применяются стандартные шаблоны как для заявки, так и для всех этапов ее решения, в том числе для хранения решений заявок в Б3.

Анализ наиболее распространенных на российском рынке систем класса HelpDesk [13–16] показал, что:

- большинство систем заявлено разработчиками как масштабируемые, однако масштабируемость имеет смысл расширения функциональностей в рамках жестко определенной структуры бизнес-процесса, в том числе четкого разделения ролей пользователей;
- эффективная работа систем предполагает наличие наполненной БЗ;

Это нивелирует эффективность использования такого класса систем на начальных этапах развития бизнеса, особенно в малом и среднем бизнесе.

Пути модификации систем класса HelpDesk для поддержки СТП с неопределенностями

При взаимодействии СТП с клиентом (рис. 5) можно выделить несколько источников неопределенности.

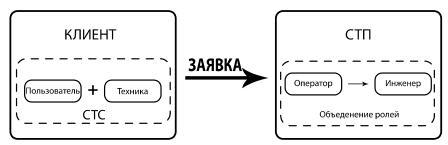


Рис. 5. Взаимодействие клиент-СТП

Во-первых, клиент должен моделироваться как СТС, включающая в себя техническое устройство и пользователя. С точки зрения СТП эти две составляющие неразделимы, поскольку оказывают постоянное воздействие друг на друга, и, следовательно, СТП не может быть полностью формализована. Следовательно, в соответствии с общесистемными принципами [1], не может быть полностью формализована и заявка на обслуживание, поступающая от клиента

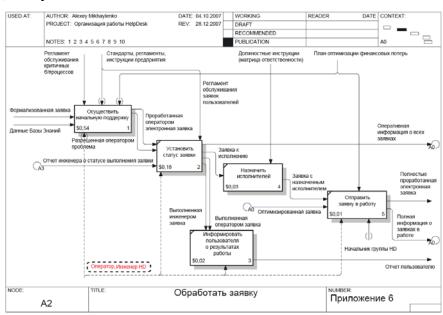


Рис. 6. Смешение ролей на этапе обработки заявки

Во-вторых, оператор производит первичную классификацию поступающих заявок для передачи на исполнение инженеру на основании слабо формализованных данных и часто неполных данных. Эффективность такой классификации может быть повышена за счет либо высокой квалификации оператора как системного инженера, либо использования БЗ, позволяющей по ряду признаков уточнить описание заявки.

Таким образом, в случае практического применения внедрения систем класса HelpDesk на начальном этапе или в условиях малого штата СТП происходит смешение ролей пользователей системы (рис. 6), специфичное для конкретного БП.

Для разрешения сформулированного противоречия целесообразно использовать следующий комплекс мер.

- Введение в систему возможности назначения одному пользователю нескольких ролей. Например, в момент приема заявки от пользователя необходимо формализовать суть неисправностей и постараться выявить возможные причины их появления. Это требует высокой специализации или наличия обширной БЗ. Если таковой нет или она еще в процессе формирования, на приеме заявок необходим специалист, а не просто оператор. С учетом требований системы ему придется постоянно входить в систему под другой ролью, что неудобно. В то же время назначение пользователю одновременно нескольких ролей позволит с развитием системы высвободить специалиста от выполнения невысококвалифицированного труда операторадиспетчера.
- 2. Фиксирование текущей роли пользователя в системе, от имени которой совершено действие (присвоение флага роли операции). Наиболее эффективным видится введение в интерфейсы пользователей системы со стороны СТП дополнительного элемента в виде экранного меню с обозначением текущей роли пользователя на каждом логическом этапе жизненного цикла заявки. Существенно, что такое обозначение должно выполняться максимально эргономично («в один клик»).
- 3. Возможность текущего добавления ролей как декомпозиции или специализации существующих.
 - В процессе выполнения заявки специалист выполняет ряд действий, которые эффективнее разделить на несколько этапов. Например, при создании локальной сети клиента необходимо выполнить следующие работы:
 - прокладка кабелей;
 - установка сервера или другого оборудования и его настройка;
 - формирование сетевой политики;
 - Эти действия эффективнее разделить между несколькими специалистами с более узкими специализациями и зафиксировать переходные требования. Заранее выявить все возможные роли специалистов невозможно, так же как и специализации технических специалистов.
- 4. Формирование БЗ с максимально полным семантическим описанием типов и групп заявок со структурированным хранилищем готовых решений.
 - Точность формулировок и широта связей в БЗ позволит не только сократить выезды специалиста к клиенту для подключения сетевого шнура по заявке «Не работает Интернет», но и решит проблему преемственности специалистов, когда при появлении нового работника нет необходимости вспоминать все особенности каждого конкретного клиента и ли его техники.

Набор статистики использования ролей и принятых решений в жизненном цикле набора заявок позволит декомпозировать рабочий поток (Workflow) для последующего формирования диаграмм прецедентов в рамках построения БЗ как части структуры HelpDesk.

Литература

- 1. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. М.: Высш. шк., 1989.
- 2. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2000.
- 3. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдуевский (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1988. Т. 3: Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова.
- 4. Акофф Р. Искусство решения проблем. М: Мир, 1982.
- 5. ГОСТ Р ИСО 9004-2001. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности.
- 6. ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Системы менеджмента качества. Требования.
- 7. Адлер Ю.П., Хунузиди Е.И., Шпер В.Л. Методы постоянного совершенствования сквозь призму цикла Шухарта–Деминга /Методы менеджмента качества. 2005. № 3.
- 8. Иняц Н. Малая энциклопедия качества. Ч. III. Современная история качества. М.: РИА "Стандарты и качество", 2003.
- 9. Управление эффективностью и качеством. Модульная программа. Ч. І. Модуль 9: Повышение эффективности и качества: концепции, процессы и методы / Под ред. И. Прокопенко, К. Норта. М.: Дело, 2001. 608 с.
- 10. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: РИА «Стандарты и качество», 2004. 408 с., ил. (Серия «Практический менеджмент»).
- 11. Черемных С.В. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум / С.В. Черемных, И.О. Семенов, В.С. Ручкин. М.: Финансы и статистика, 2006. 192 с.: ил. (Прикладные информационные технологии).
- 12. Маклаков С. В. Создание информационных систем с AllFusion Modeling Suite. М.: Диалог-МИФИ, 2005. 432с.
- 13. HP OpenView Service Desk http://www.hp.ru/openview/products/servicedesk/
- 14. Итилиум Service Desk http://itilium.ru/content/view/8/109/
- 15. Naumen Service Desk http://www.naumen.ru/go/products/nausd
- 16. OneOrZero http://www.oneorzero.com/

ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ДОПЕЧАТНОЙ ПОДГОТОВКИ ИЗДАНИЙ

Н.Ф. Гусарова, Р.В. Иванов, Д.В. Кузюк, А.В. Маятин

Влияние компьютеризации на технологические параметры издательско-полиграфического процесса

Активная компьютеризация издательско-полиграфического процесса (ИПП) (рис. 1 [1]) привела к существенным его изменениям, которые в наибольшей мере затронули подпроцесс допечатной подготовки изданий. В этих изменениях можно выделить технологический и социальный аспект.

Под технологическим аспектом мы понимаем содержательные и структурные изменения, непосредственно затронувшие технологию ИПП, в первую очередь:

- сокращение числа используемых технологических платформ. Еще 25–30 лет назад ИПП строился как последовательная смена целого ряда разнотипных технологических платформ редакционной, наборной, фотолитографической, верстальной, печатной, брошюровочной и др. с формализованными интерфейсными процедурами [2] В компьютеризированном же ИПП доминируют три платформы допечатная, представленная в большинстве случаев настольной издательской системой [3], печатная и послепечатная (брошюровочно-переплетная), причем, как показывает практика, интерфейсы между ними формализованы в недостаточной мере.
- формирование технологических цепочек непосредственно в ходе ИПП. До широкого внедрения компьютерных издательских технологий структура ИПП достаточно жестко задавалась типом издания и печатного процесса (ПП). Платформа компьютерной допечатной подготовки изданий (КПИ) обеспечивает единую технологическую среду для поддержки различных типов изданий и ПП, а конкретный ТП КПИ может быть реализован посредством различных технологических цепочек. В состав параметров, влияющих на выбор этих цепочек, могут входить характеристики конкретного исполнителя его опыт, знания, сформированные профессиональные приемы и т.д. рефлексируемые им в разной степени, вплоть до уровня имплицитной активности В результате при организации управления в ТП КПИ могут возникнуть задачи идентификации, причем не только параметрической, но и структурной;
- смена содержания отдельных этапов ИПП при сохранении традиционных названий. Например, функции редактора по размещению элементов текста в полосе во многом переходят к верстальщику, изменяется специализация внутри редакторского корпуса и т.д. [Мильчин]. Соответственно, точки принятия решения мигрируют внутри ТП КПИ, что также затрудняет управление им.

Социальный аспект изменений в ИПП проявляется в следующем.

• Растет доступность ИПП, востребованность его продукции для различных социальных слоев, и, соответственно, расширяется спектр профессиональных уровней участников ТП. На место автора рукописи, с которым профессиональные участники ИПП взаимодействовали по стандартизованной процедуре [2, 3], в ТП КПИ приходит заказчик печатной продукции, для которого желаемый образ будущего издания во многом является имплицитным. Все больше элементов будущего издания подго-

¹ Имплицитный [< лат. implicite - включая, в том числе; англ. implicit - подразумеваемый, не выраженный прямо] - содержащийся внутри, внутренне присущий, внешне не проявляющийся, не выраженный прямо [4]. Под имплицитной активностью в работе понимается внутренняя, в том числе спонтанная, активность людей (исполнителей) как элементов ТП

тавливается внешними исполнителями, которые, как правило, имеют свои модели компьютера как технологической среды, отличные от моделей узких специалистов КПИ. Соответственно, при организации управления ТП КПИ возникает задача формирования единого образа будущего издания и технологической среды в целом у всех участников ТП [5].

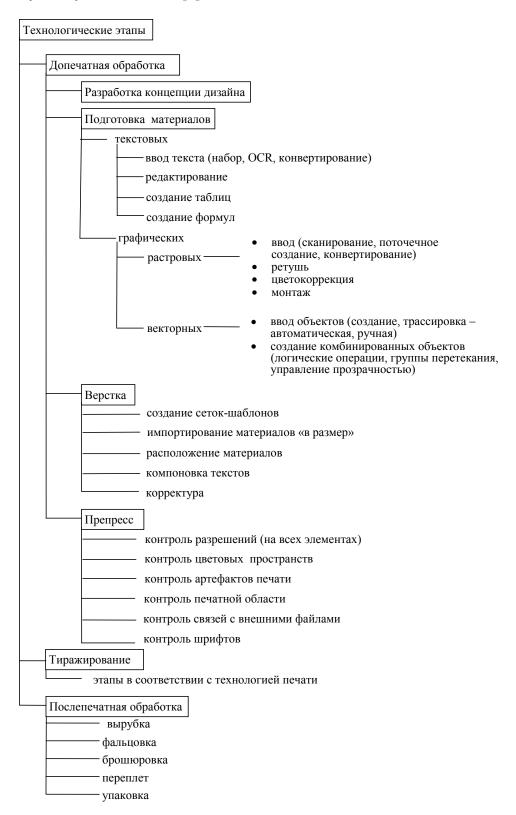


Рис. 1. Основные технологические этапы ИПП

• Эталон качества печатной продукции, жестко регламентировавшийся требованиями стандарта [2], трансформируется в допустимую область качества в пространстве «социальные ожидания – распределение ответственности – ресурсы». В соответствии с общесистемными закономерностями [6], выбор целевой точки в этой области для конкретного издания должен производиться в надсистеме, т.е. в социальной среде (например, в зоне маркетинговых решений), однако ее трансляция на параметры технологической среды, являясь слабо формализованной, тем не менее, уже входит в сферу организации управления ТП КПИ как технической системы.

Происходящие в ИПП изменения, связанные с его компьютеризацией, находят свое отражение в литературе и в сети Интернет [2, 3, 8–20]. Однако, как показывает анализ, основное внимание уделяется социальному аспекту изменений и его организационным выражениям. При этом большинство источников ориентируется (хотя и неявно) на традиционную структуру ролевых позиций и разделения функциональных обязанностей участников ИПП. В то же время влияние этих изменений на технологические параметры ИПП и, в частности, ТП КПИ, раскрыто недостаточно.

В статье обсуждаются вопросы организации интерфейса между платформой КПИ и печатной платформой в рамках компьютеризированного ИПП. Рассматривается программно-аппаратный комплекс (ПАК) КПИ как среда модельного представления ПП. Описывается структура информационно-справочной системы (ИСС), разработанной в качестве средства поддержки задания параметров интерфейса для конкретной производственной ситуации.

КПИ как среда модельного представления печатного процесса

Технически печать определяется как расположение в заданном порядке печатных и пробельных элементов на носителе. Потенциальное качество печати в смысле этого определения соотносится с вектором параметров объекта «печатная точка»,

 $V_{\Pi\Pi}$ = {печатное разрешение, линиатура, цветовая модель, типы красок, параметры носителя, параметры печатного устройства}, (1) независимо от типа материалов, передаваемых на вход ПП (оригинал-макет, мастерпленка, печатная форма и т.д.).

Положение целевой точки в пространстве $V_{\Pi\Pi}$ задается, как отмечалось выше, извне ИПП и должно быть обеспечено с требуемой точностью, причем большинство управляющих параметров для этого сосредоточено в среде КПИ и образует вектор $V_{K\Pi U}$. Некоторые из управляющих параметров доступны непосредственному измерению в числовой форме (табл. 1), однако большинство оценивается косвенно, по изображению на экране калиброванного монитора, входящего в состав ПАК КПИ. Кроме того, актору КПИ в определенной мере доступны интегральные объекты обратной связи из ПП (табл. 2), причем степень доступности определяется внетехнологическими, в основном ресурсными, обстоятельствами.

Тип измерения	Параметры			
Прямое, количе-	Параметры цветоделения			
ственное	Размеры и разрешение растровых объектов			
	Размеры и разрешение векторных объектов (в том числе шрифтов			
	после конвертации в векторную форму)			
Косвенное	Гистограмма растровых изображений			
	Изображение на экране калиброванного монитора			

Табл. 1. Примеры организации оценки параметров ТП КПИ

Объект ОС	Наблюдаемые параметры ПП
Цифровая цветопроба	Параметры ч/б разрешения, трекинг шрифтов, усредненные
	цвета
Аналоговая цвето-	Все, кроме параметров красок (используется имитация офсет-
проба	ных красок)
Контрольный прогон	Все (печатается часть реального тиража)

Табл. 2. Формы обратной связи из ПП в КПИ

Как правило, современный ПАК КПИ поддерживает концепцию WYSIWYG: на экране монитора воспроизводится постепенное заполнение поля будущего структурного элемента издания (например, страницы книги) структурными единицами более низкого уровня (текстом, иллюстрациями и т.д.) вплоть до издания в целом. Таким образом, ПАК КПИ позиционируется как среда визуального моделирования для формирования входных объектов ПП. Однако адекватность такого модельного представления ограничена, что подтверждается материалами табл. 3, где представлены реализуемые в ПАК КПИ способы имитации некоторых компонентов $V_{\Pi\Pi}$ (для определенности в качестве имитируемого ПП выбран офсет).

Компонент V _{ПП}	Имитирующий параметр КПИ	Алгоритм имитации	Границы адекватности модели
Разрешение <i>R</i> (размер физи- ческой точки):	параметр тепт		
 разрешение печатной матрицы растискивание точки (опре- 	пара «линеатура L — количество оттенков K » разрешение файла на входе в ПП $R_{\rm BM}$ dot gain	вводится промежуточный объект «растровая точка» — агрегат из физических точек размером $1/L$; формируется инвариант $K=(R/L)^2+1$ $R_{\rm BM}=L\sqrt{2}-$ для ч/б точки; $R_{\rm BM}=2$ $L-$ для цветной точки при выводе изображения	На экране воспроизводится не физическая точка, а точка растра с количеством оттенков, зависящим от текущих настроек видеоадаптера Значение dot gain определяется статистически
деляется гиг- роскопично- стью бумаги и вязкостью краски)		на экран монитора алгоритмически уменьшается его насыщенность и яркость в зависимости от значения dot gain	из платформы ПП
Сумма красок (существует предел впитывания красок бумагой)	total_ink_limit black_ink_limit	вводятся ограничения на используемые цвета (gamut warning); области недопустимых цветов подсвечиваются	Значения total_ink_limit и black_ink_limit определяются статистически из платформы ПП
Тип цветоделения	mode	Специализированные алгоритмы пересчета RGB↔CMYK (GCR, UCR)	На экране отображается результат обратного преобразования СМҮК →RGB; доступны численные значения координат СМҮК для от-

			дельной точки
Overprint (вы-	контролирует-	Проприетарный алгоритм	На экране не отобража-
беление растра	ся специализи-	вRIP	ется
под шрифтами	рованными		
и векторными	агентами в		
объектами вы-	программах		
ше заданной	контроля		
толщины)	PS/PDF фай-		
	ЛОВ		
trapping (запас	контролирует-	Проприетарный алгоритм	На экране не отобража-
на величину	ся специализи-	вRIP	ется
overprint)	рованными		
	агентами в		
	программах		
	контроля		
	PS/PDF фай-		
	ЛОВ		

Табл. 3. Примеры имитации компонентов V_{ПП} средствами ПАК КПИ

Хотя ПАК КПИ может рассматриваться как единая технологическая среда, формируемая пространством спецификаций [21], задание значений параметров, входящих в состав $V_{\Pi\Pi}$, выполняется в различных программных продуктах, например:

- параметры качества растровых изображений задаются, как правило, в продукте Adobe Photoshop, но их габаритные размеры в продукте Adobe InDesign;
- такие параметры, как сумма красок, overprint и trapping задаются в Adobe Photoshop и Adobe InDesign, а контролируются только по готовому ps (pdf) файлу.

Кроме того, материалы из КПИ в ПП могут передаваться в различной форме, например:

- Комплект файлов верстки, использованных шрифтов и прилинкованных объектов, адекватно разворачиваемый в типографии;
- PostScript-файл оригинал-макета;
- Пленки, сделанные на фотонаборном аппарате;
- Репродуцируемый бумажный оригинал-макет;

Каждой такой форме соответствует свой объем управляющих параметров и, соответственно, свой уровень возможности внесения оперативных изменений, с одной стороны, и свое распределение ответственности между акторами ПП и КПИ, с другой стороны.

Таким образом, хотя на организационном уровне интерфейс взаимодействия между платформами ПАК КПИ и ПП определен однозначно и соответствует подписанию протокола передачи материалов, для его формализации как границы раздела между платформами на уровне потока параметров существуют объективные трудности.

Информационная поддержка интерфейса КПИ/ПП

Стабилизация интерфейса дает значительные преимущества при построении любой информационной системы, и это в полной мере относится к компьютеризированному ИПП. В то же время, как показывает анализ, интерфейсные требования типографий стандартизованы далеко не полностью. Зачастую форма написания списка технических требований остается на усмотрение работника конкретной типографии. Требования плохо структурируются, хранятся на разных носителях и, как результат, требуют

многократных итераций для выполнения. Во многом это является следствием рассмотренных выше объективных трудностей. В результате снижается эффективность работы акторов ТП КПИ и увеличиваются расходы на изготовление продукции.

В этих условиях представляется целесообразным стабилизировать межплатформенный интерфейс на стороне КПИ в виде протокола

 $I=\{\Pi\Pi, \text{ набор рамочных параметров, типовые алгоритмы взаимодействия, лингвистическое описание взаимодействий, уровень прав/ответственности<math>\}$. (2) Для его поддержки нами разработана информационно-справочная система (ИСС).

Интерфейс строится как набор ограничений (рамочных параметров) на поток параметров, передаваемый между платформами в рамках выполнения конкретного заказа. Внутри этого набора акторами КПИ осуществляется последовательное принятие решений, которое может быть частично имплицитным, выполняться в разных пакетах и т.д. Все принятые решения документируются, в том числе посредством лингвистического описания (логов), т.е. ведется история заказов. Это позволяет статистически оценить эффективность отдельных процедур межплатформенного взаимодействия и организовать их в типовые алгоритмы, также заносимые в ИСС.

На рис. 2 представлена диаграмма потоков данных в ИСС, на рис. 3 – обобщенная логическая структура базы данных ИСС, на рис. 4 – интерфейс дизайнера. БД ведется акторами КПИ в соответствии со своими ролевыми позициями. В настоящее время в ИСС поддерживаются 3 роли – менеджер, дизайнер и администратор ИСС. Разграничение прав доступа соответствует уровню ответственности конкретного актора за результат ТП КПИ в целом.

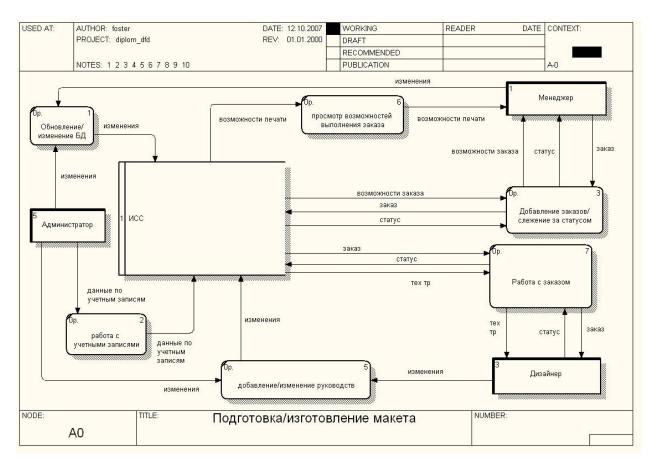


Рис. 2. Диаграмма потоков данных

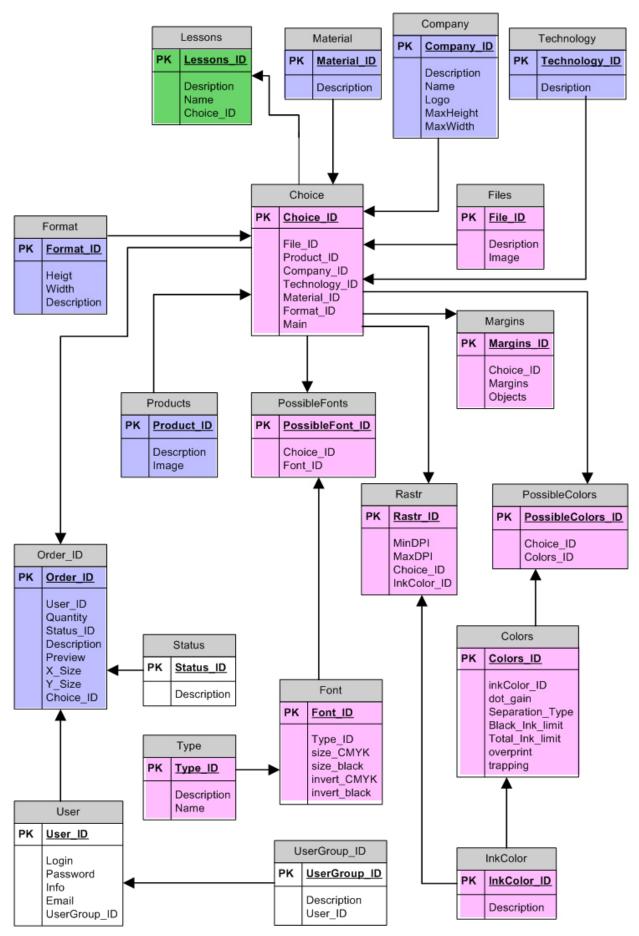


Рис. 10. Структура базы данных

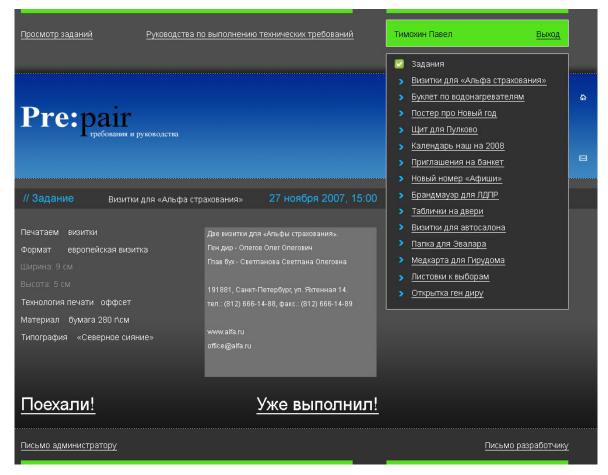


Рис. 14. Интерфейс дизайнера

Опишем в качестве примера один из возможных сценариев работы ИСС. Менеджер, руководствуясь требованиями заказчика и информацией о возможностях печати, согласуясь с ожиданиями клиента относительно качества будущего издания и, одновременно, учитывая соотношение «социальное ожидание – ресурсы», составляет задания для печати и распределяет их среди дизайнеров. Дизайнеру предоставляются характеристики заказа и производится автоматическая выборка набора рамочных требований по нему. Кроме того, ему выводится список руководств, которые могут потребоваться при выполнении указанных требований, и предоставляется возможность просмотра всей базы руководств для получения необходимой справочной информации. Дизайнер, основываясь на предоставленных требованиях, выполняет заказ и заполняет историю выполнения с комментариями (лог) по нему. Менеджер передает подготовленные материалы в конкретную типографию.

Представленная структура межплатформенного интерфейса обеспечивает сокращение неформализуемых межплатформенных связей; до определенного уровня требований к качеству продукции их можно считать пренебрежимо малыми. В этом случае актор каждой платформы (в частности, дизайнер и печатник) для каждой задачи получает свое подпространство формально задаваемых рамочных параметров, внутри которого решает задачу улучшения (в том числе базируясь на семантических, эстетических, имплицитных и др. слабо формализуемых критериях) независимо от другой платформы.

Упрощается организация контроля эффективности ТП КПИ. Менеджер (координатор) контролирует факт завершения задания дизайнером и выполнение рамочных требований, а уровень решения задачи улучшения определяется квалификацией и мо-

тивацией конкретного актора, может контролироваться статистически и регулироваться внетехническими средствами.

Дальнейшее повышение качества продукции должно быть связано с учетом более тонких эффектов межплатформенного взаимодействия, и здесь могут потребоваться совместные (заранее не разделимые по формальным параметрам) принятия решение акторами обеих платформ. Однако, как показывает статистика, доля таких заказов в общем потоке продукции невелика.

Литература

- 1. Гусарова Н.Ф., Маятин А.В., Чернышов А.С. Система поддержки принятия решения для предметной области «Полиграфия» на примере настольной издательской системы «InDesign» // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2005. Вып. 20. С.: 248–251
- 2. Стандарты по издательскому делу. / Сост.: А.А. Джиго, С.Ю. Калинин. М.: Юристь, 1998. 376 с.
- 3. Энциклопедия книжного дела. / Ю.Ф. Майсурадзе, А.Э. Мильчин, Э.П. Гаврилов и др. М.: Юристъ, 1998. 536 с.
- 4. Комлев Н.Г.Словарь иностранных слов. М.: Эксмо, 2007. 672 с.
- 5. Гусарова Н.Ф. Координация в технологических процессах со слабо формализуемыми критериями: Монография. СПб: СПбГУ ИТМО, 2001. 271 с.
- 6. Перегудов Ф.П., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ.
- 7. Дизайнер-верстальщик / subscribe.ru/archive/job.search.izdatres/200409/06004608.html.
- 8. Настольная книга. Как создать brandbook // Индустрия рекламы. 2006. № 10.
- 9. Ланшакова Н.В. Роль управления качеством издательского процесса в интеграции национальных образовательных стандартов // РАЕ. Фундаментальные исследования. 2007. №3.
- 10. Кемерово. www.kemrsl.ru/documents/izdania/fulltext/bgk/1999/2.html
- 11. Шапинова Н. Как избавить читателей от опоросов // Курсив. 1998. №2 (10). http://www.kursiv.ru/kursiv/archive/10/oporos2.html
- 12. Избицкий Э. Компьютерная технология и полиграфические традиции // КомпьюАрт. 2000. № 3. http://www.compuart.ru/Archive/CA/2000/3/8/#04
- 13. Технологическая инструкция по набору и верстке книжных, журнальных и газетных изданий с использованием компьютерных технологий. М.: ВНИИполиграфии, 1999.
- 14. Григорян М. Быстрее, лучше, эффективнее // КомпьюАрт. 2006. № 7.
- 15. Пикок Д. Издательское дело. / 2-е изд., испр. и доп. М.: ЭКОМ, 2002. 424 с.
- 16. Жарков В.М., Кузнецов Б.А., Чистова И.Н. Экономика и организация издательского дела: краткий курс. М., 2002.
- 17. Гиленсон П. Г. Справочник художественного и технического редакторов. М., 1988.
- 18. Мильчин И.Э. Издательский словарь-справочник. М.: Юристъ, 1998.
- 19. Прилепская Г.Д. Организация и планирование издательской деятельности. / Уч. пособие. М., 2002.
- 20. Свешникова И.К. Технология редакционно-издательского дела. / Уч. пособие для специальности «Издательское дело и редактирование». М., 1995.
- 21. Гусарова Н.Ф., Маятин А.В., Смирнов Ф.А. Обратные задачи в компьютерной технологической среде. // Наст. сб. С. 284–294

ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ В КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ

Н.Ф. Гусарова, А.В. Маятин, Ф.А. Смирнов

Введение

Все большее число технологических процессов (ТП) использует компьютер как технологическую среду. К таким ТП относятся, например, создание и модификация продуктов мультимедиа, Интернет-ресурсов, компьютерная допечатная подготовка изданий (КПИ) в рамках издательского процесса и.т.д.

Часто в таких процессах для создания готового продукта используются результаты работ, выполняемых несколькими акторами. Возникает задача соединения этих результатов в едином ТП, которую можно назвать обобщенной задачей сборки.

В статье рассматривается специфика этой задачи применительно к ТП КПИ. Строится математическая модель пространства спецификаций как технологической среды, анализируются ее особенности по сравнению с другими средами сборки. Рассматриваются возможные формальные и эвристические процедуры для поддержки решения задач сборки в ТП КПИ.

Содержательная постановка задачи

Основные технологические этапы ТП КПИ представлены в [1, рис. 1]. Технологическая среда ТП КПИ формируется совокупностью программных продуктов (ПП), каждый из которых ориентирован на выполнение некоторого набора функциональностей, объединяемых вокруг определенной технологической операции ТП КПИ высокого структурного уровня. Например, выпускаются ПП для верстки, для обработки текста, растровой графики, векторной графики и т.п.

В содержательном плане ТП КПИ имеет несколько уровней вложенности N, причем на каждом i-м уровне, i=1...N, воспроизводит постепенное заполнение поля будущего структурного элемента издания S_{ij} , j=1... K_i (например, страницы книги) структурными единицами более низкого уровня (текстом, иллюстрациями и т.д.) вплоть до издания в целом S_0 . Между структурными единицами должна поддерживаться логическая связь, определяемая семантикой издания. С этой точки зрения управление в ТП КПИ можно содержательно соотнести с управлением сборочным процессом [2, 3] или управлением проектом [4, 5]. Однако, учитывая, что в ТП КПИ на каждом уровне вложенности семантически выделяется ведущий процесс, который аккумулирует результаты работы процессов предыдущего уровня и сам, в свою очередь, передает свой результат ведущему процессу более высокого уровня, для описания ТП КПИ более адекватной представляется модель «выделение приоритетной задачи» из теории управления параллельными процессами [6, 7]. В данной модели один из процессов объявляется ведущим (master), он отвечает за сроки начала зависимых процессов (slaves) и согласованность их результатов.

Выделим основные особенности ТП КПИ в этом плане.

- Наличие неформализованных требований к результату ТП КПИ. Только часть требований на любом этапе процесса поддается формализации, например, требование «результат должен понравиться заказчику» присутствует в большинстве случаев и не может быть формализовано.
- Использование проприетарных ПП с, как правило, закрытым кодом, которые документируются с точностью до семантики операций. Алгоритмы преобразований, выполняемые ПП, невозможно изменять, а в некоторых случаях (часть фильтров Adobe Photoshop) неизвестен алгоритм работы определенных функций ПП. Вместо

этого пользователю предлагается набор стандартных сценариев работы и моделей поведения в среде ПП, согласованных со среднегрупповыми интуитивными моделями [см., например, 8]. Однако, как показывает практика, с ростом диверсификации ТП КПИ, появлением новых технологий печати и оборудования, а также внедрением концепции ТQМ такой набор теряет свою эффективность: появляется необходимость в самостоятельном конструировании недокументированных функций и новых сценариев на том же ПП.

- Множество вариантов решений одной технологической задачи. Из-за отсутствия четких требований и избыточной функциональности ПП существует множество различных решений поставленных задач, отличающихся качеством и затратами ресурсов, требуемых для их выполнения.
- Неоднозначность трактовок интерфейса ПП. Взаимодействие пользователя актора ТП КПИ с подавляющим числом используемых ПП происходит через пользовательский интерфейс. Согласно исследованиям в области взаимодействия человека и компьютера [9–12], модели пользовательского интерфейса, используемые программистом-разработчиком ПП и пользователем ПП, различаются по набору базовых сущностей:

модель программиста = <платформа, операционная система, подход к разработке, методы разработки, среда и язык разработки, спецификации; функциональность, эффективность, технологичность, внутренняя стройность>; (1) модель пользователя = <интуитивные модели, формальные модели, задачи, процессы, инструменты, результаты>. (2)

Модель (2) имеет смысл обобщенных представлений пользователя о процессах, происходящих во время работы программы или программной системы. Анализ пользовательских интерфейсов современных прикладных ПП для ТП КПИ показывает ориентацию их разработчиков на модель (2), т.е. на метафору «интуитивной понятности». Но, как отмечается в [13], интуитивные модели пользователей ПП представляют собой высокодинамичный конструкт со слабо формализуемыми параметрами, такими как уровень подготовки в предметной области и во владении компьютером, уровень текущей активности (в том числе имплицитной), устоявшиеся стереотипы работы и т.д. В результате разные акторы ТП КПИ трактуют интерфейсные операции ПП, доступные им только на семантическом уровне в виде пунктов меню, по-разному, что затрудняет организацию управления в ТП КПИ.

• Большое количество технологических задач, глобально затрагивающих все переменные (например, операции с растровым изображением как целым).

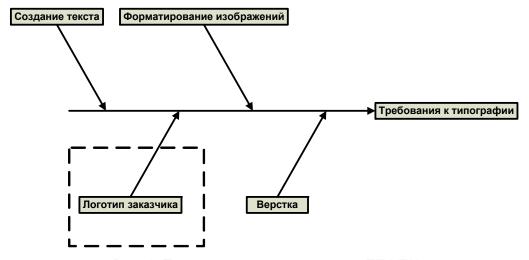


Рис. 1. Пример зависимости задач в ТП КПИ

• Частые изменения в готовых фрагментах работы, выполненных сторонними акторами. Например (рис. 1), логотип заказчика предоставлен самим заказчиком, но в процессе верстки в нем обнаружены артефакты; необходимо, не обращаясь к заказчику, изменить логотип, чтобы он соответствовал требованиям типографии.

Сформулированные выше особенности ТП КПИ обобщены в табл. 1 в сравнении с другими ТП, решающими задачу сборки – сборкой сложной техники и промышленным программированием.

ТП КПИ	Конвейерная сборка	Промышленное программирование
	сложной техники	
Наличие неформа-	ТП задается с точностью	Совпадает с ТП КПИ
лизованных требо-	до последовательности	
ваний	переходов, неформаль-	
	ные требования локали-	
	зуются внутри отдельно-	
	го перехода, задачи при-	
	нятия решения выносятся	
	в стадию организации ТП	
Закрытые техноло-	Свобода в выборе техно-	Совпадает со сборкой сложной тех-
гические средства	логического оборудова-	ники
(ПП) без возможно-	ния	
сти их изменения		
Частичная наблю-	Полная наблюдаемость	Полная наблюдаемость реализуется
даемость уграфа	уграфа ТП	на уровне терминальных единиц
задачи		среды разработки (более низкий уро-
		вень абстракции, чем в ТП КПИ)
Множество различ-	Решение одно	Множество различных решений од-
ных решений одной		ной задачи
задачи		
Много технологи-	Такие задачи отсутству-	Такие задачи локализуются на уров-
ческих задач, гло-	ЮТ	не глобальных архитектурных реше-
бально затрагиваю-		ний, их число минимизируется
щих все перемен-		
ные		

Таблица 1. Характеристики различных процессов сборки

Таким образом, взаимодействие акторов ТП с ПП происходят на уровне модельного представления, соответствующего не только их знаниям, умениям и навыкам, но и текущим интуитивным моделям, активности, в том числе имплицитной, и т.д., что заставляет рассматривать ТП КПИ как неполностью наблюдаемую сложную техническую систему. В общем виде задачу можно сформулировать следующим образом: на неполностью наблюдаемом управляющем графе по неполностью наблюдаемой реализации выхода определить (семантически) наличие ошибки, провести ее структурную, а затем параметрическую идентификацию и коррекцию.

Рассмотрим частный случай — исправление ошибки, возникшей при выполнении зависимой задачи внешним исполнителем. Пусть на некотором этапе была обнаружена ошибка, которая после выявления ее происхождения была локализована в зависимой задаче. Пусть данная задача выполнялось внешним исполнителем, и нам доступны только результаты ее выполнения, но недоступен управляющий граф зависимой задачи.

Необходимо преобразовать результаты зависимой задачи Out_{rek} к новым результатам Out_{rek} принадлежащим к множеству допустимых выходов Out_{rpe6} .

Модель процесса решения обратной задачи в ТП КПИ

Формализуем поставленную задачу. Будем считать, что актор ТП работает, используя некий программный продукт со своим пользовательским интерфейсом. На формальном уровне интерфейс ПП определяется [14, 15] как тройка

$$IF = (X, Y, V), \tag{3}$$

где X – множество стимулов, Y – множество реакций, V – множество состояний ПП, а взаимодействие с ПП с интерфейсом (X, Y, V) – как четверка

$$IA = (v, x, y, v') \in V \times X \times Y \times V, \tag{4}$$

где v — пресостояние, x — стимул, y — реакция, v' — постсостояние. Согласно (4), понятие взаимодействия интерпретируется следующим образом: в пресостоянии ПП v вызывается интерфейсная операция с некоторыми значениями параметров x, на что ПП возвращает выходные параметры y и переходит в постсостояние v'.

Набор интерфейсных операций, определяющих функциональность ПП [16, 17], описывается моделью требований – абстрактным автоматом

$$MR = (V, X, Y, E), \tag{5}$$

где V, X, Y имеют тот же смысл, что и в (1), а $E \subseteq V \times X \times Y \times V$ – множество переходов. Конкретизация (5) до уровня отдельных параметров производится через понятие спецификации. Сигнатурой интерфейсной операции I называется тройка

$$Sign_{I} = (In_{I}, Out_{I}, Var_{I}),$$
(6)

где $\operatorname{In}_I = \{x_i \mid i = 1, ..., \operatorname{in}(I); \operatorname{in}(I) \geq 0\}$ – упорядоченный набор входных параметров операции, $\operatorname{Out}_I = \{y_i \mid i = 1, ..., \operatorname{out}(I); \operatorname{out}(I) \geq 0\}$ – упорядоченный набор выходных параметров операции, $\operatorname{Var}_I = \{v_i \mid i = 1, ..., \operatorname{var}(I); \operatorname{var}(I) \geq 0\}$ – набор переменных состояния, к которым обращается данная операция. Спецификацией Spec_I интерфейсной операции I с сигнатурой Sign_I называется пара предикатов

$$Spec_I = (pre_I, post_I), \tag{7}$$

где pre_I – предусловие (предикат на множестве $V_{\underline{I}} \times X_I$,), post_I – постусловие (предикат на множестве $V_I \times X_I \times Y_I \times V_I$), $\operatorname{In} = \{x_i \mid i = 1, ..., \operatorname{in}(I)\}$. Спецификацией ПП называется непустой набор спецификаций его интерфейсных операций

$$Spec_{\Pi\Pi} = \{ Spec_{ii} \mid i = 1, ..., k; k > 0 \}.$$
 (8)

В соответствии с приведенным подходом ПП предоставляет пользователям прикладной программный интерфейс, состоящий из n функций. Каждая интерфейсная функция имеет набор входных и выходных параметров. Кроме того, вызов интерфейсных функций может изменять внутреннее состояние ПП или его окружения, влияя тем самым на результаты следующих вызовов интерфейсных функций. Решая технологическую задачу P_s , пользователь задает последовательность интерфейсных функций $\{IA\}_s$, т.е. формирует управление, потенциально приводящее к требуемому выходному набору переменных Out_s . Если это управление не противоречит ограничениям (5), то ПП его выполняет. Как правило, в ПП предусматривается дублирование интерфейсных операций, т.е. один и тот же набор переменных Out_s может быть получен посредством различных последовательностей интерфейсных функций. По каждой интерфейсной операции $Sign_I$ (6) считаются полностью наблюдаемыми наборы In_I , Out_I и частично — Var_I .

Введем понятие обратной интерфейсной операции. Если I — интерфейсная операция с предусловием (V_I , X_I) (7), назовем обратной интерфейсной операцией I такую интерфейсную операцию, что композиция I · I, во-первых, существует, а во-вторых, переводит ПП в состояние V_1 . Операцию I, для которой существует обратная операция I , будем называть обратимой.

В зависимости от используемого ПП и его настроек различные операции могут быть обратимыми. Например, преобразование векторного изображения в растровое, как правило, необратимо, но при сохранении истории изменений его можно обратить.

Расширим множество интерфейсных операций $\{I_k\}$, добавив к нему все последовательности из данных операций, а также квазиоперацию e, «ничего не нажимать», не изменяющую состояние системы. Обозначим полученное множество G.

Утверждение 1. G – моноид I функций из множества состояний $\Pi\Pi$ в множество состояний $\Pi\Pi$.

Доказательство. Действительно, любой элемент получившегося множества любому состоянию ПП ставит в соответствие другое состояние ПП, а именно то, которое получится, если к исходному состоянию применить подряд все интерфейсные операции элемента группоида. Очевидно, e — интерфейсная операция «ничего не нажимать» — является единичным элементом G. Рассмотрим три интерфейсные операции I_1 , I_2 и I_3 . Заметим, что и операция (I_1I_2) I_3 , и операция $I_1(I_2I_3)$ соответствует одним и тем же взаимодействиям с пользовательским интерфейсом ПП. Следовательно, операция композиции ассоциативна. Так как в G существует единичный элемент и операция композиции ассоциативна, то G — моноид.

Утверждение 2. Операция композиции интерфейсных операций не коммутативна.

Доказательство. Действительно, рассмотрим операции I_1 увеличения растрового изображения в два раза и I_2 уменьшения изображения в два раза при выключенном режиме интерполяции. Тогда композиция I_1I_2 создаст на исходном изображении артефакты, а композиция I_2I_1 оставит изображение неизменным.

Заметим, что утв. 2 поясняет сложность формальной шаблонизации действий акторов ТП КПИ. Например, требование «материалы принимаются в векторном виде» может быть выполнено разными способами: в одном актор всю задачу решает в векторном формате, а в другом все делает в растре, после чего результат сохраняет в векторном формате. При этом, хотя использованные интерфейсные операции одинаковы, во втором случае все преимущества вектора теряются.

В нашем моноиде выделим элементы, порожденные композицией обратимых операций, образующие множество X.

Утверждение 3. X – правая квазигруппа, при этом X – не более чем правая квазигруппа².

Доказательство. Действительно, из определения обратной операции следует, что для любого I из построенного множества существует $I^1I = e$, где e – единичный элемент. Тогда для любых элементов a и b $b(a^{-1}a) = b$, следовательно, построенное множество – это правая квазигруппа. В то же время из доказательства утверждения 2 следует, что X – не более чем правая квазигруппа. Поскольку актор не полностью наблюдает состояния $\Pi\Pi$, а также обычно не может проверить взаимодействие интерфейсных операций во всех возможных случаях, инструментальное построение данной правой квазигруппы затруднено, так как не всегда операция, являющаяся обратной на множестве наблюдаемых состояний, является обратной на всем множестве параметров 3 .

-

¹ Моноид [18] — полугруппа с нейтральным элементом — множество M, на котором задана бинарная ассоциативная операция, обычно именуемая умножением, и в котором существует такой элемент e, что ex = x = xe для любого $x \in M$.

² Правая квазигруппа [18] — пара (Q, *) из множества Q с бинарной операцией $*: Q \times Q \to Q$, удовлетворяющей следующему условию: для любых элементов a и b из Q найдётся единственный элемент x из Q, такой что x * a = b.

³ Одним из известных решений подобных проблем является введение понятия качества преобразования, но его эффективность для ТП КПИ ограничена.

Итак, актору не доступны внутренние состояния ПП, взаимодействие различных интерфейсных функций (применение подряд двух функций I_1 и I_2 в разных состояниях может привести к разным результатам (утв. 2), лишь частично известно действие интерфейсных операций. Поэтому будем рассматривать программный продукт как черный ящик с управляющими входами $\{I_i\}$ — множеством интерфейсных операций. Тогда любое взаимодействие актора с ПП можно рассматривать как последовательность интерфейсных операций I_n . Будем считать, что ПП продукт обладает корректной поддержкой функций сохранения и загрузки, т.е. всегда можно установить начальное состояние черного ящика. Под выходом черного ящика будем понимать всю совокупность наблюдаемых в данном состоянии параметров системы $Out_V(6)$.

В определенных выше терминах сформулируем поставленную задачу: необходимо найти последовательность интерфейсных операций, превращающих текущие состояние ПП Out_{Tek} в принадлежащие множеству допустимых результатов внешнего ТП Out_{Tpe6} . Так как известно, что Out_{Tek} были получены в результате ТП, целесообразно производить поиск в правой квазигруппе обратных интерфейсных операций X (утв. 3), для того чтобы найти состояние Out_{teneoe} , из которого возможно преобразование в Out_{Tpe6} . Введем Y — множество оценки возможности преобразования — частично упорядоченное множество сложности преобразования текущих параметров в требуемые. Очевидно, что это множество сложно формализуемо и семантически задается пользователем

Определение 1. Оператор оценки $A: I_n' \to Y$ каждой последовательности обратных интерфейсных операций сопоставляет оценку сложности преобразования результата в соответствии с требованиями.

Определение 2. *Минимальная допустимая оценка* y_{min} – элемент множества y_{min} такой, что если AI_n > y_{min} , то сложность преобразования результата применения последовательности I_n удовлетворяет требованиям актора.

В сформулированных определениях задача поиска ставится следующим образом: найти I_n ': AI_n ' > y_{\min}

Утверждение 4. Задача поиска неразрешима в общем виде, а именно, нельзя найти последовательность I_n ': AI_n ' > \bigvee_{min} или проверить, что $\forall I_n$ ' AI_n ' < \bigvee_{min} , используя $\Pi\Pi$.

Доказательство. Как было сказано выше, множество интерфейсных операций лишь частично наблюдаемо, следовательно, всегда может существовать обратная интерфейсная операция $I'_{\text{inv}} > \bigvee_{\text{min}}$, при этом для всех последовательностей наблюдаемых интерфейсных операций $AI_n' < \bigvee_{\text{min}}$. Поскольку проверка I'_{inv} невозможна, невозможно и решение поставленной задачи в общем виде.

В реальных условиях всегда существуют ограничения по времени для выполнения задачи ТП. Введение этих ограничений в рассматриваемую задачу можно осуществить двумя способами. Во-первых, можно считать требуемые трудозатраты частью оценки качества, т.е. если AI_n > \bigvee_{\min} , то преобразование возможно с требуемым качеством в поставленные сроки. Во-вторых, можно представить множество оценок Y как произведение $Q \times T$, где множество Q является оценкой качества результата, а множество T — оценкой трудозатрат, и сформировать образ $\operatorname{Img}_A(X)$, который означает все допустимые пары качество—трудозатраты. В этом случае возникает задача выбора необходимого качества и сроков выполнения задачи ТП.

Поскольку задачу поиска решает актор $\Pi\Pi$, обладающий своим набором эвристик, уровнем активности и т.п., правомерно ввести еще одну сущность — оператор «решения не лучше имеющихся».

Определение 3. Оператор $B: X \to 2^{-X}$ – «решения не лучше имеющихся». Если $x_2: x_2 \in \pmb{B}(x_1)$, то $\pmb{A}(x_2) \le \pmb{A}(x_1)$. Оператор \pmb{B} ставит в соответствие любой последовательности множество последовательностей, относительно которых актор ТП знает, что соответствующие решения будут не лучше, чем данное. Этот оператор позволяет моделировать навыки актора, его знание особенностей ПП и ТП.

Определение 4. Проверяющая последовательность для некоторого подмножества T. Если $\bigcup \operatorname{Img}_{B}(x_{n}) \supset T$, где T – подмножество X, то последовательность x_{n} проверяет T. Из определения следует, что если последовательность проверяет множество T, то она проверяет и любое его подмножество.

В процессе поиска решения актор проверяет некоторые последовательности интерфейсных операций, формируя из них последовательность проверки x_n , где x_i – элемент множества X. Рассмотрим объединение образов $\bigcup \operatorname{Img}_B(x_n)$. Это множество покрывает некую часть пространства возможных решений. При этом из определения оператора B следует, что если все проверенные решения не удовлетворяют требованиям к качеству, то и все элементы из множества $\bigcup \operatorname{Img}_B(x_n)$ не соответствует требуемому качеству. Очевидно, что для проверки решения задачи нужно найти последовательность проверки, которая наилучшим образом проверяет все множество решений, т.е. $\bigcup \operatorname{Img}_B(x_n) = X$. Так как $x \in Bx$, то любая последовательность x_n , состоящая из всех элементов X, проверяет все.

Возможны различные критерии сравнения различных проверяющих последовательностей – например, длина последовательности, количество переходов в начальное состояние и т.д. В общем виде задача решается через проверку лучшей по некоторому критерию проверяющей последовательности для всего множества.

Таким образом, построена модель процесса решения обратной задачи как построения наилучшей проверяющей последовательности (опр. 4), учитывающая особенности поставленной обратной задачи (утв. 3) и формализующая навыки актора ТП путем введения оператора оценки \boldsymbol{A} (опр. 1) и оператора \boldsymbol{B} «решение не лучше имеющихся» (опр. 3), а также доказана невозможность решения поставленной задачи в общем виде (утв. 4).

Специфику основных положений модели поясняет табл. 2, в которой представлено сравнение их применимости для ТП, обозначенных в табл. 1.

Сущность	ТП КПИ	Конвейерная сборка	Промышленное програм-
		сложной техники	мирование
Утверждение 1	выполняет-	выполняется	выполняется
	ся		
Утверждение 2	не выпол-	стремятся достичь ком-	усиливают коммутативность
	няется	мутативности за счет	за счет разделения продукта
		разбиения на сборочные	на unit'ы и стандартизации
		единицы	интерфейсов между ними,
			снижения связности и т.п.
Утверждение 3	выполняет-	В массовом производстве	Откат возможен только в
	ся	х – группа (за счет стан-	пределах множества Х (в
		дартизации деталей), в	бикомпонентной зоне уг-
		индивидуальном произ-	рафа)
		водстве утв. 3 выполняет-	
		СЯ	
Инструмен-	Затруднена	Реализуется, при этом	Реализуется
тальное по-	реалииза-	X~ <i>G</i> .	
строение мно-	кид		

жества Х			
Построение	строится	СКО и другие статисти-	строится актором нефор-
оператора А	актором	ческие процедуры; У	мально
(определение	нефор-	определен в пространст-	
1)	мально	во состояний; A^{-1} опреде-	
		лен полностью и везде	
Утверждение 4	выполняет-	не выполняется	выполняется
	ся		
Построение	Опыт, эв-	Непосредственно выте-	Опыт, эвристики
оператора В	ристики	кает из оператора A , за-	
(определение.		дается формально (кри-	
3)		териально и т.д.)	
Построение	Промежу-	Алгоритмы технической	Различные подходы в зави-
проверяющей	точные ва-	диагностики	симости от значимости
последова-	рианты		ошибки, типа процесса раз-
тельности (оп-			работки и т.д. Предельные
ределение 4)			случаи: (1) алгоритмы ди-
			агностики по автоматной
			модели, (2) оптимистичная
			стратегия изменений (отсев
			некритичных ошибок, ис-
			правление ошибок без ло-
			кализации с нарушением
			принятой архитектуры сис-
			темы – «хак»)

Таблица 2. Применимость модели для различных ТП сборки

Возможности поддержки решения обратных задач в ТП КПИ

Рассмотрим применение развитого подхода к описанию реального ТП КПИ.

Для ПП, используемых в ТП КПИ, характерно большое количество интерфейсных операций, т.е. мощность множества X велика. Поэтому актор ТП КПИ производит покрытие множества X частично пересекающимися множествами $\mathrm{Img}_B(x_n)$ и наделяет каждое из выделенных подмножеств самостоятельной семантикой (т.е. осуществляет таксономию множества X). Каждому из выделенных подмножеств сопоставляется проверяющая последовательность. При этом можно семантически описывать проверяемые множества, а также ситуации, в которых целесообразно проверять именно это множество решений.

Так как задача поиска проверяющих последовательностей неразрешима в общем виде (утв. 4), то для поддержки частных решений целесообразно использовать интеллектуальные процедуры. В табл. 3 построена обобщенная оценка применимости части подобных процедур [19, гл. 10, 14; 20, гл. 4, 7, 8] к рассматриваемым задачам, при этом наименования и описания процедур соответствуют источникам.

Отметим также возможное альтернативное решение задачи. Иногда актору ТП могут быть доступны исходные параметры внешней задачи ТП. Тогда может стать целесообразным прямое решение внешней задачи, т.е. заново и своими силами. Как правило, такое решение связано с большими трудозатратами и редко используется, но в нем возникает интересная задача использования имеющихся некорректных результатов для улучшения ТП, рассмотрение которой выходит за рамки данной статьи.

Наименование процедуры	Содержание и/или условия применимости процедуры	Применимость в обратных задачах ТП КПИ
Абдуктивные выводы [19]:	Имеется множество фактов о предметной области, достаточное для формирования коллективных переменных	Ограничена в связи с недостаточной выборкой фактов
 подход, основанный на покрытии множеств (связи базовой модели представляются простой импликацией) подход на основе логики (реализуются методы генерации и отбора гипотез; требуется специальное представление знаний, определяющее, возможно, неявно причинно-следственные связи (например, логические программы)) 		неприменима, так как отсутствует достаточная статистика и монотонность применима с ограничениями, так как требует задания логической теории предметной области на множестве наблюдений
• подход на уровне знаний (модель определяется в зависимости от типа доверия; вводится семантическое определение оператора объяснения, т.е. достигается независимость от соответствующего представления знаний)		применима на модели убеждений для извлечения знаний из эксперта
Поиск с применением жадных алгоритмов [20]	Состоянию n ставится в соответствие значение критерия поиска, равное сумме его глубины в пространстве поиска, $h(n)$, и некоторой эвристической оценки расстояния от него до цели, $g(n)$	Применима, если оператор A (опр. 1) формализован достаточно, чтобы на его основе построить эвристическую оценку $h(n)$, а $g(n)$ задать по длине проверяющей последовательности
Поиск с применением эвристик [20]:	TOWAY OFFICE A COPE	
упорядочивание на основе целейупорядочивание по существенным признакам	поиск случаев с совпадающей целью выбираются случаи, совпадающие по наиболее важным признакам	применима
• предпочтение точных совпадений	сначала проверяются случаи с точным совпа- дением, а затем – с более общим	применима
• частичное предпочтение	сначала проверяются наиболее типичные случаи	применима
• предпочтение новизны	поиск по последним случаям	применима при нали- чии статистики

• предпочтение легкости адапта-	используются первые	применима
ции	наиболее легко адапти-	
	руемые к ситуации случаи	
Рассуждения на основе правил		применима; выбор ти-
[20]		па рассуждения связан
		с конкретизацией про-
		веряющей последова-
		тельности (опр. 4)
Рассуждения на минимальных	минимальная модель -	неприменима, так не-
моделях [20]	модель, для которой не	возможно построить
	существует подмоделей,	минимальную модель
	удовлетворяющих мно-	
	жеству информативных	
	для предметной области	
	предикатов при всех	
	значениях переменных	
Абдукция путем множественного	Покрытие предикатов,	Неконструктивно для
покрытия [20]	описывающих наблюде-	ТП КПИ
	ния, с помощью преди-	
	катов, описывающих ги-	
	потезы	

Таблица 3. Оценка применимости интеллектуальных процедур к обратным задачам ТП КПИ

Заключение

Рассмотрена постановка и специфика решения обратных задач в ТП КПИ. Построена математическая модель пространства спецификаций как технологической среды, анализируются ее особенности по сравнению с другими средами сборки. Рассмотрены возможные формальные и эвристические процедуры для поддержки решения обратных задач в ТП КПИ.

Литература

- 1. Гусарова Н.Ф., Иванов Р.В., Кузюк Д.В., Маятин А.В. Информационно-справочная система для поддержки допечатной подготовки изданий // Наст. сб. С. 275–283.
- 2. Морозов В.П., Дымарский Я.С. Элементы теории управления ГАП: Математическое обеспечение. Л.: Машиностроение, 1984.
- 3. Куликов Д.Д., Падун Б.С., Яблочников Е.И. Методологические основы построения АСТПП // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2005. Вып. 22. С. 114–121
- 4. Field M., Keller L. Project Management. Int. Thomson Fusiness Press, Boston, 1998. 441 p.
- 5. Грей К.Ф., Ларсон Э.У. Управление проектами: Учебник. М.: ДИС, 2007. 608 с.
- 6. Комолкин А.В., Немнюгин С.А. Программирование для высокопроизводительных ЭВМ: Учебно-научного центра информационных и вычислительных ресурсов. (Санкт-Петербург) / http://www.hpc.nw.ru/KOI/COURSES/HPC/
- 7. Воеводин Вл.В. Параллельная обработка данных: курс лекций / www.parallel.ru/vvv
- 8. Бахметьев В. МОГ дополняет ITIL // Открытые системы. -2004. -№ 1.
- 9. Мандел Т. Разработка пользовательского интерфейса. М.: ДМК Пресс, 2001.

- 10. Иванова Г.С. Технология программирования: Учебник для вузов. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 320 с.
- 11. Norman D.A. Cognitive artifacts // Designing Interaction: Psychology at the Human-Computer Interface / J. Carrol (ed.). New York: Cam-bridge University Press, 1991.
- 12. Kuutti K. Activity Theory as a Potential Framework for Human-Computer Interaction Research // Context and Consciousness: Activity Theory and Human-Computer Interaction / B. Nardi (ed.). Cambridge, MA: MIT Press, 1996.
- 13. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб: Питер, 2000.
- 14. Кулямин В.В., Петренко А.К., Косачев А.С., Бурдонов И.Б. Подход UniTesK к разработке тестов // Программирование. -2003. T. 29. -N 6. C. 25 43.
- 15. Хорошилов А.В. Спецификация и тестирование компонентов с асинхронным интерфейсом: Автореферат дис. ... канд. физ.-мат. наук. М.:, ИСП РАН, 2006.
- 16. Брауде Э.Дж. Технология разработки программного обеспечения. СПб: Питер, 2004. 655 с.
- 17. Meyer B. Applying 'Design by Contract' // IEEE Computer. 1992.. –V. 25. P. 40–51.
- 18. Каргаполов М.И., Мерзляков Ю.И. Основы теории групп. М.: Наука, 1982.
- 19. Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. М.: Физматлит, 2004. 703 с.
- 20. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. М.: Вильямс, 2003. 864 с.

СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ АТАК В СЕТИ КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА НА ОСНОВЕ REALSECURE

Н.В. Ермаков, К.В. Строганов

Цель данной статьи – осветить возможности программного продукта RealSecure, а также рассмотреть его функционирование применительно к обеспечению информационной безопасности в ЛВС Банка.

Введение

Под банковской безопасностью понимается организация мер по предотвращению возможных угроз деятельности банка. Исходными условиями создания полноценной системы банковской безопасности должны быть четкие представления о ее сущности, структуре целей обеспечения безопасности, о вытекающих из этих целей практических задачах, о видах банковских угроз и их источниках, а также о мерах противодействия.

От эффективности организации банковской безопасности зависят практически все стороны и успех деятельности банка. Система же безопасности банка всегда требовала применения специальных средств, причем самых современных. Сегодня уже никого не нужно убеждать, что современная система информационной безопасности (ИБ) не может быть эффективно построена без использования компьютерной техники.

Юридический аспект

Деятельность, относящаяся к обеспечению ИБ, должна контролироваться. В связи с этим Банк России является сторонником регулярной оценки уровня ИБ в организациях БС РФ, оценки рисков и принятия мер, необходимых для управления этими рисками.

Исходя из этого, разработан стандарт по обеспечению ИБ организаций БС РФ «Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Общие положения» СТО БР ИББС-1.0-2006, который является базовым для развивающей и обеспечивающей его группы стандартов, в целом составляющих комплекс стандартов по обеспечению ИБ организаций БС РФ. Одной из основных целей стандарта является достижение адекватности мер по защите от реальных угроз ИБ, а также предотвращение и (или) снижение ущерба от инцидентов ИБ.

ИБ сети банка должна обеспечиваться комплексом технологических, организационных, технических и программных мер и средств защиты. Для обеспечения технических и программных мер необходимы средства, которые бы были способны противостоять угрозам, функционирующим на физическом, сетевом и уровне сетевых приложений. Также эти средства должны обеспечивать полный контроль и управление процессами, происходящими в сети коммерческого банка. Таким образом, применение системы Real Secure удовлетворяет требованиям ЦБ РФ, а также Стандарту СТО БР ИББС-1.0-2006, и позволяет достичь требуемого уровня ИБ.

Состав и назначение программного продукта

Система RealSecure разработана компанией Internet Security Systems, Inc.. По информации от различных источников, данная система является лидирующей на мировом рынке среди себе подобных, она также хорошо зарекомендовала себя и в банковских структурах РФ. Она обеспечивает автоматизированное обнаружение и реагирование в реальном режиме времени на атаки, направленные на узлы корпоративной сети. Система RealSecure построена по технологии анализа сетевых пакетов и анализа журналов регистрации. Данная система ориентирована на защиту как целого сегмента сети (network-based), так и конкретного узла (host-based) корпоративной сети. Система

RealSecure одинаково эффективно обнаруживает как внешние атаки, так и внутренние злоупотребления, направленные на сервера приложений, Web-сервера, базы данных, рабочие станции, маршрутизаторы, межсетевые экраны и т.д.

Как только атака распознается, происходит оповещение администратора через консоль управления или электронную почту. Кроме того, атака может быть зарегистрирована в базе данных, а также все операции при осуществлении атаки могут быть записаны для дальнейшего воспроизведения и анализа. В случае осуществления атаки, которая может привести к выведению из строя узлов корпоративной сети, возможно автоматическое завершение соединения с атакующим узлом, блокирование учетной записи пользователя, осуществляющего атаку, или реконфигурация межсетевых экранов

Система RealSecure может быть использована для:

- обнаружения атак, позволяющих «обойти» существующие защитные механизмы. К таким атакам могут быть отнесены: сканирование портов и использование сканеров безопасности, атаки типа «подбор пароля» и «отказ в обслуживании», использование «троянских коней», несанкционированное подключение к сети и т.д.;
- фильтрации сетевого трафика на основе заданных правил;
- контроля электронной почты (в том числе и на вирусы), передаваемой как в корпоративной сети, так и за ее пределы;
- контроля доступа к заданным файлам на узлах операционной системы;
- анализа сетевого трафика, включающего изучение информационных потоков, используемых сетевых протоколов и т.д.;
- анализа данных от маршрутизаторов и удаленных рабочих станций под управлением Unix.

Система RealSecure состоит из нескольких компонентов, которые управляются с единой консоли, называемой RS Site Protector. Компоненты, подключаемые к консоли, имеют свои названия и назначения:

- система анализа защищенности на уровне сети Internet Scanner;
- сенсоры системы обнаружения атак RealSecure:
 - RealSecure Network Sensor устанавливается на критичный сегмент сети и обнаруживает атаки и злоупотребления путем «прослушивания» сетевого трафика;
 - RealSecure Server Sensor позволяет обнаруживать все атаки, направленные на конкретный узел сети;
- система RealSecure Desktop Protector (RDP) обеспечивает защиту персонального компьютера, блокируя все несанкционированные действий злоумышленника;
- система RS Security Fusion позволят объединить всю информацию, полученную системой Real Secure, и выделить наиболее критическую.

Практическое применение и результаты использования системы

Схема ЛВС банка представляет собой структуру, представленную на рис. 1.

На примере работы компонента RS Desktop Protector можно увидеть эффективность работы системы Real Secure в целом. Важнейшая информация обрабатывается на рабочих станциях пользователей, поэтому эта часть сети нуждается в первоочередной защите. RS Desktop Protector (RDP) – это уникальное средство, комбинирующее возможности персонального межсетевого экрана и системы обнаружения атак, разработанное на базе широко известной и хорошо себя зарекомендовавшей системы BlackICE Defender. Когда RDP фиксирует попытки проникновения в систему, он автоматически блокирует их, предотвращая выведение из строя компьютера, кражу паролей, номеров кредитных карт и другой важной информации, хранящейся на компьютере. На рис. 3 изображены агенты RDP, зарегистрированные в системе.

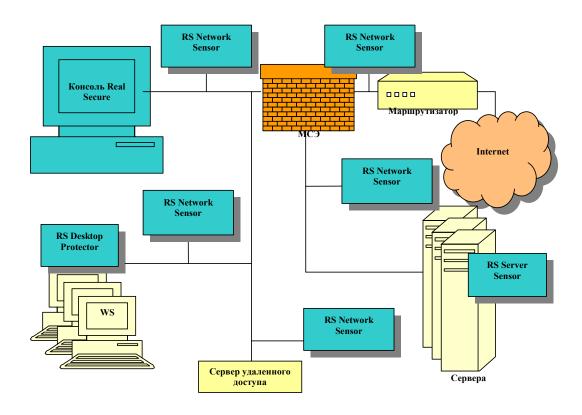


Рис. 1. Схема ЛВС банка

Управление системой осуществляется с консоли RS Site Protector (рис. 2).

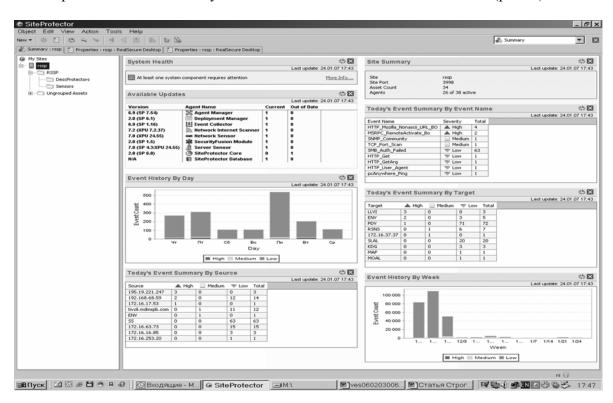


Рис. 2. Консоль RS Site Protector

1odel	Asset	Agent Name	Status	Version Update Sta	stus Highest Priority Ticket Policy Respons
🐙 RealSecure Desktop	PET-WU	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	■ SIG	RealSecure Desktop	Offline	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	PLV	RealSecure Desktop	Offline	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	🗐 BUA	RealSecure Desktop	Offline	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	🖳 HNZ	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	UDN EDN	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	moal	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	🗐 BIN	RealSecure Desktop	Offline	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
Proventia Desktop	ENV ENV	Proventia Desktop (d	Active	8.0.675.10	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	ZNAM-ITV	RealSecure Desktop	Offline	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	RRANC	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	OVCHINNIKOVA	RealSecure Desktop	Offline	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	MAF	RealSecure Desktop	Offline	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	🖳 KAV	RealSecure Desktop	Offline	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	MLF	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	SIG03	RealSecure Desktop	Offline	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	🗐 NII	RealSecure Desktop	Offline	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	🖳 KDG	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	🖳 KNNI	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	🖳 GIN	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	SLAL	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	PLA	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	PDV	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	RAS	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	BVM	RealSecure Desktop	Offline	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	🗐 LLVI	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	mnst 🗐	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml
RealSecure Desktop	🗓 LAS	RealSecure Desktop	Active	7.0.epn (X	Adaptive_Client1.xml

Рис. 3. Список агентов RDP

Система собирает информацию об инцидентах, произошедших на рабочих станциях, и позволяет создавать отчеты за определенный промежуток времени. Отчеты могут содержать как подробную текстовую информацию об обнаруженных атаках, отсортированную по различным признакам, так и графическую информацию, позволяющую наглядно продемонстрировать уровень защищенности узлов сети банка (рис. 4).

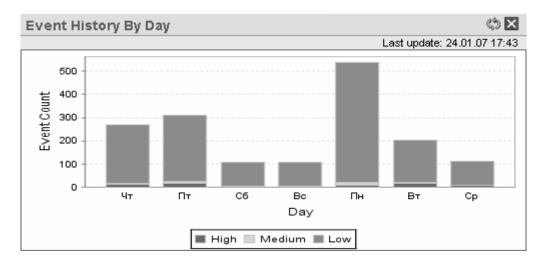


Рис. 4. Графическая информация об обнаруженных атаках

Вся информация в создаваемых отчетах может быть отсортирована по различным признакам (например, фильтрация событий по адресу источника или получателя, дате/времени события, названию и степени риска события, сенсору или варианту реагирования). Помимо функции фильтрации данных в отчетах, новая версия RealSecure позволяет создавать отчеты по событиям, которые произошли во время отсутствия оператора на рабочем месте или в то время, когда консоль управления была выключена.

Система RealSecure обладает мощной системы подсказки, которая помогает эффективно и надлежащим образом осуществлять обнаружение атак на узлы ЛВС (рис. 5). Объемная база данных содержит подробную информацию обо всех обнаруживаемых системой атаках.

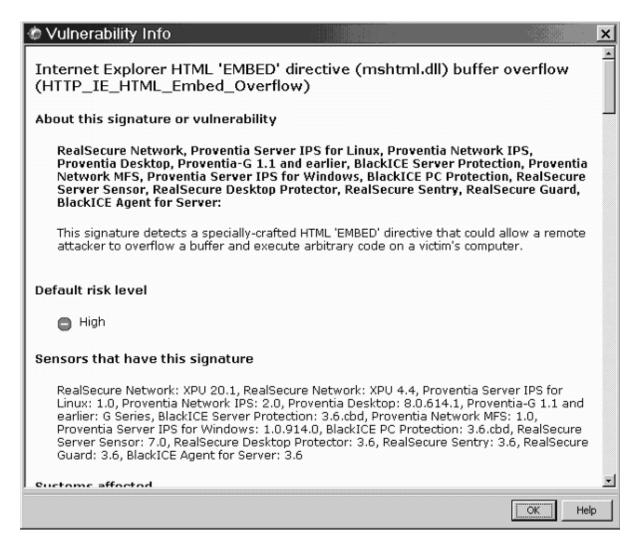


Рис. 5. Информация об обнаруженной системой атаке

Также система дает подробные рекомендации по устранению уязвимостей.

Для доказательства эффективности работы системы приведем некоторую статистику. На 28 агентах RDP, установленных в сети, за месяц было обнаружено 3022 инцидента. Из них 246 имеют статус «High», т.е. являются критичными, 321 — статус «Меdium» (серьезные), остальные («Low») относятся к подозрительным и информационным. Благодаря системе Real Secure удалось обнаружить данные инциденты и устранить уязвимости системы, избежав нападений со стороны злоумышленника.

Заключение

Особенности банковских систем таковы, что негативные последствия сбоев в работе отдельных организаций могут привести к быстрому развитию системного кризиса платежной системы РФ, нанести ущерб интересам собственников и клиентов. В случаях наступления инцидентов ИБ значительно возрастают результирующий риск и возможность нанесения ущерба организациям БС РФ. Поэтому для организаций БС РФ угрозы информационным активам, т.е. угрозы ИБ, представляют реальную опасность.

Применение таких систем, как Real Secure, необходимо в банковской структуре, так как она весьма эффективна и существенно снижает риск потери важной информации, отказа в работе вычислительной сети и, в конечном счете, серьезных финансовых потерь.

Литература

- 1. Петренко С.А., Петренко А.А. Аудит безопасности Intranet. ДМК Пресс, 2002.
- 2. Сопроводительная документация к программному продукту Real Secure.
- 3. Стандарт «Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Общие положения». СТО БР ИББС-1.0-2006.
- 4. <www.iss.net>
- 5. <www.jetinfo.ru>

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТАМИ И БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ

О.В. Елисеев, А.А. Федоров, Н.С. Кармановский

В статье представлено описание существующей системы автоматизированного управления документами. Рассматривается пример реально разработанной системы, введенной в опытную эксплуатацию.

Введение

Система электронного документооборота (СЭД) — это комплексная платформа, разработанная на базе самых современных программных технологий и предназначенная для автоматизации процессов управления, документооборота и для создания интегрированных приложений. Программная платформа СЭД — это не только средство для внедрения современных практик управления компанией, но и первый шаг при создании инфраструктуры управления знаниями.

СЭД поддерживает модули криптографической защиты для обеспечения шифрования и электронной подписи документов, в частности, с использованием сертифицированных ФАПСИ средств «Крипто-Про».

Система позволяет:

- осуществлять контроль над процессами, происходящими в организации;
- внедрять новые приложения, созданные на платформе;
- добавлять функции управления процессом обработки документов в приложения, которые уже используются в организации.

СЭД является платформой, на которой реализован набор законченных приложений (рис. 1).

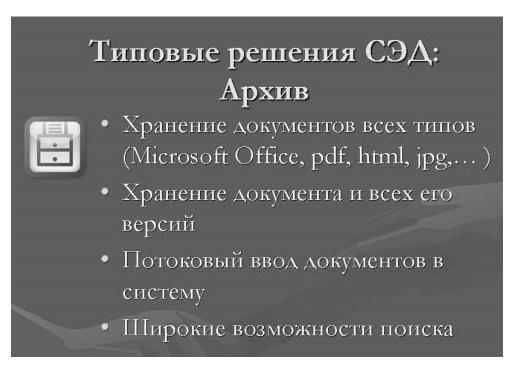


Рис. 1. Типовые расширения СЭД

Программная платформа Системы включает средства моделирования приложений, сервер приложения системы базовое клиентское обеспечение системы. Платформа Системы обеспечивает тесную интеграцию всех приложений и программ, созданных на ее базе, и единое пространство управления документами и процессами в организации.

Цели разработки системы автоматизированного управления документами и бизнес-процессами

Сегодня на повестке дня многих предприятий стоит задача внедрения приложений для автоматизации процессов управления. СЭД призвана упростить решение проблем, возникающих при создании комплексной системы автоматизации процессов управления и документооборота в организации, а также сформировать предпосылки для внедрения инфраструктуры управления знаниями.

Существует два альтернативных подхода к автоматизации задач управления в организации. Первый заключается в последовательной реализации отдельных приложений, автоматизирующих отдельные процессы управления, второй – во внедрении платформы для реализации комплексной системы автоматизации управления процессами и создании на ее базе приложений, интегрированных в единый комплекс. Оба подхода – внедрение комплекса приложения, реализующие «фиксированную» функциональность, и внедрение комплексного решения на базе платформы автоматизации управления – имеют свои достоинства и недостатки [1].

СЭД предоставляет специалистам по автоматизации предприятий инструмент для решения данной проблемы. Система может быть использована и для создания комплексной интегрированной системы автоматизации управления, на базе которой могут быть разработаны самые разнообразные приложения, и в качестве инструментария, дополняющего уже существующую в организации систему, которая решает часть из перечисленных задач. Примером такого интегрированного решения может служить совместное использование платформы Системы в сочетании с системой автоматизации групповых взаимодействий Microsoft Exchange Server.

Разработка СЭД преследовала следующие цели:

- обеспечить средство для создания инфраструктуры комплексных интегрированных систем, реализующих весь комплекс задач, связанных с автоматизацией процессов управления;
- обеспечить возможность поэтапного внедрения отдельных компонентов и реализации приложений, образующих интегрированную систему автоматизации управления;
- существенно ускорить разработку приложений в области автоматизации управления;
- создать набор законченных интегрированных между собой решений, автоматизирующих типовые процессы обработки документов и реализующих типовые задачи поддержки управления современной организации [2].

В основу разработки идеологии Системы была положена концепция единой интегрированной системы автоматизации управления и документооборота. Такая система должна отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать единые механизмы хранения и доступа к данным;
- поддерживать единые механизмы разграничения и управления правами доступа;
- предоставлять пользователям общие средства навигации и доступа к данным;
- поддерживать общую структуру справочников;
- обеспечивать интегрированные средства поиска;
- поддерживать единые средства управления жизненным циклом приложений и маршрутизации документов;
- обеспечивать интегрированные средства управления и администрирования приложений:
- обеспечивать общее пространство адресации всех объектов системы;
- предоставлять унифицированные средства разработки (настройки) приложений и общего набора компонентов, используемых для встраивания в приложения.

СЭД разрабатывалась на основе вышеперечисленных принципов, что позволяет использовать ее в качестве основы для создания в компании интегрированной системы автоматизации процессов управления и документооборота. Порядок работы представлен на рис. 2.



Рис. 2: Порядок обработки документа

На платформе представлены интегрированные приложения.

Делопроизводство обеспечивает автоматизацию традиционных процессов обработки документов (создание архивов, маршрутизация документов, обработка корреспонденции, формирование отчетности о состоянии исполнения документов).

Управление процессами обеспечивает возможность автоматизации процессного управления в организациях [3].

Управление договорным процессом. При согласовании договоров внутри организации необходимо выполнить определенные регламенты работы с документами. Регламенты различных организаций существенно отличаются, однако Workflow-система позволяет автоматизировать их эффективно и удобно. Несмотря на отсутствие единого унифицированного продукта для согласования договоров, эта задача успешно решается с помощью Системы [4].

Управление качеством. При построении системы менеджмента качества и сертификации ее по стандартам серии ISO 9000 возникает необходимость соблюдения большого количества процедур и их надлежащего документального оформления. Решения с использованием СЭД позволяют упростить процесс внедрения стандартов серии ISO 9000 и, как следствие, сделать его более эффективным [5].

СЭД обеспечивает тесную интеграцию всех приложений, созданных на базе платформы, и единое пространство управления документами и процессами в организации.

Основные функции системы:

- автоматизация управления предприятием;
- поддержка процессного подхода в организации управления;
- автоматизация систем менеджмента качества;

- автоматизация процессов согласования и утверждения документов;
- средства контроля исполнения документов и заданий;
- маршрутизация и доставка документов на рабочие места пользователей;
- управление процессами обработки документов;
- организация взаимодействия с контрагентами и заказчиками;
- автоматизация канцелярии;
- создание электронного архива документов.

Технические подробности

Система основана на современной платформе Microsoft .NET на стороне сервера и предоставляет полнофункциональный Windows пользовательский интерфейс, базирующийся на СОМ-компонентах на стороне клиента. Взаимодействие клиента и сервера осуществляется по протоколу SOAP, что позволяет использовать соединения не только внутри локальной сети офиса, но и через сеть Интернет [4].



Рис. 3. Плюсы программы

Все клиентские компоненты системы автоматически загружаются в Internet Explorer, что делает крайне простым развертывание и поддержку системы на любом количестве рабочих мест и существенно снижает стоимость владения системой. Положительные свойства программы изображены на рис. 3. Все системные объекты доступны по URL, что позволяет легко и изящно обмениваться ссылками на документы с пользователями, у которых может быть не установлено никакого программного обеспечения [6].

Выводы

Таким образом, система аутентификации пользователей интегрирована с Microsoft Active Directory и не требует дополнительного ввода имени пользователя или пароля при входе в систему. Хранилище системы базируется на современном Microsoft SQL Server 2000, который предоставляет широкие возможности масштабирования и поиска документов. Она поддерживает выгрузку всех объектов в формате XML, что позволяет

организовать взаимодействие большого количества серверов СЭД, которые находятся в разных офисах или в разных компаниях. Взаимодействие может быть организовано с помощью Microsoft BizTalk Server.

Все серверные компоненты созданы в stateless архитектуре, что позволяет применять кластерные решения для организации высокопроизводительных решений с большими пиковыми нагрузками. Система поддерживает английский и русский интерфейсы, которые переключаются автоматически, в зависимости от языковых установок пользователя.

Литература

- 1. Вирт Н. Алгоритмы и структуры данных / Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 360 с., ил.
- 2. Кандзюба С.П., Громов В.Н. Delphi 6/7. Базы данных и приложения. Лекции и упражнения. 2003.
- 3. Нечаев В.М. Microsoft Excel. Электронные таблицы и базы данных в задачах. 2001
- 4. Яргер Р. Д., Риз Д., Кинг Т. MySQL и mSQL. Базы данных для небольших предприятий и Интернета. 2000.
- 5. Архангельский А.Я. 100 компонентов общего назначения библиотеки Delphi5. 1999.
- 6. Послед Б. Access 2000. Базы данных и приложения. Лекции и упражнения. 2000.
- 7. Фаронов В.В. Delphi 5. Руководство программиста. 2001.
- 8. Архангельский А.Я. Delphi 6. Справочное пособие. 2001.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАЗЛИЧНЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ КОНСТРУКТИВОВ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ COSMOSWORKS

Д.А. Боголюбов, Н.С. Кармановский

Данная статья подготовлена в рамках проекта по внедрению CAПР SolidWorks в Российском институте радионавигации и времени. Актуальность работы связана с практикой автоматизации различных расчетов, в том числе тепловых. До проведения настоящего проекта расчеты производились вручную, что требовало существенных затрат времени и не всегда гарантировало требуемую точность.

Был произведен анализ существующих САПР, на основании которого выявлено, что использованная система отличается большой функциональностью, а также позволяет исполнять чертежи в соответствии с ЕСКЛ (табл. 1).

САД/САЕ сис- Чертен	Чертежи	ертежи Тепловой	Расчет меха-	Расчет на	Автоматическая
тема	по ЕСКД	расчет	нических на- пряжений	ударную нагрузку	корректировка конструкции
			прижении	nurpysky	конструкции
SolidWorks	+	+	+	+	+
AutoCAD	+	-	-	-	-
MentorGraphics	-	+	+	+	+
ANSYS	-	+	+	+	+

Табл. 1. Функциональность САПР

Рассматривалась CAПР SolidWorks/COSMOSWorks версии 2006 года. SolidWorks включает в себя конструкторскую и расчетную часть, а также вспомогательные программы. Одной из важнейших составляющих является программа инженерного анализа COSMOSWorks. Она предоставляет большое количество встроенных инструментов проектирования и расчета.

Возможности COSMOSWorks:

- 1. тепловой расчет,
- 2. расчет на ударную нагрузку,
- 3. расчет механических напряжений и деформаций,
- 4. расчет собственных частот,
- 5. автоматическая корректировка конструкции модели

и другие расчеты.

Тепловые расчеты в COSMOSWorks основаны на методе конечных элементов. Используемый алгоритм фронтального исключения позволяет экономить оперативную память и время расчета. Это реализовано за счет последовательного включения элементов в матрицу фронта [1].

Исследовавшиеся конструктивы являются типичными для данного предприятия и иллюстрируют различные виды теплоотвода. Все конструктивы относятся к бортовой аппаратуре, применяемой в глобальной навигационной спутниковой системе ГЛОНАСС. При подготовке данной работы они были классифицированы по назначению и типу теплоотвода.

После анализа алгоритмов теплового расчета были выработаны требования к исходным данным.

1. Необходимо задать в качестве начальных условий начальную температуру элементов. Особенно это важно для базового крепежного элемента, через который осуществляется кондуктивный теплообмен.

- 2. Так как анализ тепловых режимов в COSMOSWorks 2006 и выше позволяет учитывать все виды теплообмена (конвективный, кондуктивный и излучение), необходимо определить наиболее значимые составляющие, а в качестве исходных данных задавать только их с целью экономии затрат мощностей компьютера.
- 3. Необходим тщательный учет теплоотводов, крайне важно учесть термостатируемые элементы.
- 4. С большой осторожностью следует подходить к заданию тепловых контактов, так как расчет контактных тепловых сопротивлений не всегда происходит корректно и требует существенных затрат памяти. При этом необходим учет тепловых контактов в некоторых принципиальных узлах.
- 5. Необходимо учитывать, что при измельчении конечно-элементной сетки значения некоторых параметров могут быть теоретически бесконечными вследствие особенностей внутренних алгоритмов программы COSMOSWorks. В расчете тепловых режимов это относится, прежде всего, к параметру «Тепловая мощность». При этом следует понимать, что от параметров конечно-элементной сетки зависит ход всего расчета в целом.
- 6. Конечно-элементная модель задачи теплопроводности предполагает, что в каждом узле присутствует только одна степень свободы температура [2].
- 7. Чрезмерное уточнение исходных данных приводит к увеличению размерности задачи, вследствие чего программе может не хватить памяти, и расчет будет прекращен.

В работы исследовался ряд конструктивных решений.

1. Рубидиевый стандарт частоты (рис.1) представляет собой несколько тепловыделяющих элементов, установленных на термостатируемой плите. Ввиду чрезмерной перегруженности деталями исходной трехмерной модели была создана тепловая модель. Результат дискретизации для тепловой модели блока RFS-514 представлен на рис. 2. Построение сетки на такой модели прошло без затруднений.

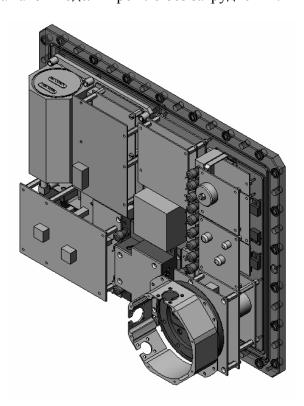


Рис. 1. Трехмерная модель рубидиевого стандарта частоты

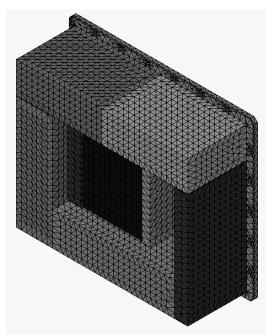


Рис. 2. Конечно-элементная модель рубидиевого стандарта частоты

2. Дискриминатор стандарта частоты (рис. 3). Особенность этой модели состоит в моделировании эффекта Пельтье, для которого нет специальной функции в программе. Теплоотвод осуществляется также через термостатируемую плиту. Так как исходная модель достаточно проста, она была использована и для расчета.

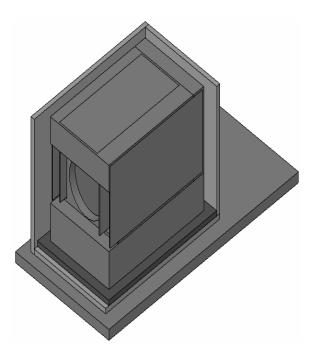


Рис. 3. Трехмерная модель дискриминатора стандарта частоты

3. Трехмерная модель измерительного модуля представлена на рис. 4. Размещенный на плате термостабилизирующий элемент должен за требуемое время нагреть прочие элементы конструкции до рабочей температуры. В результате расчета было выяснено, что требуется изменить расположение тепловыделяющих элементов на плате для более равномерного распределения температуры. Измененная конструкция представлена на рис. 5. Было увеличено число нагревательных элементов одновременно с уменьшением тепловой мощности каждого из них в отдельности.

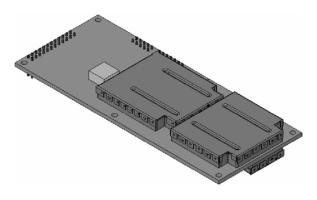


Рис. 4. Трехмерная модель измерительного модуля

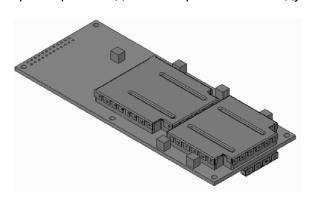


Рис. 5. Трехмерная модель измерительного модуля в измененном конструктиве

Результаты тепловых расчетов представлены в виде цветовых диаграмм на рис. 6—8. Стандарт частоты признан работоспособным по тепловым режимам. Погрешность методики расчета составила 1,8%. Градиент температур, как видно из шкалы, не превысил 1,3 К. Дискриминатор признан неработоспособным по тепловым режимам вследствие возникновения большого градиента температур. Отмечена высокая погрешность расчета. Измерительный модуль в измененном конструктиве признан работоспособным по тепловым режимам. Были произведены расчеты как стационарного состояния, так и переходного процесса.

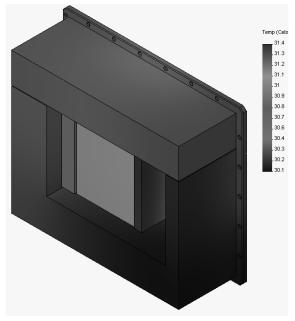


Рис. 6. Результаты теплового расчета рубидиевого стандарта частоты

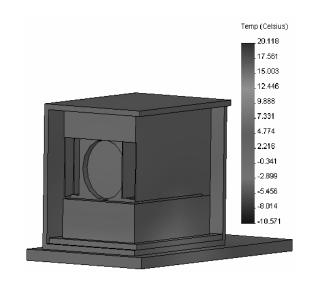


Рис. 7. Результаты теплового расчета дискриминатора

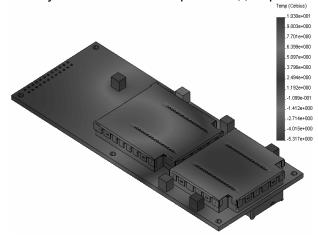


Рис. 8. Результаты теплового расчета модифицированного измерительного модуля.

На основании произведенного моделирования и расчетов были выработаны следующие рекомендации по созданию трехмерных моделей:

- исключить из модели элементы со сложной геометрией;
- упростить геометрию нагревательных элементов;
- каждый отдельный элемент создавать отдельным файлом;
- задавать все возможные параметры соединений между элементами. Достигнутые результаты:
- проведена классификация конструктивов;
- проведено внедрение САПР на предприятии;
- проведен расчет тепловых режимов выбранных конструктивов;
- вынесены заключения о работоспособности блоков по тепловым режимам;
- на основании полученных результатов тепловых расчетов выработаны рекомендации по построению трехмерных моделей.

Литература

- 1. Алямовский A.A. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. М., 2004. 257 с.
- 2. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов А.А., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб, 2004. 306 с.

ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ИНСТИТУТЕ

А.В. Годырева, Н.С. Кармановский

Защита информации приобретает все большую актуальность, которая обусловлена как разнообразием форм собственности предприятий, так и расширением круга поставленных задач. Сегодня современное предприятие решает практически все вопросы разработки, производства и реализации продукции. Размеры предприятия, его расположение, характер деятельности обусловливают особенности организации защиты информации.

Научно-исследовательский институт как объект комплексной защиты информации представляет интерес тем, что в нем хорошо просматривается весь цикл реализации проектов — от научных исследований до практической реализации, включая маркетинговую политику. Кроме того, предприятиям подобного вида сегодня предоставлена достаточно широкая хозяйственная самостоятельность.

В качестве примера рассмотрен научно-исследовательский институт, имеющий черты, характерные для многих предприятий города:

- форма собственности государственное унитарное предприятие;
- предприятие расположено в историческом центре города;
- здания предприятия расположены достаточно тесно, на территории предприятия имеется множество корпусов;
- значительная площадь предприятия (десятки тысяч квадратных метров);
- численность сотрудников более 1500 человек;
- на предприятии циркулирует как служебная информация, так и сведения, составляющие государственную и коммерческую тайны;
- на предприятии, наряду с традиционным документооборотом, используются различные варианты передачи информации, такие как проводная и радиотелефонная связь, локальная вычислительная сеть.

Основной деятельностью научно-исследовательского института является создание и совершенствование измерительных технологий, выполнение в этом направлении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, мелкосерийное производство средств измерений, метрологические услуги.

Защита информации включает в себя принятие правовых, организационных и технических мер, направленных на:

- обеспечение защиты информации от неправомерного доступа, уничтожения, модифицирования, блокирования, копирования, предоставления, распространения, а также от иных неправомерных действий в отношении такой информации;
- соблюдение конфиденциальности информации ограниченного доступа;
- реализацию права на доступ к информации [1].

Защите информации в государственных структурах всегда уделяется особое внимание. Информация, имеющая ценность для государства, — критичный элемент, требующий самого бережного отношения. По этой причине принцип максимального запрета «враг не пройдет, но и друг тоже» укоренился в подходе к построению системы защиты информации на государственных предприятиях [2].

Структура такого типа предприятия представляет собой разветвленную систему подразделений, что создает дополнительные возможности для утечки информации и повышает актуальность внедрения эффективной комплексной системы защиты. Она включает в себя комплекс организационных мер по упорядочиванию прохождения документации, защиту информационных сетей передачи данных, включая компьютерные, организацию защиты территории и поддержания внутриобъектового режима.

Надежность защиты информации определяется прежде всего тем, насколько правильно выбрана структура подразделения, на которое возложены эти функции, четкостью, с которой оно придерживается выбранного на предприятии режима конфиденциальности и безопасности [3].

Существующие на многих предприятиях структуры служб безопасности часто не учитывают расширяющихся задач, поставленных перед ними, и ограничиваются задачами физической охраны, а также организацией закрытого документооборота. В связи с расширением функций предприятия, «коммерциализацией» его деятельности, повсеместным внедрением компьютерных информационных технологий представляется необходимым несколько расширить и видоизменить структуру службы безопасности предприятия, дополнив ее отделом по работе с коммерческой тайной. Целесообразно включить в структуру службы отдел компьютерной безопасности, который должен заниматься защитой локальной сети на предприятии (рис. 1).

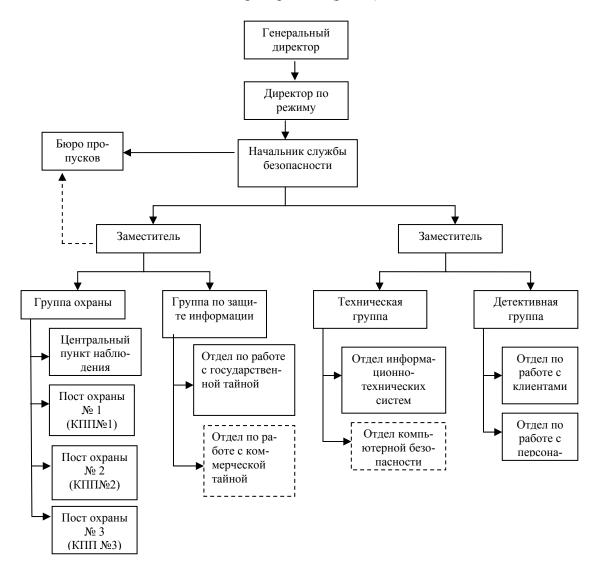


Рис. 1. Структура службы безопасности

Информационная безопасность предприятия зависит как от самих сотрудников предприятия, так и от того, насколько они будут выполнять требования нормативных документов и распоряжения службы безопасности. С этой целью непременным условием эффективного функционирования службы безопасности является разработка четких Положений о службе и ее структурных подразделениях, а также должностных инструкций персонала.

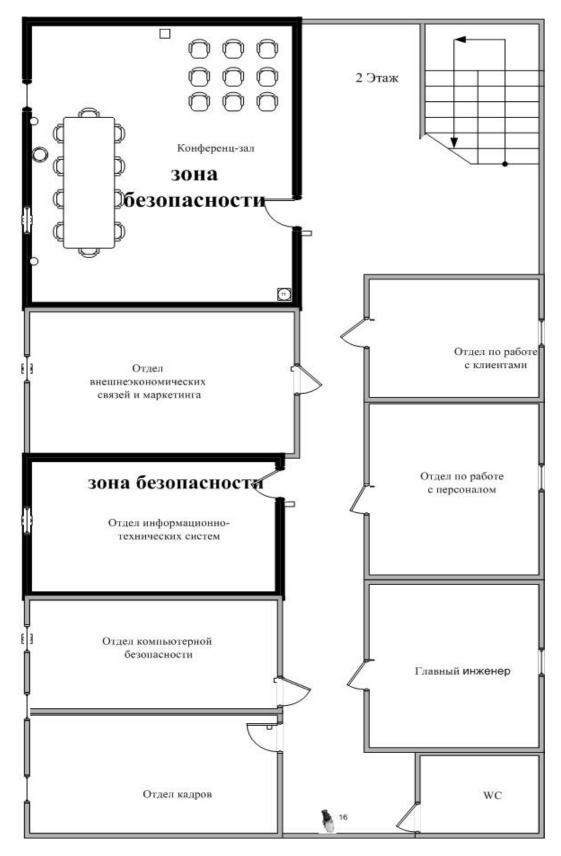


Рис. 2. План второго этажа с обозначением зон безопасности

Одним из принципов защиты информации является создание зон безопасности. Под зоной безопасности будем понимать территорию, имеющую собственное ограждение (стены, окна, решетки, пропускные пункты) и подразумевающую ограничение до-

пуска лиц на эту территорию. Выделение зон безопасности позволяет не только повысить эффективность системы защиты, но и минимизировать расходы на ее охрану.

Для примера рассмотрим план главного (административного) здания, разделив его на зоны безопасности, в котором циркулируют основные потоки информации (рис. 2). Деление его на зоны безопасности ограничивает доступ сотрудников и посетителей и облегчает защиту объекта. В каждой зоне циркулирует определенный вид информации. Каждая зона безопасности обладает своей защитой.

Большинство помещений второго этажа работают в постоянном режиме охраны. В условиях дефицита площадей и по иным причинам возможно создание зон с переменной защитой. Примером такого помещения может служить конференц-зал (рис. 2). При открытом доступе отключаются системы сигнализации, снимается пост охраны, что обеспечивает свободный проход в помещение. В закрытом режиме, например, при проведении конфиденциальных совещаний, на входе устанавливается охрана, выдаются специальные пропуска для прохода, включаются технические средства защиты. В рассматриваемом конференц-зале устанавливается система виброаккустического зашумления.

На предприятии выделены отделы, в которых циркулирует большинство закрытых информационных потоков. Для ограничения доступа сотрудников в эти отделы предложены технические средства защиты, предусматривающие считыватели со встроенной клавиатурой. Такие считыватели устанавливаются при входе в отделы по работе с государственной тайной, по работе с коммерческой тайной, в кассе.

Одним из принципов защиты информации является применение системы видеонаблюдения, которая предназначена для визуального контроля объекта и, при необходимости, проведения оперативно-розыскных мероприятий. Основные задачи, решаемые системой видеонаблюдения, — это контроль за проникновением посторонних лиц, ограблений и хулиганских действий, за сохранностью документации и дорогостоящего оборудования, охрана имущества работников, выявление задымлений, очагов возникновения пожара. Функции видеонаблюдения — получение изображений от видеокамер наблюдения, отображение их на мониторе, видеозапись. На территории и в главном здании расположены камеры видеонаблюдения, которые подключаются к центральному пункту наблюдения. Характеристики видеонаблюдения:

- непрерывность (24 часа в сутки, включая выходные и праздничные дни) в записывающем режиме. Запись ведется на винчестер;
- возможность непрерывного и выборочного просмотра видеозаписи;
- централизация наблюдения на круглосуточном посту, находящемся на первом этаже главного здания.

Информация видеонаблюдения не теряется при отключении электропитания, так как предусматриваются резервные источники питания в заблокированных помещениях. Видеооборудование, предлагаемое в распоряжение службы безопасности предприятия, обеспечивает обзор всей охраняемой территории и входов на территорию.

Особенностью охраны предприятия, расположенного на большой территории, является наличие нескольких контрольно-пропускных пунктов (КПП). Основной вход на территорию института осуществляется со стороны главного входа. Режим работы этого КПП – дневное время. Со стороны «черного» входа организован резервный КПП, работающий круглосуточно. Въезд на территорию предприятия осуществляется через КПП, предназначенный для автотранспорта.

Для предотвращения несанкционированного доступа на территорию предприятия и контроля территории предлагается интегрированная система безопасности «Орион», включающая в себя подсистему контроля доступа, видеонаблюдения и охранной сигнализации.

Таким образом, сформулированы особенности защиты информации в научно-исследовательском институте и предложены меры по повышению ее эффективности:

- введение в структуру службы безопасности подразделения по работе с коммерческой тайной, а также по защите локальной компьютерной сети,
- формирование зон безопасности, минимизирующее затраты на создание и эксплуатацию системы безопасности,
- создание переменных по степени защищенности зон безопасности,
- наличие системы видеонаблюдения для охраны территории, выведенной на централизованный пост охраны.

Литература

- 1. Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
- 2. Особенности защиты информации в госструктурах // Экспресс-Электроника. 2006. № 10.
- 3. Струков В.И. Экономика защиты информации. ТРТУ, 2003.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОПУСКНОГО РЕЖИМА – ПЕРВЫЙ ШАГ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ И КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИИ

Д.С. Туранцев

В статье рассматриваются основные направления создания контрольно-пропускного режима на предприятии: методика определения и оценка исходных данных; разработка мероприятий и нормативных документов; оборудование контрольно-пропускных пунктов.

Введение

Контрольно-пропускной режим — это комплекс организационно-правовых ограничений и правил, устанавливающих порядок пропуска через контрольно-пропускные пункты в отдельные здания (помещения) сотрудников объекта, посетителей, транспорта и материальных средств. Контрольно-пропускной режим является одним из ключевых моментов в организации системы безопасности на предприятии. С этих позиций контрольно-пропускной режим представляет собой комплекс организационных мероприятий (административно-ограничительных), инженерно-технических решений и действий службы безопасности.

Организация контрольно-пропускного режима отличается определенной сложностью. Дело в том, что механизм осуществления контрольно-пропускного режима основывается на применении запретов и ограничений в отношении субъектов, пересекающих границы охраняемых объектов, для обеспечения интересов предприятия. Такой механизм должен быть безупречным с точки зрения соответствия требованиям действующего законодательства [3].

Обшие положения

Контрольно-пропускной режим как часть системы безопасности должен соответствовать действующему законодательству, уставу предприятия, а также иным нормативно-правовым актам, регулирующим деятельность предприятия.

Основными целями создания контрольно-пропускного режима являются:

- защита законных интересов предприятия, поддержание порядка внутреннего управления;
- защита собственности предприятия, ее рациональное и эффективное использование;
- рост прибылей предприятия;
- внутренняя и внешняя стабильность предприятия;
- защита коммерческих секретов и прав на интеллектуальную собственность.

Контрольно-пропускной режим как часть системы безопасности позволяет решить следующие задачи:

- обеспечение санкционированного прохода сотрудников и посетителей, ввоза (вывоза) продукции и материальных ценностей, ритмичной работы предприятия;
- предотвращение бесконтрольного проникновения посторонних лиц и транспортных средств на охраняемые территории и в отдельные здания (помещения);
- своевременное выявление угроз интересам предприятия, а также потенциально опасных условий, способствующих нанесению предприятию материального и морального ущерба;
- создание надежных гарантий поддержания организационной стабильности внешних и внутренних связей предприятия, отработка механизма оперативного реагирования на угрозы и негативные тенденции;

• пресечение посягательств на законные интересы предприятия, использование юридических, экономических, организационных, социально-психологических, технических и иных средств для выявления и ослабления источников угроз безопасности предприятия.

Контрольно-пропускной режим можно определить как систему обеспечения нормативных, организационных и материальных гарантий выявления, предупреждения и пресечения посягательств на законные права предприятия, его имущество, интеллектуальную собственность, производственную дисциплину, технологическое лидерство, научные достижения и охраняемую информацию, а также как совокупность организационно-правовых ограничений и правил, устанавливающих порядок пропуска через контрольно-пропускные пункты сотрудников объекта, посетителей, транспорта и материальных ценностей.

Нормативные гарантии заключаются в толковании и реализации норм права, уяснении пределов их действия, в формировании необходимых правоотношений, определении и обеспечении правомерной деятельности подразделений и работников фирмы по поводу ее безопасности, использования ограничительных мер, применения санкций к физическим и юридическим лицам, посягающим на законные интересы фирмы.

Организационные гарантии формируются путем разработки, построения и поддержания высокой работоспособности общей организационной структуры управления процессом выявления и подавления угроз деятельности фирмы, использования эффективного механизма стимулирования ее оптимального функционирования, соответствующей подготовки кадров.

Материальные гарантии формируются за счет выделения и использования финансовых, технических, кадровых, интеллектуальных, информационных и иных ресурсов фирмы, обеспечивающих своевременное выявление, ослабление и подавление источников угрозы, предотвращение и локализацию возможного ущерба, создание благоприятных условий для деятельности фирмы. Данные гарантии наполняют нормативные и организационные меры безопасности практическим содержанием, создают реальную основу развития культуры безопасности фирмы.

Основные мероприятия контрольно-пропускного режима разрабатываются службой безопасности, утверждаются руководителем фирмы и оформляются инструкцией о контрольно-пропускном режиме. Ответственность за организацию контрольно-пропускного режима возлагается на начальника службы безопасности. Практическое осуществление контрольно-пропускного режима возлагается на охрану (дежурных по КПП, контролеров, охранников), работники которой должны знать установленные на объекте правила контрольно-пропускного режима, действующие документы по порядку пропуска на объект (с объекта) сотрудников и посетителей, ввоза (вывоза) товарноматериальных ценностей. Контрольно-пропускной режим может быть установлен как в целом по объекту, так и в отдельных корпусах, зданиях, отделах, хранилищах и других специальных помещениях.

Требования по контрольно-пропускному режиму должны быть доведены в обязательном порядке до каждого сотрудника объекта. Все рабочие и служащие объекта обязаны соблюдать их. По каждому случаю нарушения контрольно-пропускного режима должно проводиться административное расследование.

Обязанности охраны по контрольно-пропускному режиму определяются в инструкции и в должностных обязанностях контролеров контрольно-пропускных пунктов.

Разработка мероприятий и нормативных документов контрольно-пропускного режима начинается с определения исходных данных. Оценивая исходные данные, разработчик определяет основные положения инструкции о контрольно-пропускном режиме. Целесообразно предложить следующую последовательность определения и оценки исходных данных.

- 1. Организационная структура предприятия, расположение его отдельных элементов и характер производства (деятельности) на них. Выяснение этих вопросов позволяет решить следующие практические задачи:
- выделить объекты, площадки, здания и помещения, на которых необходимо организовать контрольно-пропускной режим;
- определить характер контрольно-пропускных пунктов (КПП) для пропуска сотрудников и транспортных средств.
- 2. Оценка «суточного объема» потоков транспортных средств, грузов, материальных ценностей и людей (персонала фирмы и посетителей), проходящих через КПП и в отдельные здания (помещения). Только на основе оценки реального состояния мест пропуска можно оценить пропускную способность действующих КПП и привести ее в соответствие с задачами основного производства на объекте. Такая оценка позволит выбрать оптимальный вариант автоматизации и контроля прохода (проезда) на охраняемые территории.
- 3. Выделение (по степени важности) категории объектов, транспортных средств и грузов, а также категории лиц, пересекающих установленные границы. Для достижения четкости в определениях предлагается помещения и территорию объекта классифицировать в зависимости от условий доступа и степени защищенности.

Для четкой организации пропускного режима необходимо разделить объекты предприятия (здания, помещения) на общедоступные, закрытые и ограниченного доступа. Определение категорий режима может дать четкий ответ на вопросы, которые нужно прояснить при организации контрольно-пропускного режима и разработке исходной документации по оборудованию объекта техническими средствами охраны.

Закрепление за помещением конкретной категории помогает регламентировать и обосновать:

- условия доступа сотрудников предприятия и посетителей на объект;
- предложения администрации предприятия по выработке оптимального варианта порядка пропуска лиц, транспортных средств и материальных ценностей на объект;
- наличие и вид физической охраны;
- виды используемых технических средств для обеспечения безопасности.

Практическое решение вопросов, связанных с организацией пропускного режима, оформляется в виде «Инструкции о пропускном режиме». Указанная инструкция должна определять систему организационно-правовых охранных мер, устанавливающих разрешительный порядок (режим) прохода (проезда) на объект (с объекта), и может включать следующие разделы.

- 1. Общие положения. В этом разделе указываются:
- нормативные документы, на основании которых составлялась инструкция;
- определение контрольно-пропускного режима и цель его введения;
- должностные лица, на которых возлагается организация, и практическое руководство контрольно-пропускной системой;
- санкции к нарушителям контрольно-пропускного режима;
- требования к оборудованию различных помещений.
- 2. Порядок пропуска сотрудников предприятия, командированных лиц и посетителей через контрольно-пропускные пункты (КПП). В этом разделе рекомендуется:
- перечислить все КПП и их назначение, описание, расположение и установить их единую нумерацию;
- изложить требования к оборудованию КПП;
- установить порядок прохода сотрудников и посетителей на территорию объекта и в категорированные помещения;
- определить права и основные обязанности контролеров КПП;

- установить помещения, где запрещается принимать посетителей и представителей сторонних организаций.
- 3. Порядок допуска на объект транспортных средств, вывоза продукции, документов и материальных ценностей. В этом разделе указываются:
- порядок допуска на территорию объекта (с объекта) автотранспорта, принадлежащего объекту;
- порядок въезда и стоянки на территории объекта транспорта, принадлежащего сотрудникам на правах личной собственности;
- порядок пропуска автомашин сторонних организаций, прибывших с грузом в адрес объекта, в рабочее и нерабочее время;
- порядок вывоза (ввоза) товарно-материальных ценностей;
- правила оформления документов на вывоз (вынос) материальных ценностей с территории объекта.
 - 4. Виды пропусков, порядок их оформления. В этом разделе определяются:
- виды пропусков, их количество и статус;
- описание пропусков;
- порядок оформления и выдачи пропусков;
- порядок замены и перерегистрации пропусков;
- мероприятия при утрате пропуска сотрудником.
- 5. Обязанности должностных лиц по поддержанию контрольно-пропускного режима.
 - 6. Учет и отчетность, порядок хранения пропусков, печатей.
- В зависимости от структуры предприятия и характера его деятельности инструкция может содержать и другие разделы.

Рис. 1. Виды пропусков

При разработке инструкции о контрольно-пропускном режиме определяются виды и группы пропусков, которые будут действовать на предприятии.

На крупных предприятиях, как правило, устанавливается несколько видов пропусков. Это могут быть постоянные, временные, разовые и материальные пропуска. Образцы бланков пропусков разрабатываться администрацией объекта (службой безопасности). По своему внешнему виду и содержанию пропуска должны отличаться друг от друга и обладать некоторыми степенями защиты. Все виды пропусков, за исключением материальных, оформляются и выдаются бюро пропусков (или иным подразделе-

нием) по письменным заявкам. Виды пропусков определяются в зависимости от специфики предприятия (рис. 1) [1].

Постоянные пропуска выдаются сотрудникам объекта, принятым на постоянную работу, а также работникам других организаций, постоянно обслуживающих объект. Постоянные пропуска могут делиться на группы, их количество и назначение определяется инструкцией о контрольно-пропускном режиме. Постоянные пропуска могут храниться как на руках у сотрудников объекта, так и в кабинах на КПП. Постоянные пропуска лиц, убывающих с объекта на длительное время (отпуск, болезнь, командировка и т.п.), сдаются на хранение в бюро пропусков (отдел кадров), а при хранении таких пропусков в кабине КПП на ячейке, где хранится пропуск, делается соответствующая отметка. Пропуска уволенных с работы уничтожаются в установленном порядке.

Временные пропуска выдаются лицам, работающим по контракту, находящимся на временной работе, прикомандированным к предприятию, и хранятся, как правило, на КПП. Срок действия и порядок оформления временных пропусков определяется инструкцией о контрольно-пропускном режиме. Временные пропуска могут быть с фотографией и без фотографии. Временные пропуска без фотографии действительны только при предъявлении документа, удостоверяющего личность.

Разовые пропуска (для посетителей и клиентов) выдаются на одно лицо и только для разового посещения предприятия и его подразделений. Пропуск оформляется и действителен при наличии документа, удостоверяющего личность. Разовые пропуска должны периодически меняться по цвету бланков и другим признакам.

Разовый пропуск, выданный водителю транспортного средства, может служить одновременно и разовым пропуском для транспорта.

Разовый пропуск действителен для входа на территорию объекта или его подразделения в течение определенного времени. Контроль за посетившими предприятие по разовому пропуску осуществляется с помощью отметки на оборотной стороне пропуска, где указывается время посещения, заверенное подписью лица, принявшего посетителя. Разовый пропуск изымается на КПП контролером при выходе посетителя с объекта и сдается в бюро пропусков. О лицах, не вышедших с объекта по истечении срока действия пропуска, контролер докладывает начальнику караула (дежурному по КПП) для принятия мер по выяснению причин задержки. Фамилии лиц, посетивших объект по разовому пропуску, могут записываться в специальную книгу учета.

Материальные пропуска для вывоза (выноса) товарно-материальных ценностей выдаются администрацией предприятия. Срок действия пропуска определяется инструкцией о контрольно-пропускном режиме. Материальные пропуска должны изыматься на КПП и сдаваться в бюро пропусков.

Образцы действующих пропусков должны находиться на КПП. Для обучения работников охраны выделяется необходимое количество образцов пропусков.

Для организации пропускного режима на предприятии оборудуются КПП. Оборудование КПП должно обеспечивать необходимую пропускную способность и возможность тщательной проверки пропусков и документов у проходящих лиц, досмотра всех видов транспорта, провозимых грузов и удовлетворять следующим требованиям:

- исключать возможность несанкционированного проникновения через КПП на объект (с объекта) людей и транспортных средств;
- способствовать сокращению времени на проверку документов, досмотр транспорта и материальных ценностей;
- способствовать исключению (сведению к минимуму) ошибок охранника при пропуске людей и транспорта;
- обеспечивать меры безопасности охранника при досмотре транспортных средств.

Все виды КПП должны быть оборудованы необходимыми видами связи и тревожной сигнализации для вызова резерва охраны. На КПП рекомендуется располагать внутренний телефон и список телефонов администрации предприятия.

Для контроля за людьми, проходящими на объект и в отдельные здания (помещения), строятся специальные КПП [2]. Каждое КПП рекомендуется оборудовать комнатой для охраны, комнатой для досмотра граждан, камерой хранения, гардеробом, турникетом с фиксирующими устройствами-запорами. В качестве средств контроля доступа могут использоваться различные турникеты. Турникеты предназначены для управления потоками людей и регулирования входа (выхода). В последнее время наиболее широкое распространение получили электромеханические турникеты. Электромеханические турникеты, в отличие от громоздких и неудобных в управлении механических, легко управляются с пульта охранника и могут работать в составе автоматизированной системы контроля доступа.

В состав транспортного КПП входит досмотровая площадка и служебные помещения. Досмотровая площадка предназначена для размещения автомобилей при их досмотре. Досмотровые площадки могут располагаться как на территории предприятия, так и за ее пределами, на территории, непосредственно примыкающей к основным воротам КПП. Досмотровая площадка должна отвечать следующим требованиям:

- иметь достаточную площадь для размещения досматриваемого транспорта, технические средства для обеспечения нормальных условий работы охранника;
- исключать возможность несанкционированного проникновения на объект (с объекта) людей и транспортных средств;
- обеспечивать при установленной интенсивности движения в любое время суток и года досмотр автомобильного транспорта и перевозимых грузов;
- быть изолированной от других сооружений, не имеющих отношения к охране объекта и оборудованию КПП;
- обеспечивать меры безопасности охранника при выполнении своих обязанностей.

Размеры досмотровой площадки устанавливаются в зависимости от габаритов транспорта и перевозимых грузов и могут составлять 10–12 метров в длину и 5–6 метров в ширину.

На территории, отведенной для строительства досмотровой площадки, производится планировка местности с таким расчетом, чтобы на ней не задерживались дождевые и талые воды. Поперечный уклон досмотровой площадки делается не менее 2% от места выставления охранника в направлении ее боковых сторон (перпендикулярно проезжей части). Поверхность досмотровой площадки покрывается бетоном или асфальтом. На проезжей части площадки выделяется место остановки транспорта для досмотра, ограниченное двумя линиями «СТОП», выполненными белой краской. Перед въездом на досмотровую площадку с внешней стороны основных и вспомогательных ворот (шлагбаума), не ближе 3 метров от них, также наносится поперечная линия и надпись «СТОП». В целях обеспечения безопасности движения транспорта не менее чем в 100 м от ворот с правой стороны или над дорогой устанавливается указательный знак «Движение в один ряд», а в 50 м от ворот — знак ограничения скорости до 5 км/час.

Транспортные КПП могут оборудоваться светофорами, весами для взвешивания автомобилей, досмотровой ямой или эстакадой для осмотра грузов, механизированными устройствами для автоматического открытия и закрытия ворот с фиксаторами.

Досмотровые площадки по периметру оборудуются физическими барьерами и рубежом сигнализации. Площадки, как правило, выгораживаются просматриваемым забором из металлической сетки или декоративных решеток высотой до 2,5 метра. На площадке оборудуются основные и вспомогательные механизированные ворота. Основные ворота устанавливаются на линии основного ограждения объекта, а вспомогательные — на противоположной стороне досмотровой площадки. Вместо ворот могут

применяться механизированные шлагбаумы. На автомобильных КПП используются ворота с ограничением и без ограничения габаритов по высоте. По конструкции они могут быть распашными или раздвижными (выдвижными). Распашные ворота должны оборудоваться фиксаторами.

Для регулирования движения транспорта, проходящего через проезды досмотровых площадок КПП, могут применяться двухсекционные светофоры с линзами красного и зеленого цвета.

В состав электромеханического оборудования КПП для автомобильного транспорта обычно включаются:

- электродвигатели, привод ворот;
- концевые выключатели автоматического отключения электродвигателей при полностью закрытых и открытых створках ворот;
- магнитные пускатели электродвигателей;
- электрооборудование светофоров;
- кабельные, силовые линии.

Групповой распределительный щит (щит управления) может устанавливаться в помещении КПП, а при отсутствии здания КПП – в специальном металлическом шкафу непосредственно на досмотровой площадке.

Допуск на территорию предприятия сотрудников, посетителей, транспортных средств

Проход сотрудников и посетителей на территорию объекта, в отдельные подразделения и обратно осуществляется через КПП по установленным на объекте пропускам. Пропуск должен являться основным документом, дающим право на проход.

В нерабочее время, выходные и праздничные дни допуск сотрудников на объект должен быть ограничен и производиться по предварительным заявкам (спискам) от руководителей подразделений, завизированным начальником службы безопасности, с предъявлением постоянного пропуска. На предприятиях со сменным режимом работы к пропуску могут выдаваться специальные вкладыши сменности.

Дежурные специальных служб объекта (электрики, сантехники, работники связи и т.д.), работающие посменно, допускаются на территорию объекта в нерабочее время, в выходные и праздничные дни по спискам, подписанным начальниками соответствующих служб и утвержденным начальником службы безопасности.

На основании действующего законодательства и решения администрации отдельные категории лиц пользуются правом прохода на объект без пропуска при предъявлении служебного удостоверения. К ним относятся:

- работники прокуратуры;
- работники милиции по территориальности;
- инспекторы труда, котлонадзора, энергонадзора по территориальности;
- должностные лица и отдельные категории работников санитарно-эпидемической службы органов здравоохранения, осуществляющие санитарный надзор.

Категории лиц, имеющих право прохода на объект без пропуска (по служебным удостоверениям), должны быть четко отражены в инструкции о контрольно-пропускном режиме. В целях осуществления пропускного режима на территории объекта и в его структурных подразделениях приказом директора предприятия утверждается перечень категорированных подразделений (помещений). В этих помещениях устанавливается специальный режим и повышенная ответственность за его соблюдение работниками этих подразделений. Допуск в эти помещения осуществляется строго по списку, согласованному со службой безопасности. Прием посетителей сторонних организаций и предприятий, как правило, максимально ограничивается.

Во всех помещениях категорированных подразделений должны быть вывешены списки работников, имеющих допуск в эти помещения. Все помещения по окончании работ осматриваются дежурными по подразделениям и лицами, ответственными за их противопожарное состояние. По окончании рабочего дня категорированные помещения запираются на замок, опечатываются и сдаются под охрану. Представитель охраны проверяет сигнализацию в присутствии работников, сдающих помещение. Ключи от этих помещений в опечатанных пеналах сдаются под расписку начальнику караула.

Получение ключей, вскрытие помещений, оборудованных охранной сигнализацией, производят лица, имеющие право вскрытия этих помещений с предъявлением постоянного пропуска. Списки лиц, имеющих право вскрывать (закрывать) указанные помещения, с указанием номеров печатей, которыми опечатываются помещения, и номеров служебных телефонов подписываются начальником подразделения и утверждаются начальником службы безопасности. Все лица, пытающиеся пройти через КПП без предъявления пропуска, по чужому или неправильно оформленному пропуску, пронести на объект (с объекта) запрещенные предметы, задерживаются и передаются сотрудникам службы безопасности предприятия. По каждому факту задержания начальник караула или дежурный по объекту составляет служебную записку о нарушении пропускного режима [2].

Допуск на территорию (с территории) предприятия транспортных средств, принадлежащих предприятию, производится при предъявлении водителем личного пропуска со специальным шифром или транспортного пропуска и путевого листа. Грузчики и сопровождающие лица, следующие с транспортом, пропускаются через КПП на общих основаниях. Все транспортные средства при проезде через КПП подвергаются досмотру. Въезд и стоянка на территории предприятия транспорта, принадлежащего сотрудникам на правах личной собственности, разрешается по специальным спискам.

Автомашины сторонних организаций, прибывшие с грузом в адрес предприятия в рабочее время, допускаются на территорию по служебным запискам с досмотром на транспортном КПП. Железнодорожный транспорт и обслуживающие его бригады пропускаются на предприятие по пропускам установленного образца, по спискам или иным порядком, установленным инструкцией о пропускном режиме. Опломбированные вагоны и контейнеры пропускаются через КПП после их внешнего досмотра, если оттиски пломб соответствуют оттискам в препроводительных документах или накладных. В случае несоответствия оттисков, обнаружения проломов вагона (контейнера) или обрыва пломбы вагон (контейнер) подлежит вскрытию и досмотру в присутствии представителей администрации и железной дороги.

Вывоз и вынос готовой продукции и других материальных ценностей с территории объекта осуществляется по материальным пропускам установленного образца. Все документы на вывозимые (выносимые) с предприятия материальные ценности регистрируются в бюро пропусков по книге учета и затем передаются в бухгалтерию. Документы на вывоз (вынос) материальных ценностей должны быть выписаны только на то количество груза (мест, веса и т.п.), которое может быть вывезено (вынесено) одновременно, и действительны только на дату, указанную в разрешительном документе.

Строительные и древесные отходы, макулатуру, металлолом, металлическую стружку рекомендуется вывозить с территории предприятия по приказ-счету как материальные ценности. Вывоз с территории объекта различного мусора, земли и снега может производиться без оформления документов, но с обязательной регистрацией на транспортном КПП.

Заключение

Система контрольно-пропускного режима неразрывно связана с процессом обеспечения безопасности предприятия. Любая система безопасности, предназначенная для

защиты объекта от угроз, связанных с действиями человека, техногенных или природных сил, должна включать систему идентификации по принципу «свой/чужой» или по уровню доступа для защиты как объекта — от проникновения посторонних лиц, так и человека — от опасных факторов, если они имеются на объекте.

Устанавливая и обеспечивая порядок перемещения персонала и посетителей по территории предприятия, система контрольно-пропускного режима решает не только вопросы безопасности предприятия, но и вопросы рациональной организации труда.

Организационно-административные меры и инженерно-технические решения в системе контрольно-пропускного контроля не могут существовать в отрыве от других элементов системы безопасности объекта и должны в нее органично вписываться. Именно поэтому системы контроля доступа являются обязательной структурой интегрированных систем безопасности [2].

В концепции построения интегрированных систем безопасности предприятия должны быть определены цели и задачи системы безопасности, принципы ее организации, функционирования и правовые основы, виды угроз безопасности и ресурсы, подлежащие защите, а также основные направления работ по реализации комплекса мер обеспечения безопасности, включая контрольно-пропускной режим.

Учитывая роль и место контрольно-пропускного режима в системе безопасности, необходимо применять комплексный подход для разработки мероприятий ограничения доступа. При решении задачи противодействия той или иной угрозе рассматриваются в совокупности все элементы системы: действия подразделений охраны, технические решения и организационно-административные меры. Применение комплексного подхода на этапе разработки системы контрольно-пропускного режима позволит избежать излишних затрат времени и ресурсов при создании интегрированной системы безопасности предприятия.

Литература

- 1. Азаров Е.Н. Добро пожаловать или посторонним вход воспрещен // Скрытая камера. 2003. № 4. С. 26–27.
- 2. Диева С.А., Шаваева А.Г. Организация и современные методы защиты информации. СПб: Питер, 2003.
- 3. Стасенко Л.Г. СКУД с чего начать? // Все о вашей безопасности. 2003. № 1. С. 8–9.
- 4. Трошев А.В. СКУД. Защита информации // Конфидент. 2002. № 1. С. 42–46.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ РАБОТА ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КРЕДИТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

В.А. Семенов, М.В. Лекомцева

В статье рассматриваются преступления в отношении банковских структур, а также основные принципы функционирования информационно-аналитического звена подразделения безопасности кредитной организации.

Уровень и интенсивность преступлений в отношении банковских структур и неэффективность противодействия им со стороны подразделений безопасности кредитных организаций свидетельствует о том, что эти подразделения недостаточно осведомлены о лицах, фактах и процессах как внутри банковской структуры, так и в ее окружении (под окружением понимается среда, в которой функционирует кредитная организация). Это свидетельствует о недостаточном внимании, которое уделяется информационно-аналитической и информационно-поисковой работе. Однако практика показывает, что они имеют решающее значение для эффективного обеспечения безопасности кредитной организации.

Основной причиной такого положения дел с информационным обеспечением является то, что в большинстве кредитных организаций в оценку деятельности подразделений безопасности не включается такой общепринятый в развитых странах Запада критерий, как создание ситуации стабильного, устойчиво безопасного функционирования кредитной организации, осуществляемое, прежде всего, за счет предупредительной и профилактической работы, главным инструментом которой является информационно-аналитическая работа.

Социальная и криминальная обстановка, складывающаяся в окружении банковских структур, особенности преступности определенным образом влияют на организацию и деятельность подразделений безопасности. Для учета особенностей и тенденций криминального воздействия подразделения безопасности должны постоянно осуществлять так называемый «криминологический» мониторинг, позволяющий уточнять тактику их работы и вовремя переориентировать свои подразделения на решение актуальных в данный момент задач [1].

Хотя на сегодняшний день законодательно не определены многие важные аспекты функционирования подразделений безопасности кредитных организаций, ст. 3 Федерального закона «О частной детективной и охранной деятельности» наделяет их правом проводить мероприятия по сбору сведений экономического характера, пресекать разглашение информации, составляющей коммерческую тайну (т.е. противодействовать экономическому шпионажу), устанавливать личность, проводить проверку деловых партнеров и пр. Из смысла этого закона вытекает, что сбор информации о лицах, фактах и обстоятельствах коммерческого, личного, конфиденциального и открытого характера в связи с интересами участников тех или иных деловых отношений является важнейшим аспектом частной охранно-детективной деятельности. Об этом же свидетельствует практика: анализ обобщенных сведений о характере деятельности подразделений служб безопасности по основным направлениям этой деятельности показывает, что они в значительной степени реализуются информационно-поисковыми и информационно-аналитическими методами. Важное значение этих методов определяется еще и тем, что они, при умелом использовании, позволяют получать необходимые сведения при минимальных затратах.

Необходимость обеспечения надежной полномасштабной защиты интересов кредитных организаций заставляет по-новому взглянуть на организацию и содержание информационно-аналитической работы в ней. В основу должен быть положен принцип,

согласно которому информационная потребность подразделения безопасности в максимальной степени отвечала бы информационным потребностям кредитной организации в целом, интересам ее основной коммерческой деятельности. Кроме того, финансовые и материально-технические возможности должны быть соизмеримы с создаваемым информационным продуктом.

Одна из основных задач подразделения безопасности заключается в своевременном получении информации упреждающего характера о тенденциях, фактах и явлениях, существующих в окружении кредитной организации, а также о реальных и потенциальных внешних угрозах ее функционированию. Качественной и своевременной информация становится при условии наличия таких ее параметров, как достоверность и значимость [2].

На стадии становления информационно-аналитической работы в кредитной организации сотрудники подразделения безопасности должны осуществлять следующие основные мероприятия:

- проведение инвентаризации уже имеющихся в кредитной организации информационных ресурсов и возможностей, т.е. оценки того, каким информационным массивом уже владеет кредитная организация и в какой информации ощущается потребность; какие материалы в принципе можно было бы получать (но пока вопрос с их получением не решен); какие материалы стоило бы иметь (но существуют сложности с их получением); насколько полно отслеживаются материалы СМИ, научных центров, консалтинговых фирм по вопросам, затрагивающим интересы кредитной организации и сферу ее деятельности;
- установление деловых контактов со специализированными информационными и консалтинговыми фирмами и определение возможностей (целесообразности) совместного решения отдельных задач, возникающих либо перед подразделениями безопасности кредитной организации, либо перед другими ее структурными подразделениями;
- установление очередности создания (приобретения) информационных баз данных с точки зрения удовлетворения информационных потребностей различных структур кредитной организации.

Основные принципы функционирования информационно-аналитического звена подразделения безопасности кредитной организации должны заключаться в следуюшем:

- оперативность и непрерывность процесса накопления, систематизации и обработки информации, постоянная структуризация и актуализация информационных массивов;
- максимальная отлаженность координации и взаимодействия с теми структурными подразделениями кредитной организации, которые являются регулярными потребителями информационного продукта;
- экономическая обоснованность в организации информационной работы;
- профессионализм сотрудников информационного звена [3].

Из основных принципов вытекают конкретные функциональные задачи осуществления информационно-аналитической работы, которые в общем виде можно сформулировать следующим образом:

накопление, систематизация и формализация, обработка, обобщение и анализ информации, необходимой как для подразделения безопасности кредитной организации, так и для тех его функциональных подразделений, с которыми установлены координационные связи и которые являются заказчиками информационного продукта (в качестве основных источников информации при этом выступают материалы, публикуемые СМИ, справочники, монографии, а также информационные базы данных государственных и коммерческих структур, к которым имеется открытый доступ);

- создание и использование автоматизированной системы информационного обеспечения, функционирующей в виде сопряженных баз данных, построенных на основе единых требований к отбору, накоплению, обработке и выдаче представляющих интерес сведений, а также создание автоматизированных рабочих мест, сопряженных с общей автоматизированной системой информационного обеспечения, для конкретных сотрудников подразделения безопасности;
- подготовка собственно информационного продукта: справки, тематические обзоры, исследования, методические рекомендации и т.п.

В процессе взаимодействия с тем или иным подразделением кредитной организации начинает вырисовываться его относительно постоянный интерес, касающийся того или иного информационного объекта (темы, проблемы). Такого рода интерес можно условно определить как длительное информационное задание, для выполнения которого производится определенная конкретная корректировка во всех трех указанных выше функциональных группах задач (либо появляются новые источники информации, либо вносятся коррективы в автоматизированную систему информационного обеспечения).

При организации информационно-аналитической работы необходимо избегать «информационной избыточности», т.е. сбора той информации, которая не нужна для принятия решений при проведении мероприятий по обеспечению безопасности кредитной организации. Она бывает трех видов: сведения, не имеющие отношения к содержанию принимаемых решений; сведения, поступающие в объеме, превышающем возможности своевременной обработки ее органом управления; излишние сведения, не прибавляющие ничего нового к уже имеющимся [4].

В последнее время очень острой стала проблема недобросовестной (незаконной) конкуренции, одним из наиболее распространенных способов которой является утечка информации о конкретных фактах, характеризующих кредитную организацию, сведения о которых она сама относит к числу конфиденциальных. Мотивы здесь могут быть разными, но конечная цель всегда одна — стремление вытеснить кредитную организацию с рынка банковских услуг и занять там ее место.

В банковском мире хорошо также известны «конфиденциальные» справки, аналитические отчеты и тому подобные материалы, достаточно профессионально выведенные на информационный рынок. В них бывает достаточно сложно отделить истину от целенаправленной дезинформации, выяснить источники их происхождения и локализовать последствия.

В этих условиях требуется применение специальных методов и средств по обеспечению безопасности деятельности кредитной организации. Одной из актуальных задач по созданию условий для дальнейшего развития любой банковской структуры является целенаправленное формирование имиджа кредитной организации, т.е. «деловой репутации надежного партнера» во властных и деловых кругах, который, в свою очередь, должен активно использоваться для расширения сфер ее деятельности.

Важность работы подразделений безопасности кредитных организаций в области создания и поддержания ее имиджа подтверждается опытом работы многих крупных банковских структур. При этом подразделения безопасности должны не подменять, а дополнять работу других подразделений по формированию гласного имиджа, используя наработанные ими при решении других задач возможности и методы.

В основу деятельности подразделения безопасности в этом направлении также должна быть положена информационно-аналитическая работа, отвечающая следующим принципам:

• утилитарность — формируемый имидж должен отражать объективное положение кредитной организации на рынке и создавать благоприятное её восприятие со стороны надзирающих контролирующих и правоохранительных органов, с одной стороны, и минимизировать вероятность «наездов» на нее любого характера, а также

- препятствовать попыткам проникновения криминальных структур в ее структуру, с другой стороны;
- конструктивизм побуждение к позитивным действиям в отношении кредитной организации, в том числе формирование мотивации к партнерству, а также позитивному восприятию исходящей из нее информации и рекомендаций на основе созданного информационного потенциала;
- профилактика криминогенных проявлений по отношению к кредитной организации через демонстрацию высокой защищенности банковской структуры и ее персонала.

Для решения указанных выше проблем подразделением безопасности должен быть налажен сбор и обобщение объективной информации о кредитной организации и ее ближайшем окружении, циркулирующей в различных источниках. На основе обобщения этой информации подразделение безопасности совместно с другими заинтересованными подразделениями должно формировать предложения для руководства кредитной организации о необходимых корректировках ее имиджевой политики, повышении адресности этой политики, создании информационных поводов, а также информировать его о конъюнктуре и специфике формирующегося информационного рынка, социальной значимости проводимых или планируемых спонсорских программ и т.п. Для обслуживания используемых информационно-аналитическим звеном подразделения безопасности средств электронно-вычислительной техники в целях минимизации расходов должны привлекаться специалисты соответствующих подразделений кредитной организации. В целом количественный состав информационно-аналитического звена подразделения безопасности определяется в зависимости от профессиональной подготовленности сотрудников, объема решаемых ими задач, а также имеющихся материально-технических возможностей.

Существенным моментом в организации деятельности информационно-аналитического звена подразделения безопасности кредитной организации являются вопросы, связанные с защитой накапливаемой и обрабатываемой информации, в частности, вопросы разграничения доступа к создаваемому и эксплуатируемому информационному массиву. Это предполагает необходимость тесного взаимодействия со специалистами, ответственными за обеспечение информационной безопасности.

Таким образом, в результате проведенного анализа деятельности подразделений безопасности кредитных организаций сформулированы основные принципы функционирования информационно-аналитического звена.

Литература

- 1. Калугин Н. Организация информационно-аналитической работы подразделения безопасности // Информационно-аналитический бюллетень «Банкир» Главного управления Банка России по Санкт-Петербургу. 2001. № 4. С. 55–58
- 2. Мак Мак. Разведывательное подразделение службы безопасности предприятия // Мир безопасности. 1998. № 1. С. 22–25.
- 3. Базанов А., Цветкова Т. Информационная работа службы безопасности. // Банковские технологии. 1998. С. 60–61.
- 4. Шаваев А.Г. и др. Экономическая безопасность. Энциклопедия. М.: Издательский дом «Правовое просвещение», 2001.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Д.В. Соловьев, В.Н. Фролков

В статье рассматриваются перспективные характеристики оптического волокна, применимые в таких сферах, как управление критическими системами. Рассматриваются две критические системы управления – лазерная система для осуществления термоядерного синтеза и система управления нестационарными объектами.

Ввеление

В основных направлениях экономического и социального развития ставится задача развивать производство электронных устройств регулирования и телемеханики, исполнительных механизмов, приборов и датчиков систем комплексной автоматизации сложных технологических процессов, агрегатов, машин и оборудования. Для осуществления автоматического управления создается система, состоящая из управляющего объекта и тесно связанного с ним управляющего устройства. Как и всякое техническое сооружение, систему управления стремятся создать как бы конструктивно жесткой, динамически «прочной». Изменения автоматически управляемых систем, связанные с повышением интенсивности процессов, усложнением структуры и повышением требований, предъявляемых к скорости протекания, точности и качеству процессов, приводят к необходимости более эффективных аналитических методов исследования систем.

Совокупность средств управления и объекта образует систему управления. Система, в которой все рабочие и управляющие операции выполняются автоматическими устройствами без участия человека, называются автоматической системой (АСУ). Круг объектов и операций управления весьма широк. Он охватывает технологические процессы и агрегаты, группы агрегатов, цехи, предприятия, человеческие коллективы, организации и т.д.

В настоящее время все большее распространение получают системы управления на основе оптического волокна. Это можно объяснить тем, что оптические волокна имеют ряд несомненных преимуществ, таких как:

- широкополосность (до нескольких десятков терагерц);
- малые потери (минимальные -0.154 дБ/км);
- малый диаметр (около 125 мкм);
- малая масса (приблизительно 30 г/км);
- эластичность (минимальный радиус изгиба 2 мм);
- механическая прочность (выдерживает нагрузку на разрыв примерно 7 Кг);
- отсутствие взаимной интерференции (перекрестных помех типа известных в телефонии «переходных разговоров»);
- безындукционность (практически отсутствует влияние электромагнитной индукции, а, следовательно, и отрицательные явления, связанные с грозовыми разрядами, близостью к линии электропередачи, импульсами тока в силовой сети);
- взрывобезопасность (гарантируется абсолютной неспособностью волокна быть причиной искры);
- высокая электроизоляционная прочность (например, волокно длиной 20 см выдерживает напряжение до 10 000 В);
- высокая коррозионная стойкость, особенно к химическим растворителям, маслам, воде.

Введем понятие критической системы управления. Стремительное расширение сфер внедрения вычислительной техники охватило и так называемые АСУ критического применения (КСУ), представляющие собой АСУ критическими объектами. К таким

объектам можно отнести военные объекты, экологически опасные производства, атомные станции, объекты транспорта, связи, финансово-кредитные сферы и т.д. Критические объекты характеризуются тем, что размеры ущерба или других последствий, которые могут возникнуть в результате нарушения их работоспособности, сбоев и отказов в работе, оказываются неприемлемыми для общества. В связи с этим в КСУ на первый план выходят задачи обеспечения надежности их функционирования.

Рассмотрим теперь несколько моментов практического применения оптического волокна в критических системах управления, а именно в лазерной системе для осуществления термоядерного синтеза и в системах управления нестационарными объектами.

Лазерная система для осуществления термоядерного синтеза

Заинтересованность в лазерах как возможных источниках энергии возникает в связи с особенностями импульсного высвобождения энергии из мишени с термоядерным топливом без внешнего удержания [1].

Система с помощью компьютеризированной синхронии должна обеспечить передачу 192 лучей NIF длиной 20 наносекунд по 1-километровой оптической дорожке и их прибытие в пределах 30 пикосекунд в центр камеры мишени 10 метров в диаметре. Основной задачей является сосредоточение полной энергии 1,8 МДж на двухмиллиметровой капсуле, содержащей дейтерий и тритий, с точностью 50 мкм [2]. Схема системы представлена на рис. 1.

Решение задач диагностики лазерных импульсов в ультрафиолетовой области спектра потребовало создания оптических волокон с минимально возможным поглощением в области 351 нм и минимально искажающих форму импульса (см. табл. 1).

Характеристики волокна	Предъявляемые требования	
Тип профиля	градиентное	
Временная дисперсия (351 нм)	0,4 пс/м	
Затухание (351 нм)	150 дБ/км	
Числовая апертура (351 нм)	0,135±0,01	
Диаметр сердцевины	435 мкм	
Диаметр оболочки	590 мкм	
Диаметр покрытия	760 мкм	

Таблица 1. Требования к передаточным характеристикам волокна NIF с высокой пропускной способностью и высокой прозрачностью в УФ

Оптические волокна, обладающие высокой пропускной способностью и низким затуханием, должны передавать ультрафиолетовые лазерные диагностические сигналы длительностью в долю наносекунды из камеры мишени до контролирующих приборов, расположенных в смежных комнатах, с помощью нескольких волокон, с длиной порядка 65 м. Для выполнения этой задачи были разработаны и изготовлены специальные оптические волокна, так как никакие доступные волокна не обладают всеми требуемыми характеристиками. Они обладают большим диаметром сердцевины (435 мкм), имеют оптическую дисперсию меньше чем 0,9 пс/м и затухание менее чем 150 дБ/км на длине волны 351 нм [3].

На рис. 2 показана форма сигнала на длине волны 351 нм, полученного экспериментально в высокоточной системе контроля при передаче через волокно длиной 25 м.

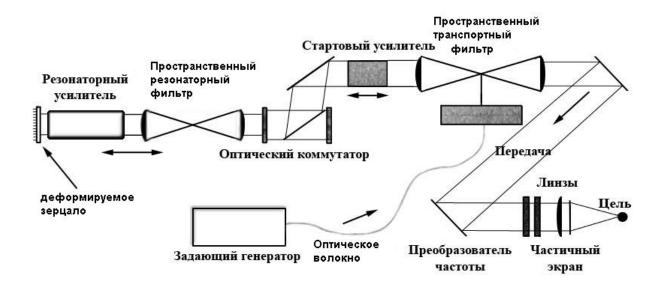


Рис. 1. Схема передачи лазерных импульсов (351 нм)

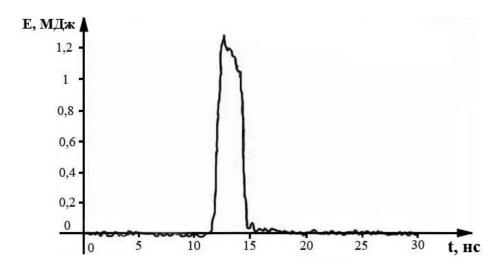


Рис. 2. Типичный сигнал на длине волны 351 нм, полученный датчиком контроля энергии в высокоточной системе контроля после прохождения 25 м волокна

Применение волокна в системах управления нестационарными объектами

По мере проведения исследований и разработок методов создания волокон с малыми потерями и высокой прочностью на разрыв становится реальным применение систем с разматываемым кабелем. Команды управления передаются по этому кабелю к летательному аппарату, а с него на наземный пункт передается видеоинформация, на основе которой вырабатываются команды. В результате получается помехозащищенная система связи с летящим объектом, не требующая прямой видимости (рис. 3). К основным требованиям, предъявляемым к этим кабелям, относятся малый диаметр, малая масса, высокая прочность, широкая полоса пропускания, низкий уровень затухания и возможность эксплуатации в экстремальных условиях [4].

Известно, что стеклянные волокна, находящиеся под растягивающей нагрузкой, ведут себя как линейные упругие твердые тела до тех пор, пока внутреннее напряжение в некоторой точке тела не достигнет критического значения, при котором наступает хрупкий разрыв в этой точке. Поскольку напряжение наиболее сильно в вершинах трещин и дефектах, прочность волокна зависит от их распределения.

Характеристики волокна	Особо прочное	Обычное волокно
	волокно	
Тип профиля	градиентное	градиентное
Затухание (1,3 мкм)	2,3 дБ/км	0,5 дБ/км
Радиационная стойкость	10 ⁸ рад	10 ⁵ рад
Диаметр сердцевины	35 мкм	50 мкм
Диаметр оболочки	125 мкм	125 мкм
Диаметр покрытия	400 мкм	250 мкм
Усилие на разрыв	60 H	7 H
Минимальный радиус изгиба	3 мм	25 мм
Ширина полосы пропускания	450 МГц·км	250 МГц∙км

Таблица 2. Сравнительные характеристики особо прочных волокон, используемых для управления летательными аппаратами

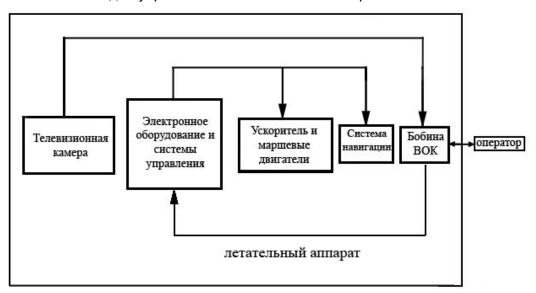


Рис. 3. Система управления летательным аппаратом на основе особо прочного ВОК

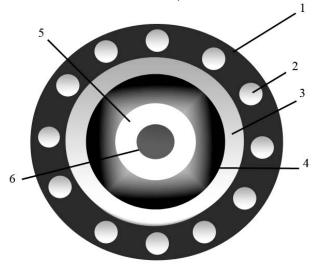


Рис. 4. Поперечное сечение волоконно-оптического кабеля для управления летательным аппаратом: 1 — полиамидное покрытие (400мкм), 2 — усиливающие терлоновые нити (12 мкм), 3 — эпоксиокрилатное покрытие (230 мкм), 4 — силиконовое покрытие (200 мкм), 5 — оболочка волокна (125 мкм), 6 — сердцевина волокна (35 мкм)

Конструкция кабеля должна обеспечивать защиту стеклянных волокон от повреждения во время изготовления, прокладки и эксплуатации и удовлетворять требованиям на изгибы, удары, давления (см. табл. 2). Для защиты волокна от растягивающих напряжений, превышающих допустимые, в кабеле необходимо предусматривать упрочняющие элементы. Материал и количество этих элементов выбирается из расчета обеспечения достаточной жесткости при растяжении в пределах малого допустимого удлинения световодов [3]. Поперечное сечение волоконно-оптического кабеля для управления летательным аппаратом представлено на рис. 4.

Выводы

Оптическое волокно находит широкое применение в системах управления, в том числе в критических. Это обусловлено неоспоримыми преимуществами оптического волокна по сравнению с кабельными или радиопередающими системами. Понятно, что изготовление специализированного волокна, подходящего под конкретные условия эксплуатации, является вполне возможным и перспективным направлением при решении задач увеличения надежности критических систем управления.

Литература

- 1. Бранер К., Джорна С. Управляемый лазерный синтез. М.: Атомиздат, 1977. 144 с.
- 2. Андреев А.А. Генерация и применение мультитераваттных лазерных импульсов. / Труды ГОИ. 2000. Т. 84. Вып. 218. С. 21–39.
- 3. Dukel'sky K.V., Kondrat'ev Y.N. et al. Low-dispersion optical fiber highly transparent in the UV spectral range // Opt. Engineering. 2004. V. 43. № 12. P. 2896–2903.
- 4. Барноски М.К. Волоконно-оптические системы для военных применений. // ТИИЭР, 1980. Т. 68. № 10. С. 180–186.
- 5. Шварц М.И., Гейген П.Ф., Сантана М.Р. Проектирование и основные характеристики световодного кабеля. // ТИИЭР. 1980. Т. 68. № 10. С. 54–60.

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Д.В. Осломенко

В статье рассмотрены проблемы существующих систем защиты информации и предложен принципиально новый подход к созданию высокоэффективных систем защиты информации, реализующий технологию автоматизированных систем защиты информации, основанную на известном сетевом подходе к проектированию систем комплексной безопасности.

Введение

Сегодня неуклонно возрастают угрозы со стороны криминальных сообществ, сил международного и отечественного терроризма. Не снижается уровень опасности противоправных действий конкурирующих структур. В то же время технические средства перехвата информации и способы их применения становятся все более совершенными и изощренными. Все это заставляет руководителей предприятий и служб безопасности постоянно совершенствовать и развивать имеющуюся на предприятии систему защиты информации. Но, развивая существующие локальные системы защиты информации, мы сталкиваемся с большим количеством недостатков, что существенно понижает эффективность системы. В работе излагаются проблемы существующих систем и предлагается новый подход к созданию высокоэффективных систем защиты информации.

Требования к защите информации и ее состав

Требования, предъявляемые сегодня к системе защиты информации, чрезвычайно высоки. Система должна быть комплексной и достаточно надежной для гарантированного предотвращения утечки защищаемой информации по всем техническим каналам, управляемой и гибкой (наращиваемой) для обеспечения уровня защиты, адекватного уровню угроз. При этом высокая эксплуатационная надежность системы сегодня практически недостижима без такой ее важной характеристики, как возможность оперативного контроля работоспособности и состояния технических средств защиты информации. В идеале такой контроль должен обеспечиваться практически в реальном масштабе времени. Такие же требования предъявляются сегодня к мониторингу технических каналов утечки информации и контролю соответствия показателей, обеспечиваемых системой защиты информации, установленным нормативам.

Рассмотрим структуру современной комплексной системы обеспечения информационной безопасности выделенного помещения. В ее состав входят подсистемы:

- защиты от утечки по акустическим и виброакустическим каналам,
- защиты от утечки по цепям электропитания,
- защиты телефонных проводных линий,
- предотвращения использования телефонов сотовой связи,
- защиты от утечки по каналам ПЭМИН,
- защиты от несанкционированной звукозаписи,
- обнаружения источников радиоизлучения и видеокамер,
- контроля и управления доступом в помещение, сигнализации и др.

Система состоит из довольно большого количества компонент (подсистем). Каждая из подсистем включает одно, а иногда и несколько технических средств защиты. Функции включения и выключения этих средств, а также контроля их работоспособности сегодня обычно возлагаются на работающий в помещении персонал или специалистов службы безопасности предприятия. В случае, когда требуется обеспечить защиту одного помещения, развертывание и эксплуатация такой системы не вызывает особых

проблем. Однако, если защите подлежит несколько удаленных друг от друга помещений, то простое клонирование автономных локальных систем безопасности приводит к возникновению ряда проблем.

Недостатки локальных систем защиты информации

Наиболее острая проблема заключается в сложности обеспечения оперативного контроля за состоянием системы защиты информации. Если функции включения и выключения технических средств защиты информации возложены на специалистов службы безопасности, то, скорее всего, количество этих специалистов на крупном предприятии явно превышает оптимальное. Если же выполнение этих функций возложено на конечных пользователей, то можно с уверенностью утверждать, что безопасность информации на данном предприятии — не на высоте.

В самом деле, трудно быть уверенным в том, что ни один из пользователей по своей забывчивости, лени или из злого умысла хотя бы раз не нарушит установленный порядок применения средств защиты. Более того, если такое нарушение все же про-изошло, установить виновника утечки информации и, тем более, документально доказать его вину, скорее всего, не удастся.

Выход очевиден: включение, выключение, контроль состояния и работоспособности технических средств защиты информации следует осуществлять аппаратными средствами, причем таким образом, чтобы оперативный контроль состояния и эффективности системы защиты информации мог осуществляться одним, максимум — двумя специалистами. Таким образом, говоря о крупных объектах информатизации, мы неминуемо приходим к выводу о необходимости жесткой централизации управления работой технических средств и всей системой защиты информации, в целом.

Крупные объекты информатизации требуют особого подхода к созданию систем защиты информации. Для таких объектов характерны более жесткие требования по надежности системы защиты информации. На них должно обеспечиваться оперативное выявление внезапно возникающих в системе защиты «дыр», а это возможно лишь при осуществлении постоянного мониторинга технических каналов утечки информации. Локальные решения для защиты выделенных помещений, предлагаемые сегодня корпоративным заказчикам большинством фирм, являются недостаточно результативными и не позволяют достичь высокой эффективности системы защиты.

Основными недостатками локального подхода к защите информации на крупных объектах информатизации являются:

- отсутствие гарантий своевременного включения средств защиты конечными пользователями как одна из возможных причин утечки защищаемой информации;
- невозможность оперативного обнаружения неисправностей аппаратуры защиты информации;
- невозможность обеспечить в реальном масштабе времени комплексный мониторинг технических каналов утечки информации на объекте;
- невозможность обеспечить централизованный контроль эффективности функционирования системы в целом;
- необходимость в большом количестве персонала, имеющего специальную подготовку по вопросам защиты информации;
- невозможность перейти от порочной системы коллективной ответственности персонала за соблюдение режима эксплуатации средств защиты к личной ответственности диспетчера, легко обеспечиваемой в системе с централизацией функций управления.

Сущность сетевого подхода к проектированию систем защиты информации. Преимущества сетевых систем

Рассмотрим принципиально другой подход к созданию высокоэффективных систем защиты информации, реализуемый на технологии автоматизированных систем защиты информации, основанной на известном сетевом подходе к проектированию систем комплексной безопасности объектов. Преимущества сетевых систем неоспоримы. Однако в системах защиты информации сетевые технологии до сих пор не применялись из-за проблем, связанных с возможной дополнительной утечкой защищаемой информации за пределы контролируемых зон. Но эти проблемы вполне решаемы, что позволяет открыть дорогу для широкого использования сетевых технологий в области защиты информации.

Автоматизированная система защиты информации, проектируемая в соответствии с требованиями заказчика, принадлежит к классу распределенных систем и отвечает принятым во многих странах мира общеевропейским стандартам международной ассоциации European Installation Bus Association (EIBA).

Основой сетевого решения является *индустриальная управляющая шина*, которая объединяет разрозненные локальные подсистемы и оконечное оборудование в единую систему. К шине в качестве оконечного оборудования могут подключаться:

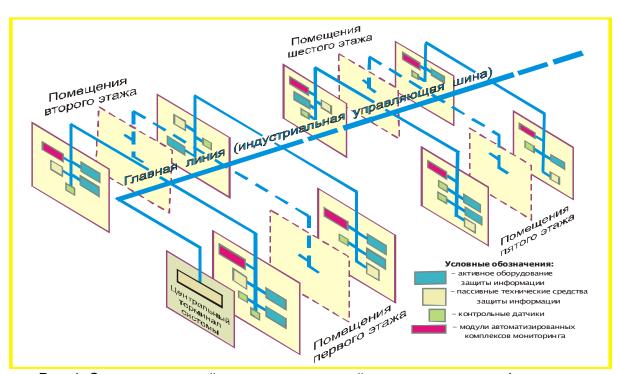


Рис. 1. Структура сетевой автоматизированной системы защиты информации

- активное оборудование защиты информации (генераторы радиошума, виброакустические генераторы, подавители средств аудиозаписи и сотовой связи и др.);
- контрольные датчики (акселерометры, детекторы поля и др.);
- модули автоматизированных комплексов мониторинга технических каналов утечки информации,
- центральная консоль для управления системой.

Каждое оконечное устройство имеет в системе свой уникальный адрес, благодаря которому становится возможным осуществлять взаимодействие этого устройства с центральной консолью, любым другим компонентом или группой компонентов, входящих в систему.

Физическое соединение локальных устройств (датчиков, управляющих или исполнительных устройств) осуществляется по топологиям «звезда», «шина» или «дерево». При таком построении системы выход из строя какого-либо локального устройства не влияет на работу остальных элементов системы.

Наличие стандартного интерфейса RS-232 позволяет программировать систему, получать данные объективного контроля в реальном масштабе времени и осуществлять централизованный мониторинг с помощью персонального компьютера, который может быть установлен в отдельном помещении, например, в помещении оперативного дежурного службы безопасности объекта или в специальной комнате защиты информации.

Система, созданная с использованием такой технологии, обладает исключительной гибкостью. Расширение системы, изменение ее функций или характеристик достигаются простой перестановкой, добавлением или же перепрограммированием ее компонентов. К несомненным достоинствам системы следует отнести:

- централизованное управление компонентами системы с диспетчерского пульта или компьютера, обеспечивающее гарантированное своевременное включение и оперативное выявление отказов технических средств защиты, установленных в конкретном защищаемом помещении;
- простоту работ по наращиванию и любому другому изменению конфигурации системы;
- давно освоенную стандартную технологию проектирования и прокладки проводных линий;
- существенное уменьшение затрат на проектирование и прокладку проводных линий по сравнению с централизованной системой, создаваемой на объекте на базе нескольких автономных локальных систем защиты информации;
- значительное снижение эксплуатационных расходов, прежде всего за счет сокращения числа необходимых для эксплуатации такой системы высококвалифицированных специалистов;
- весьма ощутимое понижение вероятности утечки охраняемых сведений через персонал в связи с сокращением числа работников, хорошо осведомленных обо всех особенностях системы защиты информации и имеющих доступ как к средствам защиты, так и к самой защищаемой информации.

Пример сетевой автоматизированной системы защиты информации крупного административного объекта

Рассмотрим в качестве примера функции и структуру разработанной автоматизированной системы защиты информации крупного административного объекта (рис. 2). Функционально эта система обеспечивает защиту информации в выделенных помещениях от утечки по акустическим, виброакустическим, визуально-оптическим техническим каналам, по цепям электропитания и радиоканалам. Структурно она представляет собой взаимосвязанную совокупность активного оборудования защиты информации, подсистемы радиомониторинга защищаемых помещений и автоматизированной подсистемы управления средствами защиты информации.

При обследовании объекта было выделено четыре типа защищаемых помещений, отличающихся друг от друга размерами, характером деятельности персонала, циркулирующей в помещениях информации и установленного оборудования. Для каждого типа помещений был определен оптимальный по своему составу набор технических средств защиты информации.

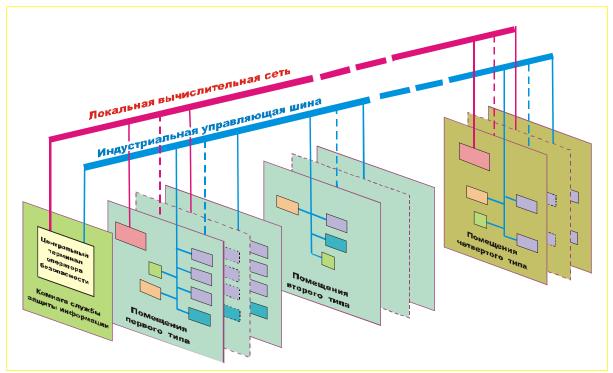


Рис. 2. Пример сетевой автоматизированной системы защиты информации крупного объекта

Все активные технические средства защиты информации подключены к одной двухпроводной линии – индустриальной управляющей шине. Для работы оборудования автоматизированного комплекса радиомониторинга ввиду большого объема циркулирующей информации прокладывается выделенная локальная вычислительная сеть. Важно, что при этом нет необходимости в применении специальных технологий. Мы опираемся на стандартную, освоенную множеством строительно-монтажных организаций технологию проектирования и прокладки проводных линий.

Подсистема радиомониторинга обеспечивает выявление несанкционированных радиосигналов в каждом охваченном контролем помещении. Процесс анализа радио-электронной обстановки проходит не последовательно, а одновременно (параллельно) во всех помещениях, что позволяет обнаруживать появление радиоканалов утечки информации практически в реальном масштабе времени.

Автоматизированная подсистема управления обеспечивает включение, выключение, поэлементный контроль состояния и работоспособности всего оборудования системы защиты информации. Управление осуществляется с центрального терминала оператора безопасности, размещенного в комнате службы защиты информации.

Принципиально важным является то, что в этой сетевой системе удается избежать появления дополнительных технических каналов утечки информации из защищаемых помещений. Программное обеспечение предлагает такой обмен, при котором в сети отсутствует сколько-нибудь значимая информация, нуждающаяся в защите. Кроме того, выходящие из защищаемого помещения проводные линии зашумляются.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

Неуклонному возрастанию уровня угроз информации должно быть противопоставлено опережающее развитие систем ее защиты.

Постепенное эволюционное наращивание возможностей локальных автономных систем – тупиковый путь развития систем защиты информации для крупных организаций и объектов информатизации. Он ведет к перерасходу материальных, трудовых, финансовых ресурсов, необоснованному раздуванию штатов специалистов защиты информации. В то же время он не позволяет обеспечить гарантированное и своевременное включение средств защиты, оперативно обнаруживать неисправности этих средств, эффективно решить проблемы централизации управления системой, контроля ее эффективности, мониторинга технических каналов утечки информации в реальном масштабе времени.

Сетевая технология проектирования и формирования систем защиты информации свободна от этих недостатков и потому по праву может считаться магистральным путем развития систем защиты информации.

- Системы, создаваемые по этой технологии, по самой своей сути являются модульными и комплексными, им органически присуща гибкость, способность к наращиванию возможностей и любым другим изменениям конфигурации.
- Централизация управления и контроля, обеспечиваемая сетевыми системами, позволяет резко поднять эффективность защиты при одновременном резком сокращении затрат на эксплуатацию системы.
- Сетевые системы легко обеспечивают возможность ведения постоянного, в реальном масштабе времени мониторинга технических каналов утечки информации, что представляется совершенно необходимым при современном уровне развития средств негласного съема информации.
- Сетевые системы позволяют резко снизить вероятность утечки защищаемой информации из-за ошибочных или преднамеренных действий персонала. Управление и контроль работы средств защиты информации легко осуществим аппаратными средствами с автоматическим документированием результатов контроля.
- Наконец, сетевая технология позволяет создать систему, которая легко интегрируется с другими системами безопасности и жизнеобеспечения объектов. Сетевая система защиты информации полностью соответствует требованиям, вытекающим из содержания концепции интеллектуального здания, и органично вписывается в структуру образующих его элементов.

. Литература

- 1. Хорев А.А. Способы и средства защиты информации. М.: МО РФ, 1998. С. 320–325
- 2. Защита речевой информации: технические средства и услуги // Конфидент. 2001. № 4. С. 82.

ФИЗИКА

ВНЕДРЕНИЕ ОТКРЫТОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА SCORM В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

С.К. Стафеев, М.В. Сухорукова, М.А. Пашковский, Н.В. Клепинина

В результате развития рынка электронного образования, появления компаний-поставщиков учебного материала и внедрения систем дистанционного обучения возникла потребность в стандартизации обмена учебными материалами. Отсутствие таких стандартов приводит к высокой стоимости их переноса в каждую конкретную систему дистанционного обучения, что сужает рынок и затрудняет его развитие. Наличие стандарта SCORM позволяет говорить о рынке дистанционных учебных курсов, отчуждаемых от разработчика.

Введение

Наличие международных стандартов дает возможность вузу сосредоточиться на учебных курсах, максимально отвечающих его специфике. С другой стороны, вуз сам может выступать в роли поставщика учебных материалов для других вузов или коммерческих компаний. Наличие стандартов снижает зависимость вуза от производителя конкретного инструментария или системы дистанционного обучения, что обеспечивает долговременную сохранность вложений в систему дистанционного обучения даже при изменении ситуации на рынке программного обеспечения. [1]

Критическим моментом при организации электронного (e-learning) обучения является выбор системы хранения, управления, внесения изменений в содержание учебных ресурсов. Эти возможности могут быть реализованы набором стандартных средств (обычная и электронная почта, телефон, доски объявлений, электронные таблицы и базы данных), однако такие функции, как правило, реализуются специализированными программными сетевыми системами.

Используется следующая классификация таких систем.

- Системы управления обучением (LMS Learning Management System и VLE Virtual Learning Environments). Основная задача таких систем автоматизация и информатизация административных процессов при организации обучения, связанных с хранением и управлением информации об учебных курсах, аттестационных результатах обучения, различных персональных данных об учащемся, планирование графика процесса обучения и отслеживание его выполнения.
- Инструментальные средства для разработки обучающих программ (Authoring software). программное обеспечение, предназначенное для создания информационно-методического наполнения учебных курсов (контента) преподавателями и методистами, не имеющими опыта работы в сфере информационных технологий. В мировой практике к учебным материалам, созданным с помощью таких средств, предъявляются требования строгого соответствия определенным стандартам и спецификациям, разрабатываемым международными ассоциациями и консорциумами.
- Системы управления учебным контентом (LCMS learning content management system). Предназначены для создания, хранения, управления и предоставления учащемуся информационного учебно-методического наполнения курсов. Создание содержания (контента) трудоемкий процесс, требующий постоянного обновления в соответствии с изменяющимися условиями процесса обучения и требований к учащимся [2].

Обзор существующих стандартов

Существуют стандарты консорциумов IMS, ADL SCORM, IEEE, AICC.

Стандарт АІСС. Первая попытка стандартизации была предпринята в авиационной индустрии. В этой отрасли традиционно использовалось компьютерное обучение (главным образом с использованием имитаций). Кроме того, при небольшом количестве поставщиков (производителей самолетов) присутствовало большое количество потребителей учебных программ (авиакопаний).

В результате скоординированных действий потребителей и поставщиков была сформирована комиссия – AICC (Aviation Industry CBT Comission), разработавшая одноименный стандарт. AICC - первый стандарт обмена учебными материалами.

Стандарт IMS QTI (Instructional Management System Question & Test Interoperability – Интероперабельность вопросов и тестов). Наиболее распространенными на сегодняшний день являются стандарты, предложенные консорциумом IMS (Instructional Management Systems Global Learning Consortium – Всемирный Консорциум по системам управления обучением).

Спецификация совместимости систем тестирования IMS QTI (Question & Test Interoperability) предусматривает создание тестовых заданий любой структуры и сложности, используя XML. Таким образом, создание и редактирование тестов не связано с системой тестирования. Тестирование может проводиться по сети или в локальном режиме. Поскольку тесты и результаты тестирования не зависят от программной оболочки, они будут существовать и после смены программной оболочки тестирования. Появляется возможность создавать, редактировать, накапливать и архивировать тесты в виде, не зависящем от программной системы.

Все спецификации IMS основаны на XML-формате, предлагающем мощный синтаксис и позволяющем создавать структуры для эффективного обмена информацией.

Стандарты IMS поддерживает и компания Macromedia.

Стандарта IEEE LOM (Learning Object Metadata – Метаданные учебного объекта). Цель стандарта – облегчить поиск, рассмотрение и использование учебных объектов учителями, инструкторами или автоматическими процессами в ходе выполнения программ, а также облегчить совместное использование таких объектов путем создания каталогов и хранилищ.

Стандарт предлагает базовую схему, которая может использоваться для создания практических разработок, например, с целью автоматического адаптивного назначения учебных объектов тем или иным агентам программного обеспечения.

Стандарт не определяет, каким способом обучающие системы будут представлять или использовать метаданные учебных объектов.

Стандарт ADL SCORM (Advanced Distributed Learning Initiative Network, ADL) создан для интеграции различных стандартов и спецификаций (например, LOM, IMS CP) в единую модель содержания. SCORM представляет техническую инфраструктуру, позволяющую совместно использовать объекты в распределенной обучающей среде.

Стандарт ADL / SCORM

В США существует государственная организация ADL (Advanced Distributed Learning, Продвинутое распределенное обучение), использующая адаптированные варианты спецификаций из разных источников для создания эталонной модели, при помощи которой производится тестирование и оценка опытных образцов учебных ресурсов. Модель SCORM (Sharable Content Object Reference Model, Модель обмена учебными материалами) была разработана организаций ADL и получила самое широкое распространение среди продуктов стандартизации электронного обучения. SCORM – это,

скорее, не стандарт, а эталон, при помощи которого проверяется эффективность и практическая применимость набора отдельных спецификаций и стандартов. Цель этой модели – добиться того, чтобы все элементы обучающих программ были функционально совместимы со всеми системами LMS (learning management system – системы организации обучения) и средами VLE. Т.е., любую обучающую программу можно ввести в любую систему организации обучения, и между ними будет возможен обмен данными. В настоящее время в России не существует обязательных стандартов.

На сегодняшний день выпущены три версии SCORM:

- 1. SCORM 1.1 первая версия SCORM, не получила широкого применения
- 2. SCORM 1.2 решает многие проблемы версии 1.1, это была и есть наиболее широко применяемая версия
- 3. SCORM 2004 (известная еще как SCORM 1.3) самая последняя версия. Адаптация этой версии протекает медленно, но число разработчиков, использующих SCORM 2004, существенно растет.

Основное содержание стандарта описывает:

- 1. Run Time Environment механизмы взаимодействия, воспроизведения и запуска учебных материалов в среде выполнения на основе стандартного интерфейса и модели данных;
- 2. Content Aggregation Model структуру учебных материалов, метаданные, структуру данных для генерации пакетов курсов;

The Run-Time Environment

Все коммуникации между контентом и LMS осуществляются через API-адаптер, автору контента не надо беспокоится о связи с сервером, ему только нужно найти API-адаптер и сделать соответствующие JavaScript-запросы, используя следующие восемь функций:

- LMSInitialize()
- LMSFinish()
- LMSGetValue()
- LMSSetValue()
- LMSCommit()
- LMSGetLastError()
- LMSGetErrorString()
- LMSGetDiagnostic()

Это разделение клиента и сервера гарантирует мобильность контента. Важно заметить, что контент может связываться с LMS только через этот JavaScript-API-адаптер. Чтобы работать с API адаптером, нужно его инициализировать, вызвав функцию LMSInitialize(); для завершения работы с контентом необходимо вызвать функцию LMSFinish().

Реально необходимо более богатое взаимодействие — нужно иметь возможность сообщать результаты теста, прослеживать затраченное время, хотим оставлять закладку на месте последней позиции и т.д. Для этого используются следующие три функции. LMSGetValue() извлекает значение элемента модели данных из LMS, LMSSetValue() записывает значение элемента модели данных в LMS, а функция LMSCommit() может быть вызвана после того, как значения получены, чтобы быть уверенными, что данные сохранились.

Остальные три функции требуются для работы с ошибками.

Модель Content Aggregation Model

SCORM CAM описывает компоненты, используемые в процессе обучения: как упаковывать эти компоненты для обмена между системами, как описать эти компоненты, чтобы облегчить их поиск, и как упорядочить содержащуюся в них информацию.

The Content Aggregation Model разделен на три части: Content Model, the Meta-data and Content Packaging.

Content Model разбивает содержание на произвольного размера разделы (модули), многократно используемые.

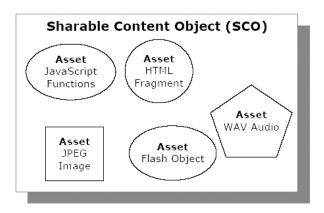


Рис.1. Sharable Content Objects

Эти разделы названы Sharable Content Objects (SCOs) и Assets. Assets включают в себя картинки, звуковые файлы, Flash-клипы и т.д. SCO – это коллекция одного или нескольких assets, которая представляет логический раздел обучения. Каждый SCO может быть использован многократно.

Содержание организовано следующим образом: коллекцию образовательных ресурсов представляют в виде иерархической структуры – в виде дерева с вложенными заголовками ресурсов. Заголовок ресурса ссылается на конкретный раздел содержания, на SCO или Assets.

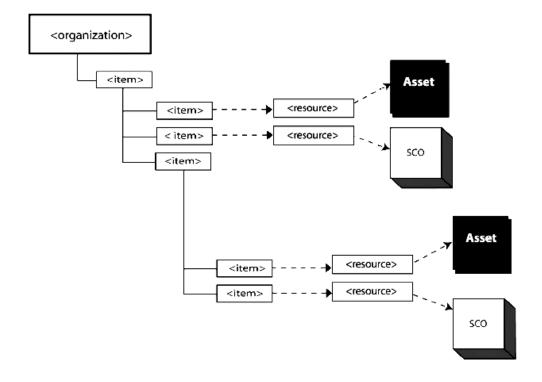


Рис. 2. Организация метаданных

SCORM Meta-data обеспечивает механизм описания используемого контента посредством общего словаря. Meta-data описывает обучающий ресурс таким образом, что найти его в системе не составляет труда.

Словарь разбит на девять категорий.

- 1. The *General* category группирует общую информацию, которая описывает ресурс в целом.
- 2. The *Lifecycle* category группирует информацию, касающуюся предыдущего и текущего состояния этого ресурса, информацию о тех, кто воздействовал на этот ресурс.
- 3. The *Meta-metadata* category группирует информацию относительно записи метаданных.
- 4. The *Technical* category формирует технические требования к характеристикам ресурса.
- 5. The *Educational* category группирует образовательные и педагогические характеристики ресурса.
- 6. The *Rights* category группирует интеллектуальные права собственности и условия пользования ресурсом.
- 7. The *Relation* category группирует возможности по определению связей между этим и другими ресурсами.
- 8. The Annotation category описывает использование образовательного ресурса.
- 9. The *Classification* category описывает, где этот ресурс находится внутри специфицированной системы классификации.

Content Packaging используется, чтобы облегчить взаимодействие между системами, все содержание должно быть упаковано аналогичным способом. Content Packaging требует все содержание помещать в папку или ZIP-файл, названный PIF. Package Interchange File (PIF) связывает компоненты контента в форме сжатого архивного файла. В этой папке должен быть XML файл, названный «imsmanifest.xml», который содержит информацию от Content Model and Meta-data в доступном формате. [3]

Заключение

Международная ассоциация ADL (Advanced Distributed Learning) признала отечественную систему дистанционного обучения RedClass, совместную разработку УЦ RedCenter и компании RedLab, соответствующей международному стандарту SCORM 1.2 (Sharable Content Object Reference Model) 15 ноября 2005 года [4].

Программный продукт WebSoft CourseLab версия 2.0 прошел сертификацию на соответствие международному стандарту SCORM 2004. CourseLab – средство для создания интерактивных учебных материалов (электронных курсов), предназначенных для использования в сети Интернет, в системах дистанционного обучения, на компакт-диске или любом другом носителе.

По состоянию на середину апреля 2006 года WebSoft входит в число 9 компаний в мире, завершивших сертификацию своих продуктов по стандарту SCORM 2004.

Посмотреть список сертифицированных продуктов можно на сайте Advanced Distributed Learning [5].

Рассмотренные выше стандарты есть строгие рекомендации, соблюдать которые необходимо, если вы хотите:

- иметь современный, мобильный, совместимый с различными технологиями хранения и доступа дистанционный курс;
- ускорить последующее проектирование новых курсов или модернизацию имеющихся;
- размещать курс(ы) в депозитариях курсов на различных уровнях школьный, региональный, государственный, международный;

- организовывать обучение с привлечением студентов из-за рубежа;
- размещать курс на платных/бесплатных он-лайн платформах обучения.

Создание систем дистанционного обучения, соответствующих открытому образовательному стандарту — это еще один шаг, способствующий повышению качества дистанционного обучения и интеграции российского рынка дистанционного обучения в мировое сообщество.

Литература

- 1. Advanced Distributed Learning Initiative Network (ADL) http://www.adlnet.org
- 2. Дистанционное обучение (Информационный портал) <www.distance-learning.ru>
- 3. Образовательный портал Новосибирского государственного технического университета http://edu.nstu.ru
- 4. Система дистанционного бизнес-образования <www.businesslearning.ru>
- 5. Сайт компании WebSoft <www.webtutor.ru>
- 6. Российские электронные библиотеки <www.elbib.ru>

ОБРАЗОВАНИЕ НА БАЗЕ ИДЕОЛОГИИ ВЕБ 2.0

Д.Ф. Сулейманов, М.В. Сухорукова

В статье рассматриваются возможности применения идеологии Веб 2.0 для создания учебного контента, уровень которого отвечал бы современным запросам пользователей. Приведены примеры открытых образовательных курсов и принципиально новых по формату ресурсов, например, виртуальная среда Second Life. Показано, что формат ВЕБ 2.0 является логичным продолжением эволюции онлайнового обучения.

Термин Веб 2.0 (Web 2.0) [1,2], появившийся в августе 2004 после мозгового штурма издательства O'Reilly Media и компании MediaLive International, быстро стал очень популярным и наделал чрезвычайно много шума как в среде Интернетдеятелей, так и среди простых пользователей Интернет. Сама концепция Веб 2.0, вокруг которой до сих пор ведется много споров, не имеет четкого определения и четких границ. Однако основными моментами этой концепции, бесспорно, являются использование веб-приложений и сервисов – «веб как платформа», а также большая свобода и связанность пользователей в Веб 2.0 приложениях.

В понятие «веб как платформа» вкладывается тот смысл, что любые классы приложений могут быть реализованы с помощью веб-технологий, таким образом, пользователю нет необходимости устанавливать какое-либо программное обеспечение, кроме веб-браузера на свой компьютер. Более того, функциональные модули подобных приложений – сервисы – могут находиться на различных серверах и предоставляться различными независимыми сервис-провайдерами. Бесшовная интеграция большого количества веб-сервисов возможна во многом благодаря использованию открытых стандартов, таких как XML, RDF/RSS. Стоит отметить, что современные веб-приложения по скорости и удобству уже почти не уступают обычным desktop-приложениям.

Свобода и связанность пользователей, на наш взгляд, — самая мощная составляющая парадигмы Веб 2.0. В самых ярких примерах, таких, например, как сервис для хранения и публикации фотографий Flickr http://www.flickr.com/, не существует штатных редакторов или модераторов, все материалы создаются и управляются самими пользователями системы. Таким образом, пользователям предоставляется практически полная свобода действий. Казалось бы, в таких условиях любой ресурс вскоре должен превратиться в неорганизованную помойку из никому не нужных материалов. Но с появлением определенного количества активных добросовестных пользователей в подобных системах начинает проявляться упорядоченность и структура. И более того, самоорганизующий момент тем мощнее, чем больше пользователей в системе и чем активней они ею пользуются.

С точки зрения самоорганизации пользователей чрезвычайно интересно проанализировать открытую энциклопедию Wikipedia [3] — пожалуй, самый известный и грандиозный проект Веб 2.0. Вся модерация, контроль соответствия статей принятым соглашениям, а также защита от злоумышленников выполняются силами пользователей системы, которые не получают за свою работу никакой прямой финансовой компенсации. При этом организационная структура представляет собой иерархию: любой пользователь, доказав свою преданность проекту, может получить дополнительные права модератора, которые ему выдаются уполномоченными пользователями с более высоким статусом; последнее слово в самых спорных моментах остается за Джимом Уейлсом, одним из основателей Wikipedia. Организационная структура Wikipedia напоминает демократическую монархию.

Wikipedia, содержащая более шести миллионов статей, представленных на 250 языках, в данный момент широко используется в образовательных целях по всему миру. Именно с разговоров об использовании Wikipedia в образовательных целях и

началось развитие концепции «Образование 2.0». Эта концепция в последнее время все чаще обсуждается в среде ученых и профессиональных педагогов по всему миру, но, как и в случае с Веб 2.0, строгого определения и границ у термина не существует. И, как и в случае Веб 2.0, можно лишь определить основные центры притяжения.

Образование 2.0 обладает все теми же признаками, что и Веб 2.0, такими как использование веб как платформы и связанность пользователей. Но главной ценностью в парадигме Образования 2.0 выступают уже не материалы, создаваемые пользователями сервисов, а тот результат, который достигается посредством использования этих сервисов и материалов: для образовательных целей — это свобода и гибкость в обучении, а также высочайшая актуальность курсов; для научных целей — это новые идеи и открытия, появляющиеся как результат более эффективной совместной работы ученых.

Для интеграции различных веб-сервисов и учебных программ используются специальные стандарты, спецификации и форматы описания передачи и взаимодействия данных, которые для Be6 2.0 могут показаться излишними. Такие стандарты и модели, как SCORM (Shareable Content Object Reference Model) [4,5], AICC (Aviation Industry Committee on Computer Based Training), eLML (eLesson Markup Language), QTI (Question and Test Interoperability Specification), RCD (Reusable Competency Definitions)[6], EML (Educational Modeling Language) и др., затрагивают различные аспекты функционирования учебных систем и позволяют создавать легко интегрируемые учебные модули и инструменты. Эти международные стандарты уже довольно широко используются для разработки обучающих систем и учебных материалов и поддерживаются такими программными продуктами, как, например, Adobe (Масготем) Authorware или Moodle — одной из самых популярных open source систем управления обучением (Learning Management System).

Использование стандартов, в первую очередь, позволяет обеспечить интероперабельность платформ, а также — что, пожалуй, самое главное — дает возможность многократного использования учебных материалов в различных курсах и программах, увеличивая тем самым адаптивность, доступность и экономичность обучения и, соответственно, эффективность обучения в целом. В частности, можно сгенерировать персональный учебный курс, состоящий из новейших учебных материалов, доступных по всему миру, учитывающий компетенции обучаемого и соответствующий заданным учебным целям. При этом этот курс будет умещаться в заранее определенные временные рамки, соответствуя заданной учебной нагрузке. Эти же свойства позволяют динамически изменять курс обучения, оставляя при этом под контролем ход процесса. Таким путем можно реализовать концепцию «обучение в течение всей жизни», являющуюся неотъемлемой частью парадигмы Образование 2.0.

Кроме технических вопросов интеграции, возникает еще множество неоднозначных моментов, касающихся организации и функционирования систем в рамках парадигмы. До сих пор идут дискуссии на тему того, как можно решить проблему авторских прав на учебные материалы. До сих пор нет единого мнения о том, каким образом можно оценить вклад отдельного элемента в общую ценность курса, потребителем которого является обучаемый, или как организовать защиту отдельных элементов и отслеживание их использования.

Но проблема авторского права довольно легко решается, если учебные курсы сделать открытыми. Таким образом, любой желающий сможет использовать любые учебные курсы и их отдельные элементы вне коммерческих целей безвозмездно. По этому пути пошло уже довольно много высших учебных заведений по всему миру,

среди которых Массачусетский институт технологий (OCW MIT http://ocw.mit.edu) и Токийский университет.

С целью стимулирования создания открытых учебных материалов учебными организациями создан Консорциум открытых учебных курсов (OpenCourseWare Consortium http://ocwconsortium.org) [7, 8], в который уже входят более 100 университетов из 16 стран. Массачусетский институт технологий уже предлагает более 1800 курсов, собранных со всех факультетов института. Подобные инициативы с недавнего времени продвигаются на неофициальном уровне и в России – например, проект «Информатика в России» http://www.csin.ru/) или Интернет-университет информационных технологий http://www.intuit.ru/) [9].

Кроме открытых образовательных материалов, на текущий момент уже существует значительное количество веб-сервисов и приложений, созданных специально для учебных целей. Эти сервисы предоставляют различные инструменты для создания и организации учебных материалов, разработки и публикации учебных курсов. Такие веб-приложения, как gliffy.com и vyew.com, изначально созданные для удовлетворения потребностей корпоративных клиентов в удаленном взаимодействии, находят свое применение в образовательной среде — они позволяют совместно работать над учебными мультимедиа-материалами удаленным авторам, а также проводить сессии дистанционных занятий. Отличительным свойством этих веб-приложений является возможность совместной работы над текстовыми и графическими документами в режиме реального времени. При этом vyew.com, кроме инструментов для рисования диаграмм, также предоставляет функцию доступа к «рабочему столу» участников, полезную для обучения работы с приложениями, и отдельный телефонный номер для проведения телеконференций.

В рамках проекта инновационной группы Quattuor Dimensionis (СПбГУ ИТМО) по созданию мультимедиа-среды общения был разработан модуль inVisio, предоставляющий комплекс графических инструментов для совместной работы в режиме реального времени. Функционально модуль представляет собой интерактивную классную доску, все изменения которой в режиме реального времени транслируются для всех пользователей, при этом каждый из практически неограниченного количества пользователей имеет возможность, не прерывая действия других, добавлять свои элементы.

Все эти сервисы реализуют модели совместной многопользовательской работы над учебными материалами и курсами, но, к сожалению, не поддерживают общепринятых стандартов. И, что самое важное, они не задействуют один из самых главных движущих факторов Образования 2.0 – созидательное взаимодействие большого количества людей.

Пожалуй, единственным веб-сервисом, который пытается использовать потенциал взаимодействия большого количества людей в учебных целях, является сервис Nuvvo.com. Веб-приложение Nuvvo представляет собой онлайновую систему управления обучением (Learning Management System). Оно предоставляет любому желающему возможность создать свой собственный учебный курс на любую тематику и предоставить к нему доступ обучаемым. Nuvvo позволяет организовывать различные текстовые и мультимедиа-материалы в учебные блоки, общаться с обучаемыми посредством внутренней системы сообщений и блогов, проводить тестирование их знаний. Компания Savvica, создатель сервиса Nuvvo, в начале 2006 года объявила о своих намерениях внедрить в него поддержку SCORM, но на момент написания данной публикации эта поддержка все еще не была реализована.

На наш взгляд, в этой статье стоит отметить весьма интересное явление, которое стало возможным благодаря сети Интернет и современным технологиям – появление практически полнофункциональных представительств различных учебных

заведений в виртуальном мире Second Life. Описание потенциала Second Life для целей обучения требует отдельной статьи, поэтому здесь мы не будем подробно на этом останавливаться, а лишь приведем краткую аннотацию. Second Life — самая популярная 3D онлайновая вселенная, с количеством пользователей более 3 миллионов, которую создают и развивают ее жители. Это не очередная компьютерная игра, здесь отсутствует сюжет. Second Life — настоящая виртуальная реальность, с уже сложившейся экономикой [10]. Виртуальные кампусы зачастую представляют собой 3D-копии своих реальных представительств. В таких кампусах проводятся лекции и встречи, часто с применением видеотрансляций и различных интерактивных действий (скриптов). Таким образом, виртуальная среда Second Life предоставляет практически неограниченные возможности дистанционного образования и совместной работы [11]. Обучение в виртуальных мирах, таких как Second Life, уже также успело получить собственное название — Образование 3.D [12].

Подводя итоги, стоит отметить, что, несмотря на то, что после бума Веб 2.0 на свет появилось огромное количество различных веб-сервисов и приложений, для Образования 2.0 все еще требуется создание специальных веб-инструментов, соответствующих общепринятым стандартам. С развитием и совершенствованием стандартов и совместимых систем будут появляться все больше открытых учебных материалов, которые позволят любому желающему без усилий создавать индивидуальный курс обучения, состоящий из самых актуальных учебных материалов.

Появление принципиально новых подходов к онлайновому обучению, с одной стороны, обусловлено появлением новых технологических возможностей, с другой стороны – переосмыслением и конвергенцией существующих подходов и решений.

Исходя из изложенного, авторы считают, что, несомненно, Образование 2.0, впрочем, как и Образование 3D, представляет собой концептуально новый подход к дистанционному образованию, но в целом является логичным продолжением эволюции онлайнового обучения. Таким образом, образование 2.0, несомненно, является новой парадигмой создания образовательной среды и участия в ней как педагогов, так и учащихся. В то же время, если эта идея и не была придумана как хороший рекламный ход, она, несомненно, должна быть использована для привлечения внимания к новым формам онлайнового обучения.

Приложение. Список известных учебных мест в Second Life

• Виртуальные кампусы

- o Kamпyc:Second Life < http://slurl.com/secondlife/Campus/150/100>
- o Glidden Campus (NIU и CMSU) < http://slurl.com/secondlife/Glidden/88/166/30>
- o Global Kids Island http://slurl.com/secondlife/Cincta/89/95/23/
- o Harvard Law School's Austin Hall < http://slurl.com/secondlife/Berkman/69/54/24/
- o New Media Consortium Campus http://slurl.com/secondlife/NMC%20Campus/142/223
- o San Diego State University Campus http://slurl.com/secondlife/Meadowbrook/222/82/

• Гуманитарные

- o Democracy Island (NYLS)
 - http://slurl.com/secondlife/Democracy%20Island/116/220/
- Esperantujo (кампус эсперанто, включая музей)http://slurl.com/secondlife/Shelter/98.0675/53.7299
- o Human Animal http://slurl.com/secondlife/Jiminy/75/88/112
- o Info Island http://slurl.com/secondlife/Info%20Island/52/193/

- o The Port (Шведское Wiki, посвященное искусству) http://slurl.com/secondlife/The%20Port/72/64>
 - Наука и медицина
- o UC Davis' Virtual Hallucinations http://slurl.com/secondlife/sedig/27/45/22/
- o Heart Murmur Sim http://slurl.com/secondlife/waterhead/130/37>
- o Spaceport Alpha (Международный Музей Космических Полетов и Планетариум Second Life Planetarium) http://slurl.com/secondlife/Spaceport%20Alpha/23/51/22/
- o Solar Eclipse Planetarium http://slurl.com/secondlife/Midnight%20City/94/76/27/
- o Svarga (Виртуальная эко система) http://slurl.com/secondlife/Svarga/128.0/128.0

Литература

- 1. Tim O'Reilly. What is Web 2.0. Design patterns and business models for the next generation of software // O'Reilly. http://www.oreillynet.com/pub/a/oreilly/tim/news/2005/09/30/what-is-web-20.html (September 30, 2005)
- 2. Web 2.0 // Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/Web 2.0>
- 3. Wikipedia // Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia
- 4. Advanced Distributed Learning // Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced Distributed Learning>
- 5. SCORM // Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/SCORM
- 6. IMS Reusable Definition of Competency or Educational Objective Specification // IMS Global http://www.imsglobal.org/competencies/index.html>
- 7. MIT OpenCourseWare // Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/MIT_OpenCourseWare
- 8. MIT's OpenCourseWare http://ocw.mit.edu
- 9. Сергей Дмитриев. Система образования как самоорганизующаяся среда // PC Week. http://www.pcweek.ru/?ID=504611 (16 декабря, 2005)
- 10. Виктор Агроскин. ЭКОНОМИКА-2: РЕАЛЬНЫЙ СЕКТОР. ПРОИЗВОДСТВО И ОБМЕН В ВИРТУАЛЬНОМ МИРЕ // Компьютера. 2007. № 5: http://offline.computerra.ru/2007/673/305746 (07 февраля, 2007)
- 11. Анатолий Левенчук. Коннективизм // Anatoly Levenchuk's Journal < http://ailev.livejournal.com/459940.html (24 февраля, 2007)
- 12. Vicki A. Davis. The frontier of education: WEB 3D // Cool Cat Teacher Blog. http://coolcatteacher.blogspot.com/2007/03/frontier-of-education-web-3d.html (March 02, 2007)

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОМЕТРИИ

Н.В. Пилипенко

Предложен универсальный для различных преобразователей теплового потока (ПТП) метод оценок точности результатов решения, а также оптимального планирования реализации граничной обратной задачи теплопроводности (ОЗТ) по восстановлению плотности входящего в ПТП теплового потока $q(\tau)$. Метод заключается в построении совместных доверительных областей (СДО) или интервалов (СДИ) для оптимальных оценок параметров, реализующих кусочно-линейную сплайн-аппроксимацию $q(\tau)$. Для построения СДО или СДИ использована их известная связь с ковариационной матрицей (информационной матрицей Фишера) ошибок указанных оценок. Элементами этих матриц являются комбинации функций чувствительности измеряемых температур ПТП к искомым параметрам $q(\tau)$. Приведены результаты комплексных исследований особенностей реализации предложенной методологии нестационарной теплометрии и оценок ее погрешностей применительно к некоторым распространенным ПТП.

Восстановление нестационарного теплового потока $q(\tau)$ с помощью различных ПТП связано, как правило, с рядом методических погрешностей, основные из которых представлены на рис.1. При этом можно выделить общие погрешности, присущие как нестационарной, так и стационарной теплометрии, вызываемые неоднородностью измерительной среды – искажающим влиянием ПТП на теплообмен и температурное поле объекта исследований. Эти источники погрешностей детально исследованы в работах [1–4] и в данной работе рассматриваться не будут.

Принципиальной особенностью нестационарной теплометрии является то обстоятельство, что в общем случае приходится преодолевать тепловую инерционность ПТП расчетным путем — восстанавливать значение входящего в ПТП теплового потока $q(\tau)$ по измерениям температур или их перепадов в ПТП. Возникающие при этом погрешности, вызываемые процедурой восстановления $q(\tau)$, могут быть отнесены к основным погрешностям нестационарной теплометрии. Они являются весьма существенными, а в ряде случаев — определяющими. Сложности решения проблемы устранения и оценивания основных погрешностей определяются следующими обстоятельствами:

- задача восстановления $q(\tau)$ относится к некорректно поставленным обратным задачам теплопроводности (ОЗТ), и ее решение вносит существенный вклад в погрешность нестационарной теплометрии;
- дополнительные сложности вносит условие функционирования ПТП как автономного средства измерения, длительно работающего в режиме реального времени. Это выдвигает требования высокой вычислительной эффективности алгоритмов восстановления $q(\tau)$ при сохранении их достаточной точности, а также наличия информации о моменте начала воздействия теплового потока на рабочую поверхность ПТП.

Для упрощения решения задачи нами был принят и реализован ряд требований и допущений к конструкции ПТП, математическими моделями теплопереноса в них, к характеру изменения восстанавливаемого теплового потока $q(\tau)$ и к методам его восстановления, а именно:

• требование обязательного измерения либо температуры рабочей поверхности ПТП, либо перепада температур между нею и другой точкой ПТП. Его выполнение переводит граничную ОЗТ в разряд псевдообратных, что снижает сложность алгоритмов

восстановления $q(\tau)$ и общий уровень основных погрешностей теплометрии, а также естественным образом предоставляет информацию о моменте начала действия $q(\tau)$, принципиально необходимую для решения ОЗТ;

• допущение, что априорные сведения о характере измеряемого теплового потока $q(\tau)$ позволяют выполнить его кусочно-линейную В-сплайн-аппроксимацию и на каждом ее z-ом участке выделить вектор искомых параметров $\vec{Q}_z(z=1,2,3,...)$, представляющий $q(\tau)$.

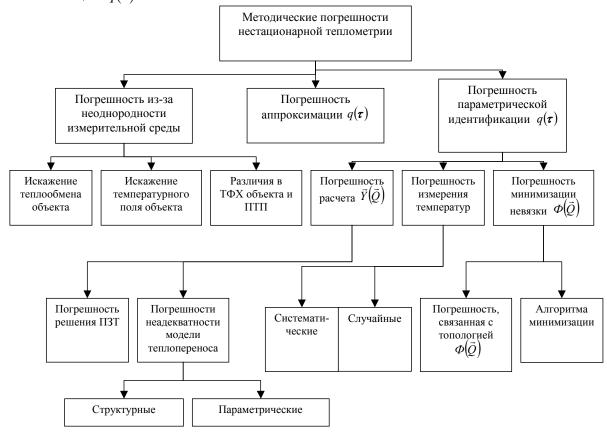


Рис.1. Структура методической погрешности нестационарной теплометрии на основе одномерных ПТП

Это дает возможность использовать для восстановления $q(\tau)$ метод параметрической идентификации ПТП, в частности, алгоритм фильтра Калмана (ФК) [5], а также разделить основную погрешность нестационарной теплометрии на две составляющие – погрешность аппроксимации $q(\tau)$ и погрешность параметрической идентификации.

Предположим, что, исходя из анализа информации о физической природе и термогазодинамических свойствах среды, с которой находится в теплообмене рабочая поверхность ПТП, априорная сплайн-аппроксимация $q(\tau)$ может быть выполнена с необходимой точностью. Тогда в соответствии с рис. 1 основной погрешностью будет погрешность параметрической идентификации ПТП — процедуры последовательного определения оптимальных оценок $\hat{\vec{Q}}_{z,\ell}$ вектора искомых параметров \vec{Q}_z на $z=1,2,3,\ldots$ участках сплайн-аппроксимации $q(\tau)$. Вектор \vec{Q}_z может быть представлен в виде $\vec{Q}_z = \left|q_{a_z} \quad q_{b_z}\right|^T$, где q_{a_z} и q_{b_z} — значения потока в начале и в конце участков сплайнаппроксимации.

Для нахождения оптимальных оценок \vec{Q}_{ℓ} на *z*-ом участке нами используется алгоритм фильтра Калмана, а в качестве исходной информации — ℓ измерений температур в ПТП на этом участке, составляющих $(m \times 1)$ -вектор измерения \vec{Y}_k , где k=1,2,3,..., ℓ — дискретное время.

Фильтр Калмана в силу особенностей своей практической реализации, по сути, является рекуррентной процедурой обобщенного метода наименьших квадратов (МНК), минимизирующей по вектору искомых параметров \vec{Q} функцию невязки $\Phi(\vec{Q})$:

$$\Phi(\vec{Q}) = \sum_{k=1}^{\ell} \left[\vec{Y}_k - \hat{\vec{Y}}_k (\vec{Q}_k) \right]^T \left[\vec{Y}_k - \hat{\vec{Y}}_k (\vec{Q}_k) \right], \tag{1}$$

где \vec{Y}_k — вектор измерений температуры ПТП, включающий вектор $\vec{\varepsilon}_k$ случайных погрешностей измерений; $\hat{\vec{Y}}_k(\vec{Q}_k)$ — модельные (расчетные) значения вектора измерений; k — дискретное время; T — знак транспонирования.

Для линейных МНК, когда вектор \vec{Y}_k и его модельные значения $\hat{\vec{Y}}_k(\vec{Q})$ линейно зависят от вектора искомых параметров \vec{Q} , известны формулы [6] для оптимальных оценок $\hat{\vec{Q}}_\ell$ и ковариационной (2×2) матрицы ее ошибок $P(\hat{\vec{Q}}_\ell)$:

$$\widehat{\vec{Q}}_{\ell} = P\left(\widehat{\vec{Q}}_{\ell}\right) \cdot \sum_{k=1}^{\ell} \left(\frac{\partial \vec{Y}_{k}}{\partial \vec{Q}}\right)_{\widehat{O}_{\ell}}^{T} \cdot \vec{Y}_{k} = P\left(\widehat{\vec{Q}}_{\ell}\right) \cdot \sum_{k=1}^{\ell} H_{k}^{T} \cdot \vec{Y};$$

$$(2)$$

$$P\left(\widehat{\widehat{Q}}_{\ell}\right) = \left(\sum_{k=1}^{\ell} H_k^T R^{-1} H_k\right)^{-1},\tag{3}$$

где $H_k - (m \times 2)$ -матрица функций чувствительности, которая имеет вид

$$H_{k} = \left(\frac{\partial \vec{Y}_{k}}{\partial \vec{Q}}\right)_{\bar{Q}_{\ell}} = \begin{vmatrix} \frac{\partial y_{1k}}{\partial q_{a}} & \frac{\partial y_{1k}}{\partial q_{b}} \\ \frac{\partial y_{mk}}{\partial q_{a}} & \frac{\partial y_{mk}}{\partial q_{b}} \end{vmatrix}_{\bar{Q}_{\ell}} = \begin{vmatrix} U_{11k} & U_{12k} \\ \cdots & \cdots \\ U_{m1k} & U_{m2k} \end{vmatrix}_{\bar{Q}_{\ell}}$$

$$(4)$$

Матрицу H_k составляют функции чувствительности U_{ijk} , которые количественно характеризуют чувствительность i-ого измерения y_{ik} в k-й момент времени к изменению j-го искомого параметра $q_a(j=1)$ или $q_b(j=2)$. По определению,

$$U_{i1k} = \left| \frac{\partial y_{ik}}{\partial q_{a_k}} \right|_{\bar{O}_{\epsilon}}, \ U_{i2k} = \frac{\partial y_{ik}}{\partial q_{b_k}} \right|_{\bar{O}_{\epsilon}}. \tag{5}$$

В теории МНК показано, что ковариационная матрица $P(\vec{Q}_\ell)$ является характеристикой точности оценок $\hat{\vec{Q}}_\ell$. В рассматриваемом случае она имеет вид

$$P(\hat{\vec{Q}}_{\ell}) = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{vmatrix}. \tag{6}$$

Ее диагональные элементы p_{11} и p_{22} являются дисперсиями оценок $\widehat{q}_{a,z}$ и $\widehat{q}_{b,z}$ соответственно, а элементы $p_{12}=p_{21}$ характеризуют взаимную корреляцию этих оценок.

В формуле (3) разделим влияния уровня σ^2 шума в измерениях и других значимых особенностей (факторов) нестационарной теплометрии, которые отражены в матрице функций чувствительности H_k , и получим:

$$P\left(\widehat{\vec{Q}}_{\ell}\right) = \sigma^2 \cdot \left(\sum_{k=1}^{\ell} H_k^T \cdot H_k\right)^{-1}. \tag{7}$$

Выражение в скобках является (2×2) -матрицей Грама A_{ℓ} для системы векторов функций чувствительности (она же – аналог информационной матрицы Фишера).

В рассматриваемом случае

$$A_{\ell} = \sum_{k=1}^{\ell} H_{k}^{T} \cdot H_{k} = \begin{vmatrix} \sum_{k=1}^{\ell} \sum_{i=1}^{m} U_{m1k}^{2} & \sum_{k=1}^{\ell} \sum_{i=1}^{m} U_{m1k} \cdot U_{m2k} \\ \sum_{k=1}^{\ell} \sum_{i=1}^{m} U_{m2k} \cdot U_{m1k} & \sum_{k=1}^{\ell} \sum_{i=1}^{m} U_{m2k}^{2} \end{vmatrix}.$$
(8)

Введем понятие характеристической ковариационной матрицы:

$$\overline{P}_{\ell} = A_{\ell}^{-1} = \begin{vmatrix} \overline{p}_{11} & \overline{p}_{12} \\ \overline{p}_{21} & \overline{p}_{22} \end{vmatrix}.$$

Тогда выражение (7) для $P\!\!\left(\hat{ec{Q}}_{\ell}\right)$ примет вид

$$P(\widehat{Q}_{\ell}) = \sigma^2 \cdot \overline{P}_{\ell}. \tag{9}$$

Из (8) и (9) следует соотношение:

$$P(\hat{\vec{Q}}_{\ell})^{-1} = \frac{1}{\sigma^2} \overline{P}_{\ell}^{-1} = \frac{1}{\sigma^2} A_{\ell}, \tag{10}$$

которое будет использовано в дальнейшем.

В качестве иллюстрации приведем матрицы функций чувствительности H_k и Грама для двух вариантов измерения температур в ПТП. При измерениях температуры в одной точке ПТП на поверхности (m=1) (вектор измерений — $\vec{Y}_k = t_{1k} + \boldsymbol{\varepsilon}_k$) матрицы H_k и A_ℓ имеют вид

При *двух измерениях* температуры в ПТП (m=2), в частности, температуры поверхности t_{1k} и перепада температур, например, $\Delta t_{(1-6),k} = t_{1k} - t_{6k}$, (2×2)-вектор измерения имеет вид

$$\vec{Y}_{k} = \begin{vmatrix} y_{1k} + \boldsymbol{\varepsilon}_{1k} \\ y_{2k} + \boldsymbol{\varepsilon}_{2k} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} t_{1k} \\ \Delta t_{(1-6),k} \end{vmatrix} + \vec{\boldsymbol{\varepsilon}}_{k}, \tag{12}$$

а матрицы функций чувствительности H_k и Грама A_ℓ

$$H_k = \begin{vmatrix} U_{11k} & U_{12k} \\ U_{21k} & U_{22k} \end{vmatrix}, \tag{13}$$

$$A_{\ell} = \begin{vmatrix} \sum_{k=1}^{\ell} \left(U_{11k}^2 + U_{21k}^2 \right) & \sum_{k=1}^{\ell} \left(U_{11k} \cdot U_{12k} + U_{21k} \cdot U_{22k} \right) \\ \sum_{k=1}^{\ell} \left(U_{12k} \cdot U_{11k} + U_{22k} \cdot U_{21k} \right) & \sum_{k=1}^{\ell} \left(U_{11k}^2 + U_{22k}^2 \right) \end{vmatrix}.$$
(14)

Нами проанализированы все источники погрешности параметрической идентификации $q(\tau)$. Однако в данной работе основное внимание уделено двум всегда имеющим место погрешностям — влиянию случайных погрешностей (шума) в измерениях температур ПТП и погрешности, вызываемой топологией функции невязки $\Phi(\vec{Q})$.

Достоинство предложенной методологии нестационарной теплометрии и оценок ее основных погрешностей заключается в том, что указанные составляющие погрешности количественно отражены в ковариационной матрице $P(\bar{Q}_\ell)$, и в то же время эти две погрешности из формулы (3) для $P(\bar{Q}_\ell)$ можно четко разделить на два сомножителя — дисперсию σ^2 , определяющую уровень шума в измерениях температур ПТП, и характеристическую ковариационную матрицу \bar{P}_ℓ , которая через матрицу функций чувствительности H_k выражает основные особенности ПТП как средства измерения. Остановимся на этом более детально.

Ковариационная (2×2) -матрица $P(\vec{Q}_\ell)$ ошибок оценок $\hat{\vec{Q}}_\ell$ в соответствии с (3) получается путем обращения (2×2) -матрицы Грама, элементами которой являются функции чувствительности измеряемых температур в ПТП \vec{Y}_k к составляющим q_a и q_b искомого вектора \vec{Q} на z-ом участке его аппроксимации.

Ковариационная матрица $P(\hat{Q}_\ell)$ в соответствии с (7) через дисперсию σ^2 погрешностей в измерениях учитывает случайные погрешности средств измерения температур и соответствующей регистрирующей аппаратуры, а через характеристическую ковариационную матрицу \overline{P}_ℓ — все другие значимые факторы процесса нестационарной теплометрии, такие как вид, количество и характер размещения в ПТП непосредственно измеряемых температур или их перепадов; характер переходного процесса в ПТП, включая начальное распределение температур \overline{T}_0 ; закон изменения восстанавливаемого $q(\tau)$; участок z наблюдаемого переходного процесса; количество измерений ℓ вектора измерений \overline{Y}_k на этом участке ($k=1,2,\dots\,\ell$).

Как было отмечено ранее, основной погрешностью в нестационарной теплометрии после учета остальных, представленных на рис. 1, является погрешность параметрической идентификации. Для ее оценки нами использовался подход, основанный на построении совместных доверительных областей (СДО) и интервалов (СДИ) оценок искомых параметров [5]. Рассматривалось два случая: единичного (скалярного) m=1 и векторного $m=2,3,\ldots$ измерений температур или их перепадов в ПТП. Для случая cka-nsphozo (m=1) измерения $\vec{Y}_k = y_k$ в соответствии с [6] уравнение СДО для оценок \hat{q}_{a_ℓ} и \hat{q}_{b_ℓ} двух параметров имеет следующий вид:

$$\left(\vec{Q} - \hat{\vec{Q}}_{\ell}\right)^{T} \cdot A_{\ell} \cdot \left(\vec{Q} - \hat{\vec{Q}}_{\ell}\right) = S^{2} \cdot 2 \cdot F_{\nu}(2, \ell - 2), \tag{15}$$

где $F_{\mathbf{v}}(2,\ell-2)$ — табличное значение квантиля распределения Фишера для случая ℓ измерений на каждом z-ом участке; \mathbf{v} — величина доверительной вероятности; S^2 —

выборочная дисперсия шума в измерениях, определяемая непосредственно, исходя из экспериментальных данных, по формуле:

$$S^{2} = \frac{1}{\ell - 2} \cdot \sum_{k=1}^{\ell} \left[Y_{k} - \widehat{Y}_{k} \left(\widehat{\widehat{Q}} \right) \right]^{2}.$$

Учитывая ограниченное количество ℓ измерений $\hat{\vec{Y}}_k$ на участках аппроксимации, для оценочных расчетов в качестве S^2 может быть взята дисперсия σ^2 , соответствующая паспортным данным о средствах измерения температуры ПТП.

Для случая векторного измерения (m=2,3,...) в соответствии с [6] СДО для оценок тех же двух параметров \hat{q}_{a_t} и \hat{q}_{b_t} имеет следующий вид:

$$\left(\vec{Q} - \hat{\vec{Q}}_{\ell}\right)^{T} \cdot A_{\ell} \cdot \left(\vec{Q} - \hat{\vec{Q}}_{\ell}\right) = \frac{2}{\ell - 2} \Phi_{\min} \cdot F_{\nu}(2, \ell - 2), \tag{16}$$

где $arPhi_{\min} = arPhi\!\left(\hat{ec{Q}}_\ell^{}
ight)$ — минимальное значение функции невязки при $ec{Q} = \hat{ec{Q}}_\ell^{}$.

Доверительный эллипсоид (16) отличается от (15) операцией вычисления минимального значения функции невязки Φ_{\min} взамен выборочной дисперсии S^2 по следующей формуле, вытекающей из (7):

$$\boldsymbol{\Phi}_{\min} = \sigma^2 \sum_{k=1}^{\ell} \left[\vec{Y}_k - \hat{\vec{Y}}_k \left(\hat{\vec{Q}}_{\ell} \right) \right]^T \left[\vec{Y}_k - \hat{\vec{Y}}_k \right]. \tag{17}$$

Для рассматриваемого случая СДО могут быть построены методом канонического анализа эллипсоидов (15) и (16). Очевидно, что они в двухмерном случае имеют форму эллипсов в пространстве двух искомых параметров.

Пусть получены оценки $\hat{\vec{Q}}_\ell = \begin{bmatrix} \hat{q}_{a\ell} \\ \hat{q}_{b\ell} \end{bmatrix}$ локального вектора искомых параметров \vec{Q} на

z-ом участке кусочной сплайн-аппроксимации $q(\tau)$, и на их основании по формулам (8) или (11), (14) рассчитана матрица Грама A_{ℓ} , которую запишем в виде:

$$A_{\ell} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}.$$

Тогда уравнения (4.17) и (4.18) совместной доверительной области принимают вид:

$$\left[\left(q_a - \mathbf{G}_{a\ell} \right) \left(q_b - \mathbf{G}_{b\ell} \right) \right] \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_a - \mathbf{G}_{a\ell} \\ q_b - \mathbf{G}_{b\ell} \end{bmatrix} = B ,$$

где

$$B = \begin{cases} 2S^2 F_{\nu}(2, \ell - 2) & \text{- для скалярного измерения (m = 1);} \\ \frac{2}{\ell - 2} \varPhi_{\min} F_{\nu}(2, \ell - 2) & \text{- для векторного измерения (m > 1).} \end{cases}$$
 (18)

Проведя преобразования, получим следующее уравнение кривой второго порядка (эллипса) в пространстве двух искомых параметров q_a и q_b :

$$a_{11} \cdot (q_a - \mathbf{q}_{a\ell})^2 + 2a_{12}(q_a - \mathbf{q}_{a\ell}) \cdot (q_b - \mathbf{q}_{b\ell}) + a_{22} \cdot (q_b - \mathbf{q}_{b\ell})^2 - B = 0$$
(19)

Все коэффициенты уравнения (19), в том числе и свободный член B, либо известны, либо определяются, исходя из условий проведения эксперимента, по приведенным выше зависимостям. Для рассмотрения особенностей полученной области удобным является способ построения эллипса по точкам, заключающийся в следующем: задаваясь значениями одного из параметров, например, q_b , можно получать из (19) квадратные

уравнения относительно отклонения второго параметра, например, $(q_a - {\bf f}_{a\ell})$, которые в системе координат $(q_a - {\bf f}_{a\ell})$ и $(q_b - {\bf f}_{b\ell})$ дают по два значения на кривой эллипса. Решения этих уравнений имеют вид

$$(q_a - \mathbf{q}_{a\ell})_{1,2} = \frac{-a_{12} \cdot (q_b - \mathbf{q}_{b\ell}) \pm \sqrt{a_{12}^2 \cdot (q_b - \mathbf{q}_{b\ell})^2 - a_{11} \cdot \left[a_{22} \cdot (q_b - \mathbf{q}_{b\ell})^2 - B\right]}}{a_{11}}$$
 (20)

или

$$(q_b - \mathbf{q}_{b\ell})_{1,2} = \frac{-a_{12} \cdot (q_a - \mathbf{q}_{a\ell}) \pm \sqrt{a_{12}^2 \cdot (q_a - \mathbf{q}_{a\ell})^2 - a_{22} \cdot \left[a_{11} \cdot (q_a - \mathbf{q}_{a\ell})^2 - B\right]}}{a_{22}}.$$
 (21)

Таким образом, для случая любой размерности m вектора измерений \vec{Y}_k и размерности r =2 локального (для z-го участка сплайн-аппроксимации) вектора \vec{Q} могут быть достаточно просто построены двухмерные СДО оценок \vec{Q}_ℓ , имеющие наглядную форму эллипсов в пространстве q_a и q_b .

Построение СДО и СДИ до проведения эксперимента позволяет осуществить оптимальное планирование нестационарной теплометрии. Сущность заключается в анализе влияния всех значимых факторов процесса нестационарной теплометрии на априорные характеристики точности идентифицируемых параметров – их СДО или СДИ – и в выборе указанных факторов, исходя из заданных параметров СДО или СДО. В монографии [6] формула для СДО имеет вид:

$$\left(\stackrel{\bullet}{\mathcal{Q}} - \stackrel{\bullet}{Q_0} \right)^T P^{-1} \left(\stackrel{\bullet}{Q_0} \right) \cdot \left(\stackrel{\bullet}{\mathcal{Q}} - \stackrel{\bullet}{Q_0} \right) = \chi_{\nu}^2(r), \tag{22}$$

где $\chi^2(r)$ — квантиль χ^2 -распределения для r параметров (в рассматриваемом случае r=2); \vec{Q}_0 — задаваемые априорно «истинные» значения вектора параметров.

В соответствии с формулой (10) уравнение (22) может быть преобразовано к виду

$$\left(\vec{Q} - \vec{Q}_0\right)^T A_{\ell} \left(\vec{Q} - \vec{Q}_0\right) = \sigma^2 \chi_{\nu}^2(r). \tag{23}$$

Уравнение (23) отличается от (15) и (16) значениями правых частей. Очевидно, что с учетом этих отличий для построения СДО или СДИ при оптимальном планировании могут быть использованы все предыдущие зависимости. Однако предварительно должны быть выполнены следующие этапы планирования.

- 1. Исходя из априорной информации об объекте и условиях проведения теплометрических исследований:
 - 1.1. выбрать тип и параметры ПТП;
- 1.2. путем сравнительного анализа динамических характеристик ПТП и теплообмена объекта со средой убедиться в необходимости решения граничной ОЗТ по восстановлению $q(\tau)$;
- 1.3. на основе априорных представлений о $q(\tau)$ обосновать принципиальную возможность его кусочно-линейной сплайн-аппроксимации и выбрать вектор искомых параметров \vec{Q} .
- 2. Путем проведения численных экспериментов с использованием ДРМ ПТП, априорных сведений о $q(\pmb{\tau})$ и выбранного алгоритма параметрической идентификации убедиться в возможности получения оценок $\hat{\mathcal{E}}_\ell$, близких априорно задаваемым «истинным» значениям $\vec{Q} = \vec{Q}_0$.

После выполнения этих этапов можно приступать к оптимальному планированию параметрической идентификации.

- 3. Задаемся требуемыми характеристиками точности идентификации значениями СДИ для каждой составляющей \vec{Q} или формой и размерами их СДО (в случае $r \leq 2$).
- 4. Задаемся априорными истинными значениями \vec{Q}_0 вектора идентифицируемых параметров \vec{O} .
- 5. Задаемся комбинацией ранее перечисленных значимых факторов эксперимента и их числовыми выражениями. По ДРМ ПТП с учетом указанных факторов и величины \vec{Q}_0 вычисляем функции чувствительности U_{jik} $(j=1,...,m;\ j=1,...,r;\ k=1,...,N)$, а далее по формулам (4) или (13) матрицы чувствительности \vec{R}_k . В указанных формулах вместо $\vec{\xi}_k$ подставляем $\vec{\xi}_0$.
- 6. В соответствии с формулой (8) на основе полученных матриц \mathcal{A}_k и количества измерений ℓ на рассматриваемом z-ом участке получаем матрицу Грама.
- 7. Для случая $r \le 2$ можно ограничиться полученной матрицей Грама и на ее основе построить СДО и СДИ для оценок \mathfrak{G}_{ℓ} , аналогичные описываемым формулами (20). Однако в них, в соответствии с видом доверительного эллипсоида (23), необходимо подставлять значение

$$B = \sigma^2 \chi_{\nu}^2(2), \tag{24}$$

где σ^2 – априорная оценка дисперсии помехи в измерениях температур ПТП.

8. Путем сравнения полученных значений СДО с заданными (п. 3) произвести вывод о правильности выбора значимых факторов эксперимента. При отрицательном результате процедуру планирования необходимо повторить до удовлетворения заданных требований.

В качестве примера планирования эксперимента приведем построение СДО простейшего ПТП в виде вспомогательной стенки при измерении температуры ее поверхности $t_1(\tau)$ со среднеквадратичным отклонением $\sigma = 1$ °C; при условии

$$\vec{Q} = \begin{vmatrix} q_a \\ q_b \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 10^5 \\ 6 \cdot 10^5 \end{vmatrix}$$
BT/M².

Размеры и свойства материала ПТП примем следующие: толщина $h=5\cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}$; теплопроводность $\lambda=15\,\frac{\mathrm{BT}}{\mathrm{m}\cdot\mathrm{K}}$; температуропроводность $a=3.8\cdot 10^{-6}\,\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{c}}$. Пользуясь приведенной выше последовательностью, получим, что погрешности на первом участке сплайн-аппроксимации равны $\Delta q_a=1\cdot 10^3\,Bm/\,\mathrm{m}^2$, $\Delta q_b=3.5\cdot 10^3\,Bm/\,\mathrm{m}^2$, а совместная доверительная область имеет вид рис. 2. Построив СДО для всех участков сплайн-аппроксимации, получим суммарную погрешность восстановленного искомого потока $q(\tau)$.

В заключение отметим, что предложенный метод оценки методической погрешности при нестационарной теплометрии прошел апробацию для различных типов ПТП, используемых для восстановления граничных условий теплообмена путем решения обратной задачи теплопроводности.

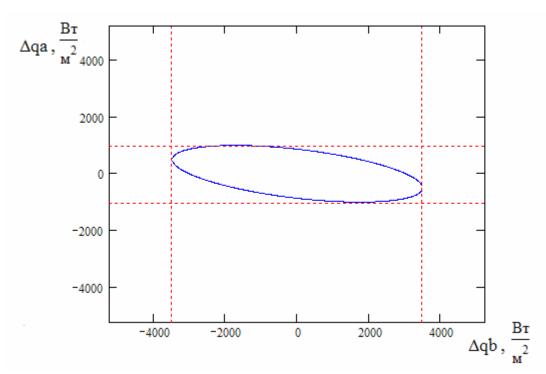


Рис. 2. Совместные доверительные области параметров $q_{\rm a}$ и $q_{\rm b}$

Литература

- 1. Ярышев Н.А. Теоретические основы измерения нестационарных температур. Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1990. 255 с.
- 2. Геращенко О.А. Основы теплометрии. Киев: Наукова думка, 1971. 191 с.
- 3. Точность контактных методов измерения температуры / Под ред. Гордова и др. М.: Изд. стандартов, 1976. 232 с.
- 4. Коротков П.А., Лондон Г.Е. Динамические контактные измерения тепловых величин. Л.:Машиностроение, 1974. 224 с.
- 5. Симбирский Д.Ф. Температурная диагностика двигателей. Киев: Техника, 1974. 208 с.
- 6. Химельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. М.: Мир, 1973. 957 с.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ С ПОМОЩЬЮ КОНТАКТНОГО И БЕСКОНТАКТНОГО МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Н.В. Лазуренко, А.Р. Кямяря

Энергетический паспорт — основной документ, утверждаемый Ростехнадзором РФ, характеризующий степень энергоэффективности зданий различного назначения. Контактный метод измерения удельного теплового потока q и температур воздуха и поверхностей, используемый в процессе разработки энергопаспорта, позволяет с высокой степенью точности определить основную теплотехническую характеристику ограждающих конструкций (ОК) здания — приведенное сопротивление теплопередаче R_0 (для различных видов ОК). Тепловизионный (бесконтактный) метод контроля наиболее эффективен для выявления скрытых дефектов конструкций. Контактный и бесконтактный методы контроля качества теплозащиты, положенные в основу комплексного тепловизионного обследования, позволяют определить соответствие теплотехнических характеристик ОК строительным нормам и в случае необходимости выработать комплекс мероприятий по энергосбережению.

В современной России особенно актуальной является проблема эффективного расходования энергоресурсов для теплоснабжения объектов жилищно-коммунального хозяйства, общественных и производственных зданий. Причин этому несколько: отсутствие эффективного регулирования в системах теплоснабжения; не соответствующие целям энергосбережения объемно-планировочные решения объектов строительства; недостаточный уровень теплозащиты зданий вследствие неправильно заложенных в проект теплотехнических показателей наружных ограждающих конструкций (ОК); некачественное выполнение строительно-монтажных работ.

Вышеуказанные недостатки характерны как для современных вновь построенных или реконструированных зданий, так и для объектов, построенных в 1950–80 гг., в период массового строительного бума, когда теплозащите не уделялось должного внимания, а контроль качества теплоизоляции не проводился.

В связи с этим необходимость энергоаудита зданий для контроля соответствия выполненных работ современным нормам при строительстве и реконструкции приобретает особую актуальность.

1. Составление теплоэнергетического паспорта здания

Теплоэнергетический паспорт является основным документом энергоаудита, наличие которого обязательно для ввода здания в эксплуатацию. Он включает в себя сведения об объекте строительства (объемно-планировочные параметры, энергетические показатели) на различных этапах его создания – проектирование, процесс строительства, эксплуатация.

Проектная часть энергетического паспорта предусматривает анализ архитектурнопланировочных решений и теплотехнического расчета ОК (раздел проекта «Отопление, вентиляция») с целью сравнения теплотехнических характеристик ОК с нормативными значениями, указанными в [7, 8]. Основной теплотехнической характеристикой конструкций, используемой при расчетах, является приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений R_0 . Оно рассчитывается, согласно [7], по формуле

$$R_o = \frac{1}{\sigma_e} + R_{\kappa} + \frac{1}{\sigma_{H}}, \, \mathbf{M}^2 \cdot \mathbf{K} / \mathbf{B} \mathbf{T}, \tag{1}$$

где $\alpha_{\rm e}$, $\alpha_{\rm h}$ — коэффициенты конвективного теплообмена соответственно от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ОК и от наружной поверхности к наружному воздуху, ${\rm Bt/(m^2 \cdot K)}$; $R_{\rm k}$ — термическое сопротивление, ${\rm m^2 \cdot K/Bt}$, однослойной или многослойной ОК, определяемое по формулам

$$R_{\kappa} = \sum_{i=1}^{n} R_i, \ R_i = \frac{\partial_i}{\partial_i}, \ \mathbf{M}^2 \cdot \mathbf{K} / \mathbf{B} \mathbf{T}, \tag{2}$$

где δ_i , λ_i — толщина, м, и коэффициент теплопроводности, $B\tau/(M\cdot K)$, i-го слоя конструкции; n — количество слоев конструкции.

Сопротивление теплопередаче ОК R_0 рассчитывается для различных видов конструкций (стен, окон, балконных и входных дверей, покрытий, чердачных перекрытий и т.п.), и значение данной характеристики сравнивается с требуемым значением R_0^{mp} для данного типа здания и помещений. Таким образом, целью разработки проектной части теплоэнергетического паспорта является анализ проекта с точки зрения энергоэффективности.

Фактическая (расчетная) часть энергопаспорта подразумевает проведение натурных измерений теплофизических параметров ОК, а именно — замеров удельного теплового потока q и температур внутреннего t_{θ} и наружного t_{η} воздуха на так называемых «базовых» участках конструкций. При обработке результатов натурных испытаний строятся графики изменения во времени q, t_{θ} и t_{η} , на которых выбираются временные промежутки с наиболее установившемся режимом — с отклонениями температуры наружного воздуха от среднего значения за этот период в пределах $\pm 2,5^{\circ}$ С [3], и вычисляется среднее значение сопротивления теплопередаче «базового» участка ОК R_{θ} по одному из методов, описанных в [1, 4–6]. Целью данного обследования является сравнение полученных фактических значений R_{θ} со значениями, заложенными в проекте. Тем самым контролируется качество использованных при строительстве конструкций и их монтажа.

Однако сопротивление теплопередаче измеряется только на нескольких «базовых» (термически однородных по поверхности) участках ОК, которые не могут однозначно характеризовать качество выполнения конструкций всего здания. Поэтому контактные измерения должны проводиться совместно с тепловизионным обследованием объекта, по результатам которого (а именно – съемке фасадов и внутренних поверхностей ОК) и выбираются «базовые» участки для установки измерителя теплового потока (ИТП). Контактный метод исследования применим лишь для определения общей энергетической характеристики здания, а именно – класса энергоэффективности, в соответствии с которым могут быть рекомендованы общие мероприятия по энергосбережению.

2. Тепловизионное обследование здания

Для обнаружения скрытых дефектов теплозащиты в натурных условиях используется *бесконтактный метод исследования* путем тепловизионной съемки ограждающих конструкций с наружной и внутренней стороны [2]. Тепловизионная съемка фасадов дает общую картину температурного поля поверхности объекта и выявляет грубые нарушения тепловой защиты здания. Для более детального контроля исполнения стен, окон, балконных дверей и их сопряжений (стыки стен с перекрытиями, оконными и дверными блоками, угловые стыки стен) необходимо проводить тепловизионное обследование внутренних поверхностей ОК. Анализ полученных термограмм проводится по критерию минимально допустимой температуры внутренней поверхности d_e^{picn} , при этом дефектными считаются участки с температурой ниже допустимой на величину, выходящую за пределы погрешности измерения. Допустимая величина d_e^{pip} имеет различные значения в зависимости от вида ОК и типа обследуемых помещений. Для сравнения d_e^{picn} с d_e^{pip} , согласно [1], проводится пересчет значения температуры внутренней поверхности на расчетные зимние условия ($t_H = -26$ °C, t_e — требуемое значение по [9]). Таким образом, если после пересчета на отдельных участках ОК температура внутрен-

ней поверхности оказывается ниже допустимого значения q_e^{mp} , то необходимо устранение дефектов конструкций.

3. Практическая реализация комплексного тепловизионного обследования

На практике контроль качества теплозащиты, называемый комплексным тепловизионным обследованием, осуществляется по следующему алгоритму.

Этап измерений:

- тепловизионная съемка наружных ОК и анализ термограмм с выявлением участков с температурными аномалиями;
- тепловизионная съемка внутренних поверхностей ОК с температурными аномалиями:
- выбор «базовых» участков, тепловизионная съемка их внутренних поверхностей, замер удельного теплового потока и температур для различных типов конструкций.
 Этап обработки результатов измерений:
- анализ термограмм с целью выявления предполагаемых дефектных участков ОК и определение температур их внутренних поверхностей $d_e^{pac^q}$ в расчетных условиях (сравнение с нормативными), выбор участков с отклонениями $d_e^{pac^q}$ от $d_e^{\mu o p m}$, превышающими погрешность измерения;
- определение сопротивления теплопередаче R_0 на базовых участках ОК, занесение значений R_0 для различных типов конструкций в теплоэнергетический паспорт здания, сравнение их с нормативными значениями;
- определение причин наличия дефектов и разработка рекомендаций по их устранению.

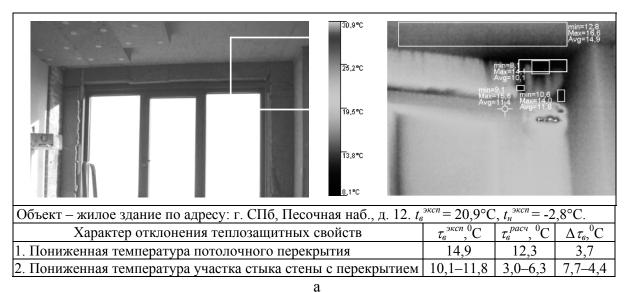
По результатам проведенных тепловизионных обследований объектов строительства различного назначения можно выделить несколько наиболее характерных видов дефектов ОК.

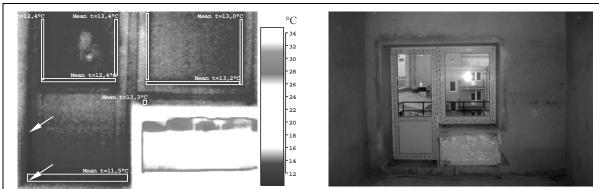
- 1) Пониженная температура участков наружных стен вследствие некачественного исполнения конструкций заводского изготовления, невыполнения проектных решений либо неправильно разработанного проекта (значительные по площади участки с неравномерным распределением теплозащитных свойств), а также дефекты монтажа наружных стен (локальные небольшие по площади температурные аномалии на поверхности ОК).
- 2) Пониженная температура участков с теплопроводными включениями, таких как:
- сопряжения строительных конструкций: стыки стеновых панелей, угловые стыки стен, места примыкания наружных стен к перекрытиям;
- монтажные швы между стеновым проемом и оконными и балконными блоками.

Наиболее вероятной причиной возникновения таких видов дефектов является некачественный монтаж элементов конструкций и некачественное выполнение мероприятий по устройству теплозащиты узлов соединения ОК.

- 3) Пониженная температура стыков оконных рам со стеклами или стеклопакетами из-за некачественной сборки или применения утеплителя с пониженными теплозащитными свойствами и механическими характеристиками.
- 4) Пониженная температура оконных рам (характерно для современных стеклопакетов) и нижних глухих частей балконных дверей вследствие неправильной технологии сборки.
- 5) Участки инфильтрации наружного воздуха в местах недостаточного примыкания оконных створок и балконных дверей из-за неправильной регулировки запорных устройств.

Наиболее характерные примеры термограмм конструкций с дефектами теплозащиты приведены ниже на рис. 1.





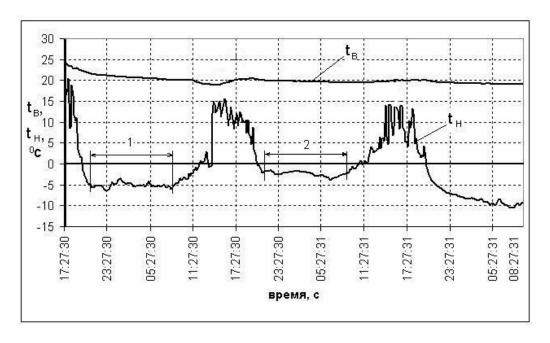
Объект – жилое здание по адресу: г. СПб, ул. Тамбовская, д. 11. $t_{\cdot}^{\text{изм}} = 19.3^{\circ}\text{C}$ $t_{\cdot}^{\text{изм}} = 4.4^{\circ}\text{C}$

$t_{\rm B}$ 17,5 ϵ , $t_{\rm H}$ 1,1 ϵ .			
Характер отклонения теплозащитных свойств	$\tau_{\epsilon}^{\mathfrak{s}\kappa cn}, {}^{0}\mathrm{C}$	τ_e^{pacq} , 0 C	$\Delta \tau_{e}$, 0 C
1. Пониженная температура участков стыков блока балконной двери с проемом	11,5–13,3	2,2-7,8	8,5–2,9
2. Пониженная температура стыков стекол с оконными рамами	12,4-13,4	5,0-8,1	5,7–2,6
3. Инфильтрация через неплотное прилегание балконной двери	-	-	-

б

Рис. 1. Примеры выявления скрытых дефектов ОК

В качестве результатов контактных измерений на рис. 2 приведены графики изменения во времени температур внутреннего $t_{\rm g}$ и наружного $t_{\rm h}$ воздуха, °C (рис. 2a), а также удельного теплового потока q, ${\rm BT/m^2}$, проходящего через стену административного здания по адресу: г. СПб, ул. Афонская, д. 2 (рис. 2б). Стена здания состоит из керамзитобетона толщиной $\delta = 0,35$ м. Измеритель теплового потока и температуры установлен на «базовом» участке ОК (участок стены с однородным температурным полем по поверхности). Как видно из графиков, за период измерений можно выделить 2 участка с отклонениями температуры наружного воздуха от среднего значения в пределах $\pm 2,5$ °C и на этих временных промежутках определить значения R_0 . В результате проведенных расчетов среднее значение сопротивления теплопередаче стены составило $R_0 = 1,6$ м 2 ·К/Вт, т.е. ниже требуемого значения, равного, согласно [8], $R_0^{mp} = 2,6$ м 2 ·К/Вт для административных зданий.



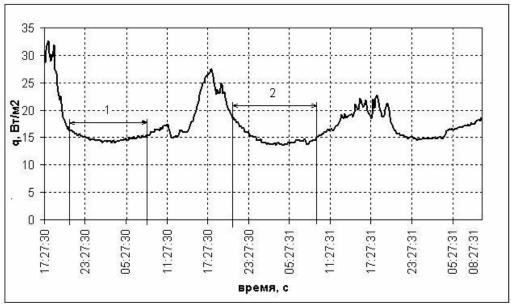


Рис. 2. Результаты контактных измерений q, $t_{\rm g}$ и $t_{\rm H}$ для наружной стены административного здания

Исходя из данных проведенного обследования, были выработаны энергосберегающие мероприятия по утеплению наружных стен и их сопряжений.

Подводя итог вышеизложенному, следует отметить, что результаты комплексного тепловизионного обследования не отражают полностью техническое состояние всех без исключения ОК здания, однако позволяют на основе 10-40% выборки сделать вывод о состоянии остальных, необследованных, элементов ОК. Как показали многочисленные натурные исследования объектов строительства, при обнаружении некачественного монтажа окон в проемах или неправильной конструкции стеклопакетов у 10–15% обследованных светопрозрачных конструкций такие недостатки имели место на большей части аналогичных ОК, а дефекты заделки угловых вертикальных стыков наружных стен выявлялись не только в обследованных помещениях крайних этажей (первый и верхний), но и на всем протяжении стыков по высоте здания.

Напротив, значения сопротивления теплопередаче R_0 на базовых (термически однородных и, как правило, не дефектных) участках конструкций можно распространять на все ОК объекта весьма условно, так как они используются исключительно для расчетов теплотехнических величин энергетического паспорта здания в целом, сравнения с нормативными значениями и определения класса энергоэффективности объекта строительства, а не для детальной оценки качества теплоизоляции отдельных помещений.

Литература

- 1. ГОСТ 26254-84 Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, Москва, 1985 г.
- 2. ГОСТ 26629-85 Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций, Москва, 1985 г.
- 3. Могутов В.А. Обобщение опыта натурных экспериментальных обследований объектов ЖКХ, отчет НИИСФ РААСН, Москва, 2005 г.
- 4. Пилипенко Н.В. Методы параметрической идентификации в нестационарной теплометрии (ч. 1) // Изв. вузов. Приборостроение. 2003. Т.46. № 8.
- 5. Пилипенко Н.В. Методы параметрической идентификации в нестационарной теплометрии (ч. 2) // Изв. вузов. Приборостроение. 2003. Т.46. №10.
- 6. Пилипенко Н.В., Лазуренко Н.В., Лебедев П.В. Параметрическая идентификация нестационарных потоков с помощью тепломеров типа «вспомогательная стенка» // Изв. вузов. Приборостроение. 2005. Т.48. №9.
- 7. СНиП II-3-79* Строительная теплотехника. М., 1995.
- 8. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. М., 2003.
- 9. ТСН 23-340-2003 Санкт-Петербург «Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормативы по энергопотреблению и теплозащите», Санкт-Петербург, 2003.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАННЫХ ДАТЧИКОВ

Н.В. Пилипенко, К.В. Кириллов

Предлагается метод и устройство для исследования внешнего нестационарного теплообмена в двухфазных системах энергетических установок. Метод реализован с помощью комбинированных датчиков и базируется на решении прямой и обратной задачи теплопроводности для дифференциальноразностных моделей теплопереноса в датчике. Получены его динамические характеристики, приведены результаты оценки точности восстановления теплового потока в зависимости от различной степени детализации, применяемой при моделировании процесса теплопереноса.

В работе [1] предложен метод измерения эффективных температур и коэффициентов теплоотдачи в высокотемпературных псевдоожиженных слоях энергетических установок, который позволяет определить как средние за определенный промежуток времени, так и мгновенные значения величин. В связи со сложностью проведения натурных экспериментов при высоких температурах проводилось моделирование процессов теплопереноса на низкотемпературных установках с различными типами датчиков. Результаты исследований использовались для промышленных установок. Описание установок и датчиков приведено в работе [2]. Здесь остановимся на одном из датчиков, который позволяет исследовать внешний теплообмен в псевдоожиженном слое (рис. 1). Конструктивно он состоит из теплоизоляционного корпуса 1, медной пластины 2, внутри которой установлен нагреватель 4, и керамической пластины 3, на наружной поверхности которой имеется пленочный термометр сопротивления 5. Датчик установлен либо внутри слоя, либо на стенке установки. Поскольку к поверхности датчика подходит то пакет твердых частиц, то воздух, продуваемый через слой, происходят пульсации теплообмена на наружной поверхности датчика. В процессе исследований определялись пульсации коэффициентов теплоотдачи $\alpha(\tau)$ и теплового потока $q(\tau)$ при изменении температуры наружной поверхности, а также проверялось допущение о том, что весь поток от нагревателя идет к псевдоожиженному слою.

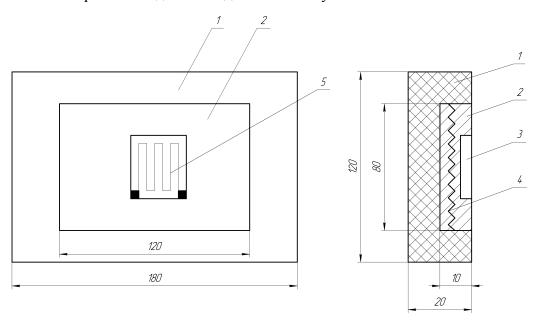


Рис. 1. Конструкция датчика

Для решения задачи использовались методы параметрической идентификации, изложенные в работах [3, 4], первым этапом которых является построение дифференциально-разностной модели (ДРМ). Топология ДРМ датчика представлена на рис. 2.

Ниже приведены уравнения теплового баланса для каждого из блоков, записанные относительно производной по времени:

В матрично-векторной форме система (1) имеет вид

$$\vec{T}(\tau) = F(\tau)\vec{T}(\tau) + G(\tau)\vec{U}(\tau), \tag{2}$$

где используются следующие стандартные обозначения:

• $\vec{T}(\tau) = [t_1(\tau) \quad t_2(\tau) \quad \bullet \quad t_{39}(\tau)]^T \quad (39 \times 1) -$ вектор состояния;

•
$$\vec{U}(\tau) = \begin{bmatrix} t_{cn1}(\tau) & \frac{P(\tau)}{S} & \frac{P(\tau)}{S} & \frac{P(\tau)}{S} & t_{cn2}(\tau) \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$
 (5×1) — вектор управления;

• $F(\tau)$ (39×39) и $G(\tau)$ (39×5) — матрицы обратных связей и управления соответственно.

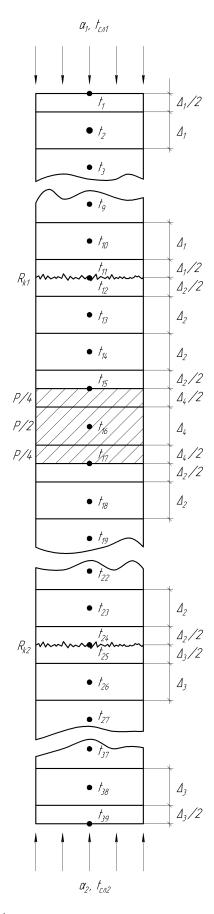


Рис. 2. Дифференциально-разностная модель датчика

В случае, когда датчик находится на стенке установки, для граничных условий (ГУ) II рода сверху и ГУ I рода снизу для граничных блоков получим:

$$\dot{t}_{1}(\tau) = -2b_{1}t_{1}(\tau) + 2b_{1}t_{2}(\tau) + 2d_{1}q_{1}(\tau),$$

$$\dot{t}_{38}(\tau) = 2b_{3}t_{37}(\tau) - 2b_{3}t_{38}(\tau) + 2d_{3}\frac{\lambda_{3}}{\Delta_{2}}t_{39}(\tau),$$
(3)

где $q_1(\tau)$ — поверхностная плотность теплового потока для первого блока, а значение температуры $t_{39}(\tau)$ входит в виде управляющего воздействия для последнего блока. Тогда векторы и размерности матриц примут вид:

•
$$\vec{T}(\tau) = [t_1(\tau) \ t_2(\tau) \ \bullet \ t_{38}(\tau)]^T (38 \times 1);$$

•
$$\vec{U}(\tau) = \begin{bmatrix} q_1(\tau) & \frac{P(\tau)}{S} & \frac{P(\tau)}{S} & \frac{P(\tau)}{S} & \frac{\lambda_3}{\Delta_3} t_{39}(\tau) \end{bmatrix}^T (5 \times 1);$$

• *F* (38×38) и *G* (38×5).

Все используемые геометрические параметры и физические свойства датчика сведены в следующую таблицу.

Элемент	Керамическая пластина	Медная пла- стина	Тепло- изоляция	Нагреватель	
Материал	керамика	медь	текстолит	нихром	
Индекс <i>i</i>	1	2	3	4	
Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	2,2	384	0,28	12,8	
Теплоемкость c , Дж/(кг·К)	1100	381	1500	460	
Плотность ρ , $\kappa \Gamma/M^3$	2800	8800	1350	7800	
Толщина h , м	$2,0\cdot10^{-3}$	1,0.10-2	$9.8 \cdot 10^{-3}$	2,0.10-4	
Число блоков разбиения <i>п</i>	11	12	15	3	
Толщина блока Δ, м	$2,0\cdot10^{-4}$	$1,0.10^{-3}$	$7,0\cdot 10^{-4}$	1,0.10-4	
Контактное сопротивление R_{kl} , (м ² ·K)/Вт	1,0.10-3			_	
Контактное сопротивление R_{k2} , (м ² ·K)/Вт	_	1,0.10-3		_	
Мощность нагревателя P , Вт		_	_	50	

Таблица. Геометрические параметры и физические свойства датчика

Модель измерений, при условии, что измеряется только температура поверхности датчика, в векторно-матричной форме будет выглядеть так:

$$\vec{Y}(\tau) = H\vec{T}(\tau) + \vec{\varepsilon}(\tau), \tag{4}$$

где приняты следующие обозначения:

- $\vec{Y}(\tau) = [y_1(\tau)] (1 \times 1)$ вектор измерений;
- $\vec{\varepsilon}(\tau) = [\varepsilon_1(\tau)]$ (1×1) вектор случайных погрешностей измерений;
- $H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \bullet & 0 \end{bmatrix}$ (1×39) или (1×38) для случая (3) матрица измерений.

Рассматриваемый датчик в теплометрии относится к категории преобразователей тепловых потоков (ПТП), поэтому в дальнейшем изложении будут в равной степени использоваться оба этих термина.

При проектировании ПТП и исследовании уже реализованных конструкций важным этапом является получение и анализ динамических характеристик. Нами были определены переходная, импульсная, амплитудно- и фазочастотная характеристики. Для этого использовались методы общей теории динамических систем применительно к математической модели пространства состоянии, которая в данном случае является объединением моделей процессов теплопереноса (2) и измерений (4), только без учета стохастической составляющей. Алгоритм, согласно которому были проведены расчеты, приведен в [5]. В качестве иллюстрации рассмотрим логарифмическую амплитудную частную характеристику (ЛАЧХ) и логарифмическую фазовую частотную характеристику (ЛФЧХ) датчика (рис. 3). ЛАЧХ показывает, что с ростом частоты амплитуда измеряемой температуры поверхности падает и в рассматриваемом диапазоне частот (1 Гц) принимает значения около 70 дБ. ЛФЧХ показывает, что при гармоническом воздействии разность фаз синусоид измеряемой температурой и температуры слоя в интересующем нас диапазоне определяется уровнем примерно в 45 градусов. Динамические характеристики позволили установить возможности датчика для определения параметров нестационарного внешнего теплообмена.

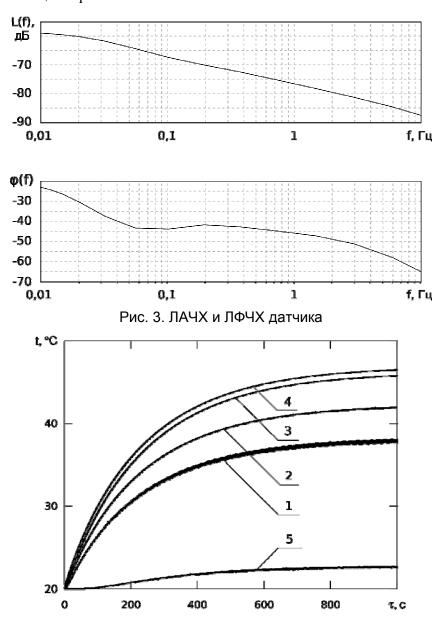


Рис. 4. Реакция датчика при t_{cn1} = t_{cn2} = 20 °C, $\alpha_1(\tau)$ = $\alpha_2(\tau)$ = 250 + 50 sin(2 τ) Вт / (К · м²)

Для оценки погрешностей определения параметров, характеризующих нестационарный теплообмен, была решена прямая задача теплопроводности (ПЗТ) для определения динамики изменения температурных полей в датчике при низкочастотных пульсациях (рис. 4), а также обратная задача теплопроводности (ОЗТ) по восстановлению теплового потока по двум разным моделям. Первая модель учитывает отток тепла через изолятор, а по второй весь тепловой поток от нагревателя идёт через медную пластину.

Литература

- 1. Пилипенко Н. В. Динамический метод измерения эффективных температур и коэффициентов теплоотдачи в псевдоожиженных слоях. // Приборы. 2004. № 10. С. 37–39.
- 2. Пилипенко Н. В. Мониторинг энергоемких технологических процессов: Учебное пособие к лабораторному практикуму. СПб: СПбГУИТМО, 1997. 40 с.
- 3. Пилипенко Н. В. Методы параметрической идентификации в нестационарной теплометрии (ч. 1). // Изв. вузов. Приборостроение. 2003. № 8. С. 50–54.
- 4. Пилипенко Н. В. Методы параметрической идентификации в нестационарной теплометрии (ч. 2). // Изв. вузов. Приборостроение. 2003. № 10. С. 67—71.
- 5. Пилипенко Н. В. Параметрическая идентификация процессов теплопереноса в нестационарной теплометрии: Учебное пособие. СПб: СПбГУИТМО, 2006. 96 с.

УСТАНОВКА ПРИБОРОВ УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ – ПУТЬ К ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ

А.А. Плотников, Е.Ю. Борисова

Погрешность измерения количества теплоносителя непосредственно влияет на количество подсчитанной тепловой энергии, а, следовательно, и на сумму оплаты, предъявляемую потребителю теплопоставляющими организациями. Использование приборов высокой точности с расширенным диапазоном измерения позволяет уменьшить финансовые затраты потребителя, а также является одним из путей к энергосбережению.

Цены на энергоносители постоянно растут, а с ними — необходимость рационально использовать энергоресурсы. Известно, что оборудование для оценки количества израсходованной тепловой энергии давно существует и с успехом применяется. Также известно, что измерение тепловой энергии проводится косвенным путем, и одним из наиболее весомых факторов является измерение количества теплоносителя. Таким образом, внедрение современных приборов, с расширенным диапазоном измерения и уменьшенным диапазоном погрешности, для учета количества теплоносителя позволяет уменьшить платежи за тепловую энергию, поскольку договорные нагрузки, по которым производят расчеты, значительно выше величины реального потребления тепловой энергии.

Для некоторых организаций сумма оплаты тепловой энергии по договорным нагрузкам в три, а иногда и больше, раз выше, чем сумма оплаты по предоставляемому в теплопоставляющую организацию отчету. Кроме того, использование приборов учета позволяет не только избежать необоснованных платежей, но и приводит к возможности энергосбережения путем проведения мероприятий по управлению энергопотреблением. Наличие узла учета позволяет получить необходимую информацию для оценки эффективности проводимых мероприятий по энергосбережению и осуществлять мониторинг теплопотребления.

В «Правилах учета тепловой энергии и теплоносителя» (п. 5.2.2) указано, что теплосчетчики должны обеспечивать измерение тепловой энергии горячей воды с относительной погрешностью не более 5 %, при разности температур между подающим и обратным трубопроводами от 10 до 20 °C и 4 %, при разности температур между подающим и обратным трубопроводами более 20 °C), а погрешность измерения массы (объема) теплоносителя не должна превышать 2 %. Таким образом, все используемые в коммерческом учете приборы обеспечивают указанные характеристики. Однако установка расходомеров более высокой точности и расширенного диапазона позволяет снизить затраты потребителя тепловой энергии.

Измеренное значение количества теплоносителя имеет погрешность, которая отражается на различных параметрах, предоставляемых в теплопоставляющую компанию. В системе учета тепловой энергии, имеющей два и более расходомеров, это может привести к видимому расхождению измеренных значений. Подобная ситуация часто оборачивается для потребителя штрафами за превышение установленного значения разности масс, за превышение договорного расхода или же за работу оборудования вне паспортного диапазона.

У каждого расходомера существует минимальное значение расхода, которое он способен регистрировать. Если же измеренное значение меньше этого нижнего предела, то в архив данных тепловычислителя записывается значение, внесенное в его базу данных как минимальное значение, которое способен измерить расходомер в паспортном диапазоне. В этом случае потребитель несет финансовые потери, оплачивая неиспользуемую тепловую энергию, и не видит действительной картины потребления тепловой энергии. Такая ситуация возникает в периоды перетопов, весной и осенью, когда температура наружного воздуха высока и необходимости полностью протапливать здание нет.

В коммерческом учете тепловой энергии наибольшее распространение получили приборы, имеющие диапазон измерения 1:100. Их диапазон можно условно разделить на две части: от Q_{max} до $Q_{\text{пер}}$ и от $Q_{\text{пер}}$ до Q_{min} , где Q_{max} и Q_{min} – это максимальное и минимальное значение измеряемого расхода, $Q_{\text{пер}}$ – величина расхода, при котором меняется погрешность измерения прибора. В первом случае при $Q > Q_{\text{пер}}$ погрешность измерения составляет 1 %, а во втором случае при $Q < Q_{\text{пер}}$ погрешность измерений достигает 2 %. Однако законодательно принято считать, что подобное оборудование работает в диапазоне от Q_{max} до Q_{min} с погрешностью в 2 %. При этом в случае $Q < Q_{\text{min}}$ потребитель вынужден оплачивать потребляемое тепло по договорным нагрузкам, поскольку получаемые значения не входят в паспортный диапазон измерений прибора.

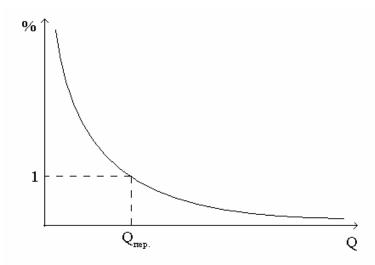


Рис. 1 Изменение относительной погрешности в зависимости от измеряемой величины

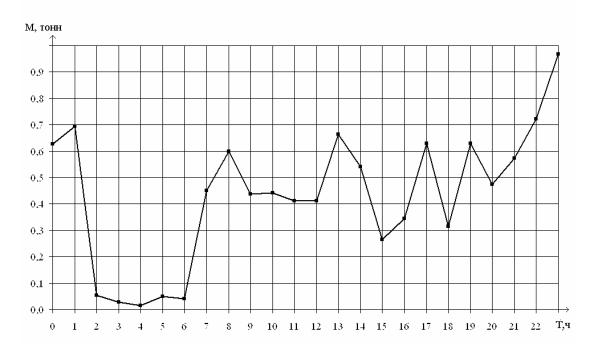


Рис. 2. Изменение величины потребления горячей воды в зависимости от времени суток

На рис. 2 представлены данные о величине потребления горячей воды за произвольно выбранный день. Из рисунка видно, что расход теплоносителя в зависимости от времени суток может значительно меняться. Как правило, потребление горячей воды максимально в вечерние часы, с 19:00 до 2:00, и минимально в ночные, с 2:00 до 6:00.

Аналогичным образом меняется и количество потребляемой при этом тепловой энергии (см. рис. 3).

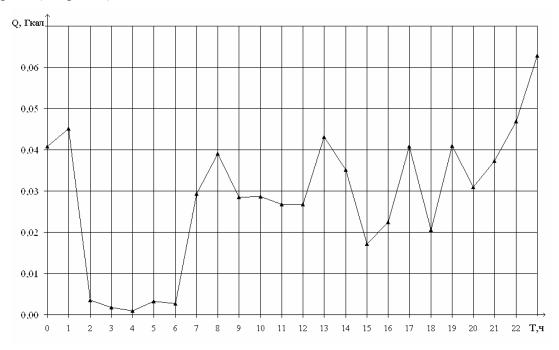


Рис. 3. Изменение количества потребляемой энергии в зависимости от времени суток

Колебания значений расхода происходят не только в течение суток, но и зависят от времени года. Так, потребление теплоносителя в летний период в 3–5 раз меньше, чем в зимний.

Рассмотрим ситуации, приводящие к штрафным санкциям для потребителя:

Приборы, установленные на подающем трубопроводе, регистрируют значение расхода с погрешностью -2 %, а на обратном трубопроводе – с погрешностью +2 %. В случае отсутствия водоразбора математически возникает картина, говорящая о том, что фактически потребитель является поставщиком, чего не может быть. Чаще всего это возникает при работе оборудования у нижней границы измерения и влечет за собой штрафные санкции, так как поставщики, хоть и признают наличие погрешности измерений, но убытки, связанные с этим, всегда перекладывают на потребителя.

Одно из решений этой проблемы – это установка дополнительного оборудования, что влечет большие затраты в части создания проектной документации и приобретения оного, или установка прибора с более широким диапазоном измерений и низкой погрешностью.

Некоторые производители, начиная с 1999 г., пытаются выпускать приборы высокой точности. То ли в погоне за точностью, то ли в конкурентной борьбе, представители таких фирм гарантируют высокую точность измерений в диапазоне 1:500, 1:1000. В некоторых источниках можно найти информацию о попытке создать прибор со «сверхшироким» диапазоном 1:3000. Далеко не всегда такие приборы подтверждают свои метрологические характеристики в условиях испытательных лабораторий. Тем более, нельзя говорить о точности измерений в реальных условиях, где необходимо учитывать некоторые внешние факторы, такие как, например, химический состав теплоносителя, температура, наличие электромагнитных помех. Такие до конца не продуманные и неподтвержденные попытки создания приборов высокой точности привели к тому, что на данный момент в средствах массовой информации распространилось достаточно негативное отношение к использованию таких приборов.

Однако начиная с 2005 г. в Санкт-Петербурге ООО «ТЕРМО» устанавливаются расходомеры VA2305M, производства «Aswega» Ltd., с широким диапазоном измерения 1:1000 и с погрешностью измерений 1 %. Данное оборудование хорошо зарекомендовало себя как на испытательном стенде, так и в реальных условиях эксплуатации. Установка данного оборудования незначительно дороже, однако при эксплуатации окупает себя значительно быстрее.

Рассмотрим простой пример.

Стоимость одной Гкал составляет 640 рублей, и существуют объекты, теплопотребление которых за сутки составляет около 100 Гкал. При разнице температур в 40–50° расход теплоносителя составляет от 2000 до 2500 т/сут. В этом случае 1% при измерении количества теплоносителя составляет 20–25 т, это 1 Гкал, т.е. 19840 рублей каждый месяц. И в этом случае следует говорить не о том, что установка приборов учета – это выгодно, а об экономии за счет установки более точного оборудования. Стоимость установки одного узла учета тепловой энергии составляет приблизительно 250000 рублей, т.е. окупаемость налицо.

Коммерческий учет тепловой энергии в системах теплоснабжения является одной из важнейших и трудно решаемых задач в коммунальном хозяйстве. Использование приборов высокой точности с расширенным диапазоном измерений позволяет сократить финансовые расходы на внедрение таких систем и дает возможность решать проблемы рационального использования теплоносителя.

Литература

1. Правила учета тепловой энергии и теплоносителя. – НЦ «ЭНАС», 2006.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ МОНИТОРИНГ СИСТЕМ ТЕПЛООБМЕНА ЗДАНИЙ КАК СПОСОБ ЭКОНОМИИ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

А.А. Плотников, Д.А. Гладских

Увеличение количества узлов учета тепловой энергии требует нового подхода к сбору, обработки и хранения данных. Современные технологии передачи данных с использованием GPRS и EDGE позволяют организовать систему централизованного учета энергоресурсов и контроля состояния узлов учета.

На сегодняшний день внедрение автоматизированных систем учета энергоресурсов является наиболее перспективным в развитии энергосберегающих технологий. В первую очередь это связано с массовым введением систем энергоучета на небольших объектах коммунального и индивидуального строительства. Количество абонентов, устанавливающих узлы учета тепловой энергии (УУТЭ) и осуществляющих учет энергоресурсов, стремительно растет, и единственно возможным способом обслуживания таких абонентов является организация централизованного учета энергоресурсов, в рамках которого должны решаться следующие задачи:

- сбор, обработка, регистрация, отображение и документирование информации в необходимой форме и количестве для расчета с энергоснабжающей организацией;
- контроль основных параметров энергоносителя;
- управление расходом тепла в соответствии заданным технологическим режимом;
- своевременное обнаружение и возможность скорейшей ликвидации аварийных ситуаций;
- поиск способов экономии энергоресурсов.

Выполнение последнего пункта достигается как осуществлением рационального использования энергоресурсов, так и снижением факторов, приводящих к их потере.

Практика показывает, что наибольшее снижение потребления тепловой энергии у абонентов достигается при оптимизации теплопотребления с помощью автоматизированных систем. Экономия при этом составляет:

- в жилых зданиях и зданиях с круглосуточным пребыванием рабочего персонала до 20%;
- в зданиях, где персонал пребывает только в дневное время до 40%; Основными же факторами, приводящими к потере энергоресурсов, являются:
- перегрев зданий в переходный период отопительного сезона из-за ограничений по снижению температуры воды в сети на нужды горячего водоснабжения;
- отсутствие регулирования по внешним параметрам (наружная температура, солнечная радиация, ветер и др.);
- отсутствие качественного контроля эксплуатации тепловых пунктов.

Скорость и надежность решения задач системы централизованного учета, а также уровень трудозатрат обслуживающего персонала определяют эффективность ее работы. Во многом эта эффективность определяется уровнем применяемых технологий сбора данных. С ростом количества обслуживаемых УУТЭ вклад данной составляющей становится все заметнее.

На протяжении многих лет основными способами сбора дынных были ручной съем показаний с приборов и модемный доступ по коммутируемым телефонным линиям. Распространение и удешевление сотовой связи стандарта GSM позволили оборудовать УУТЭ GSM-модемами. В последнем случае передача данных осуществляется с использованием технологии CSD (Circuit Switched Data – технология передачи данных по голосовым каналам со скоростью до 9,6 Кбит/с) или HSCSD (High Speed Circuit Switched Data – за счет использования нескольких речевых каналов для передачи одного потока данных скорость может достигать 57,6 Кбит/с). В системах учета, исполь-

зующих данную технологию, доступ диспетчерского компьютера к узлу учета осуществляется с помощью телефонного или GSM-модема. Обмену данными компьютера и приборов при этом предшествуют процедуры, присущие модемному доступу по коммутируемым телефонным линиям, — набор телефонного номера и установление связи между модемами. Однако, несмотря на простоту и мобильность такого способа сбора данных, он имеет ряд существенных недостатков:

- может осуществляться только последовательный опрос узлов учета;
- невозможно отслеживать параметры энергоносителей в реальном времени;
- большая длительность процесса опроса (даже при передаче незначительного объема информации);
- высокая стоимость эфирного времени.

Из-за вышеперечисленных недостатков использование модемной связи для большого количества обслуживаемых объектов становится нецелесообразным.

Значительного уменьшения временных и материальных затрат на сбор информации в больших системах можно достигнуть применением для передачи данных технологии GPRS. GPRS (General Packet Radio Service – пакетная радиосвязь общего назначения) – технология передачи пакетов протокола IP в сотовой сети, обеспечивающая доступ мобильного оборудования к сети Интернет. По сравнению с CSD и HCSD, GPRS использует более эффективные способы передачи информации, которые позволяют одновременно обмениваться данными и использовать речевой канал связи.

Наиболее передовой технологией, идущей на смену GPRS, является технология EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution), главное отличие которой от GPRS – использование нового способа модуляции радиосигнала, что повышает скорость передачи данных в несколько раз. В остальном EDGE использует те же принципы логической организации канала передачи данных.

Основные преимущества использования технологий GPRS и EDGE для обмена данными диспетчерского компьютера и приборов УУТЭ следующие:

- считывание информации может выполняться параллельно со всех узлов учета, входящих в систему;
- общее время считывания данных определяется пропускной способностью интернетканала на стороне диспетчерского компьютера;
- GPRS является одной их самых недорогих технологий, предоставляемых операторами сотовой связи для передачи данных, тарификация осуществляется по объему переданной информации, а не по времени соединения, как в случае CSD / HSCSD;
- доступ к узлу учета может быть осуществлен из любой точки земного шара. Для этого необходим только компьютер, подключенный к глобальной сети Интернет.

Для применения в системах централизованного учета энергоресурсов технологии GPRS оборудование систем учета должно соответствовать следующим требованиям:

- поддержка технологии GPRS устройствами передачи данных, подключаемым к приборам энергоучета;
- поддержка самими приборами энергоучета определенных процедур (регистрация в сети, установление IP-сеанса, обеспечение передачи данных по сети Интернет по протоколу TCP/IP, возможность отправки оператору связи USSD-запросы, также желательно, чтобы прибор поддерживал механизм передачи данных, использующий при работе в сети Интернет фиксированный (публичный) IP-адрес);
- обеспечение определенных мер безопасности при передачи данных (защита настроечных параметров приборов энергоучета от несанкционированного изменения, защита от преднамеренной фальсификации (подмены) данных с помощью имитации работы приборов учета в сети).

Эффективность системы централизованного учета зависит не только от оборудования, установленного на УУТЭ и диспетчерском рабочем месте, но в не меньшей сте-

пени и от программного обеспечения (ПО), использующегося для сбора, обработки и хранения данных. Практика показывает, что для корректной работы всей системы данное ПО должно удовлетворять следующим требованиям:

- возможность сбора данных с разных источников (с приборов, предназначенных для ручного снятия показаний, посредством модемного доступа по коммутируемым телефонным линиям и сотовой связи, а также с использованием технологий GPRS и EDGE) и приборов от различных производителей;
- хранение данных в единой базе данных с возможностью оперативного резервирования и восстановления;
- возможность одновременного доступа к базе данных с нескольких компьютеров для анализа и обработки информации разными сотрудниками организации;
- представление собранных данных в наглядной форме.

Переход к новым технологиям организации централизованного учета позволяет не только получать большие объемы данных с приборов за меньшее время, но и вести мониторинг состояния различных параметров в реальном времени, что позволяет мгновенно отслеживать возникновение различных нештатных ситуаций на объектах. Помимо приборов учета энергоносителей, на объектах могут быть установлены различные дополнительные датчики, фиксирующие незаконное проникновение посторонних на объект, отслеживающие состояние помещения, где установлен УУТЭ, трубопроводов, такие, как датчики затопления помещения, пожарная и охранная сигнализации. Естественно, в этом случае предъявляются дополнительные требования ко всему программно-аппаратному комплексу.

Установка подобных систем мониторинга позволяет заблаговременно отслеживать не только аварийные ситуации как факт, но и тенденции к износу и ухудшению параметров функционирования оборудования, а, следовательно, осуществлять своевременные ремонт и замену.

Данный подход к организации учета энергоносителей выгоден не только абоненту, который получает реальную экономию и оперативное устранение нештатных ситуаций, но и теплопоставляющим организациям. Последние имеют возможность в этом случае получать всю необходимую информацию об объекте в режиме реального времени, отслеживать аварийные ситуации на теплотрассах для скорейшего ремонта.

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ, МАССЫ, ИМПУЛЬСА И ИНФОРМАЦИИ

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ МОДУЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПАМЯТИ А.В. Шарков, В.И. Егоров, Г.В. Бирюлин, С.А.Туркунов

Рассчитан тепловой режим модуля электронной памяти, приведена методика замены многослойных стенок однослойной анизотропной в конечноэлементной модели, с помощью мультифизического моделирования рассчитаны граничные условия вынужденной конвекции.

Введение

В современных вычислительных машинах одним из основных элементов является электронная память, которая наряду с микропроцессором критически влияет на быстродействие вычислений и должна поддерживаться при нормальном тепловом режиме, так как даже небольшой перегрев модулей приведет к сбоям в работе. С ужесточением требований плотности упаковки в БНК всех уровней возникает проблема максимально эффективного использования площади печатных плат и узлов аппаратуры. В связи с этим был предложен 3D дизайн функционального модуля памяти (рис. 1) как наиболее востребованного узла вычислительной техники. При такой плотности компоновки элементов в современной РЭА нельзя довольствоваться обычными приближенными методами теплового расчета, так как перегрев даже в одной точке на два градуса может оказаться критичным для жизнеспособности всего блока в целом, поскольку при использовании многоэтажной структуры построения вычислительного модуля важно помнить, что тепловая мощность распределяется не только в плоскости Х, У, но и по вертикальной оси Z. Это значительно усложняет обеспечение оптимального теплового режима модуля. Поэтому при неравномерном распределении мощности в объеме модуля необходимо создавать трехмерную численную модель, по возможности избавляясь от мелких элементов или учитывая их влияние в свойствах соседних, более крупных элементов [1].

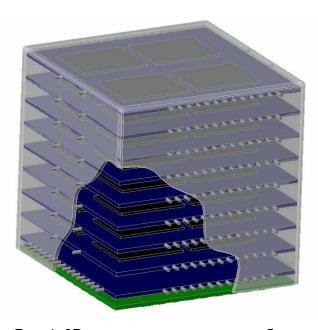


Рис. 1. 3D модель вычислительного блока

Современные конечно-элементные программные пакеты позволяют решать такие задачи для точных моделей с учетом всех деталей, но требуют больших затрат машинного времени и большой оперативной памяти.

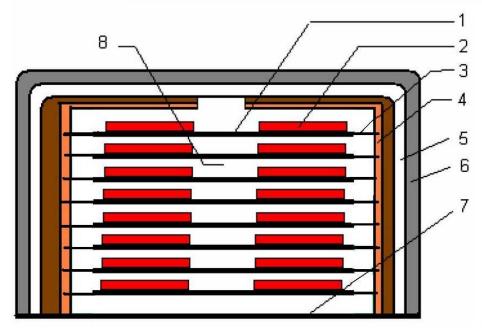


Рис. 2. Схематичное изображение модуля электронной памяти в разрезе: 1 –подложка, 2 – кристалл, 3 – выводы, 4 – полиимидная пластина с медным покрытием, 5 – диэлектрик, 6 – алюминиевый кожух, 7 – основание, 8 – воздушные прослойки между подложками

Конструктивно рассчитываемый вычислительный модуль (рис. 2) состоит из расположенных параллельно друг над другом восьми подложек размером 24×25 мм, на каждую из которых приклеены 4 кристалла. Перпендикулярно плоскости подложки расположены 4 печатные платы, выполненные из фольгированного полиимида. В отверстия этих плат вставляются выводы подложек. Полиимидные кроссплаты электрически соединяются с нижней коммутационной платой, имеющей внешние для модуля выводы. Конструкция защищена металлическим кожухом. Между полиимидными кроссплатами и кожухом расположен слой диэлектрика. Суммарная потребляемая мощность составляет 0,8 Вт. Максимальная температура среды +85 °C.

Методика расчета температурного поля

Расчет проводился в конечноэлементном пакете COMSOL Multiphysics. Несмотря на то, что расчет проводился в стационарном режиме, из-за нелинейности заданных свойств (лучистый теплообмен между подложками и со средой), для сокращения машинного времени было необходимо уменьшить количество узлов сетки в разработанной трехмерной модели, так как из-за требуемых сгущений сетки на тонких прослойках и выводах в первоначальной модели было построено около 5×10^6 элементов. На предварительном этапе расчета для замены многослойных конструкций однородными стенками с аналогичными свойствами были определены эффективные значения теплопроводности для материала подложек и кроссплат, а также найдено эффективное значение теплопроводности для стенки между подложкой и кроссплатой, которая заменяет в модели 16 выводов с каждой стороны подложки.

В связи с тем, что подложки представляют собой многослойные пластины с чередованием высоко- и низкотеплопроводных слоев различной толщины, эффективная теплопроводность в продольном и поперечном направлении будет различаться. Это справедливо и для кроссплат, которые состоят из слоя полиимида с теплопроводностью 0,25 Вт/м×К и 16 параллельных токоведущих дорожек из медной фольги с теплопроводностью 400 Вт/м×К. Причем на кроссплатах эффективная теплопроводность в продольном направлении вдоль и поперек полосок будет также различаться. Для стенки, заменяющей выводы по краям кроссплаты, также задается анизотропная теплопроводность в одном направлении — вдоль выводов, по другим направлениям составляющие теплопроводности задаются равными нулю.

Значения анизотропной теплопроводности вышеперечисленных элементов вычислялись путем проведения численных экспериментов. Создавались трехмерные модели каждого элемента, и выяснялись перепады температур между противоположными границами при заданном потоке q, с одной стороны, и нулевой температуре — с другой. Теплопроводность вычислялась по закону Фурье для стенки

$$q = \lambda \frac{T_2 - T_1}{I} \tag{1}$$

При варьировании граничных условий на модели многослойной стенки и однородной стенки с эффективной анизотропной теплопроводностью было определено, что для диапазона возможных потоков погрешность вычисления температурного поля, вызванная такой заменой, не превышает 2%.

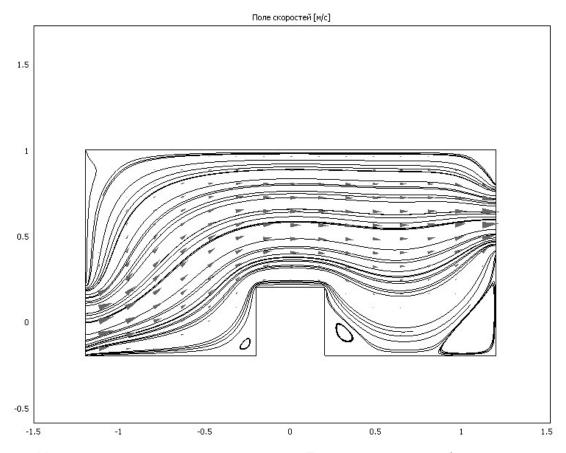


Рис. 3. Модель воздушного потока, в разрезе. Треугольниками изображены вектора

После упрощения итоговая трехмерная модель разбивалась на 10^4 элементов, что значительно сократило время расчета и позволило применять параметрический расчет для варьирования внешних условий и свойств диэлектрической прослойки.

Граничные условия задавались при условии температуры среды 85 °C, коэффициента конвективной теплоотдачи в условиях свободной конвекции 5 Вт/м×К, а коэффициента черноты поверхности 0,9. Рассматривались случаи вынужденной конвекции, со скоростью потока от 0,1 до 5 м/с. На основании задавалось граничное условие І рода — среднеповерхностная температура кожуха.

В общем виде граничные условия для случая свободной конвекции задавались в программе с помощью уравнения

$$\overline{n} \cdot (\lambda \nabla T) = q_0 + \alpha (T_{cpeobl} - T) + Const(T_{pao}^4 - T^4)$$
(2)

Здесь Const — произведение постоянной Стефана-Больцмана $5,67 \times 10^{-8} \, \mathrm{Br/(m^2 \times K^4)}$ на коэффициент черноты поверхности.

Так как известна только потребляемая мощность модуля, а частота обращения к каждой из микросхем памяти заранее непредсказуема, рассматривалось три случая.

- А) Мощность распределена равномерно по всем кристаллам с частотой обращения к кристаллам 40 нс.
- Б) Работают только четыре кристалла на одной из подложек (3 или 4 этажа восьмиэтажного блока будут являться худшим случаем в данном варианте).
- В) Вся мощность выделяется на одном кристалле определенного этажа.

Для случая В был проведен стационарный параметрический расчет в мультифизической модели с учетом вынужденной конвекции. Поток воздуха моделировался при помощи уравнения Навье-Стокса [2], кожух связывался с моделью воздушного потока по полю температур (рис. 3), граничные условия задавались на входе в объем в виде параболического распределения скоростей на входе, и атмосферным давлением на выходе в среду. Температура воздуха принимались равной 85 °C.

Результаты расчетов

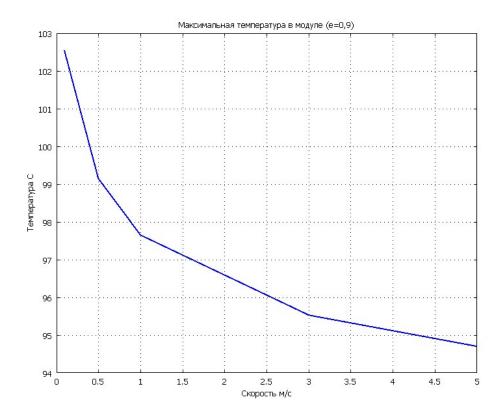


Рис. 4. Зависимость максимальной температуры в модуле от скорости потока воздуха

В результате расчета были получены следующие значения температур для трех вариантов распределения источников мощности в объеме.

Случай	A	Б	В
Максимальная температура в модуле	98,5	101,8	109,5
Среднеповерхностная температура кожуха	97,5	96,9	97,2

Таблица 1. Результаты трехмерного моделирования при естественной конвекции и коэффициенте черноты поверхности 0,9 °C.

Результаты расчета для случая В приведены на рис. 4.

Заключение

Самым худшим с точки зрения теплового режима является случай В, когда вся мощность выделяется на одной микросхеме. Так как это превышает максимальную допустимую температуру на кристалле (105 °C), необходимо принять меры для обеспечения нормального теплового режима. В результате расчета было показано, что даже слабый поток воздуха (0,1 м/с) снижает температуру модуля до допустимых значений.

Также необходимо увеличить площадь металлизации коммутирующих слоев, ввести фальш-ножки или так называемые слепые выводы для лучшего отвода тепла от кристаллов.

Помимо этого, следует принять во внимание возможность применения новых методов конструирования блоков с использованием высокотеплопроводных материалов на основе углепластиков или карбидкремниевых структур.

Программирование блока должно быть организовано таким образом, чтобы исключить постоянную работу одного кристалла или только одного этажа и тем самым обеспечить квазистационарный тепловой режим работы модуля.

Но самым основным, пожалуй, окажется увеличение плотности упаковки внутри самого модуля и тем самым ликвидация излишних «тепловых пробок» или зон низкой теплопроводности.

Литература

- 1. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
- 2. Патанкар С. Численное моделирование задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 312 с
- 3. Бирюлин Г.В. Егоров В.И. Применение ЭВМ для решения задач теплопроводности. Учебное пособие. СПб: СПб ГУ ИТМО, 2006. 79 с.
- 4. Дульнев Г.Н. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. М.: Энергия, 1968. 359 с.

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ АНОМАЛИЙ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЗАГЛУБЛЕННЫМИ В ГРУНТ ИНОРОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

В.И. Егоров, Г.В. Бирюлин

Путем численного моделирования получены оценки температурных аномалий возникающих в течение суток на поверхности грунта над объектами, для различных грунтов. Варьировалась глубина залегания и граничные условия на поверхности. Полученные результаты позволяют оценить целесообразность применения тепловизионной съемки для поиска инородных объектов.

Введение

Нынешнее развитие тепловизионной техники позволяет проводить аэротепловизионный мониторинг поверхности земли и получать температурное распределение с точностью до 0,02 К [1]. Такие возможности приводят к новым применениям тепловизоров: находя локольные возмущения температурного поля на поверхности, определять местонахождение в грунте инородных предметов — мин, металлических предметов и т.п.

Сейчас в редких случаях для обнаружения взрывоопасных предметов (ВОП) на поверхности грунта, в том числе в корпусах с защитным и деформирующим в ближней области инфракрасного спектра окрашиванием, используются тепловизоры [2]. В течение суток часто возникают моменты, когда разница температур искомых объектов и фона составляет значительную величину. Например, такие моменты возникают во время восхода или захода Солнца, после дождя или выпадения росы. Портативный компьютерный термограф «ИРТИС-220», имея чувствительность к перепаду температур порядка 0,05 °С, в этих условиях обеспечивает выявление ВОП, в том числе частично скрытых растительностью. Кроме того, реализуются варианты активного теплового воздействия на подстилающую поверхность с целью еще большего увеличения градиента температур искомых объектов и фона, когда могут быть обеспечены условия для обнаружения и заглубленных в грунт объектов.

В данной работе с помощью численного моделирования получена оценка локальных перепадов температур около заглубленной в грунт противотанковой мины, получена зависимость перепада от глубины залегания и теплофизических свойств грунта, а также выявлены периоды суток, наиболее выгодные для проведения тепловизионной съемки (ТВС).

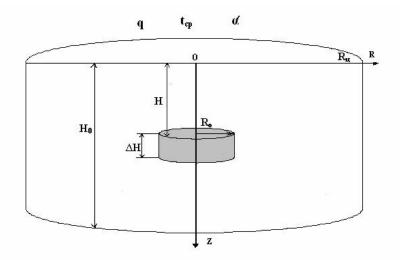


Рис.1. Эскиз вертикального сечения грунта с находящимся объектом

Методика расчета

В конечноэлементном пакете COMSOL Multiphysics была создана двумерная осесимметричная модель объекта в среде (рис. 1). Объект (мина) представляет собой взрывчатое вещество в цилиндрической оболочке. Среда моделируется в виде цилиндрической зоны, которая значительно больше объекта (радиус 1,1 м, глубина 3 м). На границах по краям на «дне» зоны задавались адиабатические условия (1,2). На верхней границе задавалось смешанное граничное условие (3) — учитывался теплообмен с воздухом (α и t_{cp}) и плотность потока солнечного излучения q.

$$Z=H_0, \quad \frac{\partial T}{\partial Z}=0 \; ;$$
 (1)

$$Z=0, \qquad \frac{\partial T}{\partial R}=0;$$
 (2)

$$r=R_{II}$$
, $-\lambda \frac{\partial T}{\partial Z} + \alpha (T - t_{cp}(\tau)) = q(\tau)$. (3)

Температура воздуха и плотность потока зависят от времени суток. Если решать задачу только в течение одних суток, то необходимо знать начальное распределение температуры в каждой точке рассчитываемого объема. Такую информацию получить невозможно, поэтому для получения искомых суточных распределений температуры необходимо проводить итерационную процедуру по решению задачи и течение нескольких суток до тех пор, пока распределения температур в один и тот же момент в различные сутки будут одинаковы.

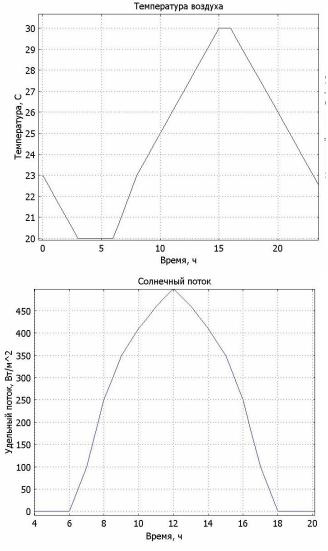


Рис.2 Температура воздуха[⁰ C] и плотность теплового потока солнечного излучения в течение суток, [Вт/м²]

Для оценочных расчетов выбраны зависимости, изображенные на рис. 2. Скорость ветра принимается 2 м/с, коэффициент теплоотдачи поверхности вычислялся из критериальных

уравнений [3]. При данных зависимостях грунт и объект утром и днем нагреваются, а вечером и ночью остывают. Так как из-за разницы теплофизических свойств эти процессы идут с разной скоростью, возникает перепад температур между объектом и грунтом, который приводит к локальной аномалии температурного поля на поверхности над объектом.

При моделировании варьировалась теплоемкость и теплопроводность грунта, а также глубина залегания объекта. Шаг по времени варьировался в зависимости от интенсивности процесса. Сетка локально сгущалась в области мины. Расчет проводился для трех диапазонов температур.

Результаты расчетов

Как видно из табл. 1, возмущение температурного поля возрастает при повышении плотности теплового потока, диапазон температур воздуха влияет незначительно.

Изменение температу-	Максимальная плот-	Перепад, К
ры воздуха, °С	ность теплового пото-	Песок
	ка, Вт/м ²	
20-30	200	0,5
20-30	500	1,5
20-30	800	2,5
10-15	200	0,45
10-15	500	1,45
0-40	500	1,7

Таблица 1. Зависимость перепада температур между точкой над объектом и удаленной точкой от диапазона температур и потока, глубина залегания 5 см

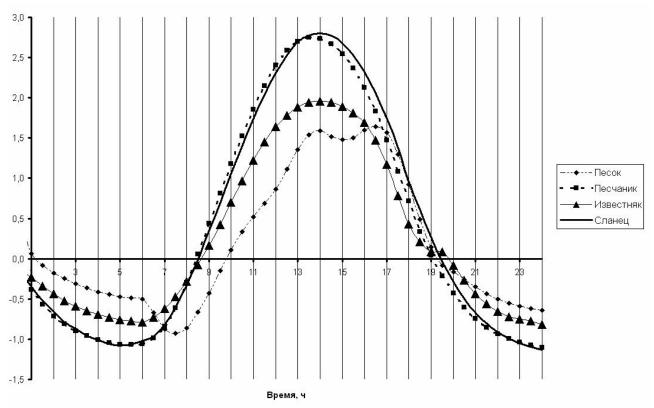


Рис. 3. Зависимость температурного перепада между точкой над объектом и удаленной точкой для разных грунтов

Из рис. З видно, что свойства грунта сильно влияют на неравномерность температурного поля. Чем меньше свойства объекта отличаются от свойств грунта (теплопроводность песка и тринитротолуола одинакова (0.5 Bt/mK), а объемная теплоемкость отличается только на 30%), тем меньше температурная аномалия.

Увеличение глубины залегание (рис 4) приводит к двум тенденциям: во-первых уменьшается перепад температур, во-вторых максимальный перепад происходит позднее.

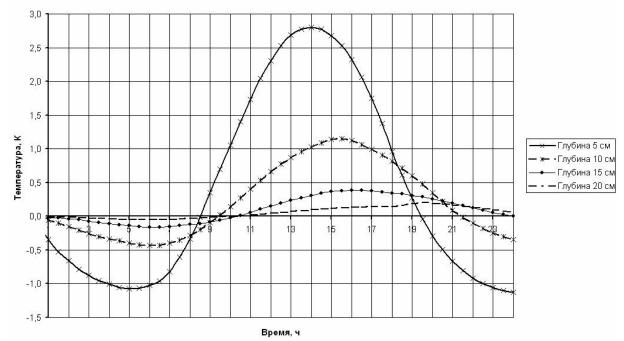


Рис. 4. Зависимость температуратурного перепада между точкой над объектом и удаленной точкой для разных глубин залегания объекта

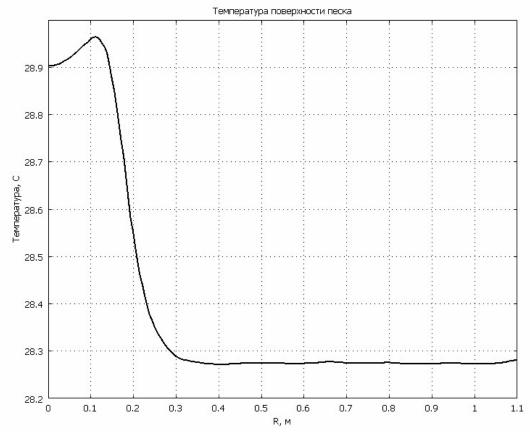


Рис. 5. Температурное распределение на поверхности песка над миной. Виден небольшой температурный перепад между центром мины и стенками

Заключение

Приведенные результаты показывают, что в течение суток есть два периода, во время которых необходимо проводить тепловизионную съемку (ТВС). Анализируя полученные данные, можно выявить места вероятного залегания объектов в грунте. При выборе времени, наиболее эффективного для ТВС, необходимо знать теплофизические параметры грунта и искомых объектов, а так же изменение температуры воздуха и плотности солнечного потока в данной местности за несколько предшествующих дней.

Также было получено, что для ВОП в металлическом корпусе, находящемся в грунте, который по теплофизическим свойствам приближен к объекту, возникает незначительный перепад (около $0.1~{\rm K}$) от центра к краям (рис 5), что позволяет при достаточной точности тепловизора отличать такие объекты от посторонних предметов, камней и т.п.

Для большинства грунтов на территории России область применения данной методики ограничивается глубиной 15–20 см. Наиболее благоприятными районами для применения данной методики обнаружения ВОП являются южные, горные районы в связи с высокой плотностью потока, а также районы с грунтами, температуропроводность которых сильно отличается от температуропроводности объектов поиска.

Литература

- 1. Левитин И.Б Применение инфракрасной техники. Л.: Энергоиздат, 1981.
- 2. Петренко Е.С. Средства поиска взрывоопасных предметов по косвенным признакам.// Специальная техника. 2002. № 2.
- 3. Лыков А.В. Тепломассообмен: Справочник. М.: Энергия, 1978. 480 с.
- 4. Бирюлин Г.В. Егоров В.И. Применение ЭВМ для решения задач теплопроводности. Учебное пособие. СПб: СПб ГУ ИТМО, 2006. 79 с.
- 5. http://www.aerogeophysica.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

В.Ю. Сушко, В.А. Кораблев, Д.С. Богомолов

Рассмотрено определение тепловых сопротивлений электрических соединителей в электронных приборах экспериментальным и расчетным путем. Полученные результаты могут быть использованы для расчета тепловых потерь и для задания граничных условий при тепловых расчетах.

Введение

В современных электронных приборах (ЭП) соединение печатных плат и других элементов выполняется с помощью электрических соединителей СНП (соединители электрические низкочастотные прямоугольные), изображенных на рис. 1, или их зарубежных аналогов DIN41612. При анализе теплового режима приборов необходимо учитывать их тепловые сопротивления, однако эти величины в их технических характеристиках не приводятся.



Рис. 1. Внешний вид соединителей СНП58 (фото)

В разъемных соединениях тепловой поток проходит через поверхность соприкосновения твердых тел, которые не бывают абсолютно гладкими вследствие шероховатости или волнистости поверхности, что создает сложности при его расчете. В результате часть теплового потока проходит через зону фактического контакта, а часть — через среду, заполняющую пространство между контактами [1]. Вопросам определения тепловых потоков в зоне контакта посвящены работы [1–3], но тепловое сопротивление разъемного соединения определяется не только сопротивлением области контакта, но и остальными его частями. В работе [4], посвященной расчету и экспериментальному определению теплового сопротивления болтовых соединений, контактное тепловое сопротивление вообще не учитывается.

К разъемным соединениям в ЭП относятся и электрические соединители (ЭС), также называемые электрическими разъемами. Они предназначены для обеспечения разъемного электрического соединения и обычно состоят из двух частей – вилки и розетки. Однако ЭС не рассматриваются ни в вышеперечисленных работах, ни в работах, рассматривающих тепловые процессы в электрических контактах [5–6]. Тепловые со-

противления ЭС также не нормируются их производителями, поэтому необходимо как их экспериментальное исследование, так и создание и проверка методик расчета их теплового сопротивления.

Методика расчета теплового сопротивления электрического соединителя

Методика расчета теплового сопротивления штыревого ЭС была ранее описана в [7]. Тепловое сопротивление ЭС, R_c , представляется как совокупность параллельных тепловых сопротивлений каждого из путей, по которому через него проходит тепловой поток, а именно тепловых сопротивлений следующих путей:

- $R_{_{9}}$ через каждый электрический контакт вилки, область его соединения с контактом розетки и контакт розетки;
- $R_{\kappa opn}$ через корпуса вилки и розетки и воздушный зазор между ними;
- $R_{\kappa a p \kappa}$ через каркас ЭС и область контакта его отдельных частей.

Тепловое сопротивление $R_{\kappa opn}$ обычно велико по сравнению с $R_{_{9}}$ и $R_{\kappa ap\kappa}$, поэтому им пренебрегают. Во многих ЭС отсутствует металлический каркас, тогда $R_{c}=N\cdot R_{_{9}}$, где N — число контактов ЭС. Тепловое сопротивление $R_{_{9}}$ складывается из двух составляющих — теплового сопротивления области контакта вилки и розетки $R_{_{91}}$ и теплового сопротивления электрических контактов вне области контакта $R_{_{92}}$.

В работе [7] показано, что тепловое сопротивление области контакта можно вычислить по формуле

$$R_{91} = \frac{l_{\kappa onm} k_3}{2\lambda_1 A_1 k_2 s h(k_2)(1 + k_1)},\tag{1}$$

где значения коэффициентов имеют вид

$$k_{1} = \frac{\lambda_{1} A_{1}}{\lambda_{2} A_{2}}, \quad k_{2} = l_{\kappa OHM} \sqrt{\frac{\sigma_{KTC} \Pi_{\kappa OHM} (\lambda_{1} A_{1} + \lambda_{2} A_{2})}{\lambda_{1} A_{1} \lambda_{2} A_{2}}}$$

$$k_{3} = 4k_{1} + e^{-k_{2}} (k_{1}^{2} - k_{1} k_{2} + 1) + e^{k_{2}} (k_{1}^{2} + k_{1} k_{2} + 1)$$
(2)

 $l_{\scriptscriptstyle {\it конт}}$ — длина области контакта, $\Pi_{\scriptscriptstyle {\it конт}}$ — периметр поперечного сечения области контакта, λ_1 , λ_2 — коэффициенты теплопроводности контактов вилки и розетки, A_1 , A_2 — площади поперечного сечения контактов вилки и розетки соответственно. Контактная тепловая проводимость $\sigma_{\it kTC}$ рассчитывается по методике, предложенной в [2].

В [7] при расчете теплового сопротивления ЭС не учитывалась составляющая $R_{_{92}}$, поскольку рассматривался ЭС, в котором $R_{_{91}} >> R_{_{92}}$ вследствие большей относительной длины области контакта. Составляющая $R_{_{92}}$ рассчитывается по формуле теплового сопротивления стержня при отсутствии бокового теплообмена.

Тепловое сопротивление ЭС, не содержащего каркаса, в результате имеет вид $R_c = N(R_{s1} + R_{s2})$. (3)

Экспериментальная установка

Для экспериментального исследования теплового сопротивления ЭС использовалась установка, схема которой изображена на рис. 2. К внешним электрическим контактам исследуемого штыревого ЭС 6 припаиваются медные трубки 5. Через трубку, установленную на вилке ЭС, пропускается охлаждающая жидкость (вода) 7. Температура

воды поддерживается на постоянном уровне, соответствующем комнатной температуре, при помощи жидкостного термостата 9.

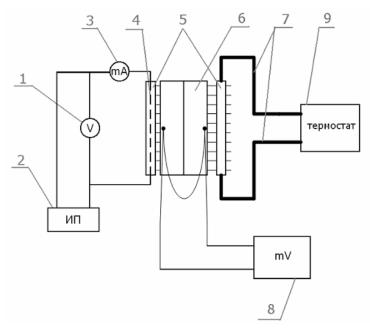


Рис. 2. Схема установки для исследования теплового сопротивления ЭС: 1 – вольтметр универсальный Ц4311, 2 – источник питания ТЭС 21, 3 – вольтметр универсальный Ц4311, 4 – нагреватель, 5 – медные трубки, 6 – исследуемый ЭС, 7 – трубки с охлаждающей водой, 8 – вольтметр универсальный В7-21, 9 – жидкостный термостат UTU-4. Тепловая изоляция ЭС и нагревателя не показана

Внутри второй трубки, припаянной к контактам розетки ЭС 6, расположен нагреватель 4. Питание нагревателя осуществляется от источника постоянного тока 1, а напряжение и ток на нагревателе контролируются универсальными вольтметрами 2, 3.

Вблизи двух противоположных поверхностей ЭС в его корпусе монтируются два спая дифференциального термоэлектрического преобразователя типа медь—константан. Места установки спаев показаны на рис. 2 жирными точками. Регистрация сигнала с термоэлектрического преобразователя (ЭДС) производится универсальным вольтметром В7-21. Все измерения производятся в стационарном тепловом режиме, когда показания термоэлектрического преобразователя, контролируемые вольтметром δ , перестают изменяться.

Тепловой поток, рассеиваемый нагревателем 4, $\Phi_{_{\it H}}$, идет через ЭС 6 к охлаждающей жидкости в трубках 7, а также рассеивается в окружающую среду, поэтому тепловое сопротивление ЭС определяется как

$$R_c = \left(\frac{\Phi_n}{\Delta t} - \sigma_{cp}\right)^{-1}.\tag{4}$$

Результаты измерений и расчетов

На описанной выше установке были исследованы тепловые сопротивления ЭС DIN41612 D32-64, DIN41612 D33-96, СНП58-64 и СНП59-96. Также был проведен расчет их теплового сопротивления по формуле (3), результаты измерений и расчетов представлены в таблице.

Вид соединителя	Эксперимент	Расчет
СНП58-64	6,9±0,4	5,8
DIN41612 D32-64	6,7±0,2	5,8
СНП59-96	5,8±0,4	4,5
DIN41612 D33-96	5,5±0,4	4,5

Таблица. Результаты измерений и расчетов теплового сопротивления ЭС, К/Вт

Погрешность расчетов в результате не превысила 20% для всех исследованных ЭС. Полученное занижение результатов расчетов по сравнению с результатами экспериментов, по-видимому, вызвано недостаточной исходной информацией, так как подробные сведения о материалах, из которых изготовляются ЭС, скрываются их производителями и не приводятся даже в технических условиях.

Заключение

На специально разработанной установке были экспериментально определены тепловые сопротивления ЭС, применяемых в ЭП. При сравнении результатов измерений с результатами расчетов получено, что погрешность расчетной методики не превышает 20%, что приемлемо для большинства расчетов. Полученные значения тепловых сопротивлений могут использоваться для определения тепловых потоков через ЭС и для задания граничных условий при тепловых расчетах компонентов ЭП.

Литература

- 1. Шлыков Ю.П., Ганин Е.А., Царевский С.Н. Контактное термическое сопротивление. М.: Энергия, 1977. 328 с.
- 2. Попов В. М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений. М.: Энергия, 1971. 216 с.
- 3. Savija I., Culham J. R., Yovanovich M. M. Review of thermal conductance models for joints incorporating enhancement materials // Journal of Thermophysics and Heat Transfer. 2003. Vol. 17. No. 1. P. 43 52.
- 4. Lee S. Analytical modeling of thermal resistance in bolted joints /Lee S., Song S., Moran K. P., Yovanovich M. M. // Enhanced Cooling Techniques for Electronic Applications. 1993. Vol. 263. P. 115 122.
- 5. Хольм Р. Электрические контакты / Пер. с англ. под ред. Д. Э. Брускина и А.А. Рудницкого. М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. 464 с.
- 6. Ким Е.И., Омельченко В.Т., Харин С.Н. Математические модели тепловых процессов в электрических контактах. Алма-Ата: Наука КазССР, 1977. 236 с.
- 7. Сушко В.Ю., Кораблев В.А., Шарков А.В. Методика расчета теплового сопротивления штыревых электрических разъемов // Изв. вузов. Приборостроение. 2005. Т. 48. № 9. С. 51–54.

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ОПТИЧЕСКОГО ПРИБОРА

А.Д. Исламова, В.А. Кораблев, Л.А. Савинцева, А.В. Шарков

На основе математического моделирования теплового режима оптического прибора получены значения нестационарных температур основных элементов прибора в условиях эксплуатации в тропических и северных морях. Полученные результаты положены в основу оптимизации данной конструкции.

Современные оптико-механические приборы могут применяться во всех климатических зонах, поэтому одной из важнейших задач является проектирование систем, обеспечивающих их нормальный тепловой режим.

В данной работе рассмотрено проектирование системы обеспечения нормального теплового режима оптического прибора на основе расчета его теплового режима. Прибор предназначен для осуществления стабилизации и наклонов блока указательных огней при эксплуатации в тропических и северных морях.

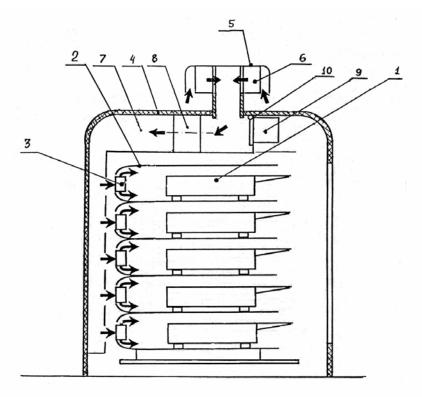
Основными элементами прибора являются указательные огни и двигатели, выделяющие значительную энергию. Температура корпуса указательных огней не должна превышать 90°С. Изменение климатических условий эксплуатации прибора требует включения в конструкцию ряда элементов, обеспечивающих его нормальный тепловой режим. Для охлаждения тепловыделяющих элементов прибора в тропических условиях необходимо применение принудительной вентиляции и установка внешнего кожуха для защиты от солнечной радиации. В условиях высоких широт необходим нагрев воздуха внутри кожуха для предотвращения возможного промерзания подвижных соединений и оседания инея на оптических элементах.

Исходя из условий эксплуатации и требований к тепловому режиму, предложена система обеспечения нормального теплового режима для данного прибора (рис. 1). Указательные огни (ОУ) 1 помещены в корпуса каналов охлаждения 2, и по зазору между ними прокачивается воздух при помощи вентиляторов 3, забирающих воздух из внутреннего пространства кожуха прибора 4. Для подачи воздуха внутрь кожуха 4 на его крыше установлен воздухозаборник 5 с полнопроточным фильтром 6. Воздухозаборник соединен с коллектором распределения воздуха 7, снабженный осевым вентилятором 8 и электрическим подогревателем воздуха 9. Шибер 10 позволяет перемыкать подачу воздуха из внешней среды на внутреннюю циркуляцию воздуха. Отверстия в коллекторе соосны с входными отверстиями вентиляторов 3.

Для уменьшения воздействия солнечной радиации или низких температур воздуха на внутренней поверхности кожуха 4 установлена тепловая изоляция.

Для проверки работоспособности предложенной конструкции и оценки ее теплового режима в различных климатических условиях были рассмотрены тепловая и математическая модели процессов теплообмена. При этом сделаны упрощения в конструкции прибора и приняты допущения, идеализирующие характер протекающих теплофизических процессов:

- рассматриваемый объем ограничен корпусом. В тепловую модель вошли области, указанные на рис 1.
- температурные поля каждой из областей тепловой модели равномерны;
- тепловые связи между элементами не обладают теплоемкостью;
- выделение тепловой энергии в элементах прибора рассматривается как результат действия в них внутренних источников теплоты;
- мощности внутренних источников теплоты во всех элементах не зависят от времени и распределены равномерно по объемам всех областей;
- теплофизические параметры постоянны и не зависят от температуры;
- теплообмен между отдельными элементами прибора характеризуем средними в пределах каждой поверхности значениями коэффициентов теплообмена.



- 1 корпуса указательных огней; 2 кожухи каналов охлаждения;
- 3 вентиляторы; 4 кожух прибора;
- 5 воздухозаборник; 6 полнопроточный фильтр;
- 7 коллектор распределения воздуха; 8 осевой вентилятор;
- 9 электрический подогреватель воздуха; 10 шибер.

Рис. 1. Схема движения воздуха в приборе

В соответствии с законом сохранения энергии рассматриваемая тепловая модель математически может быть представлена системой дифференциальных уравнений 1-го порядка.

$$C_{i}m_{i}\frac{dt_{vi}}{d\tau} + \sum_{j}\sigma_{ij}(t_{si} - t_{sj}) + \sum_{k}\sigma_{ik}(t_{si} - t_{vk}) = P_{i},$$

$$C_{k}m_{k}\frac{dt_{Uk}}{d\tau} + G_{k}C_{k}(t_{kk} - t_{k0}) = \sum_{i}\sigma_{ik}(t_{si} - t_{vk}),$$

$$t_{vi|_{\tau=0}} = t_{si|_{\tau=0}}, t_{vi} = t_{si}, t_{vk} = (t_{kk} + t_{k0})/2,$$

$$t_{k|_{\tau=0}} = t_{k0}, i, j=1,2...N, k=N+1,...M, i\neq j,$$
(1)

где C_i , m_i , C_k , m_k — соответственно удельные теплоемкости и массы элементов и хладагентов в канале; t_{si} , t_{vi} — среднеповерхностная и среднеобъемная температуры элементов; t_{k0} , t_{kk} , t_{vk} — среднеобъемная температура хладагента на входе, выходе и в сечении канала; σ_{ij} — тепловая проводимость между i-ой и j-ой областями модели; P_i — мощности внутренних источников теплоты в элементах; G_k — массовый расход охлаждающего воздуха; M — общее число областей модели.

Процесс теплообмена между отдельными элементами прибора характеризуется конвективными, кондуктивными и лучистыми тепловыми проводимостями, которые определяются по соотношениям [1].

В результате численного расчета системы уравнений (1) получены средние нестационарные температуры основных элементов прибора в различных климатических условиях.

На рис. 2 приведены результаты расчета нестационарных средних температур основных элементов прибора при эксплуатации в тропических морях. Параметры внешней среды:

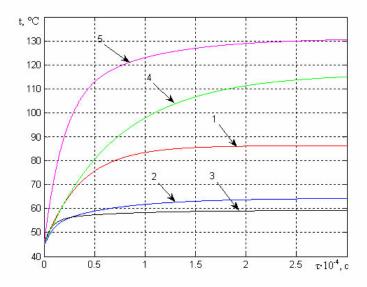
- максимальная температура воздуха +45°C;
- скорость воздуха, обдувающего кожух прибора 0 м/с;
- интегральная поверхностная плотность потока энергии солнечного излучения 1125 Вт/м²:
- максимальная температура водной поверхности океана +30°C;
- максимальная температура палубы корабля +75°C.

Расчеты показали, что без использования системы охлаждения, обеспечивающей принудительную вентиляцию комплекса ОУ, среднеповерхностные перегревы корпусов огней существенно превысят допустимые значения. Поэтому применение принудительной вентиляции является необходимым условием работы прибора. Результаты расчетов также позволили определить оптимальный для данного режима расход охлаждающего воздуха (каждый огонь обдувается двумя вентиляторами с расходом 110 м³/ч). При данных значениях температуры элементов прибора находятся в допустимом диапазоне.

При эксплуатации прибора в северных морях параметры внешней среды существенно отличаются:

- минимальная температура воздуха -30°С;
- скорость воздуха, обдувающего кожух прибора 0 м/с;
- интегральная поверхностная плотность потока энергии солнечного излучения $-600 \, \mathrm{Bt/m}^2$.

На рис. З приведены результаты расчета нестационарных температур основных элементов прибора для следующего режима: температура окружающей среды -30 °C, ветра нет, все элементы прибора включены. Из результатов расчета видно, что переход к положительным температурам основных элементов довольно длительный, поэтому для разогрева воздуха и элементов прибора рассмотрена возможность введения дополнительного нагревателя воздуха внутри прибора. Нагреватель должен обеспечивать нагрев воздуха, подаваемого осевым вентилятором.

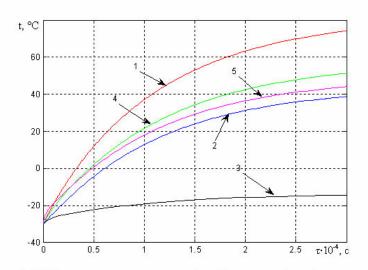


1 – ОУ; 2 – воздух внутри кожуха прибора; 3 – кожух прибора; 4 – двигатель 1; 5 – двигатель 2.

Рис. 2. Нестационарные температуры элементов прибора при эксплуатации в тропическом море

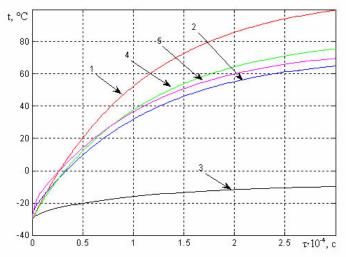
На рис. 4 приведены результаты расчета нестационарных температур основных элементов прибора при введении дополнительного нагревателя воздуха мощностью 1 кВт, при этом все элементы прибора включены. При мощности дополнительного нагревателя равной 3 кВт и отключенных элементах прибора нагрев ОУ происходит медленнее, при этом температура воздуха выше температуры основных элементов, что может вызвать конденсацию влаги на поверхностях.

Результаты расчетов показывают, что необходимо предусмотреть регулятор температуры, управляющий подачей воздуха к устройствам ОУ в зависимости от температуры их корпусов. Система автоматического регулирования должна обеспечивать включение (выключение) всех вентиляторов прибора. Таким образом, при использовании прибора в северных морях может быть применена система обеспечения теплового режима аналогичная предыдущей, дополненная нагревателем и системой автоматического регулирования.



 $1- \mathsf{OY}; 2- \mathsf{воздух}$ внутри кожуха прибора; $3- \mathsf{кожуx}$ прибора; $4- \mathsf{двиг}$ атель $1; 5- \mathsf{двиг}$ атель 2.

Рис. 3. Нестационарные температуры элементов прибора при эксплуатации в северном море



1 – ОУ; 2 – воздух внутри кожуха прибора; 3 – кожух прибора; 4 – двигатель 1; 5 – двигатель 2.

Рис. 4. Нестационарные температуры элементов прибора при эксплуатации в северном море (дополнительный нагреватель в воздухе 1 кВт)

Литература

- 1. Дульнев Г.Н., Семяшкин Э.М. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. Л.: Энергия, 1968. 359 с.
- 2. Сукомел А.С., Величко В.И., Абросимов Ю.Г. Теплообмен и трение при турбулентном течении в коротких каналах. М.: Энергия, 1979. 216 с.
- 3. Кораблев В.А., Шарков А.В., Управление конвективным теплообменом на начальном участке кольцевого канала // ИФЖ. 1985. Т. 49. №1. С.22–28.

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Г.Б. Дейнека, В.Е. Стригалев, Н.И. Рыжаков

Введение

В настоящее время существует два основных типа волоконно-оптических гироскопов (ВОГ): резонансный и интерференционный. Принцип действия оптического гироскопа основан на эффекте Саньяка, открытом этим ученым в 1913 г. Сущность эффекта заключается в следующем. Если в замкнутом оптическом контуре в противоположных направлениях распространяются два световых луча, то при неподвижном контуре фазовые набеги обоих лучей, прошедших весь контур, будут одинаковыми. При вращении контура вокруг оси, нормальной к плоскости контура, фазовые набеги лучей неодинаковы, а разность фаз лучей пропорциональна угловой скорости вращения контура. В ВОГ интерференционного типа измеряется интерференционная картина двух встречных световых волн, однократно обошедших контур. В ВОГ резонансного типа встречные волны многократно пробегают по чувствительному контуру.

Мы рассмотрим методы получения и обработки сигналов ВОГ интерференционного типа. Основной вычислительной моделью является схема обратной связи Лефевра, позволяющая компенсировать сдвиг Саньяка и по степени компенсации определять скорость вращения.

Постановка задачи

Основной задачей электронно-измерительного блока является определение сдвига d колоколообразной кривой отклика $I_{\rm изм}$ на сигнал $U_{\rm управ}$ относительно оси симметрии (см. рис. 1a) который появляется в системе при наличии вращения.

При подаче симметрично сдвинутых относительно нулевого напряжения (U0) сигналов U1 и U2 измеряется разность I1–I2, которая служит сигналом управления первой петли обратной связи для подбора такого различия между U1 и U2, чтобы свести разность I1–I2 к нулю. Величины U1 и U2 подбираются таким образом, чтобы рабочие точки соответствовали отклонению по фазе на $\pi/2$. Вторая петля обратной связи приводит в соответствие напряжение, подаваемое на модулятор, и сдвиг фазы

При подаче прямоугольных импульсов длительностью, равной времени обхода контура, отклик системы соответствует сдвигам фазы, симметричным относительно нулевого напряжения, и при наличии вращения дает разницу в измерениях интенсивности I1–I2. Для компенсации этой разницы прямоугольные импульсы подаются со сдвигом по интенсивности (рис. 2), а сдвиг подбирается по системе обратной связи сведением I1–I2 к нулю. Поскольку приращение интенсивности не может быть бесконечным, при достижении напряжения, соответствующего фазе 2π , сдвиг напряжения уменьшается на величину, соответствующую 2π . Соответствие напряжения фазе устанавливается второй петлей обратной связи, которая отслеживает изменение компенсационной добавки к напряжению при уменьшении напряжения на величину, соответствующую 2π .

На рис. 2. приведен пример моделирования работы двух петель обратной связи как для определения сдвига Саньяка (d), так и для установления соответствия между напряжением и фазой модулятора. На рисунке видно, как с течением времени напряже-

ние, определяющее сдвиг фазы при перескоке (эти места отмечены буквой p), приводится к 2π . Высокая чувствительность (0.01 град/час) и большой(10^{-6} – 10^2 град/сек) динамический диапазон гироскопа приводит к дополнительным проблемам, связанным с выводом конечных измерений, определяющих скорость вращения.

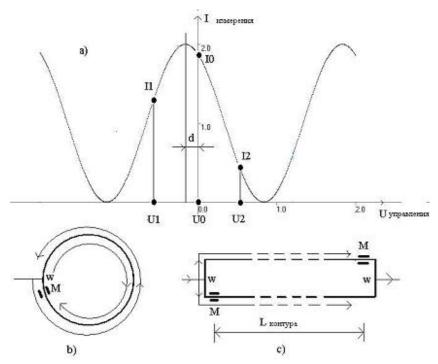


Рис. 1. Зависимость интенсивности сигнала от фазового сдвига между сигналами с противоположным обходом контура (а). Схема обхода контура (b) и эквивалентная схема обхода (c)

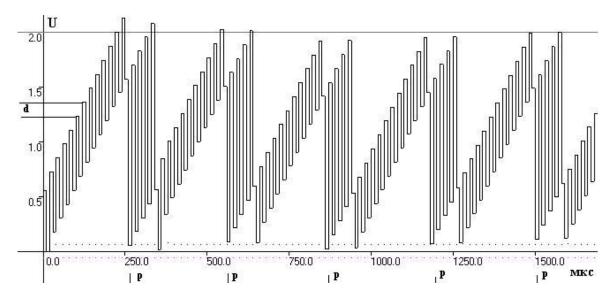


Рис. 2. Модель работы двух петель обратной связи

Основные результаты

Проверка изложенной методики обработки проводилась на примере определения скорости вращения Земли. На рис. 3 показаны результаты измерений скорости вращения Земли со скважностью 20 мсек.

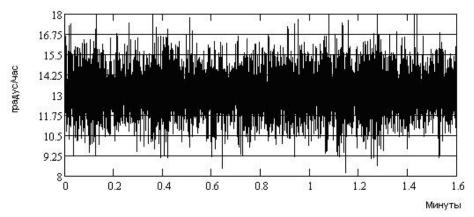


Рис. 3. Результаты измерения скорости вращения Земли (на широте Санкт-Петербурга 13 град/час)

На рисунке нашли отражения колебания здания от проходящего транспорта, перемещения людских потоков по этажам и т.д. После усреднения в течении каждых 100 с график имеет вид, представленный на рис 4.

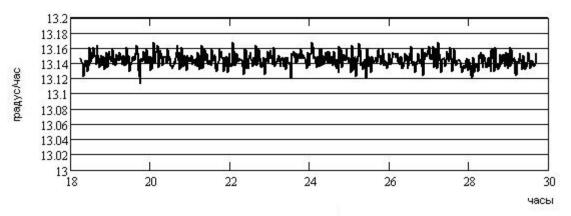


Рис. 4. Реализация измерений скорости вращения Земли в течение 12 часов со скважностью 100 с и усреднению по 20 мс отсчетам по каждым 100 с

Видно, что амплитуда шумовой составляющей уменьшилась до менее чем 0.02 град/час. Таким образом, в электронной схеме измерений должна быть реализована подходящая модель усреднения текущих результатов Нами была выбрана двухступенчатая схема усреднения результатов непосредственно в микропроцессоре на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) APA50. Первая ступень обеспечивает текущее усреднение по последним 1024 измерениям параметра d (рис. 2) с частотой обхода света по волоконному контуру и связана со стабилизацией первого контура обратной связи. При этом используется 32-разрядная сетка суммирования. Вторая ступень усреднения за каждые 20 мс предназначена для уменьшения шумовой составляющей в выходном сигнале и использует (с учетом динамического диапазона) 64-битовую разрядную сетку для суммирования.

Выводы

Основным достоинством примененной схемы обратной связи является линейность полученных измерений скорости вращения во всем динамическом диапазоне. На рис. 5 приведены результаты измерений параметра d, определяющего скорость вращения для широкого диапазона заданных скоростей.

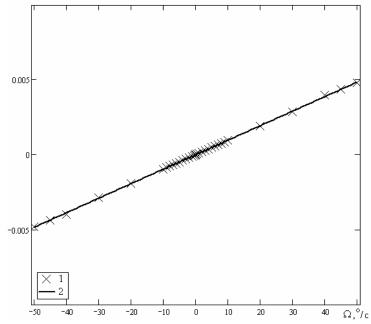


Рис. 5. Соответствие скорости вращения измеряемым параметрам

Из рисунка видна хорошая линейность измерений во всем динамическом диапазоне.

Литература

1. Lefevre H. The Fiber-Optic Gyros. Artech House, 1993. P. 313.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА: РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

С.А. Миронов

Представлены результаты расчета основных характеристик волоконно-оптического датчика концентрации метана, использующего принцип дифференциального оптического поглощения в диапазоне длин волн 1,33 мкм, в зависимости от параметров использованных компонентов.

Введение

Безопасность в горнодобывающем и нефтегазовом комплексах зависит от наличия системы быстрого обнаружения и регистрации увеличения концентрации взрывоопасных и горючих газов. Специфика работ в этих отраслях промышленности требует организации контроля химического состава воздуха сразу на нескольких участках и быстрой передачи этих данных к центральному контрольному пункту, удаленному иногда на несколько километров от рабочей зоны.

Одним из самых опасных газов воздушной среды производственных участков является метан (CH₄). Он не только токсичен для рабочего персонала, но и образует с воздухом взрывоопасную смесь с нижним пределом взрыва (НПВ) 5% об. CH₄.

Применяемые в настоящее время для обнаружения метана традиционные электрохимические и термокаталитические датчики [1] имеют ряд существенных недостатков – низкое быстродействие, малая чувствительность, низкая селективность по газам, быстрое отравление катализатора, необходимость частых калибровок, незащищенность от воздействия электромагнитных помех. Поэтому проводятся интенсивные исследования по созданию волоконно-оптических датчиков (ВОД) концентрации метана [2], основанных на принципе спектрального оптического поглощения. ВОД свободны от указанных недостатков электрических датчиков, кроме того, они органически сопрягаются с современными волоконно-оптическими системами передачи информации, что обеспечивает возможность дистанционного контроля метана в атмосфере.

В настоящее время известно несколько схем построения ВОД [3–10], однако детального анализа достижимых характеристик в зависимости от параметров использованных компонентов приведено не было. В представленной работе приведены результаты расчета минимальной обнаружимой концентрации метана и длины волоконного тракта для одной из простых схем ВОД, представляющей интерес для практического применения.

Схема датчика

Рассматриваемый ВОД концентрации метана основан на принципе дифференциального оптического поглощения, который был предложен в [7]. Функциональная схема устройства приведена на рис.1. В качестве источника излучения с широким спектром используется светоизлучающий диод (СИД). По входному оптическому волокну (ОВ) излучение поступает в измерительную газовую ячейку, которая сообщается с внешней атмосферой. При наличии в ячейке некоторого количества метано-воздушной смеси происходит селективное поглощение распространяющегося излучения, при этом величина поглощения зависит от концентрации метана. После прохождения газовой ячейки излучение по выходному ОВ поступает на механический модулятор. В модуляторе излучение проходит через последовательно сменяемые оптические интерференционные фильтры с узкой полосой пропускания, соответствующей рабочей (сигнальной) и опорной длинам волн. После модулятора импульсные оптические сигналы рабочего и опорного каналов, разделенные во времени, поступают на фотоприемное уст-

ройство, где происходит их усиление и обработка. На выходе ВОД создается напряжение, пропорциональное величине уменьшения сигнала на рабочей длине волны из-за поглощения метаном в измерительной ячейке.

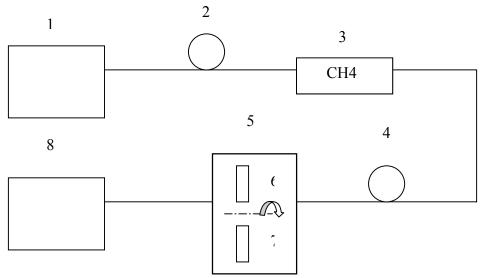


Рис. 1. Функциональная схема волоконно-оптического датчика для дистанционного измерения концентрации метана методом дифференциального оптического поглощения: 1 — светоизлучающий диод, 2 — входное оптическое волокно, 3 — измерительная газовая ячейка, 4 — выходное оптическое волокно, 5 — механический модулятор, 6 — оптический фильтр, выделяющий сигнальную (рабочую) длину волны, 7 — оптический фильтр, выделяющий опорную длину волны, 8 — фотоприемное устройство

Методика расчета характеристик

Основное уравнение для расчета измеряемой концентрации метана по методу дифференциального поглощения имеет следующий вид [7]:

$$N = \frac{\Pr(\lambda_2) - \Pr(\lambda_1)}{\left[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)\right] l \Pr(\lambda_2)},\tag{1}$$

где N — парционное давление (концентрация) метана в воздушной смеси (N = 760 Торр соответствует концентрации C = 100%), λ_1 — длина волны, соответствующая линии поглощения метана (рабочая длина волны), λ_2 — опорная длина волны, лежащая вне спектра поглощения, l — длина измерительной ячейки с газом, $Pr(\lambda_i)$, i = 1,2 — принятая оптическая мощность на длине волны λ_i , $\sigma(\lambda_i)$ — сечение поглощения метана на длине волны λ_i .

Следует отметить, что Δ σ = σ ($\lambda_{\!_1}$) - σ ($\lambda_{\!_2}$) = 2,8·10 $^{-3}$ 1/Topp для рабочей длины волны $\lambda_{\!_1}$ = 1,667 мкм и Δ σ = 1,4·10 $^{-3}$ 1/Topp для $\lambda_{\!_1}$ = 1,332 мкм.

Минимальная обнаружимая концентрация метана (при отсутствии флуктуаций сигнала) определяется уровнем шума приемной системы Pn и соответствует условию $\Pr(\lambda_2)-P2(\lambda_1)=Pn$. В этом случае выражение (1) может быть записано в виде:

$$N_{\min} = \frac{Pn}{[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)]l \Pr(\lambda_2)},$$
(2)

где мощность $Pr(\lambda_2)$, поступающая на фотоприемник, рассчитывается с учетом потерь во всех элементах ВОД.

Другим основным параметром ВОД, характеризующим возможность дистанционных измерений, является длина волоконного тракта. Длина тракта определяется энергетическим потенциалом – разностью между мощностью источника излучения и чувствительностью приемника, выраженной в дБ:

$$Q_{\mathfrak{I}} = Puc - Pnp, \tag{3}$$

где Puc — мощность, введенная от источника во входное оптическое волокно, дБм, а Pnp — порог чувствительности фотоприемного устройства, дБм.

При составлении энергетического баланса ВОД его потенциал должен соответствовать сумме потерь во всех элементах тракта передачи и аппаратурного запаса:

$$Q_{\mathfrak{I}} = \sum_{i=1}^{n} A_{i} + Q_{\mathfrak{I}} an, \tag{4}$$

где Ai[дБ] — потери в оптических устройствах, входящих в тракт передачи, n — число устройств в тракте, Qsan — аппаратурный запас [дБ].

В случае ослабления оптического сигнала на входе приемника до его порога чувствительности аппаратурный запас затухания Q3an = 0.

Для рассматриваемого ВОД расчет энергетического баланса производится по формуле:

$$Q_{\mathfrak{I}} = 2Ao_{\mathfrak{I}} + A_{\mathfrak{I}} + A_{\mathfrak{I}$$

где Aob — потери во входном и выходном OB, Asu — потери в газовой ячейке, Amod — потери в модуляторе, $Au\phi$ — потери в интерференционном фильтре.

Величина оптической мощности, поступающей на фотоприемное устройство, равна

$$Pr = Puc - 2Ao_{\theta} - A_{\theta}u - A_{\theta}u$$

Соотношение, связывающее длину ОВ и потери в нем, имеет вид

$$Aos = \alpha os \cdot L + \alpha c \cdot \frac{\left(L - Lcmp\right)}{Lcmp},\tag{7}$$

где α ов – коэффициент затухания OB, дБ/км, L – длина OB, км, Lстр – строительная длина OB, км, ac – затухание в местах соединения строительных длин, дБ.

Во многих случаях на практике L < Lcmp, тогда при расчетах вторым слагаемым в (7) можно пренебречь и рассчитывать длину волоконного тракта по формуле:

$$L = Ao6/2\alpha = 1/2\alpha (Puc - Pr - Asy - Amod - Aud)$$
 (8)

Обсуждение результатов

Зависимости предельной длины волоконно-оптического тракта ВОД L(C) для осуществления регистрации заданной концентрации метана C от мощности шумов приемной системы приведены на рис. 2 для двух типов кварцевого OB с коэффициентами затухания 1 дБ/км и 5 дБ/км. При этом в качестве источника излучения на рабочей длине волны 1,332 мкм предполагается СИД типа АЛ 132A, обеспечивающий мощность, вводимую в OB, Puc=20мкВт. Потери в других элементах ВОД: Asy = 6 дБ(l=0,5м), $Amo\partial$ =4 дБ, $Au\phi$ =3 дБ.

Как видно из рис. 2, в этом случае ВОД может обеспечивать обнаружение концентрации метана C=5% (что соответствует НПВ) при длине волоконного тракта от излучателя до измерительной ячейки L(5%)=11,4 км, если мощность шумов приемника составляет $1,4\cdot10^{-11}$ Вт (охлажденный диод ФД-112, $T=0^{\circ}C$) и при L(5%)=8,8 км, если мощность шумов $4,5\cdot10^{-11}$ Вт ($T=20^{\circ}C$). Из рис. 2 видно также, что концентрация метана C=0,1% может быть обнаружена ВОД при длине тракта L(0,1%)=2,9 км, если используется охлажденный до $0^{\circ}C$ ФД-112 и при L(0,1%)=0,36 км, если используется тот же фотодиод при комнатной температуре.

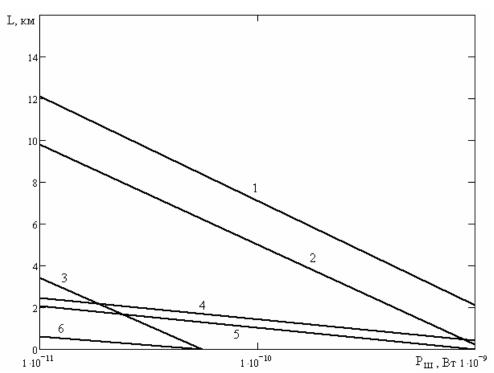


Рис. 2. Зависимость длины волоконного тракта ВОД при обнаружении заданной концентрации метана от уровня шумов приемника для волокна с различным затуханием. Рабочая длина волны 1,332 мкм, мощность источника 20 мкВт (СИД АЛ 132A): 1-C=5%, $\alpha o = 1$ дБ/км, 2-C=2%, $\alpha o = 1$ дБ/км, 3-C=0,1%, $\alpha o = 1$ дБ/км, 4-C=5%, $\alpha o = 5$ дБ/км, 5-C=2%, $\alpha o = 5$ дБ/км, 6-C=0,1%, $\alpha o = 5$ дБ/км.

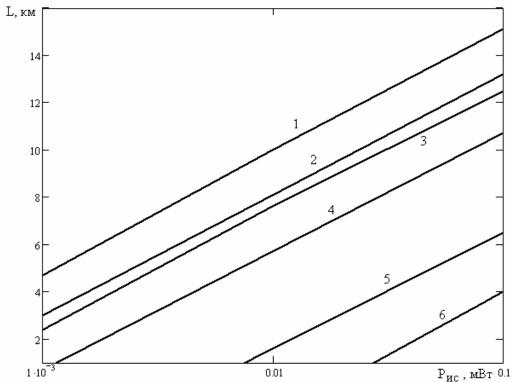


Рис.3 Зависимость длины волоконного тракта ВОД при обнаружении заданной концентрации метана от мощности источника для различной мощности шумов приемника. Рабочая длина волны 1,332 мкм, затухание ОВ 1дБ/км. 1-C=0,1%, $Pn=4,5\cdot10^{-11}$ Вт, 2-C=0,1%, $Pn=1,4\cdot10^{-11}$ Вт, 3-C=2%, $Pn=4,5\cdot10^{-11}$ Вт, 4-C=5%, $Pn=4,5\cdot10^{-11}$ Вт, 5-C=2%, $Pn=1,4\cdot10^{-11}$ Вт, 6-C=5%, $Pn=1,4\cdot10^{-11}$ Вт

Как отмечалось ранее, сечение поглощения метана для рабочей длины волны λ =1,667мкм вдвое превосходит значение на λ =1,332 мкм. Поэтому в соответствии с (2) это приводит к уменьшению минимальной обнаружимой концентрации в 2 раза или к соответствующему увеличению длины волоконного тракта. При использовании волокна с затуханием 1 дБ/км и при сохранении неизменными всех остальных параметров ВОД переход на длину волны 1,667 мкм обеспечивает увеличение дальности передачи на 1,5 км.

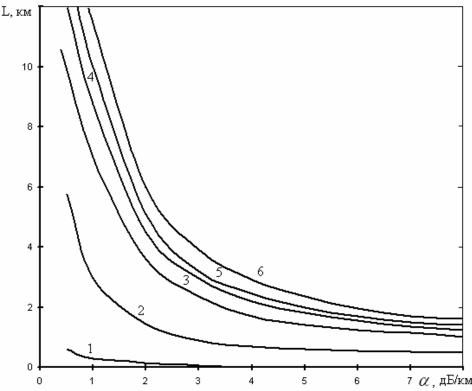


Рис. 4. Зависимость длины волоконного тракта ВОД при обнаружении заданной концентрации метана от коэффициента затухания оптического волокна для различной мощности шумов приемника. Рабочая длина волны 1,332мкм, мощность источника

20 MKBT:
$$1 - C = 0.1\%$$
, $Pn = 4.5 \cdot 10^{-11}$ BT, $2 - C = 0.1\%$, $Pn = 1.4 \cdot 10^{-11}$ BT, $3 - C = 2\%$, $Pn = 4.5 \cdot 10^{-11}$ BT, $4 - C = 5\%$, $Pn = 1.4 \cdot 10^{-11}$ BT

Зависимости L(C) от входной мощности источника Puc приведены на рис. 3 для рабочей длины волны $\lambda=1,332$ мкм и волокна с коэффициентом затухания 1 дБ/км при двух значениях мощности шумов приемника. Зависимости L(C) от коэффициента затухания оптического волокна приведены на рис. 4 для рабочей длины волны $\lambda=1,332$ мкм, различных концентраций метана (0,1%,2%,5%) и двух значений мощности шумов приемника $(1,4\cdot10^{-11}$ Вт и $4,5\cdot10^{-11}$ Вт). Как видно из рис. 4, увеличение $\alpha o \beta$ приводит к уменьшению L. Это уменьшение происходит наиболее быстро в области малых $\alpha o \beta$ (0,5-5,0дБ/км). В области $\alpha o \beta$ > 5дБ/км уменьшение L(C) происходит медленно, но при этом сама величина L(C) становится незначительной (~1км), что снижает возможность практического использования.

На рис. 5 приведены зависимости величины минимальной обнаружимой концентрации метана (парциального давления метана в атмосфере) на рабочей длине волны 1,332 мкм от длины волоконного тракта ВОД.

Полученные результаты показывают, что при использовании в качестве источника излучения СИД с мощностью, вводимой в ОВ, 20 мкВт (\sim 17дБм), минимальная концентрация метана Cmin = 0.1% (т.е. $0.02H\Pi B$) может быть обнаружена на расстоя-

нии 0,36 км при мощности шумов приемной системы 4,5·10 $^{-11}$ Вт и на расстоянии 2,89 км при мощности шумов 1,4·10 $^{-11}$ Вт. При обнаружении концентрации метана 5% (что соответствует НПВ) при тех же значениях шумов приемника длина волоконного тракта ВОД составляет, соответственно, 8,8 км и 11,4 км. Указанные расчеты проведены для малых концентраций метана ($C \le 5\%$), где коэффициент дифференциального поглощения $\Delta \sigma$ зависит линейно от концентрации газа. Для более высоких концентраций зависимость $\Delta \sigma$ (C) становится нелинейной, и требуется дополнительное экспериментальное исследование. Однако на практике, исходя из целей безопасности проведения работ, наибольший интерес представляет именно область малых концентраций ($C \le 5\% = H\Pi B$).

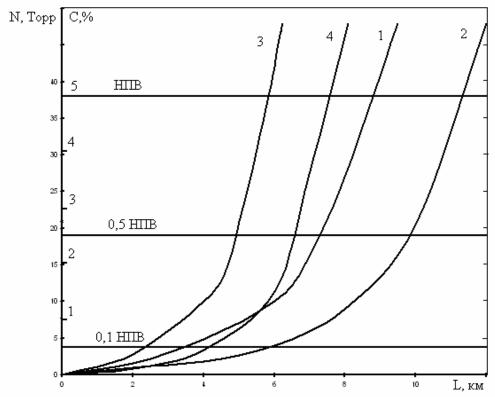


Рис. 5. Зависимость минимальной обнаружимой концентрации метана от длины волоконного тракта ВОД для различных значений коэффициента затухания оптического волокна и мощности шумов фотоприемника. Рабочая длина волны 1,332 мкм, мощность источника 20 мкВт: $1 - \alpha o s = 1$ дБ/км, $Pn = 4,5\cdot10^{-11}$ Вт, $2 - \alpha o s = 1$ дБ/км, $Pn = 1,4\cdot10^{-11}$ Вт, $3 - \alpha o s = 1,5$ дБ/км, $Pn = 4,5\cdot10^{-11}$ Вт, $4 - \alpha o s = 1,5$ дБ/км, $Pn = 1,4\cdot10^{-11}$ Вт

Заключение

Результаты проведенных расчетов показывают, что ВОД концентрации метана, использующий существующую элементную базу и работающий на линии поглощения 1,332 мкм, может обеспечить регистрацию концентрации метана на уровне 0,1% при длине волоконного тракта ~1км, что достаточно для ряда практических применений.

Улучшение характеристик ВОД возможно при переходе на линию поглощения метана 1,667мкм и разработке соответствующих оптоэлектронных компонентов, в первую очередь полупроводниковых источников излучения с мощностью, вводимой в волокно, не менее 100 мкВт и фотодиодов с темновыми токами менее 1нА. Это открывает возможность реализации промышленного ВОД, обеспечивающего измерение концентрации метана на уровне 0,05% (т.е. 1% НПВ) при длине волоконного тракта ~ 10 км.

Представленная методика расчета может быть использована для оценки характеристик ВОД, предназначенных для дистанционного измерения концентрации других горючих и взрывоопасных газов (например, C_3H_8 , C_2H_4 , C_2H_2 и др.), полосы поглощения которых расположены в ближней ИК области спектра, где затухание кварцевого волокна мало.

Литература

- 1. Виглеб Г. Датчики, устройства и применение. / Пер. с нем. М.: Мир, 1989. 196 с.
- 2. Волоконно-оптические датчики. / Под ред. Окоси Т.. Пер. с япон. Л.: Энергоатомиздат, 1990. 256 с.
- 3. Chan K., Ito H., Inaba H., Optical remote monitoring of CH₄ gas using low-loss optical fibre link and InGaAsP light emitting diode in 1,33 mkm region // Appl. Phys. Lett., 1983, v.43, №7, p. 634-636.
- 4. Chan K., Ito H., Inaba H., An optical fiber-based gas sensor for remote absorption measurement of low level CH₄ gas in the near-infrared region // Journ. of lightwave Technology, 1984, v.2, №3, p. 234–237.
- 5. Dakin J.P., Croydon W.F., A fibre optic methane sensor having improved performance // Proc SPIE, 1988, v.949 Fibre Optics'88, p. 200–207.
- 6. Cassidy D.T., Trace gas detection using 1,3 mkm InGaAsP diode laser transmitter modules // Appl. Opt., 1988, v.27, №3, p. 610–614.
- 7. Chan K., Ito H., Inaba H., Remote sensing system for near-infrared differential absorption of CH₄ gas using low-loss optical fibre link // Appl. Opt., 1984, v.23, №19, p.3415–3420.
- 8. Stueflatten H.,. Cristensen T, Iversen S.,. Nelvik J, Almos K., Wienand T., Greav A., An infrared fibre optic gas detection system / Proc. 2-nd Inter. Conf. on Opt. Fiber Sensors, Sept. 5-7, 1984, Stuttgart, p.87–90.
- 9. Alarson M.C., Ito H., Inaba H., All-optical remote sensing of city gas throw CH₄ gas absorption employing a low-loss fiber link and InGaAsP light-emitting diode in the near-infrared region // Appl. Phys. B., 1987, v.43, №1, p.79–83.
- 10. Hopkins F.C., Smiree P.J., Stuart A.D., A fibre optie based continuous mine monitoring system / Proc. 7-th Inter. Conf. on Opt. Fiber Sensors, Dec. 2-6, 1990, Sydney, p.207–210.

МОДИФИКАЦИЯ НАТРИЙБОРСИЛИКАТНЫХ МИКРОШАРИКОВ ТОНКИМИ ПОЛИУРЕТАНОВЫМИ ПЛЕНКАМИ

Н.В. Сиротинкин, А.В. Токарев, В.В. Бестужева, М.В. Успенская

Основное назначение тонких прозрачных пленок – изменение химических, электрических или оптических свойств поверхности материалов, из которых сделано изделие. Наиболее изученными пленкообразующими полимерами являются полистирол, полиметилакрилат, фторорганические и кремнийорганические составляющие. В результате химической реакции на поверхности стекла образуется тонкое полиуретановое покрытие, что подтверждается визуальным и оптическим контролем. Нами предпринята попытка оценить характеристики этой пленки.

Введение

В последние десятилетия все большее распространение в различных областях науки и техники приобретают сверхтонкие (от сотых долей до нескольких десятков микрометров) поверхностные пленки. Аппретирующие покрытия образуются за счет физических, химических или физико-химических процессов, которые протекают на поверхности твердого тела, придавая ему свойства, отличные от свойств того же вещества в массе. Они способны защитить подложку от разрушающего действия агрессивных атмосферных факторов, воды, паров органических жидкостей, кислот, щелочей, а также служить гидрофобизирующей изоляцией или покрытием, закрепляющим упроченное состояние поверхности.

Особым спросом пользуется модифицированное пленками стекло, использующееся для самых разных целей — от создания тончайших оптических устройств до тонирования оконных стекол.

Представляют интерес работы по аппретации стекла полимерами, применение которых позволяет регулировать уровень защиты от внешних воздействий, светопоглощение в нужной области спектра, адгезионную способность выбором типа полимера, его микроструктуры, разветвленности, полярности, а также варьированием толщины наносимой пленки (изменением концентрации полимера в растворителе, скоростью испарения последнего, временем и температурой обработки).

Задача предлагаемого исследования состояла в модификации пленкой наноструктурных размеров натрийборсиликатных микрошариков (СМШ) для улучшения их совместимости со связующей основой полимерстройматериалов.

Экспериментальная часть

В качестве пленкообразующего субстрата выбран полиуретан (ПУ), имеющий хорошую адгезию к стеклу при высокой устойчивости к механическим, температурным и физико-химическим нагрузкам.

В качестве объектов исследования выбраны СМШ, аппретированные путем осаждения пленки из растворов полиуретана. Для создания пленочного покрытия использовались стеклянные микрошарики фракционной серии 100–200 мкм и рабочие растворы полиуретанового термоэластопласта с концентрацией 2%.

Количественное определение толщины пленки выполнено также расчетным путем на основании гравиметрических опытов. Чтобы избавить исходный материал от следов возможных примесей, образцы СМШ подвергались термической обработке при 300°С, а затем промывке чистым растворителем и чистым осадителем, используемыми в процессе аппретации. Во взвешенные с точностью до пятого знака фильтры Шотта помещались навески СМШ, которые после определения массы заливались рабочими растворами при модуле 1 : 1 и выдерживались в них при температуре 20°С в течение 15 ч. Излишний раствор отжимался при остаточном давлении 10 мм рт. ст., а оставшийся на

фильтре слой СМШ обрабатывался осадителем при модуле 1,00 : 0,75, после чего сущился до постоянной массы при температуре 100° C (≈ 24 ч).

С помощью дифференциально-сканирующего калориметра DSC 7 фирмы Perkin-Elmer исследованы теплофизические характеристики пленок. Кривые ДСК фиксируют тепловой поток, поглощаемый или выделяемый полимером на поверхности СМШ. Скорость подъема температуры соответствовала 20° С/мин.

Обсуждение результатов

Предварительными опытами показано, что обработка СМШ различной дисперсности (<29, 46–100, <100, 100–200 мкм) раствором линейного полиуретана в апротонной жидкости с концентрацией 1–4%, а затем специально подобранным осадителем позволяет сформировать на сферической поверхности каждого из стеклянных элементов тонкую полимерную пленку. Подтверждением этому служит изменение цветового оттенка СМШ в том случае, когда в качестве покрытия берется окрашенный ПУ.

Для более достоверного доказательства наличия пленки на поверхности СМШ использовали металлографический исследовательский микроскоп МИМ-10, предназначенный для визуального наблюдения и фотографирования микроструктуры непрозрачных объектов. С этой целью формовали цилиндр из эпоксидной смолы, содержащей покрытые пленкой микрошарики размером 100 мкм. Отшлифованная и отполированная поверхность среза, где виден отдельный СМШ, представлена на рис. 1.

Полученные результаты свидетельствуют о значительно меньшем размере пленки по сравнению с диаметром стеклянных микрошариков, и дает ориентировочную оценку толщины – не более $2\cdot 10^{-4}$ см.

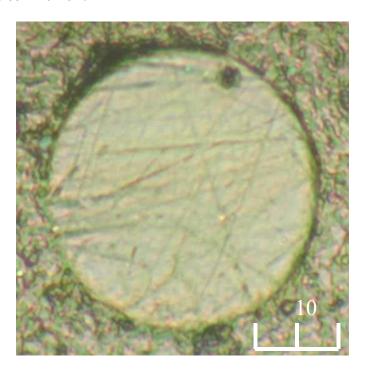


Рис. 1. Аншлиф поверхности с микрошариками в полиуретановой оболочке при увеличении 2000^X

Предварительное термическое разложение используемого полимера выявило на характеристической кривой минимум, соответствующий экзотермическому эффекту при 460° C, и позволило определить температурный диапазон проведения экспериментов (область $250\text{--}600^{\circ}$ C).

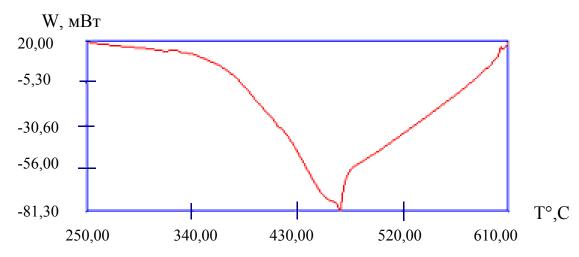


Рис. 2. Кривая разложения аппретирующего полиуретана

На рис. 2 и 3 приведены кривые, которые получены при исследовании в аналогичном режиме микрошариков в полиуретановой оболочке, полученной из рабочих растворов разной концентрации. Сравнение тепловых потоков разложения пленок разной толщины, сформированных путем использованием 2%-ных и 4%-ных полиуретановых растворов, свидетельствует о существенном различии тепловых эффектов.

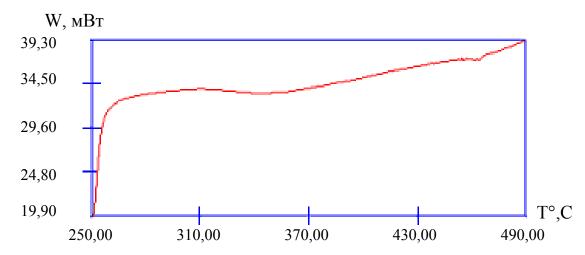


Рис. 3. Кривая теплового потока разложения пленки, осажденной на СМШ из 2 %-го полиуретанового раствора

Сопоставление площадей экзоэффектов разложения индивидуального ПУ и оболочек из него на поверхности СМШ позволяет оценить толщину покрытия из 2%-го раствора в $1,27\cdot10^{-7}$ см, а из 4%-го – в $3,65\cdot10^{-7}$ см соответственно. Количество полимера на микрошариках, осажденного из 4%-го раствора, определялось через тепловые эффекты разложения известного количества индивидуального ПУ ($Q_{\text{пу}}$) и полимерсодержащего покрытия СМШ ($Q_{\text{сми}}$):

$$m_{\text{пу}} = \mathrm{Q}_{\text{смш}} \cdot \mathrm{M}_{\text{пу}} / \mathrm{Q}_{\text{пу}} \,,$$
 $m_{\text{пу}} = (-10.3) \cdot 3.55 \cdot 10^{-3} / (-8627.6) = 4.24 \cdot 10^{-6} \; \Gamma,$ где $\mathrm{M}_{\text{пу}} -$ навеска индивидуального ПУ полимера.

Толщина пленки одного микрошарика определялась при условии сплошности и одинаковой толщины покрытия через найденные объем и площадь поверхности каждого СМШ. Привес материала за счет образовавшейся пленки составлял 0,051%.

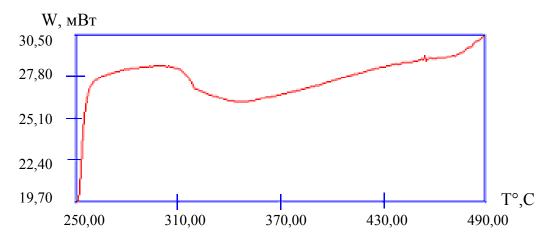


Рис. 4. Кривая теплового потока разложения пленки, осажденной на СМШ из 4 %-го полиуретанового раствора

С использованием полученного результата рассчитывалась толщина образующейся на СМШ пленки. При этом вводилось допущение, что все шарики в навеске СМШ имеют идеально сферическую форму и абсолютно одинаковый размер. Тогда для СМШ фракции $100–200\,$ мкм диаметр $(d_{\rm II})\,$ одного шарика можно считать равным $150\,$ мкм или $0,015\,$ см.

При условии, что количество ПУ равномерно распределено по поверхности всех обработанных СМШ, толщину $(b_{\rm ny})$ образуемой им пленки можно рассчитать по формуле

$$b_{\rm ny} = V_{\rm ny} : S_{\rm ny}$$

где $V_{\rm ny}$ – объем полиуретановой пленки, покрывающей все СМШ в 1 см³ материала; $S_{\rm nv}$ – площадь, на которой распределена пленка.

При допущении, что все СМШ покрыты бездефектной пленкой одинаковой толщины, значение $S_{\rm ny}$ практически идентично величине поверхности аппретированных шариков. Отсюда

$$b_{\text{пу}} = V_{\text{пу}} : Q_{\text{смш}} = 2,60 \cdot 10^{-6} \,\text{см}.$$

Оценка размеров пленок предложенными методами носит лишь приблизительный характер, так как исходит из допущения о сплошности и равномерности покрытия всех анализируемых СМШ.

Заключение

Методом переосаждения из разбавленных растворов получены тонкие пленочные покрытия полиуретановой природы на поверхности микродисперсных стеклянных шариков.

Методом дифференциально-сканирующей калориметрии установлена взаимосвязь толщины образующейся пленки от концентрации используемого полиуретанового раствора. Толщину поверхностной пленки исследовали микроскопически, калориметрически и гравиметрически.

СОГЛАСУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

И.К. Мешковский, Р.О. Олехнович, В.Е. Стригалев

В работе описан один из способов создания элемента для согласования интегрально-оптического модуля с волоконным световодом. Приведены результаты измерений его характеристик.

Введение

В оптической связи и волоконных датчиках широко используются интегрально-оптические модули. Данный модуль часто состоит из интегрально-оптической схемы и присоединенных к нему с противоположных сторон волокон. Среди параметров, которыми они характеризуются, одним из основных является параметр, характеризующий потери оптической мощности в модуле. Эти потери складываются из потерь на вводе и выводе излучения в интегрально-оптический волновод и затухания в самой интегрально-оптической схеме.

Потери в интегрально-оптическом модуле складываются из потерь в канальном волноводе и из потерь в реализованных на нем схемах (делитель, модулятор, поляризатор и т.д.). Потери на вводе (выводе) излучения в интегрально-оптический волновод можно разделить на две группы:

- потери, вызванные пространственным рассогласованием стыкуемых элементов;
- потери, вызванные несовпадением распределений модовых полей в волокне и канальном волноводе.

Потери, вызванные пространственным рассогласованием на вводе, можно разделить на три вида и в приближении гауссовых пучков представить следующим образом:

• поперечное рассогласование (рис. 1а), в дБ,

$$\Gamma_{\perp} = 4.34 \left(\frac{d_{\perp}}{w_0} \right)^2;$$

• продольное рассогласование (рис. 1б), в дБ,

$$\Gamma_{\square} = -10 \log \left(\frac{1}{1 + \left(d_{\square} \theta_D / 4 w_0 \right)^2} \right);$$

• угловое рассогласование (рис. 1в), в дБ,

$$\Gamma_{\theta} = 4.34 \left(\frac{\theta_m}{\theta_D/2} \right)^2,$$

где w_0 — диаметр модового поля волокна, d_\perp — расстояние между осями симметрии волокон, d_\square — расстояние между торцами волокон, θ_D — угловая расходимость пучка, θ_m — угол между осями симметрии волокон.

Потери, вызванные несовпадением размеров модовых полей в волокне и канальном волноводе, в приближении гауссовых пучков и с учетом того, что в канальном волноводе распространяется эллиптическая гауссова мода, равны

$$\Gamma_{dm} = -10 \log \left(\frac{2w_0 w_X^{'}}{w_0^2 + w_X^{'2}} \frac{2w_0 w_Y^{'}}{w_0^2 + w_Y^{'2}} \right),$$

где w_0 — диаметр модового поля волокна, $w_X^{'}$, $w_Y^{'}$ — размеры моды канального волновода вдоль большой и малой оси.

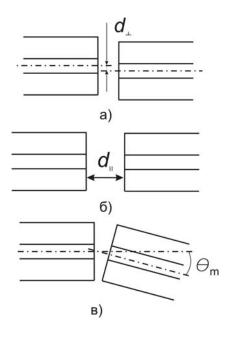


Рис. 1. Пространственное рассогласование волноводов

Потери, вызванные рассогласованием в пространстве, при идеальной юстировке стремятся к нулю и зависят от оборудования, которое используется для юстировки и фиксации элементов.

Для уменьшения потерь, вызванных несовпадением размеров модовых полей (волокна и интегрально-оптического волновода или двух различных волокон), применяют различного рода согласующие оптические элементы (линзы, граданы, фоконы и т.д.). Они могут являться как отдельными элементами, так и элементами, которые формируются прямо на торце волокон. При этом возникают дополнительные проблемы юстировки и долговременной стабильности.

Постановка задачи

Одним из возможных методов решения данной проблемы является изготовление согласующего элемента из отрезка волокна [1]. При этом размеры модового поля на его противоположных концах рассчитываются таким образом, чтобы диаметр модового поля с одного конца совпадал с диаметром модового поля волокна, который к нему будет присоединен, а с другой стороны совпадал с диаметром модового поля интегрально оптического волновода. Таким образом, согласующий элемент должен преобразовывать диаметры модовых полей на его концах.

Например, для уменьшения числовой апертуры (угловой расходимости) на конце волокна необходимо увеличить диаметр сердцевины и оболочки, и, наоборот, для увеличения числовой апертуры (угловой расходимости) необходимо уменьшить диаметр оболочки и сердцевины. Для уменьшения числовой апертуры (угловой расходимости) волокна было предложено расплавлять волокно и за счет сил поверхностного натяжения формировать утолщения волокна с дальнейшим сколом и полировкой торца в месте утолщения. В зону расплавления волокно необходимо подавать вертикально, так как если волокно подавать горизонтально, то расплавленное стекло будет неравномерно распределяться относительно оси симметрии волокна. В результате расплавления увеличивается внешний диаметр оболочки и диаметр сердцевины. При этом для уменьшения потерь на переходе утолщение—неизмененное волокно необходимо обеспечить плавный переход от утолщения к волокну. Для формирования утолщения можно использовать сварочный аппарат.

Для формирования утолщения сначала использовался метод формирования капли на конце (рис. 2a). В этом способе утолщение формируется расплавлением конца волокна. Этот метод имеет следующие недостатки: необходимо контролировать формирование капли в двух плоскостях, необходимо следить за симметричностью оболочки относительно сердцевины, не допускать изгибов сердцевины в капле из-за корректировок при формировании капли. Кроме того, оказалось достаточно сложно определить место, до которого необходимо полировать торец, так как в капле нарушается ламинарность.

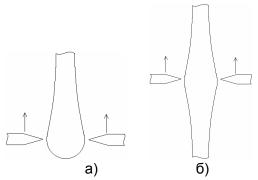


Рис. 2. Методы формирования утолщения

Поэтому был предложен второй метод — формирование утолщения волокна на некотором расстоянии от конца (рис. 2б). Недостатки данного способа: необходимо отступать на некоторое расстояние для предотвращения сильного изгиба волокна выше места плавления, а также откалывать куски волокна, находящегося ниже места плавления. В обоих случаях нельзя вращать волокно вокруг своей оси для создания симметричного утолщения или капли из-за того, что при использовании волокна с сохранением поляризации это, возможно, приведет к преобразованию поляризационных мод в согласующем элементе.

Основные результаты

Для проверки данной идеи было взято одномодовое волокно с сохранением поляризации с большой числовой апертурой (порядка 0,17) и интегрально-оптический волновод на ниобате лития с меньшей числовой апертурой (порядка 0,11).

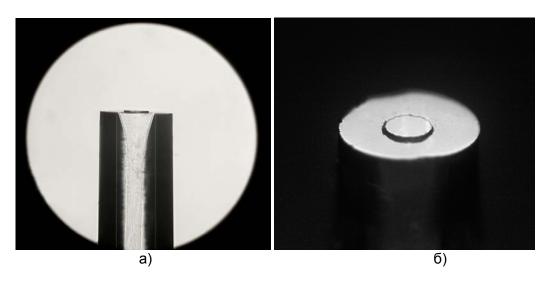


Рис. 3. Фотографии согласующего элемента

По второй методике были изготовлены образцы с длиной волокна примерно 5–6 м. Это было сделано для того, чтобы исключить влияние на получаемые данные оболочечных мод при небольшой длине волокна. На одном конце каждого куска волокна был создан согласующий элемент. Торец согласующего элемента, который предназначался для стыковки с интегрально-оптическим волноводом, был заполирован.

На рис. За, Зб приведены фотографии согласующего элемента. На рис. За показана фотография согласующего элемента, вклеенного в стеклянную трубочку, которая необходима при полировке торца согласующего элемента. На рис. Зб показан заполированный торец волокна и трубки.

Измерения числовой апертуры (угловой расходимости) (см. рис. 4) показали, что при помощи данного метода удалось уменьшить числовую апертуру (угловую расходимость) примерно в 1,5 раза.

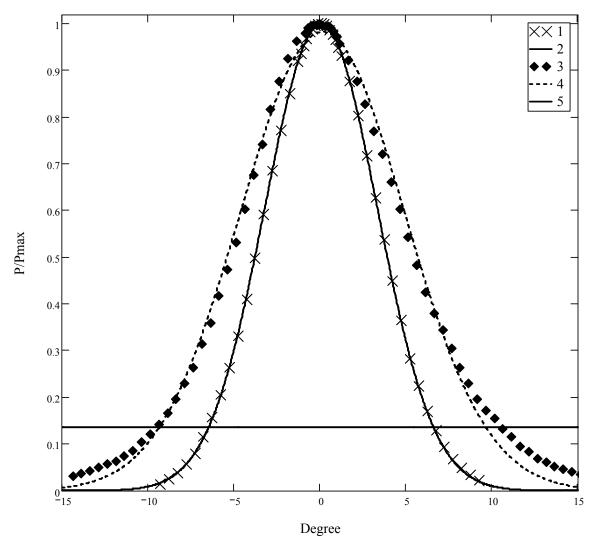


Рис. 4: 1 – угловая расходимость согласующего элемента, 2 – его аппроксимация гауссом, 3 – угловая расходимость волокна, без согласующего элемента, 4 – его аппроксимация кривой Гаусса, 5 – 1/e²

После этого была измерена эффективность ввода оптического излучения. Излучение выходило из интегрально-оптического волновода на ниобате лития и вводилось в стандартное одномодовое волокно, в необработанное волокно и волокно с согласующим элементом. Результаты представлены в таблице.

Отрицательным эффектом согласующего элемента может быть дополнительное паразитное преобразование одной поляризационной моды в другую, что особенно актуально для устройств, использующих волокна с сохранением поляризации.

	Мощность на фото-	Мощность на фо-	Потери на
	приемнике, мкВт	топриемнике, дБ	стыке, дБ
Мощность на выходе ниоба-	350	-4,56	0
та лития	330	-4,30	U
Одномодовое волокно SM-28	250	-6,02	1,46
Волокно с сохранением по-	220	-6,58	2,02
ляризации	220	-0,36	2,02
Волокно с сохранением по-			
ляризации с согласующим	250	-6,02	1,46
элементом			

Таблица. Эффективность ввода в канальный волновод

Выводы

При использовании описанной технологии была продемонстрирована возможность уменьшения числовой апертуры (угловой расходимости) оптического волокна и потерь при его стыковки с канальным волоноводом.

Литература

1. Kazuo Shirashi, Yoshizo Aizawa, Shojiro Kawakami Beam expanding fiber using thermal diffusion of the dopand // Jornal of lightwave technology, Vol. 8, No 8, August 1990, pp. 1151–1161.

ЛАЗЕРНАЯ ФАЗО-СТРУКТУРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ СИТАЛЛА СТ-50-1 Б.Ю. Новиков

Описаны механизмы фазовых модификаций стеклокерамики CT-50-1 под действием излучений CO₂-лазера и YAG:Nd-лазера. Сопутствующие изменения свойств материала объяснены структурной перестройкой CT-50-1 и изменением соотношения кристаллической и аморфной фаз.

Введение

Практика, теория и материальное обеспечение производства обладают тесными связями, разносторонне поддерживают и стимулируют развитие друг друга. Очевидно, что техническое усложнение приборов, экономичное и эффективное исполнение современного устройства, работа в агрессивных условиях, открытие новых возможностей в освоенных технологиях требуют привлечения новых материалов с особыми свойствами.

Широким диапазоном привлекательных свойств обладают изобретенные в 50-х гг. XX в. стеклокерамические материалы. Стеклокерамики создаются методом объемной кристаллизации исходной стекломассы в результате поэтапной многочасовой обработки, приводящей к появлению в материале большого количества микрокристаллов. Микрокристаллическая структура является главной особенностью стеклокерамик, ее наличие существенно повышает износостойкость и твердость материала. Такие материалы, называемые у нас также ситаллами, а за рубежом — стеклофарфором, нашли применение во многих областях.

Изменение фазового состояния позволяет придать ситаллам новые свойства. Существуют специальные фоточувствительные стеклокерамики, в аморфном объеме которых за счет фотохимической и термической обработок можно получить кристаллизованные участки [1]. Вместе с тем в последнее время широко исследуется противоположная методика — лазерно-индуцированная фазо-структурная модификация нефоточувствительных стеклокерамик, основанная на расплавлении микрокристаллов исходного материала. Такие эксперименты проводятся в основном на базе наиболее широко распространенного ситалла СТ-50-1, чаще всего используемого в качестве подложек микросхем в микроэлектронике. Локальное расплавление материала и контроль скоростей нагревания и охлаждения позволяют перевести первичное поликристаллическое состояние в аморфное, а во вторичной аморфной зоне стимулировать образование новых микрокристаллов и т.д.

В работах [2, 3] подробно рассмотрен режим лазерной обработки ситалла СТ-50-1, найдены зависимости протекания процесса и параметров возникающих областей фазо-структурной модификации от задаваемых характеристик воздействия.

Целью данной работы является исследование механизма процесса модификации, определение характера изменений свойств материала при смене фазо-структурного состояния, выявление влияния параметров лазерной обработки на свойства полученной фазовой модификации.

Механизм лазерной фазо-структурной модификации СТ-50-1

Отдельные кристаллы исходной фазы ситалла CT-50-1 размером 1–2 мкм расположены по отношению друг к другу беспорядочно. Для излучения видимого и ближне-

го ИК диапазонов имеет место настолько сильное рассеяние света на границах микрокристаллов, что материал является непрозрачным. Когда расплавление разрушает связи между отдельными компонентами ситалла, материал просветляется.

Благодаря наличию в составе стеклокерамик катализаторов расплавленная стекломасса тяготеет к кристаллизации [4]. При локальном лазерном воздействии ванна расплава за счет теплоотвода в окружающие участки исходного поликристаллического материала охлаждается настолько быстро (50–100 K/c), что затвердевает в аморфном состоянии [3]. Таков принцип лазерной аморфизации стеклокерамики.

В литературе описывается использование для фазо-структурной модификации ситалла СТ-50-1 излучений СО₂-лазера (длина волны 10,6 мкм) [2, 3, 5] и YAG:Nd-лазера (длина волны 10,6 мкм) [2, 6, 7]. В большинстве проводимых исследований использовались выпускаемые промышленностью пластины ситалла СТ-50-1 толщиной 0,6 мм. Хотя механизмы взаимодействия излучений лазеров с веществом совершенно различны, воздействие каждого из них приводит к локальному расплавлению материала.

Излучение CO_2 -лазера близко к максимуму поглощения ситалла CT-50-1 (как и всех стекловидных материалов) и поглощается в поверхностном слое толщиной 1,25 мкм [4]. Поэтому фронт расплавления материала движется за счет теплопроводности, область аморфизации совпадает с границами проникновения изотермы плавления. Согласно [4], при лазерном воздействии пластины ситалла CT-50-1 толщиной 0,6 мм равномерно прогреваются с обеих сторон за время $\geq 13,6$ с.

Излучение YAG:Nd-лазера нагревает материал до температуры плавления (1473 K) благодаря многократному отражению излучения от границ микрокристаллов. Первоначальный слой расплава будет складываться из глубины проникновения излучения (105 мкм [4]) и слоя, прогретого до температуры плавления, а последующие слои будут формироваться по такому же механизму сквозь этот аморфизированный участок. Такая послойная аморфизация материала не только позволяет шире варьировать геометрические параметры областей просветления, но и способствует более быстрому сквозному просветлению пластины [3, 6, 7]. В наших экспериментах расплав достигал обратной воздействию лазерного излучения стороны пластины за время 5–0,5 с, которое было тем меньше, чем большая плотность мощности лазерного излучения была задана.

Сравнить между собой характеристики процесса расплавления ситалла при помощи излучений ${\rm CO_2}$ -лазера и YAG:Nd-лазера было бы некорректно, потому что из-за разных механизмов взаимодействия излучения с веществом требуется разное количество переданной материалу энергии.

Механизм лазерной обратной кристаллизации подразумевает достижение температуры, требуемой для роста кристаллов, и предоставление времени, достаточного для их развития. В наших экспериментах по модификации ситалла СТ-50-1 разные механизмы взаимодействия излучения СО₂-лазера и YAG:Nd-лазера с материалом обусловили и разные методы облучения материала.

При использовании излучения CO_2 -лазера достаточно задать оптимальную плотность мощности, и кристаллизованные участки появятся в аморфном объеме за счет достижения материалом температуры развития зародышей кристаллизации. Но здесь важен выбор оптимального времени воздействия при неподвижном луче или оптимальной скорости перемещения при сканировании (возможно, многократном при небольшом участке), потому что перегрев приведет к плавлению только что возникших кристаллических структур.

В [4, 8] говорится, что при воздействии излучения CO_2 -лазера на титансодержащее стекло, близкое по составу к CT-50-1, максимум зародышеобразования наблюдался около температуры стеклования 1033 К. Это близко совпадает с результатами наших наблюдений одновременного измерения температуры и пропускания при воздействии лазера на ситалл CT-50-1.

При использовании излучения YAG:Nd-лазера прозрачный на длине волны 1,06 мкм аморфный участок сначала разогревался до температуры, превышающей температуру стеклования, за счет поступления тепла из окружающих участков исходного поликристаллического материала. Для этого область лазерного воздействия была намного больше области предполагаемой кристаллизации. В некоторых случаях это приводило к поверхностной аморфизации образцов. Затем расплаву задавалась скорость остывания $\approx 5-7$ K/c [2], в то время как в промышленности для задания определенных размеров кристаллов исходная стекломасса охлаждается в течение нескольких часов поэтапно с разными скоростями [1].

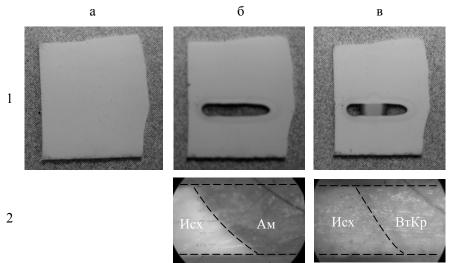


Рис. 1. Фазо-структурная модификация СТ-50-1 (получена при помощи излучения СО₂-лазера): а – исходный материал; б – аморфизация; в – обратная кристаллизация; 1 – общий вид образца и областей фазо-структурной модификации; 2 – поперечный срез области аморфизации (фотография через микроскоп); Исх – исходная поликристаллическая фаза, Ам – аморфная фаза, ВтКр – вторичная поликристаллическая фаза

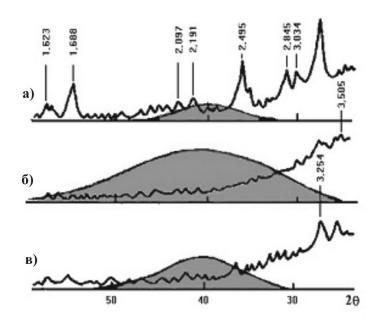


Рис. 2. Рентгеновские дифрактограммы: а) исходный материал (ситалл СТ-50-1); б) после облучения CO_2 -лазером (лазерной аморфизации); в) после повторного облучения CO_2 -лазером (частичной кристаллизации). Пики 1,688 Å и 2,495 Å относятся к рутилу (α -TiO₂); 3,505 Å к твердому раствору SiO_2 — типичная аморфная фаза; остальные пики принадлежат кордиериту (2MgO \cdot 2Al₂O₃ \cdot 5SiO2) [3]

Кристаллы при таких методах облучения формировались, но, конечно, не такого размера, как при промышленной обработке, на что указывает визуальное различие в оттенках исходного и вторично кристаллизованного состояний ситалла СТ-50-1 (рис. 1, 1в).

В [3] доказывается идентичное восстановление поликристаллической структуры ситалла СТ-50-1 при обратной кристаллизации демонстрацией дифракции рентгеновских лучей на исходной структуре и на вторичных лазерно-индуцированных структурах (рис. 2).

Изменение свойств СТ-50-1 при фазо-структурной модификации

Можно сказать, что все изменения свойств ситалла СТ-50-1 при смене фазового состояния обусловливаются именно сменой структурной организации его компонентов.

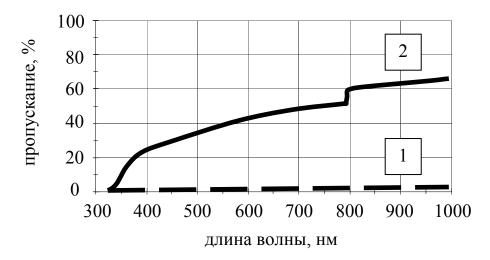


Рис. 3. Пропускание аморфной (2) и исходной поликристаллической (1) фаз ситалла СТ-50-1. Параметры режима обработки: плотность мощности излучения YAG:Nd-лазера 5·107 Вт/м²; диаметр пучка излучения в плоскости обработки 500 мкм; перед облучением используется дополнительный подогрев до температуры 650 С; время воздействия 10 с. Толщина пластин ситалла 0.6 мм

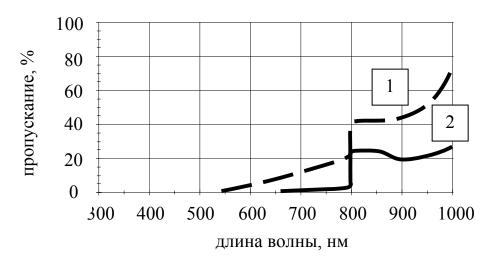


Рис. 4. Пропускание вторичной (2) и исходной (1) поликристаллических фаз СТ-50-1. Параметры режима обработки: плотность мощности излучения YAG:Nd-лазера ≈ 2,6·105 Вт/м²; диаметр пучка излучения в плоскости обработки 3,5 мм; перед облучением используется дополнительный подогрев до температуры 650 С. Толщина пластин ситалла 0,6 мм

Самым наглядным подтверждением изменения свойств ситалла СТ-50-1 при фазоструктурной модификации является изменение его оптических свойств. Подробное описание механизмов просветления и закристаллизации ситалла дано в п. 2, а изменение спектров пропускания — на рис. 3—4. Ступенеобразный скачок значений на графиках связан с переключением ламп спектрофотометра.

При некоторой плотности мощности можно наблюдать в процессе воздействия лазера периодические фазо-структурные перестройки материала. На рис. 5 показаны колебания пропускания расплава ситалла СТ-50-1, соответствующие чередованию просветления и формирования зародышей кристаллизации.



Рис. 5. Пример колебаний пропускания расплава ситалла СТ-50-1. Параметры режима обработки: плотность мощности излучения YAG:Nd-лазера 6·107 Вт/м²; диаметр пучка излучения в плоскости обработки 300 мкм; перед облучением используется дополнительный подогрев до температуры 450 С. Толщина пластин ситалла 0,6 мм. Длина волны излучения, на которой проводилось измерение пропускания, 1,06 мкм (рабочее излучение YAG:Nd-лазера)

Беспорядочное расположение компонентов аморфной фазы вызывает увеличение объема модифицированного материала, обладавшего в поликристаллическом состоянии большим количеством микрокристаллов с четкой, экономно упакованной структурой. Согласно нашим измерениям аморфная фаза занимает объем приблизительно на 6 % больше, чем кристаллическая. При локальной лазерной модификации расплав растекается по поверхности пластины за границы зоны воздействия (рис. 6). Такая разница в удельных объемах фаз и влияние сил поверхностного натяжения, за счет которых расплав приобретает линзообразную форму, благоприятствуют созданию методом фазо-структурной модификации ситалла СТ-50-1 оптических микроэлементов. Кстати, в рамках работы над оптимизацией этой технологии и проведено данное исследование.

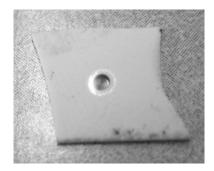


Рис. 6. Выход расплава за границы области модификации

Обратная кристаллизация СТ-50-1 приводит к практически полному сглаживанию выпуклости. Возможно, это происходит благодаря тому, что область прогрева материа-

ла намного больше области обратной модификации, по крайней мере, при использовании YAG:Nd-лазера.

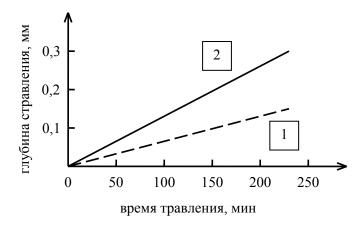


Рис. 7. Зависимость толщины стравленного слоя от времени для исходной поликристаллической (1) и аморфной (2) фаз ситалла CT-50-1

Кристаллическая решетка с крепко связанными компонентами менее подвержена механической, химической и термической деформации, чем аморфная фаза. Отмеченное в [9] увеличение скорости травления аморфной фазы ситалла CT-50-1 в растворах HF и HF+HNO3 почти в 2 раза по сравнению с исходной поликристаллической (рис. 6) объясняется там плохой растворимостью кристаллических фаз (рутила α -TiO2 и кордиерита 2MgO \cdot 2Al2O3 \cdot 5SiO2) в вышеуказанных растворах и уменьшением содержания этих фаз при взаимодействии с лазерным излучением. Там же наблюдались некоторые общие закономерности при химическом травлении: зависимость толщины стравленного слоя от времени почти линейна, при увеличении концентрации реагирующих кислот скорость травления тоже увеличивается. При фазовой модификации следует ожидать изменения и других химических свойств, например смачиваемости, поверхностной абсорбции и т.д.

Подробных исследований изменений механических, жаропрочных и электрических свойств ситалла СТ-50-1 при фазо-структурной модификации не проводилось. Однако известно, что твердость, прочность, термостойкость и упругость поликристаллической фазы выше, чем те же характеристики аморфного состояния [1, 10], что также следует из характера структурной упаковки атомов. А то, что теплопроводность ситалла меньше, а электрическое сопротивление больше при поликристаллической фазе [1], обусловлено самим фактом наличия микрокристаллов. Чем большая часть материала подвергнута строгой организации, тем меньше остается несвязанных свободных носителей. Отметим, что вместе с тем при локальном лазерном воздействии возникают высокие температурные градиенты, которые могут привести к растрескиванию самого образца, но это уже относится не к свойствам материала, а к влиянию обработки. Для избежания этого явления необходим дополнительный подогрев образца.

При просветлении материала температурные градиенты влияют также на соотношение аморфной и кристаллической фаз и протекание термохимических процессов в поверхностном слое расплава, что приводит к возникновению градиента показателя преломления [4].

Выводы

По результатам исследования фазо-структурной модификации ситалла СТ-50-1 при помощи лазера можно сделать следующие выводы.

- Механизм фазовой модификации ситалла CT-50-1 в зависимости от длины волны выбранного лазера (CO₂ или YAG:Nd) различен, но характеристики формирующихся аморфных или кристаллических структур одинаковы.
- Свойства фазового состояния ситалла СТ-50-1 определяются характером структуры и соотношением кристаллической и аморфной фаз.
- При фазовой модификации ситалла СТ-50-1 радикально меняются все его свойства.

Благодарности

Работа проведена при поддержке Гранта на ведущую научную школу Российской Федерации (НШ.5967.2006.8), Гранта РФФИ (07-02-00887-а), Госконтракта РНП 2.1.1.784 и, частично, проекта INTAS № 04-78-7124. Автор благодарит своего научного руководителя д.т.н., проф. В.П. Вейко за постоянную поддержку и внимание к работе.

Литература

- 1. Бережной А.И. Ситаллы и фотоситаллы. М.: Машиностроение, 1966.
- 2. Вейко В.П., Новиков Б.Ю. Лазерное формирование оптических элементов на ситалле CT-50-1 // Beam Technologies and Laser Applications: Proceeding of the fufth international scietific and technical conference. 2006. P.90 95.
- 3. Veiko V.P., Kieu Q.K. Phase–structure transformations of glass–ceramics under laser heating as a way to create new micro–optical components and materials // Proceedings of SPIE, 2004, v.5399. P.11 20.
- 4. Скиба П.А. Лазерная модификация стекловидных материалов. Минск: БГУ, 1999.
- 5. Veiko V.P., Kieu. Q.K, Nikonorov N.V., Skiba P.A. On the reversibility of laser–induced phase-structure modification of glass–ceramics // Journal of Laser Micro/Nanoengineering. 2006. V. 1. № 2. P. 149–154.
- 6. Новиков Б.Ю. Локальная аморфизация стеклокерамики излучением YAG:Nd-лазера // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. Выпуск 26. Исследования в области приборостроения. 2006. C.268–274.
- 7. Новиков Б.Ю. Формирование микролинз методом аморфизации стеклокерамики при использовании YAG:Nd-лазера // Известия РАН. Серия физическая. 2006. Т. 70. № 9. С. 1323–1326.
- 8. Волков В.П., Скиба П.А., Сечко А.Г., Непокойчицкий А.Г. Локальная кристаллизация титансодержащих стекол под действием лазерного излучения // Физика и химия стекла. 1991. Т. 17. №2. С. 242–246.
- 9. Veiko V.P., Kieu Q.K., Nikonorov N.V. Laser modification of glass-ceramics structure and properties: a new view to traditional materials // Proceedings of SPIE. 2004. V. 5662. P.119–128.
- 10. Бережной А.И., Красников А.С., Красникова М.Д., Ермаков Н.И. Исследование структуры и механических свойств ситаллоцементов, подвергшихся лазерному облучению // ДАН СССР. 1981. Т. 256. № 6. С. 1439–1442.

БЫСТРАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СТЕКОЛ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ЛОКАЛЬНОМ НАГРЕВАНИИ

В работе предложен механизм кристаллизации в термодинамически неравновесных условиях, объясняющий аномально быструю кристаллизацию стекол при лазерном локальном нагревании.

Введение

В 1990-е гг. было обнаружено, что спекание пористых стекол и их кристаллизация [1] при лазерном локальном нагревании происходит значительно быстрее, чем при нагревании в печи. Такое поведение стекла противоречит широко известным фактам о запаздывании изменения свойств стекол при быстром изменении температуры.

В предлагаемой работе с использованием модели ЖДВК проведен анализ термодинамически неустойчивого по концентрации вакансий кислорода состояния стекла, которое возникает при лазерном локальном нагревании. Показано, что в этом случае процесс кристаллизации происходит со значительно большими скоростями, чем в равновесном состоянии. Найден режим лазерного воздействия, при котором и происходит быстрая кристаллизация

Основные положения модели ЖДВК

В объяснении такой быстрой кристаллизации используется модель «жидкость—деформированный вакансиями кристалл» (ЖДВК), сформулированная на основе вакансионной модели плавления. Основное отличие модели ЖДВК от других моделей [2–4] состоит в статистическом учете взаимодействия вакансий. Показано, что свободная энергия кристалла в этом случае выражается формулой

$$F = En - \alpha n \left[1 - \exp(-nv) \right] - kTn \ln\left(\frac{Ne}{n}\right), \tag{1}$$

где n — концентрация вакансий, E — энергия образования одиночной вакансии, k — постоянная Больцмана, T — температура в K, N — концентрация узлов кристаллической решетки, α — энергия взаимодействия вакансий, v — объем, в котором проявляется взаимодействие вакансий, e — основание натурального логарифма. Зависимость F(n) имеет два минимума, т.е. два устойчивых состояния, соответствующих равновесным концентрациям вакансий n_1 и n_2 , причем $n_2 >> n_1$.

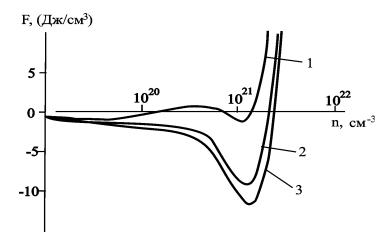


Рис. 1. Зависимость свободной энергии кристаллического кварца от концентрации вакансий кислорода при некоторых температурах: 1 – 1896 K, 2 – 1996 K, 3 – 2026 K

Таким образом, согласно вакансионной модели плавления, различие между кристаллическим и аморфным состоянием (состоянием с нарушенным дальним порядком) определяется концентрацией вакансий. При насыщении вакансиями достигается минимум свободной энергии, т.е. термодинамически устойчивое по концентрации вакансий состояние.

Кристаллизация по модели ЖДВК

Стекло можно рассматривать как кристалл с большой концентрацией вакансий, за счет чего и нарушен дальний порядок. Такой подход может быть применен к переохлажденному расплаву кварца при температурах выше температуры стеклования $T_{\rm cm}$. При температуре ниже $T_{\rm cm}$, вероятно, происходит преобразование дефектов из кислородных вакансий в другие, менее энергоемкие, которые обеспечивают большую концентрацию дефектов, деформирующих кристаллическую решетку, нарушая дальний порядок.

Модель кристаллизации переохлажденного расплава при предлагаемом подходе можно сформулировать следующим образом.

При равновесных условиях кристаллизация расплава соответствует переходу вещества при температуре $T < T_{_m}$ из аморфного состояния, соответствующего второму минимуму свободной энергии с концентрацией вакансий n_2 , в кристаллическое, соответствующее первому минимуму с концентрацией вакансий n_1 .

Вероятность флуктуационного образования зародыша кристаллической фазы малого объема V в аморфной фазе можно определить как $p \sim \exp(-F_aV/kT)$ (F_a — высота потенциального барьера со стороны второго минимума, см. рис. 2). Вероятность флуктуационного исчезновения зародыша кристаллической фазы составляет $p_l \sim \exp[-(F_cV-\gamma S)/kT]$ (γ — поверхностное натяжение на границе кристаллической и аморфной фаз, F_c — высота потенциального барьера со стороны первого минимума, S — площадь поверхности зародыша кристаллической фазы).

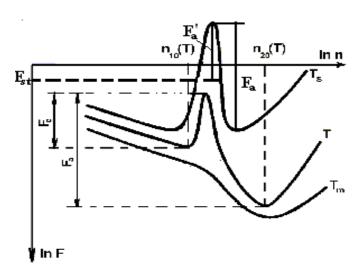


Рис. 2. Схема потенциальных барьеров свободной энергии кристалла при температурах ниже температуры плавления

К зародышу могут присоединяться молекулы (атомы) со скоростью $\sim N_a \exp \left[-\left(F_a V + \gamma V^{2/3}\right)\!/N_a k T V\right] V^{2/3}/ au_0$ молекул в секунду (N_a — концентрация атомов

в аморфной фазе, $S \sim V^{2/3}$). Скорость ухода молекул из зародыша можно определить как $\sim N_c \exp \left[-\left(F_c V - \mathcal{W}^{2/3}\right) \middle/ N_c k T V\right] V^{2/3} \middle/ \tau_0$ (N_c — концентрация молекул в кристаллической фазе). Высвободившиеся в процессе кристаллизации вакансии должны «погибнуть». Поэтому скорость увеличения объема кристаллической фазы будет пропорциональна скорости «смерти» вакансий, которую можно оценить по формуле

$$V_d \sim N^{2/3} \exp\left[-\frac{\left(E_v + E_d\right)}{kT}\right] \frac{S_{st}}{\tau},\tag{2}$$

где E_d — энергия активации диффузии вакансий, S_{st} — площадь поверхности стоков вакансий, E_v — энергия образования вакансии, τ — время порядка обратной частоты Дебая. При этом освободившиеся вакансии должны покинуть стекло, поскольку в остальном объеме стекла их концентрация отвечает пределу растворимости. Вакансии могут «рождаться» и «умирать» только на дефектах типа границы или дислокации (в стеклах их нет; в поликристаллических веществах это — границы кристаллов). Поэтому в условиях термодинамического равновесия вакансии должны диффундировать или до границы (при «смерти»), или от границы (при «рождении»). Коэффициент диффузии кислородных вакансий в стекле очень мал (энергия активации диффузии \sim 5 эВ [5]). Таким образом, время образования устойчивых кристаллических зародышей при постоянной температуре оказывается большим (очень медленный отток вакансий).

При лазерном воздействии на стекло концентрация вакансий в нем в процессе нагревания остается меньше равновесной, $n'_2 < n_{20}$, поэтому при температуре кристаллизации (кривая T_S на рис. 2) стекло оказывается в состоянии F_{st} , в котором энергетический барьер $F_a^{'}$ перехода из аморфного состояния в кристаллическое становится меньше барьера F_a , который отвечает равновесному состоянию. В результате этого увеличивается вероятность образования зародышей кристаллической фазы.

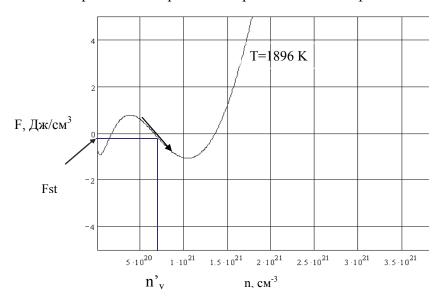


Рис. 3. Зависимость свободной энергии от концентрации вакансий кислорода при температуре 1896 К.

Кроме того, при быстром нагревании возможна кристаллизация за счет обеднения вакансиями одних областей и увеличения их концентрации в других. Это происходит только тогда, когда общая свободная энергия тела в результате такого процесса уменьшается (см. рис. 3). Общая свободная энергия будет уменьшаться только тогда, когда при переходе из обедненных вакансиями областей в области с большей концентрацией химический потенциал вакансий становится меньше (химический потенциал — это сво-

бодная энергия, приходящаяся на вакансию, $\mu = \frac{\partial F}{\partial n}$). Зародыши кристаллов образуются без участия диффузии вакансий к границам (стокам вакансий), т.е. гораздо быстрее, чем при медленном нагревании, когда концентрация вакансий — порядка n_2 .

Концентрация вакансий, соответствующая общей свободной энергии, в этом случае равна $n'_{\rm v.}$ Для того чтобы найти концентрацию вакансий, при которой вероятность образование зародышей кристаллической фазы максимальна, необходимо решить уравнение $d^2F/dn^2=0$.

$$d^{2}F/dn^{2} = v^{2} \cdot n \cdot \alpha \cdot [exp(-nv)] - 2 \cdot v \cdot \alpha \cdot [exp(-nv)] + k \cdot T \cdot n^{-1}.$$

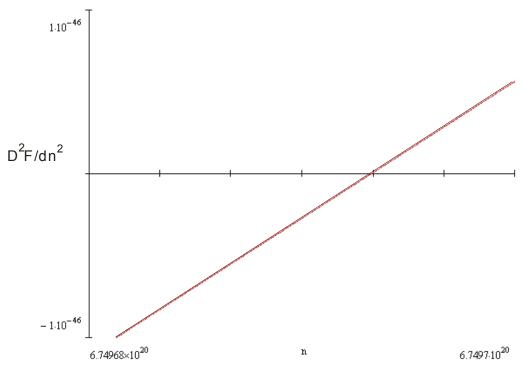


Рис. 4. Графическое решение уравнения $d^2F/dn^2=0$

В результате получаем значение $n=6.75\cdot10^{20}$ см⁻³.

Проведем оценки режимов лазерного воздействия, при которых возможна быстрая кристаллизация.

Скорость генерации вакансий V_s при нагревании оценим как [5] $V_s \sim \frac{N^{2/3}}{\tau} e^{-\frac{E_s + E_d}{kT}}, \text{ где } N - \text{ концентрация атомов кислорода, } \tau - \text{ время порядка обратной частоты Дебая} \sim 10^{-13} \text{ с, } E_s - \text{ энергия образования вакансий, } E_d - \text{ энергия активации диффузии вакансий.}$

Концентрацию вакансий на поверхности $n_{_{\! \theta}}$ к моменту нагревания до температуры кристаллизации можно оценить следующим образом:

$$n_{V} \approx \int_{0}^{t} \frac{N \cdot S}{\tau} exp \left(-\frac{E - \alpha + E_{d}}{kT} \right) dt$$
.

Для подбора режима лазерного воздействия, при котором возможна быстрая кристаллизация, необходимо, чтобы выполнялись равенства T(t)=1896 К и n(t)=6.75·10²⁰ см⁻³.

Оценочный расчет проведен при $N=6.02\cdot 10^{22}$ см⁻³, $q=5.57\cdot 10^5$ Вт/м², $E\approx 1.25$ эВ, $E_d\approx 3.72$ эВ, $\alpha=0.52$ эВ, $\tau\sim 10^{-10}$ с, S=1, k=1.2 Вт/м·К, $k_{\delta o n b q}=1.38\cdot 10^{-23}$ Дж/К, $a=10^{-6}$ м²/с. Значение τ принимается равным 10^{-10} с, понимая под ним время превращения вакансий в другие дефекты.

$$T(t) = \frac{2 \cdot q \cdot \sqrt{t \cdot a}}{k \cdot \sqrt{\pi}} + 300 ;$$

$$n(t) = \frac{N \cdot S}{\tau} \cdot \int_{0}^{t} e^{-\frac{E - \alpha + E_{d}}{T \cdot k_{\delta O J b i j}}} dt .$$

В результате получаем t = 9,281 с.

Заключение

Анализ процесса кристаллизации стекла при локальном лазерном нагревании на основе модели ЖДВК позволил объяснить увеличение скорости кристаллизации в термодинамически неравновесных условиях. Найден режим лазерного воздействия, при котором происходит быстрая кристаллизация. В дальнейшем будет рассмотрена кинетика превращения вакансий в другие дефекты.

Литература

- 1. Яковлев Е.Б. Изменение структуры стекла при лазерном воздействии // Оптический журнал. 1996. № 2. С. 3–7.
- 2. Яковлев Е.Б. Аномальное поведение вязкости стекол при лазерном нагревании. Известия ВУЗов. // Приборостроение. 2001. № 6. С. 26–31.
- 3. Френкель Я.И. Собрание избранных трудов. Т. 2. М.-Л.: Издательство АН СССР 1958. С. 279, 282, 381–396.
- 4. Френкель Я.И. Статистическая физика. М.-Л.: Издательство АН СССР, 1948. С. 501, 502.
- 5. Яковлев Е.Б. Аморфизация из расплава при лазерном воздействии // Изв. АН СССР. Сер. физ. Т. 55. 1991. № 7. С. 729–732.
- 6. Яковлев Е.Б. Перегрев твердых тел при плавлении // Известия АН СССР. Сер. физ. 1989. Т. 53. Вып. 3. С. 591–594.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА» Б.И. Григорьев

На международной конференции по инженерному образованию, состоявшейся в США в 1994 г. (г. Mineapolis-Saint Paul), была представлена программа Electronics Workbench 4.0. Эта программа по сравнению с предшествующими аналогичными разработками имеет более широкий спектр технических возможностей, использует стандартный интерфейс Windows и совместима с различными версиями программы P-SPICE. Программа Electronics Workbench была приобретена академиком Академии электротехнических наук РФ Д.И. Панфиловым, после чего на кафедре электротехники Московского государственного института электротехники начался активный процесс исследования и использования программы для обучения студентов высших учебных заведений. В результате этого процесса были подготовлены и опубликованы книги «Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях» под общей редакцией профессора Д.И. Панфилова [1, 2]. Эти книги в 2003 г. были приобретены кафедрой электроники СПбГУ ИТМО с целью адаптации материалов книги к курсу «Электроника и микропроцессорная техника» и разработки соответствующего виртуального лабораторного практикума. В 2004 г. лабораторный практикум в обеспечение части «Аналоговая электроника» курса «Электроника и микропроцессорная техника» был создан и успешно используется для обучения студентов на кафедре электроники СПбГУ ИТМО.

В данной работе кратко изложены возможности этого лабораторного практикума и опыт его использования на кафедре в течение трех лет.

Практикум содержит следующие виртуальные лабораторные работы.

- 1. Вольтамперные характеристики полупроводниковых диодов и стабилитронов.
- 2. Типовые схемы на основе полупроводниковых диодов и стабилитронов.
- 3. Схемотехнические задачи устройств, содержащих полупроводниковые диоды и стабилитроны.
- 4. Статические характеристики биполярных транзисторов.
- 5. Статические характеристики полевых транзисторов.
- 6. Исследование устройств на основе биполярных и полевых транзисторов.
- 7. Статические характеристики операционных усилителей.
- 8. Усилительные каскады на основе биполярных транзисторов.

В первой работе вольтамперные характеристики диодов и стабилитронов исследуются не только по точкам с помощью амперметра и вольтметра, но и выводятся на экран виртуального осциллографа, что придает более современный и наглядный характер этим исследованиям.

Во второй работе осциллграфическим методом исследуются характеристики трех видов выпрямителей (однополупериодного, двухполупериодного на основе мостовой схемы соединения диодов, двухполупериодного на основе трансформатора со средней точкой) и четырех видов ограничителей напряжения (одностороннего и двухстороннего диодных ограничителей, одностороннего и двухстороннего ограничителей напряжения на основе стабилитронов).

В третьей работе представлены различные схемы с диодами и стабилитронами, переходные процессы в которых нужно предварительно смоделировать, после чего полученные результаты проверить посредством виртуальных осциллографов.

В четвертой работе исследуются входные, выходные и передаточные характеристики биполярных транзисторов, а также зависимость от тока коллектора коэффициента усиления по току транзистора в схеме с общим эмиттером. Методы исследования теже, что и в первой работе.

В пятой работе статические характеристики полевых транзисторов исследуются теми же методами, что и в четвертой работе.

В шестой работе исследуются параметры устройств на основе транзисторов (источников стабильного тока, токовых зеркал, дифференциальных усилителей и др.).

В седьмой работе исследуются основные статические параметры операционных усилителей (напряжение смещения, передаточные характеристики, качество балансировки, зависимость выходного напряжения от входного и др.).

В восьмой работе посредством виртуального осциллографа исследуются три вида усилителей малого сигнала на основе биполярных транзисторов, где транзистор включен по одной из следующих схем:

- по схеме с общим эмиттером,
- по схеме с общей базой,
- по схеме с общим коллектором.

При этом определяются зависимости коэффициента усиления по напряжению от сопротивления нагрузки, амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики усилительного каскада, а также зависимости выходного напряжения каскада от входного напряжения.

Опыт использования виртуального лабораторного практикума на кафедре электроники СПбГУ ИТМО на протяжении трех лет показал его высокую эффективность не только при обеспечении учебного процесса, но и при выполнении разнообразных инженерных разработок. В учебном процессе практикум позволяет выполнить студентам все предусмотренные учебной дисциплиной лабораторные работы как в аудиторных условиях, так и (при наличии ПК) в любом другом месте, провести разнообразные СРС, например при выполнении курсовых проектов и работ. В инженерной практике виртуальный лабораторный практикум чрезвычайно полезен тем, что по его методикам можно проводить предварительное компьютерное моделирование широкого спектра электронных устройств с высокой вероятностью адекватного воспроизведения протекающих в них реальных процессов.

Объективности ради отметим, что в моделях диодов, стабилитронов и транзисторов программы Electronics Workbench 4.0 не заложены инерционные свойства этих приборов (время включения и время выключения). Поэтому при разработке электронных устройств и их исследованиях, где перечисленные параметры полупроводниковых приборов имеют принципиальное значение, нужно обращаться к другим программам.

Автор выражает глубокую благодарность профессору В.В. Тогатову за постоянное внимание к данной работе и полезные дискуссии при обсуждении ее результатов, а также всем сотрудникам кафедры электроники, способствовавшим написанию данной работы.

Литература

- 1. Панфилов Д.И., Чепурин И.Н., Миронов В.Н., Обухов С.Г., Шитов В.А., Иванов В.С. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Додека, 2000.
- 2. Панфилов Д.И., Иванов В.С., Чепурин И.Н. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Додека, 2001.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТСР/ІР ПРОТОКОЛА И USB ИНТЕРФЕЙСА В ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДАХ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ Ю.В. Китаев

Связь персонального компьютера (ПК) с периферийными устройствами (ПУ), в том числе с лабораторными установками, может осуществляться с помощью различных интерфейсов и протоколов. Для локальных систем широко используются последовательные интерфейсы – RS-232 и USB (универсальная последовательная шина). Основными достоинствами USB являются:

- высокая скорость передачи/приема данных,
- подключение большого числа ПУ,
- наличие контроля ошибок,
- автоматическое конфигурирование системы (Plug and Play),
- возможность получения питания от шины.

По этим причинам интерфейс RS-232 вытесняется USB, и в современных ПК привычный физический СОМ порт RS-232 может уже не предусматриваться. С другой стороны, RS-232 хорошо известен, и для него существует программное обеспечение (ПО) для всех средств разработки.

В то же время переход на USB затруднен сложностью протокола обмена данными и необходимостью написания драйвера для операционной системы. Преодолеть трудности миграции с RS-232 к USB можно несколькими способами, например, созданием виртуального СОМ порта или используя специальное программное обеспечение для генерирования кода для целевой (конечной) системы и драйвера для ПК. В последнее время появился целый ряд статей [1, 2 и др.] и программное обеспечение для облегчения перехода на универсальную последовательную шину.

Для внедрения USB в лабораторные установки в качестве интерфейса и объекта изучения можно использовать на целевой плате микроконтроллеры либо с встроенной аппаратной реализацией USB интерфейса, либо с программной его эмуляцией (рис. 1). Для программной эмуляции USB на основе микроконтроллеров AVR имеется разработка.

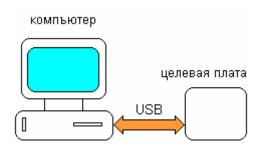


Рис.1..Схема программной эмуляции микроконтроллера

В качестве целевой платы для постановки лабораторных работ можно использовать, например, отладочную плату PICDEM FS USB на основе микроконтроллера PIC18F4550 с аппаратной поддержкой USB. На плате установлен датчик температуры, потенциометр, подключенный к АЦП, две кнопки и два светодиода. Этого достаточно для разработки управляемой системы сбора и мониторинга данных. Программное обеспечение для рабочей платы создается с использованием интегрированной среды разработки MPLAB на языке программирования C18.

Исходное программное обеспечение для компьютера включает драйвер и библиотеку функций. При первоначальном подключении рабочей платы к компьютеру необходимо указать путь к информационному файлу драйвера, после чего плата готова к

обмену данными. В режиме эмуляции COM порта используются драйверы Windows usbser.sys и ccport.sys

Разработку прикладного программного обеспечения можно проводить с помощью любой системы программирования — MS Visual Studio, Borland Delphi или С++, Measurement Studio, LabView и др. В соответствии с вариантом задания разработчик (студент) определяет необходимый набор виртуальных инструментов (типовая лицевая панель системы сбора и мониторинга данных приведена на рис. 2) и пишет прикладную программу.

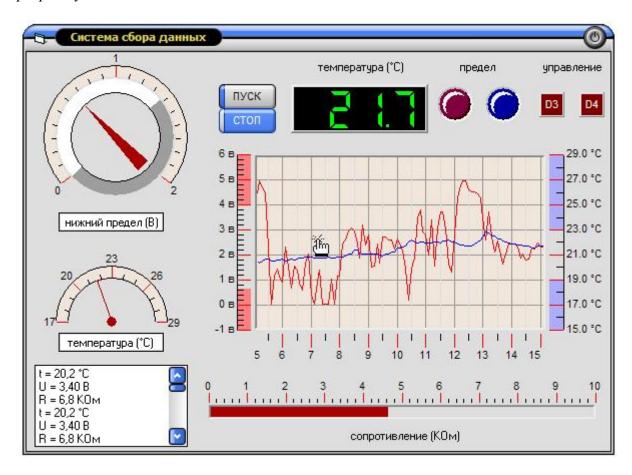


Рис. 2. Типовая лицевая панель системы сбора и мониторинга данных

В процессе выполнения этой работы студент в соответствии с заданием модифицирует пользовательский блок программы для микроконтроллера (ввод/вывод по прерыванию, вызванному окончанием АЦ преобразования, по прерыванию от таймера и т. д.). Затем, после отладки кода во встроенном в MPLAB симуляторе, он переводит целевую плату в режим программирования и записывает полученный код в интеловском НЕХ-формате во внутреннюю программную память микроконтроллера.

После этого студент запускает на выполнение написанную (или модифицированную) прикладную программу и оценивает ее работоспособность и полученные от целевой платы данные с помощью виртуальных органов управления и визуализации.

Другим направлением изучения взаимодействия измерительной системы с удаленным компьютером является использование TCP/IP протокола связи или надстроек над ним (рис. 3).



Рис.3. Изучение взаимодействия измерительной системы с удаленным компьютером через TCP/IP протокол

Существует большое число библиотечных функций и компонентов ActiveX для организации обмена данными через Intranet или Internet. Использование таких компонентов существенно снижает время разработки пользовательского программного обеспечения и позволяет включать их в лабораторные работы.

Лабораторный практикум при изучении курса «Электроника и микропроцессорная техника» проводится с использованием специализированных учебных микропроцессорных и микроконтроллерных комплексов (УМК). На кафедре электроники используются УМК на базе микроконтроллеров семейств 68HC08, ATMega, MCS51 и PIC.

В процессе выполнения этих лабораторных работ студент:

- 1) приобретает навыки работы с распространенными интегрированными средствами разработки программного обеспечения как для выполнения на целевой плате, так и на компьютере;
- 2) с помощью стандартных протоколов реализует обмен данными в системе сбора и мониторинга данных.

Литература

- 1. Курилин A. USB это просто! Переход с интерфейса RS-232 на интерфейс USB // Компоненты и технологии. №5. С.114. СПб: Finestreet, 2005.
- 2. Башлыков А. Особенности реализации протокола USB в контроллерах LPC214х. // Компоненты и технологии. №7. С.106. СПб: Finestreet, 2005.

ИМПУЛЬСНЫЙ БЛОК ПИТАНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ НАКАЧКИ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ

В.В. Тогатов, С.В Гагарский, П.А. Гнатюк, Ю.И. Черевко

Разработан блок питания для импульсной накачки лазерных линеек, работающих в составе твердотельного лазера. Максимальная амплитуда импульса тока накачки 100 А при длительности до 400 мкс и частоте повторения до 5 кГц. Разработана программа «VLC3», которая управляет режимом работы блока питания по COM-порту или USB.

Блок питания предназначен для импульсной накачки одной или двух последовательно включенных лазерных линеек, которые, в свою очередь, осуществляют накачку твердотельного лазера. По сравнению с известными аналогами разработанный блок обладает большей универсальностью, меньшими габаритами и обеспечивает независимость температурного режима лазерных линеек от длительности паузы между импульсами тока, начиная с первого импульса.

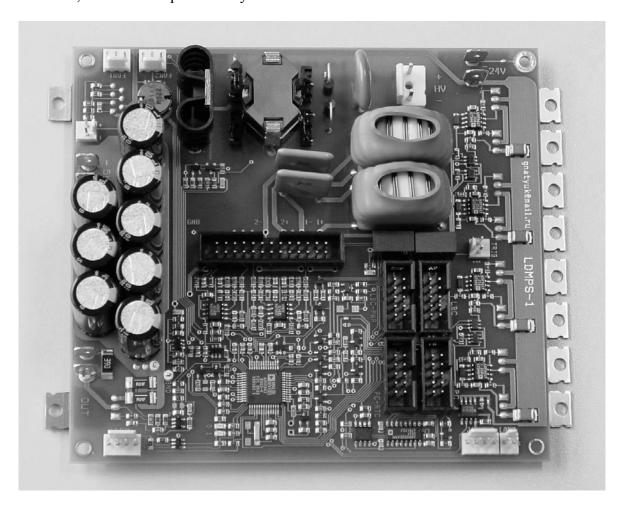


Рис. 1. Электрическая плата блока питания

Блок питания (рис. 1) выполнен в виде единой печатной платы, на которой расположены следующие модули.

• Управляемый источник тока лазерных линеек, построенный по схеме модулятора с частичным разрядом накопительной емкости, в котором коммутирующим элементом является линейный источник тока. Этот модуль по заданной программе формирует импульсы тока накачки и дежурного тока.

- Два термоэлектрических контроллера, обеспечивающих независимую температурную стабилизацию лазерных линеек с помощью элементов Пельтье.
- Схема регистрации сигнала с фотодетектора, осуществляющая контроль лазерного излучения.
- Управляемый блок питания пилотного лазера, расположенного в диодном модуле.
- Управляемый высоковольтный источник (до 4 кВ), напряжение с которого подается в схему модулятора, управляющего оптическим затвором твердотельного лазера.
- Микроконтроллер, управляющий всеми компонентами блока питания. Он выставляет параметры режима накачки и контролирует реальные величины этих параметров. Через микроконтроллер осуществляется связь компонентов блока питания с персональным компьютером.

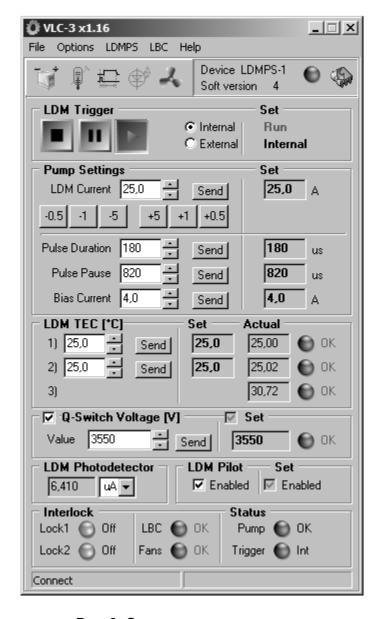


Рис. 2. Основное окно программы

Кроме того, на плате расположены источники питания двух вентиляторов с контролем их состояния, а также светодиоды, индицирующие состояние блока питания.

Разработана компьютерная программа «VLC3», которая управляет режимом работы блока питания по COM-порту или USB. Основное окно программы «VLC3» пока-

зано на рис. 2. В правой части окна приведены текущие значения параметров, а в левой – вновь устанавливаемые значения. Из параметров накачки устанавливаются величины тока накачки и дежурного тока, а также длительности импульса накачки и паузы между импульсами. Из параметров термоэлектрических контроллеров независимо устанавливаются и регистрируются температуры обоих лазерных линеек, а также регистрируется температура общей горячей стороны элементов Пельтье. Регистрируется ток (или мощность) фотодетектора, включается питание пилотного лазера, устанавливается напряжение высоковольтного источника.

Помимо установки и регистрации параметров, в программе предусмотрено переключение режима работы блока либо от внутреннего генератора, либо от внешних синхроимпульсов. В режиме внешней синхронизации блок может работать без подключения к компьютеру. Реализована программная индикация состояния всех модулей, расположенных на плате, а также предусмотрен контроль внешних логических сигналов. Меню программы позволяет производить расширенную настройку параметров каждого модуля и определять логические условия допустимой рабочей области.

Питание платы осуществляется от двух источников постоянного тока $-24~\mathrm{B}$ и $5~\mathrm{B}$. Основные параметры блока питания:

– максимальная амплитуда импульса тока накачки	100 A
– длительность импульса тока накачки	
- средняя мощность, передаваемая в лазерные линейки	
 – максимальная частота повторения импульсов накачки 	
 нестабильность амплитуды импульса тока 	
– нестабильность средней мощности выходного оптического излучения	
в режиме модуляции добротности и удвоения частоты *	
 – максимальное напряжение на лазерных линейках 	
 – максимальный дежурный ток через лазерные линейки 	
– диапазон установки температуры элементов Пельтье с шагом 0,1 °C	
– максимальное напряжение на элементах Пельтье	
 – максимальный ток через каждый элемент Пельтье 	
– максимальная мощность на каждом элементе Пельтье	
– напряжение высоковольтного источника	
 – максимальная мощность высоковольтного источника 	
– линейный диапазон измерения фототока	
 задержка выходного синхроимпульса 	,
относительно окончания тока накачки	0–400 мкс
– габариты платы	$120 \times 150 \times 40 \text{ mm}^3$

Импульсный блок питания разработан при поддержке компании Vitro Laser GmbH (Германия) для питания лазерных диодных модулей серии JOLD-CPXF. В настоящее время блок питания в сочетании с излучателем типа VLC3 используется в составе технологических установок, предназначенных для лазерной гравировки в объеме прозрачных диэлектриков.

ной частоте (532 нм) порядка 1 мДж и длительности менее 4 нс.

_

^{*} Долговременные измерения нестабильности оптической мощности проводились в течение 16 часов на выходе одномодового Nd^{3+} :YVO₄ лазера с продольной импульсной накачкой лазерным диодным модулем типа JOLD-70-CPXF-1L с частотой повторения 2 к Γ ц при энергии выходных импульсов на удвоен-

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ МОДУЛЯТОР С НАНОСЕКУНДНЫМ ФРОНТОМ

В.В. Тогатов, С.В. Гагарский, П.А. Гнатюк, Д.С. Терновский

Разработан высоковольтный (до 6 кВ) импульсный модулятор с наносекундным фронтом, предназначенный для управления электрооптическими затворами. Проведены испытания модулятора в составе лазерного излучателя, с электрооптическим затвором типа QDN3.

Модулятор предназначен для управления электрооптическими затворами в составе твердотельных лазеров. В отличие от существующих, разработанный модулятор выполнен в виде единой печатной платы, на которой расположен и высоковольтный источник, позволяющий формировать выходные импульсы в режиме «switch on» (с положительным фронтом). Для работы в режиме «switch off» (с отрицательным фронтом) на плате предусмотрен разъем, к которому подключается дополнительный высоковольтный источник. Этот источник разработан нами и может поставляться в комплекте с модулятором.

Модулятор (рис. 1) включает следующие основные компоненты: быстродействующий электронный коммутатор, блок накопительных конденсаторов, заряжаемых в паузе между импульсами, управляющие драйверы, трансформатор, с помощью которого осуществляется запуск модулятора, высоковольтный источник питания для формирования выходных импульсов в режиме «switch on» и низковольтный — для цепей управления. Модулятор управляется внешними синхроимпульсами с частотой до 10 кГц. Регулировка амплитуды выходного импульса осуществляется либо встроенным потенциометром, либо дистанционно через входной разъем. Для контроля состояния платы используется светодиодная индикация, а при отсутствии высокого напряжения генерируется логический сигнал «Еггог». Питание платы осуществляется от низковольтного источника 5–30 В.

Проведены испытания разработанного высоковольтного импульсного модулятора в составе лазерного излучателя, установленного в технологический комплекс, предназначенный для объемной лазерной маркировки внутри прозрачных диэлектриков. В качестве нагрузки использовался электрооптический затвор типа QDN3 (VITRO LASER GmbH) на кристалле BBO, работающий на поперечном электрооптическом эффекте. Емкость затвора составляла 6 пФ, рабочее четвертьволновое напряжение – 3.6 кВ.

Излучатель представлял собой одномодовый лазер на основе кристалла Nd^{3+} : YVO₄ с продольной импульсной диодной накачкой. Импульсы накачки с энергией до 7 мДж имели длительность 90 нс и частоту повторения до 2,5 кГц. По окончанию импульса накачки с импульсного модулятора на затвор подавался открывающий импульс длительностью до 200 нс. Время развития генерации находилось в пределах 30–60 нс. В результате на выходе излучателя генерировались световые импульсы на длине волны 1064 нм с энергией до 1 мДж. Отношение энергетической эффективности работы лазера в режиме модуляции добротности к соответствующему значению эффективности в режиме свободной генерации составило величину 76 %. Длительность импульса при максимальной энергии накачки составила 3.8 нс.

Субструктура генерируемого светового импульса (рис. 2) обусловлена частичной синхронизацией продольных мод в резонаторе лазера с аксиальным периодом около 1 нс. Нестабильность энергии от импульса к импульсу не превышала 2.5 %. Девиация изменений средней мощности излучения при частоте повторения 2 кГц по измерению в течение 16 часов непрерывной работы составила \pm 1.6 %, что практически совпало со значением девиации в режиме свободной генерации. В результате проведения ресурсных испытаний не выявлено каких-либо изменений в работоспособности модулятора в течение 10^9 импульсов.

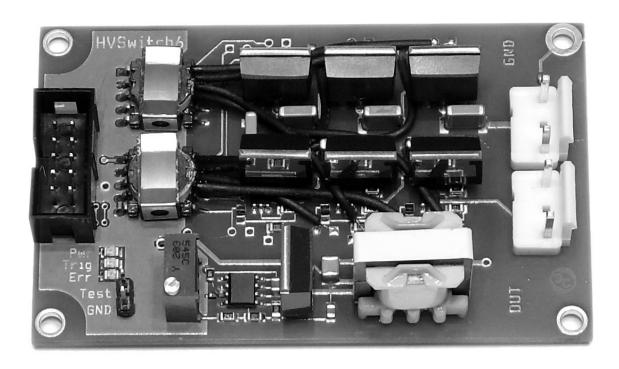


Рис. 1. Электрическая плата модулятора

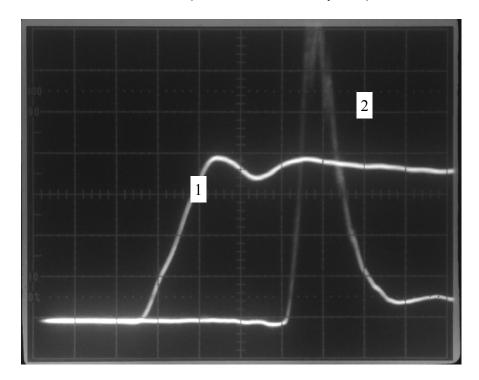


Рис. 2. Осциллограмма импульсов напряжения (1) на затворе и лазерного излучения (2). Масштаб: напряжение на затворе 1кВ на деление, время 5нс на деление

Основные технические характеристики модулятора:

•	амплитуда выходного импульса	2000–6000 B
•	стабильность амплитуды	5 %
•	максимальный ток в импульсе	30 A
•	максимальная емкость нагрузки	100 пФ
•	длительность фронта	3-8 нс
•	длительность плоской части импульса	0.2-2 мкс

• PROVIS 070 TO	0.5 2000
• время спада	U.3 MKC
• максимальная частота повторения импульсов	10 кГц
• задержка выходного импульса относительно входного	60 нс
• амплитуда входного синхроимпульса	3–15 B
• напряжение источника питания платы	
• потребляемая мощность	
• ток дополнительного высоковольтного источника	
напряжения смещения на затворе	< 0.3 MA
• рабочий температурный диапазон	–40–+60 °C
• габаритные размеры	$50 \times 80 \times 24 \text{ mm}^3$
Модулятор разработан по заказу фирмы VITRO LASER (Герма	
ся в составе технологического комплекса для 3D-гравировки в проз	врачных диэлектри-
ках.	

ДИНАМИКА НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРИВОДА ОПОРНО-ПОВОРОТНОЙ ПЛАТФОРМЫ С ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ И.Е. Овчинников

В статье рассматривается разомкнутая система непосредственного привода двухмассовой системы с вентильным двигателем. На основе анализа диаграммы Вышнеградского показываются некоторые пути улучшения качества переходного процесса за счет надлежащего выбора параметров двигателя.

Введение

Исследованию динамики двухмассовых систем с упругой связью и, в частности, вопросов демпфирования крутильных колебаний в приводах постоянного тока, посвящены публикации [1, 2], в которых отмечается возможность улучшать демпфирование колебаний за счет изменения жесткости механической характеристики приводного двигателя [2].

Вентильный двигатель, являющийся бесконтактным аналогом двигателя постоянного тока с механическим коллектором, имеет некоторые особенности, связанные с малым количеством секций (фаз) обмотки, влиянием их индуктивностей на вид характеристик, а также влиянием коммутационных процессов, связанных с отключением соответствующих элементов обмотки [3].

Далее будем рассматривать двухмассовую систему с упругой связью, приводимую во вращение вентильным двигателем (рис. 1).

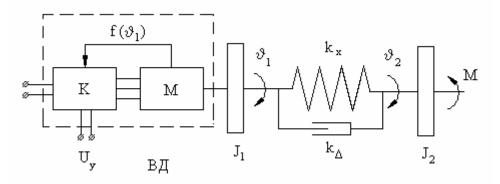


Рис.1. Схема привода двухмассовой системы с вентильным двигателем.

На рис.1 ВД — вентильный двигатель, представляющий собой комплекс из электромеханической части М (двигатель) и полупроводниковой части К (коммутатор), управляемый по положению вала $f(\mathcal{G}_1)$, \mathcal{G}_1 — угол поворота, J_1 — момент инерции массы, приведенный к валу двигателя; J_2 — момент инерции массы, присоединенной через упругую связь с коэффициентом упругости k_x . В схеме соединения масс с моментами инерции J_1 и J_2 предусмотрено демпфирующее звено, создающее момент демпфирования, пропорциональный разности угловых скоростей «масс» J_1 и J_2 :

$$M_{\Delta} = k_{\Delta} \left(\frac{d \, \theta_1}{dt} - \frac{d \, \theta_2}{dt} \right).$$

Далее, учитывая специфику привода, предполагающую большую равномерность электромагнитного момента двигателя, будем считать, что фазные напряжения трех-

фазного двигателя изменяются по гармоническому закону со сдвигом на 120 электрических градусов, а их привязка к координатам фазных осей может, в случае необходимости, изменяться. Это изменение соответствует введению угла опережения включения β_0 фаз двигателя при каждой очередной коммутации [3, 4]. Далее угол опережения β_0 будем считать равным нулю.

С учетом сказанного моментная (или механическая) характеристика трехфазного вентильного двигателя будет иметь вид [4]

$$M = \frac{3}{2} \cdot \frac{R \cdot C_e'}{R^2 + X^2} \left(U_m - C_e' \cdot \Omega \right). \tag{1}$$

Здесь U_m — амплитуда фазного напряжения, $C_e' = p \cdot k_{01} \cdot w_1 \cdot \Phi$ — постоянная противо ЭДС, p — число пар полюсов, k_{01} — обмоточный коэффициент, w_1 — число витков фазы, Φ — поток системы возбуждения на пару полюсов, R — активное сопротивление фазы, $X = \frac{3}{2} p \cdot L \cdot \Omega$ — эквивалентное индуктивное сопротивление фазы, L — собственная индуктивность фазы, Ω — угловая скорость ротора (рад/с).

Хотя характеристика (1) имеет нелинейный характер относительно скорости Ω , она в ряде случаев, в особенности, когда X << R, может быть представлена как линейная падающая, т.е. такая же, как у коллекторного двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Положив $X \approx 0$, получим

$$M = \frac{3}{2} \cdot \frac{C_e'}{R} \left(U_m - C_e' \cdot \Omega \right). \tag{2}$$

Пусковой момент ($\Omega = 0$) и скорость идеального холостого хода (M = 0) будут определяться формулами

$$M_{\Pi} = \frac{3}{2} C'_e \cdot I_{\Pi}; \ I_{\Pi} = \frac{U_m}{R}$$

$$\Omega_{HXX} = \frac{U_m}{C'_e}$$

Запишем уравнения динамики для двухмассовой системы, изображенной на рис. 1.

$$(J_{\partial} + J_{1}) \frac{d^{2} \theta_{1}}{dt^{2}} = M - k_{x} (\theta_{1} - \theta_{2}) - k_{\Delta} \left(\frac{d\theta_{1}}{dt} - \frac{d\theta_{2}}{dt} \right)$$

$$J_{2} \frac{d^{2} \theta_{2}}{dt^{2}} = k_{x} (\theta_{1} - \theta_{2}) + k_{\Delta} \left(\frac{d\theta_{1}}{dt} - \frac{d\theta_{2}}{dt} \right) - M_{H}$$

$$(3)$$

Здесь J_{δ} – момент инерции ротора двигателя, ${\mathcal G}$ – угол поворота.

Подставим в первое выражение уравнение для момента двигателя (2) и перейдем к безразмерным величинам:

момент
$$\mu = \frac{M}{M_{\delta}}; \quad M_{\delta} = \frac{3}{2}C'_{e}I_{\Pi};$$
 скорость $\omega_{1} = \frac{\Omega}{\Omega_{\delta}} = \frac{d\vartheta_{1}}{\Omega_{\delta}dt}; \quad \Omega_{\delta} = \frac{U_{m}}{C'_{e}};$ скорость $\omega_{2} = \frac{d\vartheta_{2}}{\Omega_{\delta}dt}.$

Разделим оба уравнения на базовый момент M_{δ} и введем безразмерное время $\tau = t \cdot \Omega_{\delta}$:

$$\begin{split} &\frac{\left(J_{\delta}+J_{1}\right)\Omega_{\delta}^{2}}{M_{\delta}}\frac{d^{2}\vartheta_{1}}{d\tau^{2}}=1-\frac{d\vartheta_{1}}{d\tau}-c_{x}\left(\vartheta_{1}-\vartheta_{2}\right)-c_{\Delta}\left(\frac{d\vartheta_{1}}{d\tau}-\frac{d\vartheta_{2}}{d\tau}\right)\\ &\frac{J_{2}\Omega_{\delta}^{2}}{M_{\delta}}\frac{d^{2}\vartheta_{2}}{d\tau^{2}}=c_{x}\left(\vartheta_{1}-\vartheta_{2}\right)+c_{\Delta}\left(\frac{d\vartheta_{1}}{d\tau}-\frac{d\vartheta_{2}}{d\tau}\right)-\mu_{H} \end{split}$$

Здесь $c_x = \frac{k_x}{M_{\delta}}$; $c_{\Delta} = \frac{k_{\Delta}\Omega_{\delta}}{M_{\delta}}$. Кроме того, обозначим механические постоянные как

$$\frac{\left(J_{\delta} + J_{1}\right)\Omega_{\delta}}{M_{\delta}} = T_{1}; \quad T_{1} \cdot \Omega_{\delta} = \overline{T_{1}};$$

$$\frac{J_{2}\Omega_{\delta}}{M_{\delta}} = T_{2}; \quad T_{2} \cdot \Omega_{\delta} = \overline{T_{2}}$$
(4)

Подставив эти величины в предыдущие уравнения, получим следующую систему:

$$\overline{T_1} \frac{d^2 \mathcal{G}_1}{d\tau^2} + (1 + c_{\Delta}) \frac{d \mathcal{G}_1}{d\tau} + c_x \mathcal{G}_1 - c_{\Delta} \frac{d \mathcal{G}_2}{d\tau} = 1$$

$$\overline{T_2} \frac{d^2 \mathcal{G}_2}{d\tau^2} + c_{\Delta} \frac{d \mathcal{G}_2}{d\tau} + c_x \mathcal{G}_2 - c_{\Delta} \frac{d \mathcal{G}_1}{d\tau} - c_x \mathcal{G}_1 = -\mu_H$$
(5)

Преобразуем уравнения (5) по Лапласу, приняв все начальные условия нулевыми:

$$\begin{split} &\frac{d\,\theta_{1}}{d\tau} = \frac{d\,\theta_{2}}{d\,\tau} = 0, \quad \theta_{1} = \theta_{2} = 0. \\ &\left[\overline{T}_{1}s^{2} + \left(1 + c_{\Delta}\right)s + c_{x}\right] \cdot \theta_{1}\left(s\right) - \left(c_{\Delta}s + c_{x}\right) \cdot \theta_{2}\left(s\right) = \frac{1}{s} \\ &\left[\overline{T}_{2}s^{2} + c_{\Delta}s + c_{x}\right] \cdot \theta_{2}\left(s\right) - \left(c_{\Delta}s + c_{x}\right) \cdot \theta_{1}\left(s\right) = -\frac{\mu_{H}}{s} \end{split}$$

Здесь $\theta_{1,2}(s)$ — изображение углов θ_1 и θ_2 , s — оператор преобразования. Из данной системы уравнений имеем:

$$\theta_{1}(s) = \frac{\overline{T}_{2}s^{2} + c_{\Delta}(1 - \mu_{H})s + c_{x}(1 - \mu_{H})}{s^{2} \cdot P_{3}(s)}$$

$$\theta_{2}(s) = \frac{c_{x}(1 - \mu_{H}) + (c_{\Delta}(1 - \mu_{H}) - \mu_{H})s - \overline{T}_{1}\mu_{H}s^{2}}{s^{2} \cdot P_{3}(s)}$$
(6)

 $\frac{\overline{\Omega_1}(s) = s\theta_1(s)}{\overline{\Omega_2}(s) = s\theta_2(s)} -$ изображения угловых скоростей.

$$\Delta\theta(s) = \theta_1(s) - \theta_2(s) = \frac{\overline{T}_2 s + \overline{T}_1 \mu_H s + \mu_H}{s \cdot P_3(s)}$$

 $\Delta \theta(s)$ \to $(\mathcal{G}_1-\mathcal{G}_2)$ = $\Delta \mathcal{G}$ — угол рассогласования между валами J_1 и J_2 . Здесь полином третьего порядка

$$P_{3}(s) = \overline{T}_{1}\overline{T}_{2}s^{3} + \left(\left(\overline{T}_{1} + \overline{T}_{2}\right)c_{\Delta} + \overline{T}_{2}\right)s^{2} + \left(\left(\overline{T}_{1} + \overline{T}_{2}\right)c_{x} + c_{\Delta}\right)s + c_{x}. \tag{7}$$

Коэффициенты полинома, от которых зависит распределение корней соответствующего характеристического уравнения, определяют поведение рассматриваемой динамической системы в различных переходных процессах и качество этих процессов.

Характеристическое уравнение $P_3(s) = 0$ позволяет перейти к форме Вышнеградского [5]:

$$z^3 + Az^2 + Bz + 1 = 0$$
:

$$z = \sqrt[3]{\frac{\overline{T}_1 \overline{T}_2}{c_x}} s$$

$$A = \frac{\overline{T}_2}{\sqrt[3]{\left(\overline{T}_1 \overline{T}_2\right)^2 c_x}} F_1(c_\Delta), \quad B = \left(\overline{T}_1 + \overline{T}_2\right) \sqrt[3]{\frac{c_x}{\overline{T}_1 \overline{T}_2}} F_2(c_\Delta, c_x)$$

$$F_1(c_\Delta) = \left(1 + \frac{\overline{T}_1}{\overline{T}_2}\right) c_\Delta + 1, \quad F_2(c_\Delta, c_x) = 1 + \frac{c_\Delta}{\left(\overline{T}_1 + \overline{T}_2\right) c_x}.$$

$$(8)$$

Условие устойчивости системы формулируется в виде $AB \succ 1$, что в нашем случае приводит к неравенству

$$\left(1+\frac{\overline{T}_2}{\overline{T}_1}\right)\cdot F_1(c_{\Delta})\cdot F_2(c_{\Delta},c_x) \succ 1.$$

C другой стороны, от абсолютных величин коэффициентов A и B зависит характер переходных процессов в системе (колебательный, монотонный, апериодический), а также их качество, которое можно охарактеризовать, в частности, интегральной оценкой [5] вида

$$I_{\Delta\theta} = \int_{0}^{\infty} \Delta \theta^2 d\tau.$$

Подставим в величины A и B значения безразмерных постоянных \overline{T}_1 и \overline{T}_2 , а также $c_{\scriptscriptstyle \Lambda}$ и $c_{\scriptscriptstyle \Sigma}$ (4). В результате получим:

$$A = \sqrt[3]{\frac{J_{2} \cdot M_{\delta}^{2}}{J_{1}^{2} \cdot \Omega_{\delta}^{2} \cdot k_{x}}} F_{1}(k_{\Delta}), \quad B = (J_{1} + J_{2}) \sqrt[3]{\frac{k_{x} \cdot \Omega_{\delta}^{2}}{M_{\delta}^{2} \cdot J_{1} J_{2}}} F_{2}(k_{x}, k_{\Delta})$$

$$F_{1}(k_{\Delta}) = 1 + \left(1 + \frac{J_{1}}{J_{2}}\right) \frac{k_{\Delta}}{M_{\delta}}, \quad F_{2}(k_{x}, k_{\Delta}) = 1 + \frac{k_{\Delta} M_{\delta}}{k_{x}(J_{1} + J_{2})\Omega_{\delta}^{2}}$$
(9)

На рис. 2 по данным [6] построена диаграмма Вышнеградского, на которой нанесены линии равного декремента затухания, характеризуемого величиной относительного уменьшения амплитуд колебаний через каждый период. Этот показатель в данном

случае имеет вид
$$\zeta = \left(1 - \frac{A(\vartheta + 2\pi)}{A(\vartheta)}\right) \cdot 100\%$$
, где $A(\vartheta)$ — значение амплитуды колеба-

ний при некотором угле \mathcal{G} , $A(\mathcal{G}+2\pi)$ — то же значение через период 2π . Линия 1 означает границу устойчивости AB=1. Линии 2, 3 делят всю область устойчивой работы на зону затухающего колебательного режима (зона I между кривыми 1–3), монотонного затухающего режима с колебаниями, не изменяющими знака координаты и ее производной (зона II), и апериодического режима (зона III).

На рис. 2 пунктирной линией показана область, где система имеет достаточно малую величину квадратичной интегральной оценки качества переходного процесса [5].

В некоторых случаях надлежащий выбор параметров привода, в частности, двигателя, позволяет добиться необходимого качества переходного процесса. Это будет означать, что зависящие, согласно (9), от параметров коэффициенты A и B обеспечат положение «рабочей» точки на диаграмме Вышнеградского (рис. 2) в необходимой области, например, с желаемым декрементом затухания.

Рассмотрим такую возможность на конкретном примере.

Опорно-поворотная платформа, приводимая непосредственным (безредукторным) приводом на основе вентильного двигателя, может быть представлена как двухмассовая система с упругой связью и демпфированием (рис. 1).

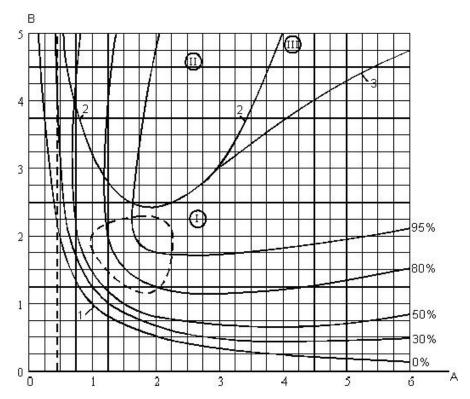


Рис. 2. Диаграмма Вышнеградского и кривые равных декрементов затухания

Параметры платформы:

- моменты инерции $J_1 = 45000 \text{кг} \cdot \text{м}^2$, $J_2 = 110000 \text{кг} \cdot \text{м}^2$;
- коэффициенты упругости и демпфирования: $k_x = 3 \cdot 10^8 \,\mathrm{Hm}\,/\,\mathrm{pag}$,

$$k_{\Lambda} = 1,0.10^5 \,\mathrm{Hm} \cdot \mathrm{c} / \mathrm{pag}$$
;

Параметры двигателя:

- момент инерции ротора $J_p = 110 \mathrm{kr} \cdot \mathrm{m}^2$;
- амплитуда фазного напряжения $U_m = \sqrt{2} \cdot 300 = 424 \text{B}$;
- число пар полюсов p = 44;
- активное сопротивление фазы $R = 23 \, \text{Om}$;
- собственная индуктивность фазы $L = 0.0352\Gamma$ н;
- постоянная момента для трехфазного двигателя (см.(1)) $K_{_{M}} = \frac{3}{2}C'_{e} = 1000 \text{Hm/A}$;
- постоянная ЭДС $C'_e = 667 \text{B} \cdot \text{c} / \text{рад}$.

Используя (2), определим скорость идеального холостого хода:

$$\Omega_{ucx} = \Omega_{\sigma} = \frac{U_m}{C'} = \frac{424}{667} = 0,636$$
рад/с.

Сравним активное и эквивалентное индуктивные сопротивления фазы на скорости идеального холостого хода:

$$X_{\max} = X_{\delta} = \frac{3}{2} p \cdot L \cdot \Omega_{\max} = \frac{3}{2} \cdot 44 \cdot 0,0352 \cdot 0,636 = 1,48$$
Ом (коэффициент $\frac{3}{2}$ учитыва-

ет взаимоиндуктивность других фаз). Это означает, что в формуле моментной характеристики (1) можно пренебречь величиной X и пользоваться формулой (2). Кроме этого, можно не принимать во внимание электромагнитные процессы по сравнению с механическими.

Пусковой (базовый) момент двигателя (2) равен

$$M_{II} = M_{\delta} = \frac{3}{2} \cdot \frac{C'_{e} \cdot U_{m}}{R} = \frac{3}{2} \cdot 667 \cdot \frac{424}{23} = 18444 \text{Hm}.$$

Теперь, согласно (9), определим коэффициенты A и B, учитывая, что $J_1=J_1'+J_p=45000+110=45110$ кг · м² . Далее получим из (9):

$$\begin{split} F_1\left(k_{\Delta}\right) &= 1 + \left(1 + \frac{J_1}{J_2}\right) \frac{k_{\Delta}}{M_{\delta}} = 1 + \left(1 + \frac{45110}{110000}\right) \frac{100000}{18444} = 8,64 \;. \\ F_2\left(k_x, k_{\Delta}\right) &= 1 + \frac{k_{\Delta}M_{\delta}}{k_x\left(J_1 + J_2\right)\Omega_{\delta}^2} = 1 + \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 18,444 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \left(4,511 + 11\right) \cdot 10^4 \cdot 0,636^2} \approx 1 \;. \\ A &= \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 10^5 \cdot 18,44^2 \cdot 10^6}{4,511^2 \cdot 10^8 \cdot 0,636^2 \cdot 3 \cdot 10^8} \cdot 8,64 = 0,46 \;. \\ B &= \left(4,511 + 11\right) \cdot 10^4 \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 10^8 \cdot 0,636^2}{18,44^2 \cdot 10^6 \cdot 4,511 \cdot 10^4 \cdot 11 \cdot 10^4} \cdot 1,0 = 64 \;. \end{split}$$

Из рис. 2 видно, что точка с коэффициентами A=0,46, B=64 лежит в области II. Эта точка будет отвечать медленно затухающему монотонному процессу $\left(\Omega\succ0,\,\frac{d\Omega}{dt}\succ0,\,\Delta\vartheta\succ0,\,\frac{d\Delta\vartheta}{dt}\succ0\right)$. Степень устойчивости, определяемая веществен-

ной частью корня характеристического уравнения (7), наиболее близко расположенной к мнимой оси, равна [5]:

$$h = h_0 \cdot \sqrt[3]{\frac{c_x}{\overline{T}_1 \overline{T}_2}} = h_0 \cdot \sqrt[3]{\frac{k_x \cdot M_6}{J_1 J_2 \cdot \Omega_6^4}},$$

где нормированная степень устойчивости отвечает уравнению

$$B = \frac{1}{h_0} + Ah_0 - h_0^2 \,. \tag{10}$$

При вычисленных значениях A и B

$$h_0 \approx 0.0167$$
, $h = 0.0167 \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 10^8 \cdot 18,44 \cdot 10^3}{4,511 \cdot 10^4 \cdot 11 \cdot 10^4 \cdot 0,636^4}} = 0.317$.

Таким образом, экспонента наиболее медленно затухающего члена решения, определяющего переходный процесс, равна $e^{-h\tau}=e^{-h\Omega_6 t}$, а постоянная времени этой экспоненты $T_h=\frac{1}{h\cdot\Omega_6}=\frac{1}{0,317\cdot0,636}=4,96$ с. Столь малое быстродействие системы может

быть улучшено за счет уменьшения коэффициента B и некоторого увеличения A. Из выражения (9) для A и B мы видим, что уменьшение времени протекания переходных процессов может быть достигнуто при увеличении жесткости механической характеристики, определяемой отношением $\frac{M_{\delta}}{\Omega_{\epsilon}}$. Например, увеличение жесткости в 2 раза за

счет уменьшения скорости идеального холостого хода $\Omega_{ux} = \Omega_{\delta}$ в 2 раза даст значение

счет уменьшения скорости идеального холостого хода $\Omega_{uxx} = \Omega_{\delta}$ в 2 раза даст значение коэффициентов (9) A = 0.73 и B = 40.3.

Для зоны II рис.2 из (10) находим $h_0 \approx 0.025$, $h \approx 1,19$, $T_h = 2,63$ с. Быстродействие увеличилось в 1,9 раза.

Рассмотрим увеличение жесткости характеристики в 2 раза за счет увеличения пускового (базового) момента M_{δ} . В этом случае A=0,408, B=40,3, $h_0=0.025$, h=0,598, $T_h=2,63$ с, т.е. постоянная времени оказалась такой же, как и в предыдущем

случае, когда жесткость характеристики была увеличена за счет уменьшения скорости идеального холостого хода $\Omega_{\rm ux}$.

И в том, и в другом случае для увеличения жесткости характеристики в 2 раза потребуется увеличить площадь пазов статора двигателя также в 2 раза при сохранении неизменным коэффициента заполнения паза по меди. Тот же результат может дать увеличение длины пакета статора в два раза при прежней геометрии статорного листа или применение сдвоенной конструкции двигателя, работающей на один вал.

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

- 1. Определенное влияние на уменьшение времени переходных процессов, уменьшение колебательности и улучшение качества процесса может быть достигнуто за счет правильного выбора механической характеристики двигателя, определяемой в рассматриваемом случае двумя точками пусковым моментом (M_{δ}) и скоростью идеального холостого хода (Ω_{δ}).
- 2. Параметры двигателя, использованные в приведенном примере, по всей вероятности, не обеспечат необходимого быстродействия и качества процесса регулирования в замкнутой системе.

Литература

- 1. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 2001.
- 2. Совершенствование и повышение качества электромеханических систем / Сборник трудов семинара ЛДНТП, 1977.
- 3. Овчинников И.Е. Теория вентильных электродвигателей. Л.: Наука, 1985.
- 4. Овчинников И.Е. Вентильные двигатели и привод на их основе. СПб: Корона Принт, 2006.
- 5. Попов Е.П. Динамика систем автоматического регулирования. М.: Гостехиздат, 1954.
- 6. Воронов А.А. Элементы теории автоматического регулирования. М.: МО, 1954.

ПРИВОД ЛЕГКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ДИСКОВОГО ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ

И.Е. Овчинников, Н.А. Леви

Рассматривается система электропривода на основе вентильного двигателя с релейными регуляторами скорости и момента. Исследуются автоколебательные режимы для тока и момента в режиме поддержания установившейся скорости.

Автоколебательный режим регулирования ВД с релейным регулятором тока

Для малых транспортных средств (электровелосипеды, самокаты, тележки, коляски и др.) в качестве приводного электрического двигателя эффективным решением может оказаться применение дискового вентильного регулируемого двигателя (ВД) плоской беззубцовой конструкции [1, 2]. Основные требования к приводу состоят в высоком КПД, надежности, малой массе, простоте и дешевизне системы. С этой точки зрения ВД с диэлектрическим статором, лишенным стального магнитопровода, управляемый простейшим релейным регулятором, охваченным обратной связью по току, удовлетворяет перечисленным требованиям в достаточной мере.

Структурная схема привода представлена на рис. 1, а. 3десь ИП – источник питания (аккумуляторная батарея), К — полупроводниковый коммутатор, Д — вентильный двигатель, ДПР — датчик положения ротора, ДТ — датчик тока, Р — бесконтактное реле, прерывающее сигналы $f(\vartheta)$, вырабатываемые ДПР и посылаемые в виде команд на включение—отключение соответствующих транзисторов коммутатора К, ОС — ограничитель сигнала управления по току I_{y}^{0} , предотвращающий появление сигнала, превы-

шающего допустимый ток двигателя или коммутатора $I_{\mbox{\scriptsize ЛОП}}$.

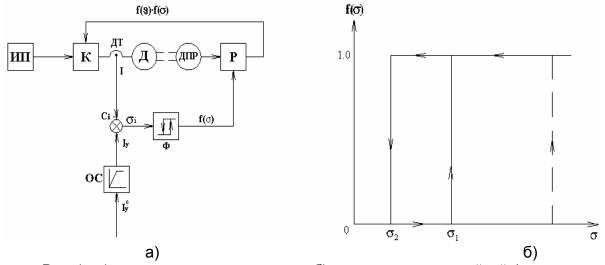


Рис. 1: а) структурная схема привода, б) характеристика релейной функции

Сигнал управления I_y на выходе ОС сравнивается с фактическим током I двигателя. Разность сигналов $\sigma_i = I_y - I$ воздействует на реле-формирователь Φ , вырабатывающий управляющую функцию $f(\sigma)$, включающую или отключающую реле P в цепи датчика положения ротора. В силу гистерезиса формирователя Φ имеют место следующие условия (рис. $1, \delta$):

 $\sigma_i = I_y - I_1 \ge \sigma_1$, $f(\sigma) = 1$ – соответствует включению двигателя;

 $\sigma_i = I_y - I_2 \le \sigma_2, \ \ f(\sigma) = 0 -$ соответствует отключению двигателя.

Складывая граничные значения $\sigma_i = \sigma_1$ и $\sigma_i = \sigma_2$, получаем, что среднее значение установившегося тока в системе будет равно

$$\langle I \rangle = \frac{I_1 + I_2}{2} = I_y - \sigma_0; \ \sigma_0 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$$
 (1)

Таким образом, управляя током I_y , можно управлять фактическим средним током двигателя $\langle I \rangle$, а, значит, и его моментом M. В установившемся режиме поддержания некоторого среднего тока $\langle I \rangle$ имеют место автоколебания тока и момента двигателя, период и частота которых неизвестны и определяются внутренними параметрами системы, в частности, гистерезисом формирователя Φ (в нашем случае) или реле P [2].

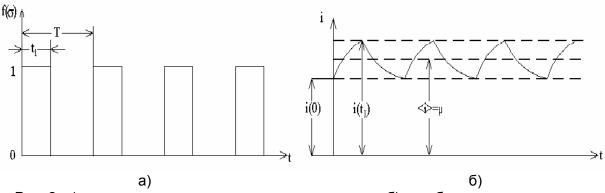


Рис. 2: а) последовательность импульсов включения, б) колебания тока двигателя

На рис. 2, а показаны импульсы включения реле P длительностью t_1 , имеющие неизвестный период T, а на рис. 2, б – характер изменения тока в автоколебательном режиме. На этом рисунке i(0) – начальное значение тока при включении реле $(\sigma_i = \sigma_2, f(\sigma) = 1), i(t_1)$ – значение тока в конце импульса $(\sigma_i = \sigma_1, f(\sigma) = 0)$.

Дифференциальные уравнения для тока в безразмерной форме для участка импульса и участка паузы при допущениях, сформулированных в [2], запишутся в виде

$$T_{e}\frac{di}{dt} + i = 1 - \omega^{0}; \ 0 \le t \le t_{1}$$

$$T_{e}\frac{di}{dt} + i = -\omega^{0}; \ t_{1} \le t \le T$$

$$(2)$$

Здесь T_e - электромагнитная постоянная времени обмотки, $i = \frac{I}{I_n}$ — безразмерный ток,

 $I_n = \frac{U}{R_0}$ — пусковой ток, U — напряжение источника, R_0 — активное сопротивление об-

мотки двигателя, $\omega^0=\frac{\Omega^0}{\Omega_{xx}}$ — средняя безразмерная скорость двигателя, Ω^0 , Ω_{xx} —

средняя угловая скорость и скорость идеального холостого хода, соответственно.

Решением уравнений (2) будет

$$i = i(0)e^{-\frac{t}{T}} e^{-\frac{t}{T}} e^{-\frac{t}{T}} e^{-\frac{t}{T}} e^{-\frac{t-t}{T}} e^{-$$

Для рассматриваемого привода характерно, что $T_{\scriptscriptstyle M} >> T_e$ ($T_{\scriptscriptstyle M} -$ механическая постоянная), и поэтому в периодическом высокочастотном процессе включения—отключения двигателя скорость ω^0 практически не претерпевает изменений.

В [2] показано, что граничные значения токов отвечают зависимостям

$$i(0) = \frac{e^{\frac{\tau_1}{\xi}} - 1}{e^{\frac{\tau}{\xi}} - 1} - \omega^0, \qquad i(t_1) = \frac{1 - e^{-\frac{\tau_1}{\xi}}}{1 - e^{-\frac{\tau}{\xi}}} - \omega^0, \qquad (4)$$

где $\tau_1 = \frac{t_1}{T}$, $\xi = \frac{T_e}{T}$. При этом для условия непрерывного тока i(0) > 0 (ток двигателя на периоде T никогда не обращается в нуль), справедливо соотношение [2]:

$$\tau_1 = \omega^0 + \mu_H. \tag{5}$$

Здесь относительный момент нагрузки $\mu_H = \frac{M}{M_n}$, $M_H -$ фактический момент нагрузки

на валу, M_n – пусковой момент.

Поскольку гистерезис реле приводит к колебаниям тока в границах гистерезисного коридора $\Delta i = i(t_1) - i(0)$ (рис. 2б), то, подставив значения токов из (4), получим уравнение

$$\Delta i = \frac{\left(1 - e^{-\frac{\tau_1}{\xi}}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{\left(1 - \tau_1\right)}{\xi}}\right)}{1 - e^{-\frac{1}{\xi}}}.$$

$$(6)$$

Учитывая условие (5), можно решить это уравнение относительно параметра $\xi = \frac{T}{T}$, иначе говоря, найти период автоколебаний T и частоту f и, значит, проверить пригодность частотных характеристик транзисторов коммутатора двигателя, которые должны преобразовывать рабочие токи двигателя. При параметрах $\xi >> 1$ приближенное решение будет

$$\xi \approx \frac{\tau_1(1-\tau_1)}{\Delta i} \,. \tag{7}$$

Возможность использования рассмотренного релейного регулятора для управления транспортным средством обнаруживается достаточно наглядно, если нагрузка, приведенная к валу двигателя, имеет вид

$$\mu_H = \mu_{H0} + \bar{k}\omega^{\alpha} \tag{8}$$

(иногда возможно $\mu_{H0}\approx 0$), что в большинстве случаев имеет место. При $\alpha=2$ мы имеем ветровую (вентиляторную) нагрузку плюс нагрузку типа «сухое» трение. В формуле (8) $\bar{k}=\frac{k\Omega_{xx}^2}{M_n}$, где k — размерный коэффициент нагрузки, входящий в выражение

 $M_H = k(\Omega^0)^2$ (Нм). На рис. 3 дана иллюстрация возможности управления транспортным средством по схеме рис. 1а. Пересечение нагрузочной характеристики $\omega = f_1(\mu_H)$

 $(\omega = \sqrt[\alpha]{\frac{\mu_{_H}}{\bar{k}}})$ с естественной характеристикой $\omega = f_2(\mu_{_{\rm I\!\! I}})$ в рабочей точке A_0 определяет

максимально возможную скорость ω_{max}^0 при токе управления (токе двигателя) i_y^0 . Изменяя ток двигателя i_y , определяющий в определенном масштабе фактический ток и момент двигателя, и поддерживая этот ток на заданном уровне, можно изменять скорость двигателя или скорость транспортного средства.

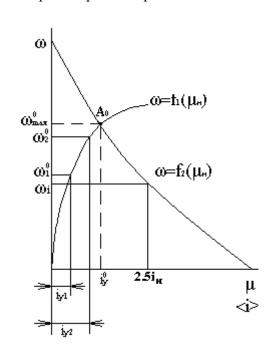


Рис. 3. Механическая и нагрузочная характеристики двигателя

Пример расчета параметров автоколебательного режима регулирования ВД с релейным регулятором тока

Исходные данные:

- пусковой момент M_n =18 Нм;
- пусковой ток I_n =300 A;
- тип нагрузки, приведенной к валу двигателя, комбинированный

•
$$\mu_H = \mu_{H0} + \bar{k}\omega^2$$
, $M_{H0} = 0.2 \text{ Hm}$, $k = 4.10^{-6} \text{ Hm} \cdot \text{c}^2$;

- скорость идеального холостого хода $\Omega_{\chi\chi}$ =600 1/c;
- электрическая постоянная времени T_e =0,002 с;
- гистерезис реле (токовый коридор) $\Delta I = 3$ A.

Требуется определить период и частоту автоколебаний, минимальные и максимальные токи для непрерывного режима при относительных рабочих скоростях двигателя ω^0 = 0,7 и ω^0 = 0,3.

1. Безразмерная продолжительность включения (5), (8)

$$\tau_1 = \omega^0 + \mu_H = \omega^0 + \mu_{H0} + \bar{k}(\omega^0)^2$$

$$\mu_{H} = \frac{M_{H}}{M_{n}} = \frac{0.2}{18} = 0.011, \ \overline{k} = \frac{k\Omega_{xx}^{2}}{M_{n}} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 600^{2}}{18} = 8 \cdot 10^{-2};$$

при
$$\omega^0 = 0.7$$
: $\tau_1 = 0.7 + 0.011 + 8 \cdot 10^{-2} (0.7)^2 = 0.75$; при $\omega^0 = 0.3$: $\tau_1 = 0.3 + 0.011 + 8 \cdot 10^{-2} (0.3)^2 = 0.318$.

2. Безразмерный токовый коридор

$$\Delta i = \frac{\Delta I}{I_n} = \frac{3}{300} = 0.01.$$

3. Параметр ξ в предположении, что $\xi >> 1$ (7)

$$\xi = \frac{\tau_1(1-\tau_1)}{\Lambda i},$$

при
$$\omega^0 = 0.7$$
 $\xi = \frac{0.75(1 - 0.75)}{0.01} = 18.75$; при $\omega^0 = 0.3$: $\xi = \frac{0.318(1 - 0.318)}{0.01} = 21.69$. Пара-

метр ξ из решения уравнения (6) с большой степенью точности совпадает с упрощенным решением (7).

4. Период и частота автоколебаний (4):

для
$$\omega^0 = 0.7$$
: $T = \frac{T_e}{\xi} = \frac{0.002}{18.75} = 1.07 \cdot 10^{-4}$ (c), $f = 9.37 \cdot 10^3$ (Гц); для $\omega^0 = 0.3$: $T = \frac{T_e}{\xi} = \frac{0.002}{21.69} = 0.92 \cdot 10^{-4}$ (c), $f = 10.84 \cdot 10^3$ (Гц).

В коммутаторе двигателя должны быть использованы IGBT (БТИЗ) транзисторы или FET (полевые) транзисторы.

5. Пульсации тока и средний ток, потребляемый от источника (4):

$$i_{min}=i(0)=\frac{e^{\frac{\tau_1}{\xi}}-1}{e^{\frac{\tau}{\xi}}-1}-\omega^0,\ i_{max}=i(t_1)=\frac{1-e^{-\frac{\tau_1}{\xi}}}{1-e^{-\frac{\tau}{\xi}}}-\omega^0;$$
 для ω^0 =0,7: $i_{min}=\frac{e^{\frac{0.75}{18.75}}-1}{e^{\frac{1}{18.75}}-1}-0.7=0.045,\ I_{min}=I_n\cdot i_{min}=300\cdot 0.045=13.49\,\text{(A)};$ $i_{max}=\frac{1-e^{-\frac{0.75}{18.75}}}{1-e^{-\frac{1}{18.75}}}-0.7=0.055;$ $I_{max}=I_n\cdot i_{max}=300\cdot 0.055=16.49\,\text{(A)};$ $\langle I\rangle=\frac{13.49+16.49}{2}=14.99\,\text{(A)};$ для ω^0 =0,3: $i_{min}=\frac{e^{\frac{0.318}{21.69}}-1}{e^{\frac{1}{21.69}}-0.3=0.013;$ $I_{min}=I_n\cdot i_{min}=300\cdot 0.013=3.9\,\text{(A)};$ $i_{max}=\frac{1-e^{-\frac{0.318}{21.69}}}{1-e^{-\frac{1}{21.69}}}-0.3=0.023;$ $I_{max}=I_n\cdot i_{max}=300\cdot 0.023=6.9\,\text{(A)};$

$$\langle I \rangle = \frac{3.9 + 6.9}{2} = 5.4 \text{ (A)}.$$

Условие непрерывности тока $(i_{min} > 0)$, обеспечивающее наилучшую экономичность режима, выполняется в обоих случаях.

Заключение

- 1. С помощью достаточно простой схемы управления вентильным двигателем, использующей бесконтактный релейный регулятор с обратной связью по току, удается обеспечить управление скоростью транспортного средства.
- 2. Для создания наиболее экономичного режима движения следует обеспечить частоту автоколебаний в системе поддержания тока, при которой ток имеет непрерывный характер, а пульсации его минимальны.
- 3. За счет надлежащего выбора параметров системы (гистерезис реле $\Delta \sigma$, эквивалентная электрическая постоянная обмотки T_e) можно в нужном направлении влиять на частоту автоколебаний и уровень пульсаций тока.
- 4. В вентильных двигателях с беззубцовым диэлектрическим статором, который имеет весьма малую величину T_e , необходимо использовать в коммутаторе транзисторы (IGBT, FET) и высокочастотные шунтирующие диоды.

Литература

- 1. Овчинников И.Е., Лебедев Н.И. Бесконтактные двигатели постоянного тока. Л.: Наука 1979.
- 2. Овчинников И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе. СПб: Корона-Век, 2006.

ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С КОРРЕКЦИЕЙ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

П.А. Борисов, А.В. Драницын

Рассмотрены структура импульсного источника вторичного электропитания с коррекцией коэффициента мощности и особенности выбора элементной базы микроконтроллерной системы управления. Приведена модель импульсного источника в пакете MATLAB\Simulink и подтверждена ее адекватность путем сравнения результатов моделирования и экспериментальных данных.

Введение

Источники вторичного электропитания (ИВЭП) широко применяются в электротехнических и электромеханических комплексах и системах различного типа и назначения. Применение импульсных способов управления полупроводниковыми преобразователями, на базе которых строятся ИВЭП, весьма эффективно с точки зрения уменьшения габаритов, веса и увеличения к.п.д. оборудования. Отмечается устойчивый рост спроса на импульсные источники вторичного электропитания, ужесточаются требования к их статическим, динамическим характеристикам и энергетическим показателям, что требует развития методов анализа и синтеза преобразователей, позволяющих в сжатые сроки получать устройства с высокими качественными показателями [1]. С точки зрения теории автоматического регулирования импульсный стабилизатор напряжения представляет собой нелинейную систему, что значительно затрудняет его анализ и синтез. Требуется совершенствование методов синтеза, учитывающих импульсный характер протекающих в преобразователе процессов, особенности функционирования как силовой части, так и схемы управления. Кроме того, в связи с быстрым развитием вычислительной техники все более актуальными становятся методы анализа и синтеза импульсных стабилизаторов напряжения, ориентированные на применение ЭВМ. Поэтому анализ и синтез рассмотренного в статье импульсного источника осуществлен в современном пакете MATLAB.

В статье рассмотрены структура импульсного источника вторичного электропитания с коррекцией коэффициента мощности и особенности выбора элементной базы микроконтроллерной системы управления (МК СУ). Приведена модель импульсного источника в пакете MATLAB\Simulink, подтверждена ее адекватность путем сравнения результатов моделирования и экспериментальных данных.

Показатели качества энергопотребления энергетических подсистем ИВЭП

Современные электротехнические комплексы и системы на базе полупроводниковых преобразователей электрической энергии разделяются на две подсистемы: энергетическую и информационную. Основная структура, на базе которой строятся все известные схемы энергоподсистем постоянного и переменного токов, состоит из источника питания — полупроводникового преобразователя — нагрузки. Существенную роль при выборе структуры энергоподсистемы играет как тип источника питания, так и характер нагрузки.

Все источники электропитания можно разделить на первичные и вторичные. К первичным обычно относят такие источники, которые преобразуют неэлектрическую энергию в электрическую. Непосредственное использование первичных источников электропитания затруднено тем, что их выходное напряжение не регулируется и обладает невысокой стабильностью, а для питания электротехнических установок в большинстве случаев требуется высокостабильное напряжение с заданным значением, для формирования которого и предназначены источники вторичного электропитания [1].

Определение энергетических характеристик электромагнитных процессов в электрических устройствах состоит из двух процедур – расчета полной мощности и всех ее характерных для данного устройства составляющих и нахождения определенных относительных значений соответствующих мощностей, выступающих в роли показателей (коэффициентов) качества энергопроцессов.

В общем случае полная мощность связана со своими составляющими известным выражением вида [2]

$$S = U_{RMS} \cdot I_{RMS} = \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2 + H^2} , \qquad (1)$$

где U_{RMS} , I_{RMS} — действующие значения напряжения и тока источника питания, P — активная мощность, Q — реактивная мощность, T — мощность искажения, H — мощность несимметрии. В симметричном преобразователе в квазиустановившемся режиме работы полная мощность связана со своими составляющими соотношением [2]

Определив полную мощность энергоподсистемы S и ее составляющие P, Q и T, можно найти основные показатели качества энергопотребления [2]: $K_{MOIIIHOCTI} = P/S$ — коэффициент мощности, $K_{CZBM\Gamma A} = P/\sqrt{P^2 + Q^2}$ — коэффициент сдвига, $K_{ICKAЖЕНИЯ} = \sqrt{P^2 + Q^2} / \sqrt{P^2 + Q^2 + T^2}$ — коэффициент искажения, $K_{\Gamma APMOHUK} = T/\sqrt{P^2 + Q^2}$ — коэффициент гармоник или интегральный показатель гармонического состава тока (Total Harmonic Distortion).

На сегодняшний день международные стандарты качества энергопотребления и электромагнитной совместимости технических средств, такие как IEEE 519 и МЭК 61000-3-4-98, предъявляют жесткие требования к значениям гармонических составляющих потребляемого электротехническим устройством тока вплоть до 49 гармоники, отечественный ГОСТ Р 51317.3.2-99 (МЭК 61000-3-2-95) — до 40-й. При известном спектральном составе тока источника питания коэффициент гармоник определяется согласно выражению

$$K_{\Gamma APMOHUK} = \sqrt{\sum_{k=2}^{N} (I_{kRMS})^2} / I_{1RMS}, \qquad (3)$$

где I_{1RMS} – действующие значения первой (основной) гармоники тока источника питания, I_{kRMS} – действующие значения k-ой гармоники тока источника питания.

Постоянное совершенствование элементной базы полупроводниковых преобразователей, на основе которых строятся ИВЭП, за счет создания и освоения промышленностью высокоэффективных силовых приборов и вычислительных устройств на базе программируемых микроконтроллеров позволяет в настоящее время существенно расширить функции ИВЭП и активно влиять на показатели качества потребляемой ими электроэнергии.

Структура энергоподсистемы и состав микроконтроллерной системы управления импульсного ИВЭП

Рассматриваемый импульсный ИВЭП с бестрансформаторным входом предназначен для питания низковольтных установок бытового и промышленного использования (маломощные приборные комплексы и системы электропривода) с преобразованием переменного напряжения однофазной сети в постоянное напряжение регулируемого диапазона. Структурная схема данного импульсного ИВЭП приведена на рис. 1 и включает в себя блоки энергетической подсистемы и информационную подсистему. Энерго-

Энергоподсистема импульсного ИВЭП включает в себя: цепь источника питания, фильтр для электромагнитной совместимости (Г- или Т-образный), однофазный мостовой выпрямитель, импульсный понижающий напряжение преобразователь (ИПНП), транзисторный широтно-импульсный преобразователь (ШИП), высокочастотный трансформатор, высокочастотный мостовой выпрямитель, цепь нагрузки с Г-образным силовым фильтром.

Энергетическая подсистема

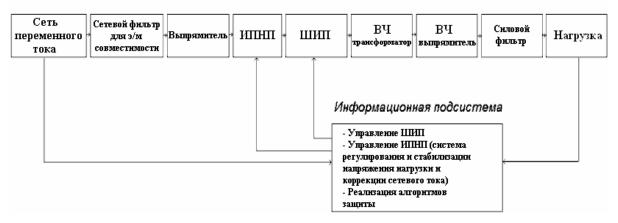


Рис. 1. Структурная схема импульсного ИВЭП.

Использование ИПНП, состоящего из: силового транзистора в продольной ветви, обратного диода, дросселя и конденсатора Г-образного силового фильтра, совместно с входным силовым фильтром для электромагнитной совместимости позволяют обеспечить улучшение (коррекцию) коэффициента мощности и других энергетических показателей в соответствии с требованиями стандартов и ГОСТ. Блок транзисторного ШИП формирует на выходе переменное прямоугольное напряжение высокой частоты и регулируемым коэффициентом заполнения. Высокочастотный выпрямитель выпрямляет переменное прямоугольное напряжение с выхода высокочастотного трансформатора, обеспечивающего гальваническое разделение цепей нагрузки от питающей силовой сети [1].

Информационная подсистема импульсного ИВЭП включает в себя систему управления полупроводниковыми преобразователями с информационно-измерительной частью. На систему управления, помимо основных задач регулирования и управления, возложены задачи защиты, диагностики и выдачи информации о состоянии энергетической подсистемы. В этом случае систему управления эффективно проектировать на цифровой базе. При построении цифровой системы управления импульсного ИВЭП требуется реализовать цифровые регуляторы, управление ИПНП и ШИП. Все эти задачи требуют достаточно высокого быстродействия вычислителя, а также наличия специальных периферийных устройств, позволяющих освободить вычислитель от часто повторяющихся однообразных действий — например, генерации временных последовательностей для управления ИПНП и ШИП. Кроме того, для организации работы с достаточно большим количеством датчиков необходим многоканальный аналогоцифровой преобразователь (АЦП).

Для реализации вычислителя современная элементная база предлагает три варианта [3]:

- 1) использование универсального микропроцессора;
- 2) использование процессора для цифровой обработки сигналов (в англоязычной литературе они называются «DSP Digital signal processor»);
 - 3) использование однокристальной микро-ЭВМ, микроконтроллера (МК).

Универсальные микропроцессоры обладают большими вычислительными возможностями, однако встроенной периферии на кристалле не имеют. Особенности процессоров для цифровой обработки сигналов определяют круг решаемых ими задач, к которым относятся задачи вычисления цифровых фильтров, преобразований координат и т.д. Однако для задач управления ИПНП и ШИП процессор для цифровой обработки сигналов приспособлен слабо.

Основное отличие современных микроконтроллеров от универсальных микропроцессоров заключается в наличии, помимо микропроцессорного ядра, развитой встроенной периферии — многоканального АЦП, последовательных и параллельных портов, блоков таймеров общего назначения, сторожевого таймера, многоприоритетной системы прерываний с большим числом их источников, блоков захвата-сравнения, широтно-импульсного модулятора (ШИМ). Генерация различных импульсных последовательностей, необходимых для управления мостовыми схемами, может быть выполнена с использованием специальных блоков захвата—сравнения и блока ШИМ, которые имеются практически в каждом современном 16-ти разрядном МК [3].

Поэтому наиболее оптимальным вариантом оказалось построение цифровой системы управления импульсного ИВЭП на базе МК. Сравнение показывает, что, сочетая в себе развитую встроенную периферию с быстродействием, сравнимым с быстродействием некоторых процессоров для цифровой обработки сигналов, микроконтроллеры семейства С166 (фирмы Siemens AG, Infineon Technologies) опережают по ряду показателей представителей других 16-разрядных семейств микроконтроллеров (МСS-96 фирмы Intel, 68HС16 фирмы Motorola). Поэтому микроконтроллерная система управления импульсного ИВЭП была разработана на основе специализированного 16-битного микроконтроллера SAK-C164CI-8EM семейства С166. Создан набор программ на языке Assembler, реализующих цифровые алгоритмы управления импульсного ИВЭП.

Моделирование ИВЭП в пакете MATLAB\Simulink и экспериментальные исследования

В связи с существенной нелинейностью устройств данного типа разработана модель импульсного ИВЭП с МК СУ (рис. 2) в интегрированном пакете MATLAB с использованием приложения Simulink и библиотеки SimPowerSystems. В модели использованы блок измерителя полной мощности и ее составляющих и вычислитель показателей качества энергопотребления, предложенные в [4].

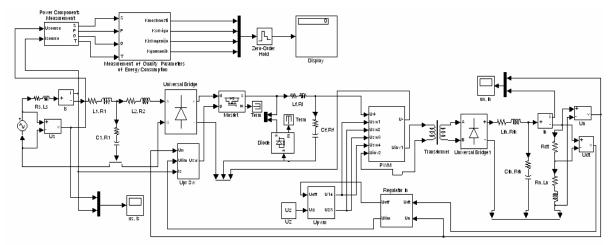


Рис. 2. Модель импульсного ИВЭП в пакете MATLAB\Simulink

Созданная в пакете MATLAB\Simulink модель импульсного ИВЭП с МК СУ позволила определить структуру фильтра для электромагнитной совместимости и параметры его элементов и ИПНП, а также параметры элементов информационной подсистемы, обеспечивающих улучшение (коррекцию) коэффициента мощности и других энергетических показателей импульсного ИВЭП.

По результатам экспериментальных исследований сделано заключение, что разработанная в пакете MATLAB\Simulink модель импульсного ИВЭП с МК СУ адекватна реальной системе и с достаточной для инженерных расчетов точностью отражает процессы в ней (рис. 3 и 4). Данные моделирования и эксперимента характеризуются хорошим совпадением с погрешностью в пределах 15–20 %. Тестирование созданного программного обеспечения подтвердило его работоспособность.

В экспериментальных исследованиях для измерения напряжений и токов использовались датчики производства фирмы LEM. Система регулирования напряжения нагрузки и коррекции сетевого тока импульсного ИВЭП – подчиненная с внешним контуром регулирования напряжения (ПИ-регулятор) и внутренним релейным регулятором тока.

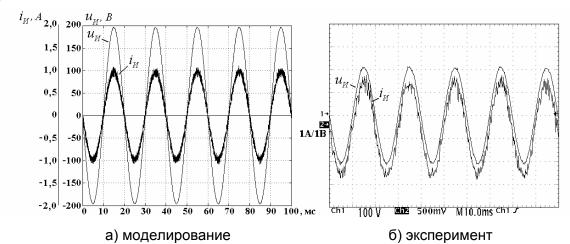


Рис. 3. Напряжение и ток в цепи источника импульсного ИВЭП в квазиустановившемся режиме (при питании от источника пониженного напряжения)

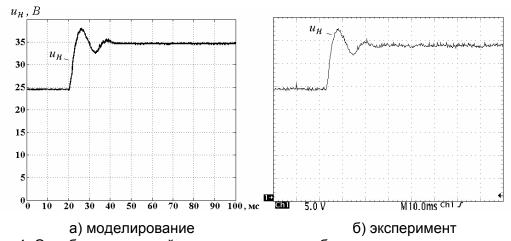


Рис. 4. Отработка системой регулирования и стабилизации напряжения нагрузки импульсного ИВЭП изменения задания на напряжение нагрузки с 25 до 35 (В)

Заключение

В статье рассмотрены структура импульсного ИВЭП с коррекцией коэффициента мощности и особенности выбора элементной базы МК СУ. Приведена модель импульсного ИВЭП с МК СУ в пакете MATLAB\Simulink и подтверждена ее адекватность путем сравнения результатов моделирования и экспериментальных данных.

Литература

- 1. Прянишников В.А. Электроника: курс лекций. СПб.: КОРОНА-принт, 1998. $400~{\rm c.},$ ил.
- 2. Маевский О.А. Энергетические показатели вентильных преобразователей. М.: Энергия, 1978. 320 с., ил.
- 3. Козаченко В.Ф. Микроконтроллеры: руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров Intel MCS-196/296 во встроенных системах управления. ЭКОМ, 1997. 537 с., ил.
- 4. Борисов П.А., Томасов В.С. Определение составляющих полной мощности энергоподсистем электротехнических комплексов // Exponenta Pro. Математика в приложениях. 2004. № 1. С. 40 –44.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДСИСТЕМА СЛЕДЯЩЕГО ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

И.Н. Жданов, А.И. Лебедев

Рассматриваются способы обработки сигналов тахогенератора, необходимые для получения кода скорости в прецизионных следящих электроприводах современных комплексов позиционирования и слежения.

При проектировании следящих электроприводов систем наведения последнее время наибольшее распространение в качестве исполнительных двигателей получили вентильные двигатели. Для качественного управления электродвигателем с целью обеспечения высоких точностных и динамических показателей, требуемых от систем такого класса, необходимо, в том числе, обладать точной информацией об угле положения и скорости вращения двигателя.

Функциональная схема замкнутого следящего электропривода приведена на рис.1. Структурно электропривод содержит энергетическую и информационную подсистемы. Энергетическая подсистема определяет предельно достижимые динамические характеристики электропривода (максимальные скорости и ускорения следящей оси) и, в значительной степени, массогабаритные показатели систем управления. Информационная подсистема обеспечивает необходимые точности в заданных режимах работы привода.

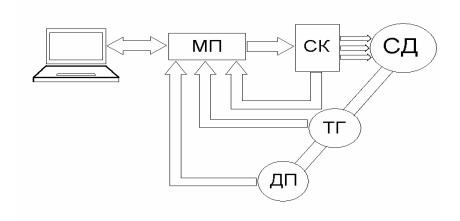


Рис.1. Функциональная схема следящего электропривода

Энергетическая подсистема содержит источник питания, силовой каскад (СК), синхронный электромеханический преобразователь (СД) и исполнительную ось как нагрузку электропривода. С валом СД жестко связаны роторы первичного датчика углового положения ротора СД (ДП) и первичного датчика скорости – тахогенератора (ТГ).

Микропроцессорная система управления (МП) обеспечивает аналого-цифровое преобразование сигналов первичных датчиков координат, реализацию алгоритмов цифровых регуляторов, формирование широтно-модулированных сигналов для управления ключами СК, связь с компьютером или пультом управления и реализацию функций защиты и диагностики системы.

Один из наиболее простых способов получения информации о скорости вращения вала двигателя – использование в качестве ТГ двигателя постоянного тока (ДПТ). Однако коллекторный блок ДПТ приводит к снижению надежности и ограничению области применения таких датчиков скорости.

Вычисление скорости через информацию датчика положения неприемлемо в системах, работающих с инфранизкими скоростями вращения (единицы угловых секунд в секунду). Оптимальным в таких случаях будет использовать в качестве датчика скоро-

сти $T\Gamma$ на базе трехфазного синхронного двигателя. При этом встает вопрос об обработке сигналов такого $T\Gamma$ для получения кода скорости.

В общем виде выходные напряжения обмоток трехфазного синхронного $T\Gamma$ в зависимости от угла поворота вала двигателя представлены на рис. 2.

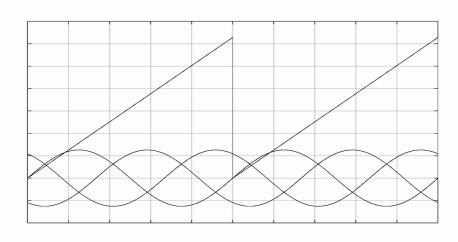


Рис. 2. Выходные напряжения трехфазного ТГ

Если для получения кода скорости выпрямлять три фазы TГ, то полученный сигнал будет иметь пульсации порядка 14%.

Для уменьшения пульсаций предлагается несколько алгоритмов коррекции, для реализации которых необходима информация об угле положения. Сигнал Uтг формируется в соответствии со структурной схемой, представленной на рис. 3, где U1, U2, U3 — напряжения обмоток тахогенератора; N1, N2, N3 — управляющие коды.

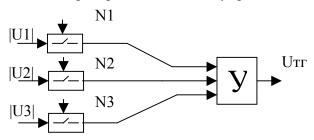


Рис.3. Схема формирования Uтг

Блок-схема первого варианта коррекции пульсаций начального напряжения Uтг представлена на рис. 4. При этом корректирующее напряжение Uк образуется определенной коммутацией (рис. 5) модульных значений трехфазной системы. С учетом тождественности (с определенной степенью точности) характера изменения сигнала пульсаций и Uк происходит снижение уровня пульсаций до значения 3,4 % (рис. 6). Управляющие коды формируются в зависимости от текущего угла положения вала двигателя.

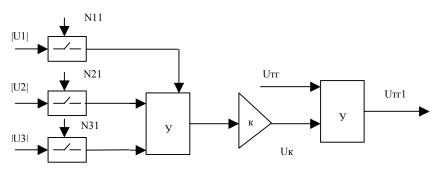


Рис. 4. Функциональная схема 1-го варианта коррекции

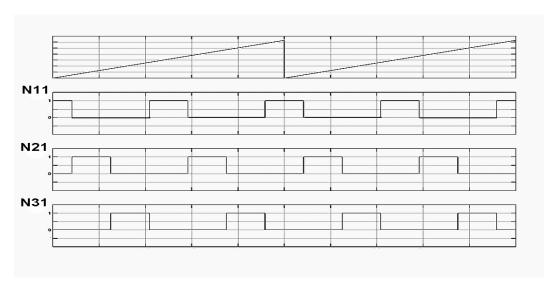


Рис. 5. Управляющие сигналы 1-й схемы коррекции

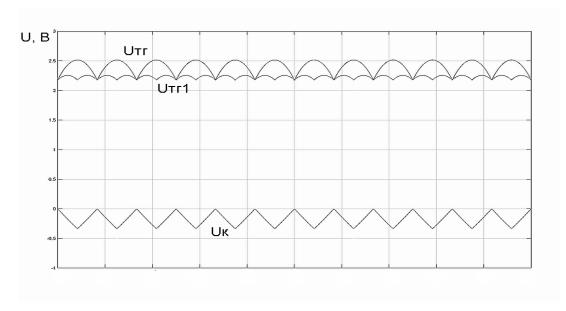


Рис. 6. Выходной сигнал ТГ после коррекции

Еще один положительный момент – увеличение частоты пульсаций Uтг1 в два раза по сравнению с Uтг.

Второй вариант коррекции пульсаций базируется на том, что характер пульсаций Uтг в пределах электрического периода с определенной степенью достоверности соответствует зависимости вида $|\sin 3\alpha|$. Функциональная схема второго варианта коррекции представлена на рис. 7, а.

Графики $|\sin 3\alpha|$, Uтг и скорректированного значения Uтг2 представлены на рис.8. Величина пульсаций не превышает 1,3%.

Третий вариант коррекции соответствует второму с той лишь разницей, что коррекции подвергается уже не Utr, а скорректированное значение Utr1, а поскольку частота Utr1 в два раза больше, то в качестве корректирующего значения берется $|\sin 6\alpha|$. Функциональная схема представлена на рис. 7, б, а скорректированные значения напряжения – на рис. 9.

Величина пульсаций составляет 0,3%. Частота пульсаций по сравнению с Uтг увеличивается в 4 раза.

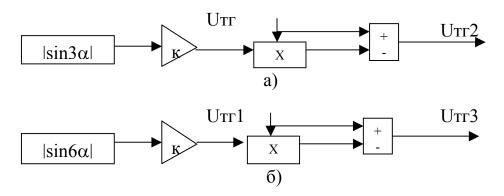


Рис. 7. Функциональная схема 2-го и 3-го вариантов коррекции

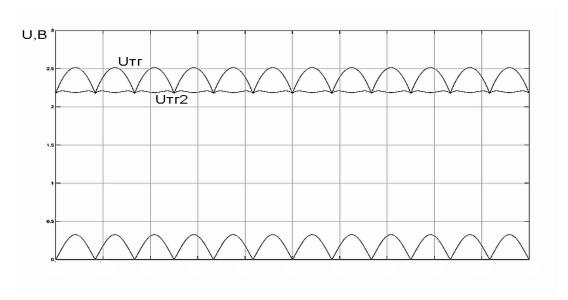


Рис. 8. Напряжения ТГ при 2-м варианте коррекции

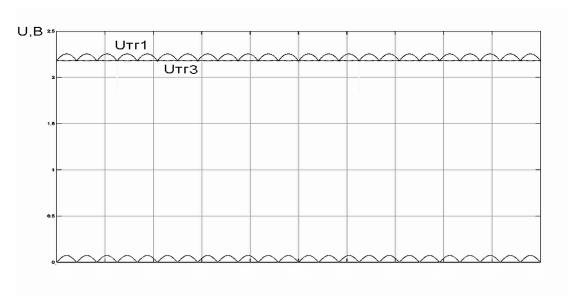


Рис. 9. Напряжения ТГ при 3-м варианте коррекции

Все варианты коррекции могут быть реализованы с помощью контроллера, входящего в состав микропроцессорной системы управления. Для обработки сигналов тахогенератора понадобятся дополнительно три канала АЦП.

Заключение

Для обеспечения высокой точности слежения и качественной динамики системы необходимо обладать точной информацией об угле положения и скорости вращения вала двигателя. Предложены алгоритмы обработки сигналов датчика скорости, позволяющие, не прибегая к фильтрации, значительно снизить пульсации и получить код скорости с требуемой точностью.

Литература

- 1. Вульвет Дж. Датчики в цифровых системах. М.: Энергоиздат, 1981.
- 2. Жданов И.Н., Синицын В.А. Определение скорости двигателя с использованием СКВТ / XXXII Неделя науки СПбГТУ. Материалы межвузовской научной конференции. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2003.
- 3. Изерман Р. Цифровые системы управления. М.: Мир, 1984.

ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОДСИСТЕМ СЛЕДЯЩИХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРЕЦИЗИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ СЛЕЖЕНИЯ

И.Н. Жданов, В.М. Домрачев, К.М. Денисов

Рассматриваются вопросы, связанные с построением информационных подсистем прецизионных следящих электроприводов современных комплексов позиционирования и слежения. Предложены перспективные алгоритмы обработки информации датчиков угла поворота и скорости исполнительной оси.

При проектировании современных следящих электроприводов систем наведения квантово-оптических систем, к которым предъявляются повышенные требования по статической и динамической точности, целесообразно отказаться от согласующих редукторов, малонадежных исполнительных двигателей постоянного тока и перейти к безредукторным следящим электроприводам на основе бесколлекторных двигателей постоянного тока или вентильных двигателей.

Функциональная схема безредукторного электропривода каждой из осей опорноповоротного устройства (ОПУ) комплекса представлена на рис. 1. Структурно электропривод содержит энергетическую и информационную подсистемы. Энергетическая подсистема определяет предельно достижимые динамические характеристики электропривода (максимальные скорости и ускорения следящей оси) и, в значительной степени, массогабаритные показатели систем управления. Информационная подсистема обеспечивает необходимые точности в заданных режимах работы привода.

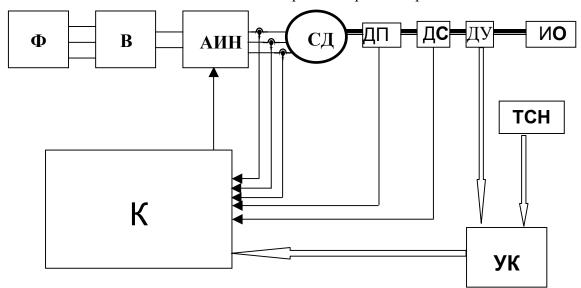


Рис. 1. Функциональная схема безредукторного электропривода

Энергетическая подсистема содержит силовой источник питания, автономный инвертор напряжения (АИН), синхронный электромеханический преобразователь (СД) и исполнительную ось как нагрузку электропривода (ИО). С валом СД жестко связаны роторы первичного датчика углового положения ротора СД (ДПР), первичного датчика скорости (ДС) и первичного датчика углового положения исполнительной оси (ДУ).

Микропроцессорная система управления (МПСУ) обеспечивает аналогоцифровое преобразование сигналов первичных датчиков координат, реализацию алгоритмов цифровых регуляторов, формирование шести каналов широтномодулированных сигналов для управления ключами АИН, связь с компьютером или пультом управления и реализацию функций защиты и диагностики системы. МПСУ привода построена на основе управляющего компьютера (УК) и контроллера (К). Система может работать в трех основных режимах: в режиме программного наведения, в режиме автосопровождения и в комбинированном режиме. Смена режимов осуществляется по командам от ЭВМ верхнего уровня.

Первичным вычислительным устройством системы является управляющий компьютер. Необходимость использования в данном случае именно полноценного компьютера, а не встроенного контроллера объясняется требованием реализации на нем в режиме реального времени, помимо задачи управления приводом, целого ряда задач визуализации, регистрации и управления работой системы в целом. Это, во-первых, требует реализации многозадачного режима работы в реальном времени, что подразумевает наличие многозадачной операционной системы. Во-вторых, необходимым является наличие большого объема оперативной и энергонезависимой памяти (накопители на жестких дисках или Flash-карты), а также мощных графических устройств визуализации и манипуляции. Все перечисленные требования в совокупности могут быть выполнены лишь на вычислительных устройствах класса управляющих рабочих станий.

Требование подключения датчика положения к управляющему компьютеру в режиме программного наведения определяет необходимость реализации алгоритма цифрового регулятора положения на этом компьютере. Он может быть реализован на центральном процессоре управляющего компьютера или, в случае повышенной вычислительной загрузки последнего, на встроенном сопроцессоре.

Выходным сигналом управляющего компьютера, с точки зрения системы управления приводом, является выходной сигнал контура цифрового регулирования положения, который, в свою очередь, является входным сигналом задания для контура регулирования скорости.

Задача контроллера (К) заключается в реализации алгоритмов цифровых регуляторов скорости и фазных токов двигателя, алгоритмов обработки сигналов бесконтактного тахогенератора (БТГ) и ДПР, формировании широтно-модулированных сигналов управления силовыми ключами АИН, а также в реализации функций защиты преобразователя и аварийного выключения привода.. Для взаимодействия управляющего компьютера и управляющего контроллера в стойке управления приводом они должны быть связаны посредством скоростного информационного канала.

Сигналы обратных связей для контуров регулирования фазных токов формируются с помощью датчиков тока фаз двигателя и поступают в аналоговом виде в контроллер (К). Они должны быть преобразованы в цифровые коды с помощью аналого-цифровых преобразователей. Выходные сигналы цифровых регуляторов тока преобразуются в набор широтно-модулированных сигналов для управления силовыми ключами преобразователя. Поэтому в состав управляющего контроллера приводом должен входить многоканальный широтно-импульсный модулятор.

В результате анализа современной микропроцессорной элементной базы была установлена целесообразность и возможность реализации всех перечисленных функций на основе DSP-контроллеров, специализированных для управления полупроводниковыми преобразователями. К их числу относятся микроконтроллеры семейств ADMC300, ADMC400 фирмы Analog Devices. Большинство современных микроконтроллеров, обладающих встроенными широтно-импульсными модуляторами, способны формировать не более 6 каналов ШИМ первого рода. В микроконтроллерах ADMC имеется возможность изменять требуемую длительность импульса ШИМ дважды за период, что является первым приближением к ШИМ2.

В качестве ДУ наиболее широко применяются вращающиеся трансформаторы. Одна из особенностей ВТ – относительная сложность обработки их выходных сигналов для получения информации о положении вала двигателя. Существует несколько способов решения данной задачи [2, 3]. Для обеспечения требуемых точностных и динамических

показателей, предъявляемых к организации канала обратной связи по положению, рекомендуется использовать микропроцессорную систему обработки сигналов СКВТ [4]. Структурная схема данной системы приведена на рис. 2.

Использование данного метода позволяет уменьшить погрешность определения угла до единиц угловых секунд [5]. Для повышения точности предлагается использовать способ, предложенный в [1]. Данный способ позволяет компенсировать погрешность первичного преобразователя с характером изменения по углу вида sin 4α и sin 8α. При реализации способа с помощью микроконтроллера, выполняющего вторичное преобразование сигналов СКВТ в код, не требуется производить какихлибо аппаратных изменений схемы. В отличие от предложенного в [1] конструктивного решения, программная реализация данного алгоритма позволяет без существенных затрат компенсировать и более высокочастотные составляющие погрешности. Результирующая погрешность не превышает уровня нескольких десятых долей угловой секунды.

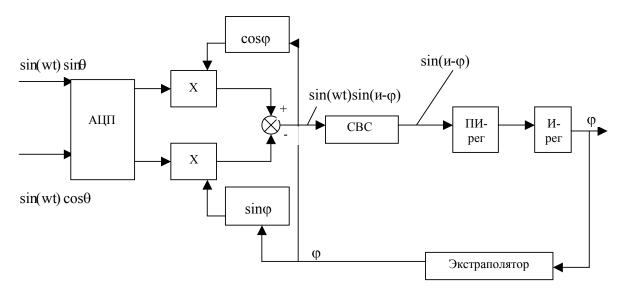


Рис. 2. Структурная схема обработки сигналов СКВТ

Важным фактором является скорость передачи информации об угле положения вала двигателя от вторичного преобразователя контроллеру и управляющему компьютеру. По этому поводу было реализовано несколько аппаратных решений.

- 1. Разработана микропроцессорная система, состоящая из платы с контроллером РСІ-интерфейса и контроллером, обеспечивающим обмен информацией между вторичным преобразователем, управляющим компьютером и контроллером. Выходной параллельный 22-битный код вторичного преобразователя с помощью мультиплексора и регистра преобразуется в 3 последовательные серии по 8 бит и передается на контроллер связи (КС). КС передает информацию по РСІ интерфейсу в УК и получает от него угол задания, который по последовательному (RS-232, RS-485) интерфейсу передается в контроллер К (рис. 3, а). Такая схема полностью себя оправдывает при управлении двигателем постоянного тока, однако при использовании СД возникают трудности, поскольку информация о положении также необходима для формирования сигналов управления в контуре тока. Таким образом, необходима передача информации сразу двум приемникам.
- 2. Информация от вторичного преобразователя считывается напрямую контроллером связи. Дальнейшая передача информации происходит по CAN-интерфейсу (рис. 3, б). В качестве контроллера связи использован микроконтроллер ADuC7026 и микросхема CAN-интерфейса. Использование данного интерфейса по-

зволяет передавать информацию на большие расстояния со сравнительно высокой скоростью и оставляет возможность для подключения большего числа приемников/передатчиков. Контроллер управления приводом также должен иметь CAN интерфейс.

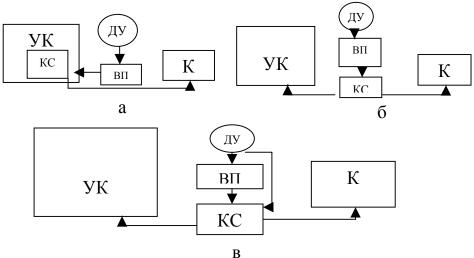


Рис. 3. Функциональные схемы канала обратной связи по углу положения

- 3. Информация с ДПР поступает только на контроллер управления приводом K для формирования контура тока, а с ДУ через KC на УК. Такой вариант наиболее затратен.
- 4. Информация, необходимая для замыкания контура положения, вырабатывается вторичным преобразователем ВП, а затем через контроллер связи поступает в УК. Необходимую для замыкания контура тока информацию об угле можно получить, реализовав соответствующий алгоритм на КС (рис. 3, в). Для замыкания контура тока 22-битный код углового положения является избыточным, 14-разрядного кода более чем достаточно. С другой стороны, ВП выдает код с частотой единицы кГц, что является недостаточным. Реализация менее точной обработки сигналов СКВТ позволит повысить скорость обновления информации до 20 кГц.

Проблемным остается вопрос получения информации о скорости исполнительной оси при инфранизких скоростях слежения (до единиц угловых секунд за секунду). Перспективно применение для этих целей бесконтактных шестифазных синхронных тахогенераторов.

На выходе 6-фазного тахогенератора имеются 6 сигналов, изменяющихся при вращении вала по синусоидальному закону и сдвинутых друг относительно друга на 60 градусов. Для получения информации о скорости вращения вала двигателя необходимо выполнить преобразование этих 6 сигналов к одному сигналу постоянного тока. При решении такой задачи традиционными способами уровень пульсаций выходного напряжения недопустимо велик, а применение фильтра невозможно вследствие того, что приходится работать при вращении с инфранизкими скоростями.

Для уменьшения пульсаций выходного сигнала предлагается перейти от 6-тфазной к 12-фазной системе. Это легко достигается при попарном суммировании сигналов, сдвинутых на 60 градусов (U_1 и U_2 , U_2 и U_3 , U_3 и U_4 , U_4 и U_5 , U_5 и U_6 , U_6 и U_1). Затем осуществляется суммирование модульных значений напряжений полученной 12-фазной системы (рис. 4). Причем напряжения, проходящие на сумматор, определяются в зависимости от текущего угла положения вала двигателя. Коды, соответствующие прохождению каждой из фаз, представлены на рис. 5.

Расчеты показывают, что сформированный таким образом сигнал $U_{T\Gamma}$ в виде напряжения постоянного тока при исходных синусоидальных сигналах U_1-U_6 имеет

пульсацию, не превышающую 3,4 % от единичного сигнала, частота изменения которой в двенадцать раз превышает частоту изменения фазных сигналов ТГ (пульсации без перехода к 12-фазной системе составляют 16%). Сглаживание такой пульсации до допустимого уровня не обеспечивает качественного управления. Отсюда возникает требование по минимизации пульсаций.

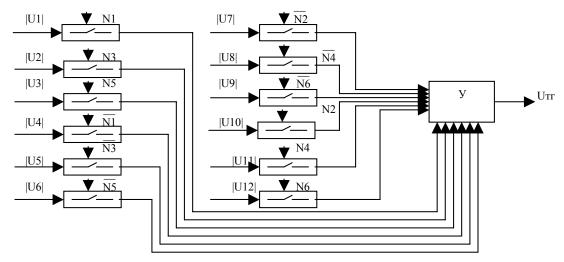


Рис. 4. Структурная схема обработки сигналов тахогенератора

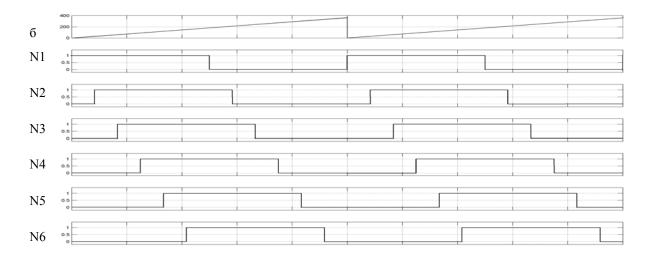


Рис. 5. Сигналы управления коммутацией фаз

Первый вариант коррекции пульсаций начального сигнала $U_{T\Gamma}$ состоит в следующем. Корректирующее напряжение U_K образуется определенной коммутацией модульных значений 12-фазной системы (рис.6,7). С учетом тождественности (с определенной степенью точности) характера изменения сигналов пульсации и U_K происходит понижение уровня пульсации.

Расчеты показывают, что при таком варианте коррекции суммарный сигнал $U_{T\Gamma 1}=U_{T\Gamma}+U_{K}$ имеет пульсацию $\Delta \kappa$ на уровне 0,9 %, т.е. обеспечивается почти четырехкратное снижение пульсации по отношению к начальной пульсации. Необходимо отметить положительный момент — частота пульсации сигнала $U_{T\Gamma 1}$ в два раза превышает частоту пульсаций сигнала $U_{T\Gamma}$.

При втором варианте предполагается скорректировать сигнал $U_{T\Gamma}$ следующим образом. Зависимость пульсаций $U_{T\Gamma}$ в пределах электрического периода $T\Gamma$ с определенной степенью достоверности соответствует зависимости вида $|\sin 6\alpha|$, которая может быть

сформирована соответствующим преобразованием значений кода угла в код поправки. Расчетные значения пульсации напряжения после коррекции не превышают уровня 0,21%.

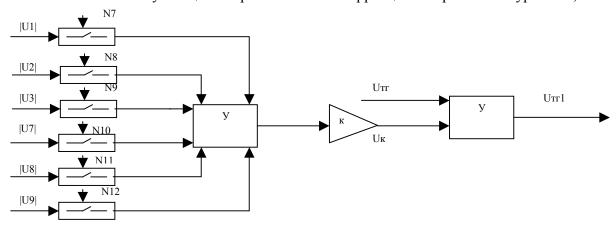


Рис. 6. Структурная схема обработки сигналов ТГ с коррекцией

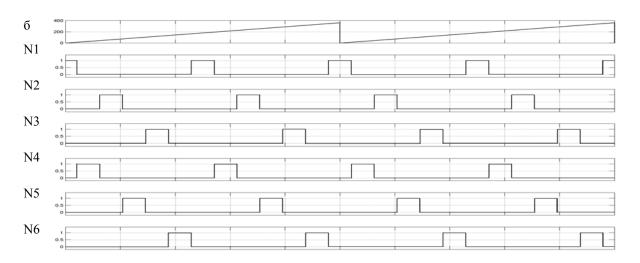


Рис. 7. Сигналы управления коммутацией фаз в схеме с коррекцией

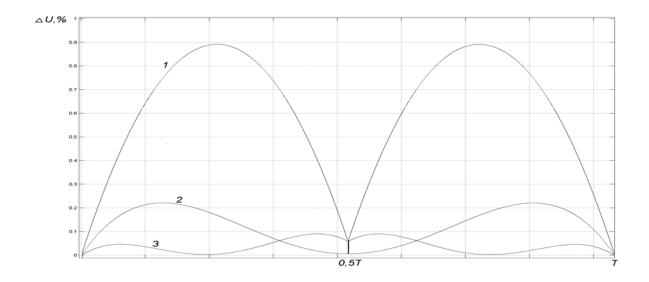


Рис. 8. Характер пульсаций сигнала ТГ после обработки

Третий вариант коррекции по своей технической сути соответствует ранее рассмотренному варианту, но в нем уже коррекции подвергается напряжение $U_{T\Gamma 1}$, пульсация которого в пределах электрического периода $T\Gamma$ характеризуется зависимостью $\cong |\sin 12\alpha|$. Код коррекции формируется по значениям кода угла. Максимальное расчетное значение пульсации тахометрического сигнала соответствует значению порядка 0,08%. Характер пульсаций при первом, втором и третьем вариантах коррекции представлен на рис. 8.

При работе с 6-фазной системой и последующим выпрямлением и суммированием напряжений не удается обеспечить выполнение требований, предъявляемых к современным прецизионным позиционным приводам; после осуществления предложенной коррекции напряжение $U_{T\Gamma}$ соответствует требованиям, предъявляемым к выходному напряжению $T\Gamma$ постоянного тока, а динамические и точностные показатели системы существенно повышаются и удовлетворяют заданным параметрам.

Реализация алгоритмов коррекции может быть возложена на КС, либо, в зависимости от конкретной задачи, может быть выполнена на интегральной схеме Altera.

Заключение

Для обеспечения высокой точности слежения и качественной динамики системы необходимо обладать точной информацией об угле положения и скорости вращения вала двигателя. Предложены перспективные алгоритмы обработки информации датчиков угла поворота и скорости исполнительной оси, позволяющие устранить шумы и получить код угла и скорости с требуемой точностью. Реализованы аппаратные решения организации информационной подсистемы следящего электропривода. Использование предложенных методов обеспечивают точность наведения на уровне десятков угловых секунд.

Литература

- 1. Воронин Н.Н., Домрачев В.М., Сигачев И.П., Тимашов Н.А. Высокоточный цифровой преобразователь угла // Измерительная техника. 2004. №2. С. 20–24.
- 2. Вульвет Дж. Датчики в цифровых системах. М.: Энергоиздат, 1981.
- 3. Домрачев В.Г., Матвеевский В.Р., Смирнов Ю.С. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений. М.: Энергоиздат, 1987.
- 4. Жданов И.Н., Денисов К.М. Микропроцессорная система обработки данных СКВТ в системе электропривода. / XXIX неделя науки СПбГТУ. Часть V. СПб: СПбГТУ, 2001.
- 5. Жданов И.Н. Моделирование микропроцессорной системы обработки сигналов СКВТ для прецизионного электропривода. // Вестник конференции молодых ученых СПбГУ ИТМО. Сборник научных трудов. Т. 2. СПб: СПбГУИТМО, 2004.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОСИ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА

В.А. Толмачев, И.В. Антипова, С.Г. Фомин

В статье предлагается математическая модель безредукторного силового следящего электропривода оси опорно-поворотного устройства (ОПУ) прецизионного оптического комплекса, позволяющая на стадии выбора технического решения оценить при заданных параметрах оси ОПУ и вентильного синхронного двигателя возможность реализации требований по статической и динамической точности в типовых режимах работы привода в предположении идеальности датчиков координат (угла, скорости и момента).

Современная тенденция при построении следящих электроприводов систем наведения квантово-оптических систем нового поколения, отличающихся повышенными требованиями к статической и динамической точности, состоит в отказе от согласующих редукторов и малонадежных исполнительных двигателей постоянного тока и переходе к безредукторным следящим электроприводам на основе бесколлекторных двигателей постоянного тока или вентильных двигателей, построенных на основе синхронных электродвигателей и управляемых от транзисторных инверторов с использованием сигналов датчика угла поворота ротора двигателя. Типовая функциональная схема следящего электропривода оси ОПУ представлена на рис. 1.

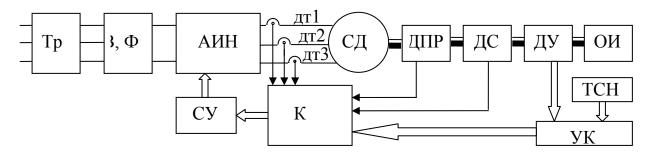


Рис. 1. Функциональная схема электропривода оси ОПУ

Энергетическая подсистема привода содержит трансформатор (Тр), выпрямитель с фильтром (В,Ф), автономный инвертор напряжения (АИН) с системой управления (СУ), трехфазный синхронный электромеханический преобразователь (СД) с датчиками токов ДТ1–ДТ3 в фазных обмотках и исполнительную ось как нагрузку электропривода (ОИ). С валом СД жестко связаны ротор первичного датчика углового положения (ДПР), первичного датчика скорости (ДС) и первичного датчика углового положения исполнительной оси (ДУ). МПСУ привода построена на основе управляющего компьютера (УК) и контроллера (К). Сигнал задания на вход привода оси поступает от телевизионной системы наблюдения (ТСН).

Несмотря на разницу в назначении комплексов, оптическом оборудовании, массах нагрузок на осях опорно-поворотных устройств, типовые требования к статическим и динамическим характеристикам следящих электроприводов можно охарактеризовать следующим образом. Приводы должны обеспечивать статическую ошибку выведения осей ОПУ в заданное положение не хуже 3". Среднеквадратичная ошибка в режиме слежения с угловыми скоростями от 5"/с до 20 °/с и ускорениями от 10 '/с² до 1,5 °/с² не должна превышать величин 3—20" в условиях воздействия ветровой нагрузки с заданными спектральными характеристиками и нагрузок типа «сухое трение» при неравномерности их по углу поворота до 50 % от номинального значения. Следует при этом отметить необходимость реализации заданных требований в условиях достаточно низких частот механического резонанса осей ОПУ (10–20 Гц), связанных с нежесткостью конструкции.

На этапе эскизного проектирования встает вопрос о принципиальной возможности обеспечения заданных технических требований к системе наведения на основе следящего электропривода с традиционной структурой. Этот вопрос может быть решен на основе предварительного моделирования системы с известными параметрами электрического двигателя и исполнительной оси, а также номенклатурой датчиков координат и местами их установки.

Целью работы является создание программы, позволяющей проектировщику ОПУ на этапе эскизного проектирования провести моделирование процессов слежения в типовых режимах работы и, не будучи специалистом в области электропривода, провести синтез системы управления, располагая минимальной информацией о параметрах двигателя и конструктивных параметрах ОПУ и расчетных моментах нагрузки, включая ветровую.

Поставленная цель требует решения таких задач, как выбор оптимальной структуры и разработка математических моделей безредукторных следящих электроприводов осей опорно-поворотных устройств, построенных на основе вентильных двигателей с учетом возможных нежесткостей осей.

За основу при построении систем управления ЭСП осей опорно-поворотных устройств была принята четырехконтурная система регулирования угла поворота со структурной схемой, представленной на рис. 2.

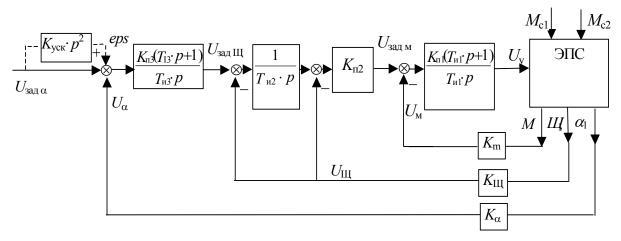


Рис. 2. Структурная схема математической модели приводов каждой из осей ОПУ

Система управления содержит основной контур регулирования положения и подчиненные ему контура регулирования скорости и электромагнитного момента двигателя.

Основной контур — контур регулирования угла — содержит пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор угла, на входе которого сравнивается напряжение $U_{3 \rm ag}$ α , пропорциональное заданному значению угла поворота входного конца исполнительной оси ОПУ, с напряжением U_{α} датчика угла с коэффициентом передачи K_{α} . Выходной сигнал $U_{3 \rm ag}$ Ω регулятора угла с коэффициентом передачи $K_{\rm n3}$ и постоянной времени интегрирования $T_{\rm n3}$ поставляет напряжение задания для внешнего контура регулирования скорости первой массы Ω_1 .

Первый внешний контур регулирования скорости содержит интегральный (И) регулятор скорости, на входе которого напряжение $U_{3ад}$ Ω , пропорциональное заданному значению скорости входного конца исполнительной оси ОПУ, сравнивается с напряжением U_{Ω} , поставляемым датчиком скорости с коэффициентом передачи K_{Ω} . Выходной сигнал регулятора с постоянной времени интегрирования T_{u2} поставляет напряжение задания для внутреннего контура регулирования скорости, содержащего пропорциональный регулятор с коэффициентом передачи K_{n2} . Такое двухконтурное построение скоростной подсистемы при настройке каждого из контуров на «технический оптимум»

позволяет снизить перерегулирование при реакции на скачок сигнала задания до 4,3 % относительно перерегулирования в одноконтурной скоростной подсистеме (43 %) с ПИ-регулятором скорости и настройкой на «симметричный оптимум» [1].

Выходной сигнал $U_{\rm 3aд\ M}$ регулятора скорости внутреннего контура является сигналом задания для контура регулирования электромагнитного момента двигателя, содержащего ПИ-регулятор момента с коэффициентом передачи $K_{\rm nl}$ и постоянной времени интегрирования $T_{\rm ul}$. Сигнал задания на входе регулятора сравнивается с сигналом $U_{\rm m}$ датчика момента, обладающего коэффициентом передачи $K_{\rm m}$. Выходной сигнал $U_{\rm y}$ регулятора момента поступает на вход управляемого преобразователя электрической энергии энергетической подсистемы.

Процессы в энергетической подсистеме привода (ЭПС), содержащей трехфазный синхронный электромеханический преобразователь с активным ротором и числом пар полюсов p_p , транзисторный инвертор, формирующий трехфазную симметричную систему напряжений на обмотках двигателя с использованием сигнала датчика положения ротора (ДПР), и двухмассовую модель механизма исполнительной оси, можно описать системой уравнений [2]:

етемой уравнений [2]:
$$\begin{cases} R \cdot i_{a} + L \frac{d}{dt} (2 \cdot i_{a} - i_{b} - i_{c}) - C_{e} \cdot \mathcal{U}_{1} \cdot \operatorname{Cos}(p_{p} \cdot \alpha - \frac{\pi}{3}) = u_{a}, \\ R \cdot i_{b} + L \frac{d}{dt} (2 \cdot i_{b} - i_{a} - i_{c}) - C_{e} \cdot \mathcal{U}_{1} \cdot \operatorname{Cos}(p_{p} \cdot \alpha + \frac{\pi}{3}) = u_{b}, \\ R \cdot i_{c} + L \frac{d}{dt} (2 \cdot i_{c} - i_{a} - i_{b}) - C_{e} \cdot \mathcal{U}_{1} \cdot \operatorname{Cos}(p_{p} \cdot \alpha + \pi) = u_{c}, \\ \mathcal{U}_{1} = \frac{d\alpha_{1}}{dt}, \\ J_{1} \frac{d\mathcal{U}_{1}}{dt} = M - M_{c1} - M_{12}, \\ \frac{dM_{12}}{dt} = C_{12}\mathcal{U}_{1} - C_{12}\mathcal{U}_{1}, \\ J_{2} \frac{d\mathcal{U}_{1}}{dt} = -M_{c1} + M_{12}, \\ \mathcal{U}_{2} = \frac{d\alpha_{2}}{dt} \end{cases}$$

$$(1)$$

где R, L — соответственно активное сопротивление и индуктивность фазной обмотки двигателя, $C_{\rm e}$ — конструктивная постоянная по ЭДС вращения, $\Omega_{\rm l}$, $\alpha_{\rm l}$ — угловая скорость и угол поворота первой массы оси, $\Omega_{\rm 2}$, $\alpha_{\rm 2}$ — угловая скорость и угол поворота второй массы оси, $M_{\rm l2}$ — момент упругой связи оси, $C_{\rm l2}$ — коэффициент упругой связи масс оси, $J_{\rm l}$, $J_{\rm l2}$ — соответственно моменты инерции входного конца оси ОПУ с ротором двигателя (первой массы) и выходного конца с нагрузкой (второй массы), $M_{\rm cl}$, $M_{\rm c2}$ — моменты нагрузок на опорах оси.

В приведенной системе (1) u_a , u_b , u_c — синусоидальные напряжения на фазных обмотках двигателя, формируемые инвертором и образующие симметричную трехфазную систему с амплитудой $U_{\rm m}$

 $u_{\rm a}=U_{\rm m}\cdot\cos(p_{\rm p}\cdot\alpha_{\rm l}-\pi$ / 3), $u_{\rm b}=U_{\rm m}\cdot\cos(p_{\rm p}\cdot\alpha_{\rm l}+\pi$ / 3), $u_{\rm c}=U_{\rm m}\cdot\cos(p_{\rm p}\cdot\alpha_{\rm l}+\pi)$, а $i_{\rm a},i_{\rm b},i_{\rm c}$ – синусоидальные токи в фазных обмотках, формирующие электромагнитный момент двигателя в соответствии с уравнением

 $M = C_{ ext{\tiny M}} \cdot [i_{ ext{\tiny a}} \cdot \cos(p_{ ext{\tiny p}} \cdot \alpha_{ ext{\tiny l}} - \pi \ / \ 3) + i_{ ext{\tiny b}} \cdot \cos(p_{ ext{\tiny p}} \cdot \alpha_{ ext{\tiny l}} + \pi \ / \ 3) + i_{ ext{\tiny c}} \cdot \cos(p_{ ext{\tiny p}} \cdot \alpha_{ ext{\tiny l}} + \pi)],$ где $C_{ ext{\tiny M}}$ – моментная постоянная двигателя.

Проведенный анализ и математическое моделирование показывают, что системе уравнений (1) можно поставить в соответствие обобщенную структурную схему ЭПС, представленную на рис. 3, где β – жесткость линеаризованной механической характеристики вентильного двигателя, T_3 – электрическая постоянная времени фазной обмотки двигателя, $K_{\text{шип}}$ – статический коэффициент передачи усилительнопреобразовательного устройства с широтно-импульсным регулированием выходного напряжения в линейной зоне его регулировочной характеристики.

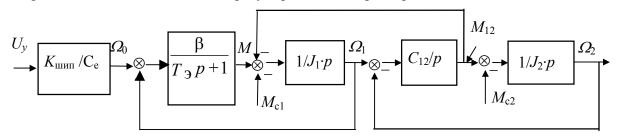


Рис. 3. Структурная схема линейной модели обобщенной ЭПС с двухмассовой нагрузкой

Выбранная структура привода обеспечивает астатизм второго порядка относительно задающего воздействия, т.е. при идеальных датчиках угла α_1 и скорости Ω_1 она обеспечивает нулевые установившиеся значения ошибки eps при работе системы с постоянным сигналом задания и с линейным во времени заданием независимо от величин постоянных моментов трения на валу двигателя. При слежении за сигналом, меняющимся во времени с постоянным ускорением, системе свойственна постоянная по величине ошибка, пропорциональная ускорению. Эффективным средством устранения этой ошибки является подача сигнала второй производной от сигнала задания по углу непосредственно на вход контура регулирования положения с коэффициентом $K_{\rm уск}$, обратно пропорциональным добротности привода по ускорению D_{ϵ} .

Оптимизация внутреннего контура регулирования момента осуществляется из условия обеспечения апериодического переходного процесса с заданной постоянной времени $T_{\rm T}$ на основе соотношений $T_{\rm HI}=T_{\rm 3}$ и

$$K_{\rm nl} = \frac{T_{\rm s}}{\beta \cdot K_{\rm man} \cdot K_{\rm m} \cdot T_{\rm r}}.$$
 (2)

Величина эквивалентной постоянной времени $T_{\rm T}$ замкнутого контура регулирования момента определяется, в конечном итоге, периодом коммутации T силовых ключей инвертора, формирующего фазные напряжения двигателя. В процессе моделирования минимально возможную постоянную рекомендуется ограничивать на уровне $T_{\rm T}=2T$.

Настройка внутреннего контура регулирования скорости на технический оптимум осуществляется из условия реализации полосы пропускания частот $2\omega_{0p}$, связанной с резонансной частотой двухмассового механизма ω_0 соотношением [3]

$$\omega_{0p} < \omega_0 / \sqrt[4]{\gamma^3} \,, \tag{3}$$

где $\gamma = (J_1 + J_2) / J_1$ – коэффициент соотношения масс на концах оси, а ω_0 – угловая частота механического резонанса, определяемая соотношением

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C_{12} \cdot (J_1 + J_2)}{J_1 \cdot J_2}} \ . \tag{4}$$

Коэффициент передачи Π -регулятора K_{n2} выбирается на основе соотношения

$$K_{\text{n2}} = \frac{(J_1 + J_2) \cdot K_m}{2 \cdot T_{\text{rl}} \cdot K_{\text{O}}},\tag{5}$$

где $T_{\rm rl}$ =1/2 ω_{0p} .

Внешний контур регулирования скорости синтезируется из условия обеспечения настройки на технический оптимум, при которой передаточная функция его имеет вид

$$W_{_{3\Omega}}(p) = \frac{I\!L\!I\!I}{U_{_{\mathrm{DII}}}(p)} = \frac{1/K_{_{\Omega}}}{8 \cdot T_{_{\mathrm{T}1}}^2 \cdot p^2 + 4 \cdot T_{_{\mathrm{T}1}} \cdot p + 1}.$$

Указанная настройка достигается выбором значения постоянной времени интегрирования И-регулятора скорости на основе соотношения $T_{\rm u2}=4T_{\rm r1}$. При этом полоса пропускания частот внешнего контура равна $\omega_{\rm 0p}$, а расчетное время реакции на скачок задающего воздействия — $6/\omega_{\rm 0p}$.

Стандартная настройка на симметричный оптимум контура регулирования угла поворота исполнительной оси обеспечивается при выборе параметров регулятора угла на основе соотношений

$$T_{\text{H3}} = 16 \cdot T_{\text{T1}}, \ K_{\text{H3}} = \frac{K_{\Omega}}{8 \cdot T_{\text{T1}} \cdot K_{\alpha}}.$$
 (7)

При этом передаточная функция замкнутого углового контура принимает вид

$$W_{_{3\alpha}}(p) = \frac{\alpha_{_{1}}(p)}{U_{_{3a_{,1}\alpha}}(p)} = \frac{(16 \cdot T_{_{\text{T}1}} \cdot p + 1) / K_{_{\alpha}}}{512 \cdot T_{_{\text{T}1}}^{3} \cdot p^{3} + 128 \cdot T_{_{\text{T}1}}^{2} \cdot p^{2} + 16 \cdot T_{_{\text{T}1}} \cdot p + 1}.$$

Расчетное время реакции углового контура на задающие воздействия определяется величиной $48 \cdot T_1$ или $24/\omega_{0p}$, а полоса пропускания частот $-\omega_{0p}/4$.

Добротность следящего привода по ускорению D_{ε} = $K_{\Pi 3} \cdot K_{\alpha} / K_{\Omega} \cdot T_{\nu 3}$ и, следовательно,

$$K_{\text{VCK}} = 128 \cdot T_{\text{Tl}}^2$$
 (8)

Таким образом, на основе выбранной структуры и предложенной математической модели следящего электропривода оси ОПУ были созданы программы для моделирования процессов в типовых режимах работы в средах MatLab и MathCad при заданных параметрах двухмассовой модели оси, синхронного электромеханического преобразователя и моментах трения в опорах. В программах предусмотрен автоматизированный расчет параметров регуляторов с использованием расчетных соотношений (2)—(8). Корректность программ подтверждена совпадением результатов моделирования в обоих пакетах.

Литература

- 1. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 2001.
- 2. Аракелян А.К., Афанасьев А.А. Вентильные электрические машины. М.: Энергоатомиздат, 1997.
- 3. Борцов Ю.А., Соколовский Ю.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. СПб.: Энергоатомиздат, 1992.

ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ В БЕЗРЕДУКТОРНОМ СЛЕДЯЩЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

А.А. Усольцев, А.Г. Ильина

Синтезирована модель системы, регулирующей угол поворота ротора ВД на базе векторного управления синхронным двигателем. Проведен сравнительный анализ векторной и подчиненной систем регулирования ВД, продемонстрирована возможность применения для синтеза и анализа обеих систем упрощенной модели, представляющей передаточную функцию ВД по моменту безынерционным звеном.

Введение

Среди способов регулирования координат вентильного двигателя (ВД) векторное управление отличается наиболее высоким быстродействием, что обусловлено эквивалентностью передаточной функции ВД в этом режиме безынерционному звену. Несмотря на различия в подходах при формировании токов в фазах ВД, представление двигателя коэффициентом применимо также и при моделировании подчиненной системы регулирования ВД. В работе ставится задача синтеза модели системы регулирования угла поворота ВД с применением принципов векторного управления и ее сравнения с моделью подчиненной системы регулирования угла поворота ВД с контуром управления током статора. Моделирование проводится для систем регулирования двигателя ДБМ 1000-700-Д43, параметры которого приведены в табл. 1.

Обозначение параметра	Наименование параметра	Численное значение
U_n	действующее напряжение питания, В	220
C_m	постоянная ВД по моменту, Нм/А	132
$c_{ m e}$	постоянная ВД по ЭДС вращения, Вхс	88
r	сопротивление фазы ВД, Ом	13
L	индуктивность фазы ВД, Гн	0,13
Z_p	число пар полюсов ВД	24
J	момент инерции, кгм ²	1017
$M_{ m p}$	пусковой момент ВД, Нм	2234
T_{M}	электромеханическая постоянная времени ВД с эквивалентной одномассовой нагрузкой, с	5,02
$M_{ m c1_H}$	статический момент, Нм	850
$K_{\partial M}$	коэффициент передачи датчика момента В/Нм	0.00448
$K_{\partial c}$	коэффициент передачи датчика скорости В/(рад/с)	4
$K_{\partial n}$	коэффициент передачи датчика положения В/рад	1.5

Таблица 1. Исходные параметры привода

Система подчиненного регулирования ВД

Уравнения координат синхронного двигателя в проекциях на оси неподвижной системы координат $\alpha\beta$ имеют следующий вид [1]:

$$u_{s\alpha} = i_{s\alpha} R_{s} + L_{s} \frac{d i_{s\alpha}}{d t} - i c_{e} \sin(\varphi_{e})$$

$$u_{s\beta} = i_{s\beta} R_{s} + L_{s} \frac{d i_{s\beta}}{d t} + \omega c_{e} \cos(\varphi_{e})$$

$$m = c_{m} \left[i_{s\beta} \cos(\varphi_{e}) - i_{s\alpha} \sin(\varphi_{e}) \right],$$

$$J \frac{d \omega}{d t} = m - m_{c}$$

$$\varphi = \frac{d \omega}{d t}$$

$$(1)$$

где $u_{\rm s}$, $i_{\rm s}$ — проекции векторов напряжений и токов статора; $R_{\rm s}$, $L_{\rm s}$ — активное сопротивление и индуктивность обмотки статора, ω — угловая частота вращения ротора, J — суммарный момент инерции, m и $m_{\rm c}$ — моменты двигателя и нагрузки; $\omega_{\rm e} = z_p \omega$ — угловая скорость вращения поля ротора, $\phi_{\rm e} = z_p \phi$, ϕ — текущий угол положения вектора потокосцепления ротора и угол поворота ротора относительно неподвижной системы координат, z_p — число пар полюсов; c_m — постоянная по моменту, c_e — постоянная по противо-ЭДС. Модель подчиненной системы регулирования положения объекта управления, построенная по системе уравнений (1), представлена на рис.1.

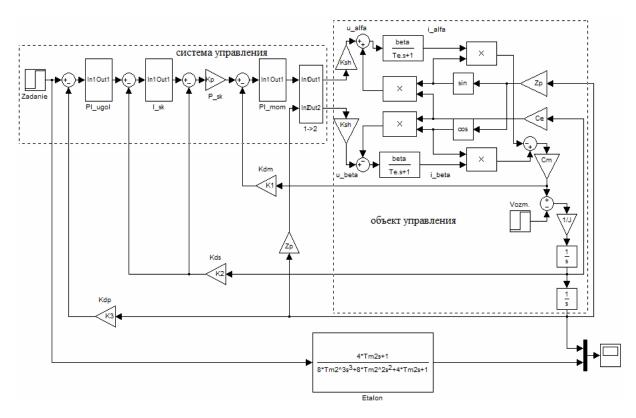


Рис. 1. Модель подчиненной системы регулирования положения ВД

Здесь блоки PI тот и Kdm - ПИ-регулятор и коэффициент передачи датчика момента контура регулирования момента, P_ds , I_ds и $Kds-\Pi$ и И-регуляторы и коэффициент передачи датчика скорости контура регулирования PI _ugol и Kdp - ПИ-регулятор и коэффициент передачи датчика угла поворота ротора контура регулирования положения. Настройка контуров системы осуществлялась исходя из минимально возможной некомпенсируемой постоянной времени контура регулирования момента, равной периоду коммутации ключей ШИП $T_{\scriptscriptstyle k}=0.0002c$. Параметры регуляторов контуров определялись в соответствии с методикой [1]. На рис. 2 представлен график переходного процесса при реакции системы на скачки задающего и управляющего воздействий, а также график эталонного переходного процесса, соответствующего настройке системы на «симметричный оптимум». Передаточная функция замкнутого контура регулирования угла при расчетных настройках регуляторов имеет вид

$$W_{\phi}(p) = \frac{\phi(p)}{\phi_{\phi}'(p)} = \frac{4T_{\mu}p + 1}{\left(8T_{\mu}^{3}p^{3} + 8T_{\mu}^{2}p^{2} + 4T_{\mu}p + 1\right)K_{\partial n}},$$
 где $T_{\mu} = 2T_{k} = 0.0004c$.

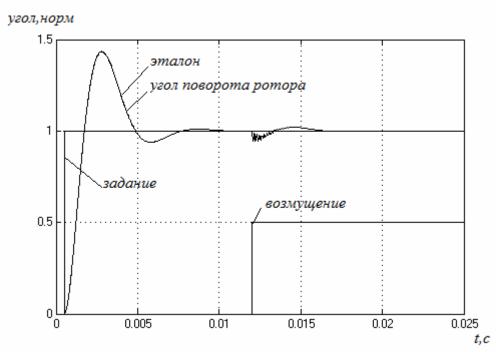


Рис. 2. Графики переходных процессов по управлению и возмущению в системе подчиненного регулирования положения ВД.

Векторное управление синхронным двигателем

Регулирование векторов токов статора и ротора синхронного двигателя в проекциях на оси синхронно вращающейся системы координат dq позволяет непосредственно управлять потокосцеплением статора и электромагнитным моментом двигателя.

При совмещении оси d системы координат dq с вектором тока ротора ($i_{rq}=0$) и при формировании тока статора с условием $i_{sd}=0$ уравнения (1) принимают следующий вид:

$$m = \frac{3}{2} z_p \Psi_{sd} i_{sq}$$

$$\Psi_{sd} = i_{rd} L_{md}; \ \Psi_{sq} = i_{sd} L_{sq}$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = m = m_c$$

$$\varphi = \frac{d\omega}{dt}$$
(2)

Структурная схема, соответствующая этим уравнениям, представлена на рис. 3, где блок преобразования неподвижной системы $\alpha\beta$ в систему dq осуществляет преобразование в соответствии с выражением $i_{sq} = -i_{s\alpha} \cdot \sin \vartheta + i_{s\beta} \cdot \cos \vartheta^*$.

Для синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов $\Psi_{sd} = const$ потокосцепление статора является постоянной величиной и из уравнения (2) для электромагнитного момента может быть определено по паспортным данным как

$$M_{\scriptscriptstyle HOM} = \frac{3}{2} z_p \psi_{\scriptscriptstyle Sd} I_{\scriptscriptstyle HOM} \Rightarrow \psi_{\scriptscriptstyle Sd} = \frac{2M_{\scriptscriptstyle HOM}}{3 z_p I_{\scriptscriptstyle HOM}}$$

_

^{*} В англоязычной литературе это преобразование называют преобразованием Парка (Park), а в теории векторного управления – вращателем вектора (vektordreher) или ротатором.

или $m=i_{sq}c_m$, где $c_m=\dfrac{M_{_{HOM}}}{I_{_{HOM}}}$. Тогда схема рис. 3 примет вид рис.4.

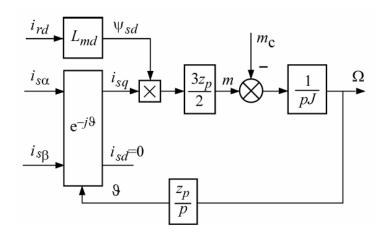


Рис. 3. Структурная схема объекта управления

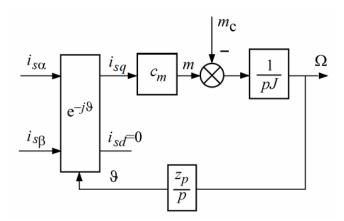


Рис. 4. Структурная схема объекта управления

Таким образом, объект регулирования — синхронный двигатель, описываемый системой уравнений (1), при векторном управлении может быть представлен структурной схемой (рис. 4), что упрощает синтез системы управления и ее структуру.

Система регулирования угла поворота вентильного двигателя

В соответствии с рис. 4 управление двигателем осуществляется поперечной составляющей тока статора, для чего строится система управления, включающая ротатор и цепи обратных связей по скорости вращения и по положению, представленные на рис. 3.

Здесь ротатор системы управления с учетом условия $i_{sd}=0$ осуществляет преоб-

разование
$$\begin{cases} i_{s\alpha} = i_{sq} \cdot \cos \vartheta \\ i_{s\beta} = -i_{sq} \cdot \sin \vartheta \end{cases}.$$

Если в предположении о безынерционном формировании сигналов объединить ротаторы машины и системы управления, то получится структурная схема вида рис. 6.

Параметры аналоговых ПИ регулятора контура положения и П и И регуляторов контура скорости определяются на основании представленной структуры в соответствии с выражениями:

контур скорости —
$$T_{H1}=2T_{T1}, K_{H1}=\frac{J}{T_{T1}c_mK_{\partial c}}$$
, контур положения — $T_{H2}=8T_{T1}, K_{H2}=\frac{K_{\partial c}}{4T_{T1}K_{\partial c}}$,

где T_{T1} — некомпенсированная постоянная времени, определяемая резонансной частотой нагрузки на валу двигателя или, в случае одномассовой нагрузки, ограничиваемая инерционностью усилителя мощности релейного типа.

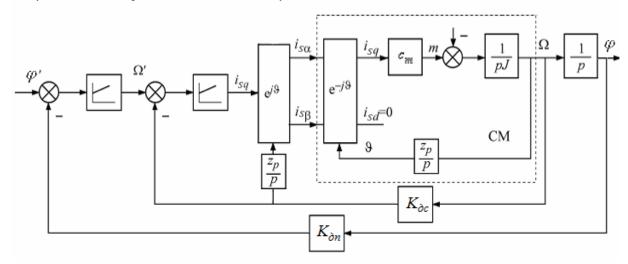


Рис. 5. Структурная схема системы регулирования положения

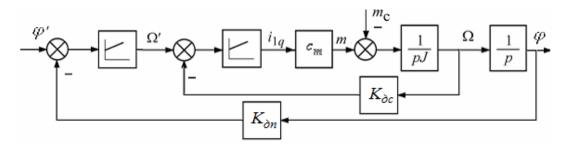


Рис. 6. Эквивалентная структурная схема синхронного двигателя и системы управления

Передаточная функция замкнутого контура регулирования угла при расчетных настройках регуляторов имеет вид

$$\begin{split} W_{_{3\phi}}(p) = & \frac{\phi(p)}{\phi_{_{\phi}}'(p)} = \frac{4T_{_{\mu}}p + 1}{\left(8T_{_{\mu}}^{^3}p^{^3} + 8T_{_{\mu}}^{^2}p^{^2} + 4T_{_{\mu}}p + 1\right)K_{_{\partial n}}}\,, \end{split}$$
 где $T_{_{\mu}} = 2T_{_{T1}}.$

Реализация цифровых регуляторов на основе параметров аналоговых регуляторов осуществляется в соответствии с алгоритмами, приведенными в [1].

Результаты моделирования

Моделирование системы проводилось в среде Matlab/ Simulink.

На рис. 7, 8 представлены полная модель системы регулирования угла поворота с векторным управлением, построенная на основании системы уравнений (1), и упрощенная модель, построенная в соответствии со структурной схемой рис. 4, соответственно.

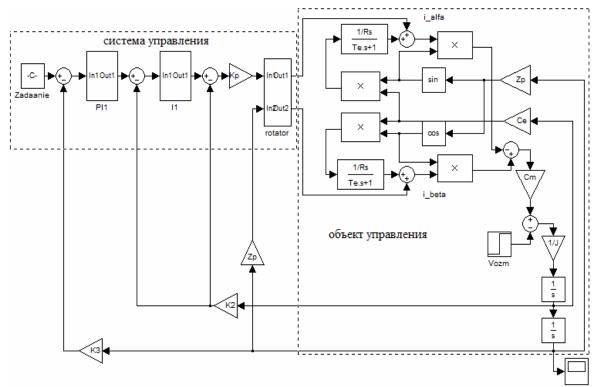


Рис. 7. Полная модель системы регулирования положения

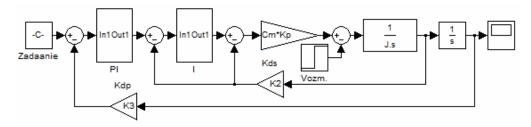


Рис. 8. Эквивалентная модель системы регулирования положения

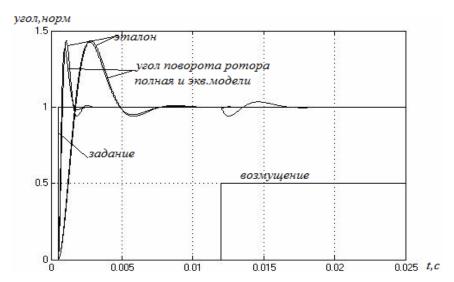


Рис. 9. Графики переходных процессов в системе регулирования положения при $T_{\!_{\mu}}=2T_{\!_{k}}=0.0004\,$ и $T_{\!_{\mu}}=0.0001\,.$

На рис. 9 представлены графики переходных процессов при реакции системы на скачки задающего и управляющего воздействий для различных значений некомпенсируемой постоянной времени $T_{_{\! \mu}}=2T_{_{\! k}}=0.0004$ и $T_{_{\! \mu}}=0.0001$. На рис. 9 отклонение

графиков переходных процессов от эталонных кривых обусловлено периодом дискретности цифровой системы регулирования $T_0 = 0.00005c$.

Выводы

Сравнительный анализ рассмотренных структур и графиков переходных процессов позволяет сделать следующие выводы.

- 1. Система с векторным управлением позволяет получить то же качество переходных процессов, что и подчиненная система регулирования.
- 2. При моделировании система с векторным управлением описывается существенно более простой моделью (рис. 8) в сравнении с системой подчиненного регулирования (рис. 1).
- 3. Независимо от способа формирования токов в фазах (управление током / напряжением) при синтезе систем регулирования скорости и положения ВД целесообразно использовать модель рис. 8, что позволяет моделировать более сложные системы управления при меньших временных затратах на вычисления.

Литература

- 1. Кротенко В.В. Синтез микропроцессорной системы управления электропривода опорно-поворотного устройства. / В.В. Кротенко, В.А. Толмачов, В.С.Томасов, В.А. Синицин // Приборостроение. 2004. Т. 47. № 11. С 23–30.
- 2. Blaschke F. Das Prinzip der Feldorientierung, die Grundlage für die TRANSVEKTOR-Regelung von Drehfeldmaschienen. Siemens-Zeitschrift, 45 (1971), S. 757–760.
- 3. Bayer K.-H., Waldmann H., Weibezahl M. Die TRANSVEKTOR-Regelung für den feldorientierten Betrieb einer Synchronmaschine. Siemens-Zeitschrift, 45 (1971), S. 765–768.
- 4. Микеров А.Г. Управляемые вентильные двигатели малой мощности. СПб: СПбГЭ-ТУ, 1997.
- 5. Кротенко В.В., Ильина А.Г. Параметрический синтез цифровой системы управления бесконтактного моментного привода с двигателем ДБМ // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2006. Вып. 30.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ В ГИРОИНКЛИНОМЕТРИИ

Д.А. Соколов

В статье рассмотрены основные преимущества использования волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) в скважинной навигации. Приведен обзор современного рынка малогабаритных ВОГ, а также представлены возможные пути дальнейшего развития технологии производства ВОГ.

Введение

Направленное бурение постепенно становится основным видом бурения как на суше, так и на море при проходке скважин со стационарных морских платформ. Одновременно существует тенденция повышения требований к точности попадания забоя скважин в заданную точку и к соблюдению проектного профиля скважины. Поэтому необходимо обеспечивать эффективный контроль пространственного положения ствола скважин. Жизненная необходимость сокращения сроков строительства скважин и увеличения производительности труда в бурении ставит перед создателями инклинометрических приборов и систем задачу повышения не только точности соответствующей измерительной аппаратуры, но и оперативности получения инклинометрической информации, а также сокращения затрат времени при проведении инклинометрических работ. Это привело к разработке новых приборов и информационно-измерительных систем с использованием последних научно-технических достижений. Совершенствуются методы и алгоритмы обработки данных, широко применяется вычислительная техника [1].

Цель бурения состоит в том, чтобы, во-первых, забой скважины достиг проектной точки, во-вторых, был подготовлен ствол скважины такого профиля и такого качества, которые обеспечили бы нормальную дальнейшую эксплуатацию скважины. Соответственно, существуют требования как к допустимому отклонению забоя от проектной точки, так и к профилю ствола скважины. Для соблюдения этих требований необходимо использовать приборы, дающие информацию о пространственном положении ствола скважины – инклинометры. В современных гироинклинометрах в качестве датчика угловой скорости чаще всего используются динамически настраиваемые гироскопы. Такой тип гироскопа отвечает жестким требованиям по габаритным размерам, диктуемым внешним диаметром инклинометра, но, несмотря на это, они имеют определенные недостатки с точки зрения использования в скважинной навигации по сравнению с волоконно-оптическими гироскопами (ВОГ). В работе рассматриваются основные преимущества и перспективы использования ВОГ в гироинклинометрии.

Основные преимущества использования ВОГ в скважинной навигации

Принцип действия ВОГ поясняет рис. 1, на котором изображены основные элементы конструкции: источник излучения 7, фотоприемник 2, светоделитель 3, фокусирующие линзы 4 и 5, интерферометр 6, образованный многовитковым оптическим световодом. Вводимые в интерферометр после светоделителя световые волны совершают обход многовиткового контура в противоположных направлениях (по и против часовой стрелки). При неподвижном ВОГ ($\Omega=0$) волны, пройдя в световоде один и тот же путь $L=\pi DN$, где D- диаметр катушки, N- число витков, поступают после светоделителя 3

(который теперь играет роль сумматора встречных волн) на вход фотоприемника 2 синфазно: разность фаз встречных волн равна нулю. При вращении ($\Omega \neq 0$) ВОГ встречные волны проходят разные пути, в результате чего возникает невзаимный фазовый сдвиг $\Delta \Phi_s = (2\pi LD / \lambda)\Omega$, где λ — длина волны источника излучения [2].

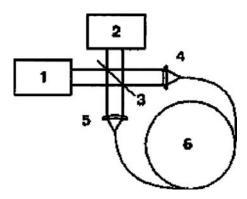


Рис. 1. Принцип действия ВОГ

Используемые в настоящее время значения параметров L, D и λ и достигаемые при этом характеристики ВОГ представлены в табл.1

	L — длина	D — диаметр	λ – длина	Дрейф, град/ч
Класс ВОГ	волокна, км	катушки, см	волны ис-	град/ч
			точника, нм	
Средней	1	10	1550	0,15
точности				
Малой	0,2	3	850	3–7
точности				

Таблица 1. Связь характеристик ВОГ с основными параметрами конструкции

Проведем сравнительный анализ технической реализации двух эффектов используемых для измерения угловых скоростей - Кориолиса и Саньяка.

- При изготовлении ВОГ практически не требуется дорогостоящей механической обработки и контроля.
- Отсутствие у ВОГ необходимости в статической и динамической балансировке.
- Отсутствие вакуумирования и дорогостоящих средств обеспечения и надежного длительного поддержания вакуума.
- Отсутствие в технологии ВОГ повышенных требований к чистоте помещения в большинстве этапов производства.
- Отсутствие у ВОГ механического вращения и присущего ему трения.
- «Мгновенный» отклик ВОГ на вращение (1мкс).
- Отсутствие у ВОГ реализации осей подвеса инерционных масс и как следствие подшипников того или иного типа.
- Отсутствие у ВОГ двигателя для вращения маховой массы с очень высокими и стабильными оборотами, а также систем обеспечения стабильного положения центра массы гиромотора.
- Отсутствие необходимости учета взаимного расположения блока акселерометров и гироскопа в скважинном приборе.
- Отсутствие у ВОГ прецизионных электромеханических устройств (ДУ и ДМ) и электронных блоков обратной связи с повышенными требованиями к стабильности.
- Существенно меньшее потребление энергии и тепловыделение.

Перечислим отличия современного ВОГ от кольцевого лазерного гироскопа (КЛГ):

- ВОГ построен по интерферометрической, а не по резонаторной схеме.
- Отсутствие явления «захвата», нет необходимости конструировать сложные в настройке устройства смещения нулевой точки.
- Большая устойчивость к механическим воздействиям.
- Более экономичное энергопотребление.

Имеется перспектива использования дешевого оптического датчика вращения, который способен работать в инерциальной системе навигации. Факторы, удешевляющие производство и эксплуатацию ВОГ:

- массовое использование для средств связи оптоволокна и, соответственно, развитие и удешевление оптоволоконных технологий;
- использование большого количества массово выпускаемых электронных компонентов;
- возможность использования при испытаниях ВОГ методик и аппаратуры, применяемых для испытания традиционных гироскопов.

Из эксплуатационных достоинств ВОГ, с точки зрения использования в скважинной навигации, можно выделить следующие:

- малое время готовности;
- неограниченное количество запусков;
- устойчивость к ударам и вибрациям;
- низкое энергопотребление;
- большой срок эксплуатации.

Обзор современного рынка малогабаритных ВОГ

На российском рынке малогабаритных ВОГ представлены компании «Физоптика» (Москва) и «Оптолинк» (Зеленоград). Обе компании имеют филиалы и в других городах РФ.

	ОИУС-	ОИУС-	ТИУС-	ТИУС-
Параметр	1000	500	500	200
Диапазон измерения угловой скорости (°/c)	±90	±180	±300	±700
Случайная составляющая дрейфа нулевого сигнала при фиксированной температуре (°/ч)	<0.01	<0.1	<0.3	<10
Случайная составляющая дрейфа нулевого сигнала при изменении температуры от 0 до 50°С (°/ч)	<0.1	<0.5	<2	<30
Погрешность масштабного коэффициента (%)	< 0.03	< 0.07	< 0.1	< 0.3
Полоса пропускания (Гц)	100	200	300	500
Питание от источника постоянного напряжения (В)	18-36	18-36	18-36 или 5	5
Мощность, потребляемая прибором (Вт)	<6	<6	<8	<5
Длина волоконного контура (м)	1000	500	3x500	3x200
Масса прибора (нетто) (кг)	0.8	0.8	1.4	0.4
Габаритные размеры (мм)	Ø150×40	Ø150×40	110×110× 90	Ø61×90
Выходной сигнал (Цифровой, Аналоговый)	Цифр.	Цифр	Цифр. / Аналог.	Цифр.

Таблица 2. Характеристики измерителей угловой скорости, выпускаемых ООО «Оптолинк»

В табл. 2 [3] приведены выпускаемые ООО «Оптолинк» модели ВОГ с малыми габаритами.

Компания «Физоптика» на современном этапе выпускает более перспективные модели ВОГ с точки зрения скважинной навигации

Особенности конструкции ВОГ производства компании «Физоптика»:

- Наиболее простая схема с «минимальной конфигурацией».
- Цельноволоконная технология изготовления оптической части.

В «Физоптике» разработана уникальная технология, позволяющая получать оптические компоненты (контур, модулятор, ответвители и поляризатор) из одного отрезка волокна без сварных соединений. Особенность технологии — специальное тонкое волокно (диаметр кварцевой оболочки ~ 40 мкм). Длина оптических компонентов (ответвителя и поляризатора) не превышает 15 мм, что позволяет собирать миниатюрные датчики [4]. Можно выделить три наиболее перспективные модели ВОГ, выпускаемые фирмой «Физоптика», с точки зрения использования в инклинометрических системах (см. табл. 3).

	Тип гироскопа			
ПАРАМЕТРЫ	VG941-3AS	VG941-3AM	VG941-3 A(Б)	
Диапазон измерений (°/c)	±600 ±15%	±500 ±15%	±500 ±15%	
Масштабный коэффициент (МК) (мВ/°/с)	3.3 ±15%	3.7 ±15%	4.5 ±15%	
Рабочая полоса частот (Гц)	01000	0450	01000	
Шум в рабочей полосе $(MB/\Gamma \mu^{1/2})$	0.01	0.01	0.01	
Нестабильность (дрейф) нулевого сигнала в стационарных условиях град/час (СКО)	30	15	30	
Нестабильность МК в стационарных условиях % (СКО)	0.1	0.05	0.1	
Температурный коэффициент МК (%/°С)	-0.05	-0.05	-0.05	
Время готовности (с)	0.02	0.1	0.02	
<u>УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ</u>				
Температура рабочая (°С)	-30 +70	-30 +70	-30 +70	
Температура предельная (°С)	-55 +85	-55 +85	-55 +85	
Вибрации (прочность) (g) (СКО),20Гц2кГц	6	6	6	
Удары (прочность) (g), 1 мс	90	90	90	
<u>ПАРАМЕТРЫ НАДЕЖНОСТИ</u>				
Средняя наработка до отказа (час), 20°C	20000	20000	20000	
Срок службы (прогноз) (лет)	15	15	15	

Таблица 3. ВОГ производства компании «Физоптика», наиболее перспективные с точки зрения создания скважинных навигационных систем

Основные проблемы внедрения ВОГ в скважинную навигацию на современном этапе и пути их решения

На рынке отсутствуют модели ВОГ, удовлетворяющие жестким требованиям по термопрочности и термоустойчивости, диктуемым условиями эксплуатации в скважинах. Наиболее слабым местом с точки зрения устойчивости к высоким температурам

являются низкотемпературные припои, используемые в производстве суперлюминесцентных диодов (СЛД), а также при стыковке оптоволокна с источником излучения. Также необходимо отметить существенное влияние температуры на невзаимность контура ВОГ. Возможными путями решения могут стать как изменение технологи производства ВОГ (проработка проблемы пайки оптического волокна) и поиск источников излучения, имеющих широкий диапазон рабочих температур, так и введение алгоритмической компенсации температурной зависимости.

Все выпускаемые модели с малыми габаритами имеют слишком большие значения нестабильности нулевого сигнала и предназначены для измерений в несовпадающем с нуждами подземной навигации диапазоне угловых скоростей. Для нужд гирокомпасирования и даже для реализации режима гироскопа направления в скважинах такие ВОГ не предназначены. У российских производителей ВОГ недостаточно средств и желания для освоения новой, непривычной ниши рынка.

Существует три наиболее перспективных способа решения проблемы:

- 1. стимулировать фирмы-производители ВОГ к разработке и производству моделей для сектора систем подземной навигации;
- 2. на основе выпускаемых ВОГ путем доработки добиваться желаемых параметров (к примеру с помощью оптимальной фильтрации сигналов);
- 3. самостоятельно разработать ВОГ с необходимыми свойствами.

Отметим также, что для построения гироинклинометра на ВОГ необходима разработка новых осевых конфигураций ДУС, так как скважинный прибор накладывает пространственные ограничения на расположение и вращение гироскопа в корпусе. В этом аспекте необходим поиск нестандартного подхода к конфигурации и размещению катушки интерферометра в корпусе ВОГ.

Результаты проработки вопросов использования ВОГ в гироинклинометрии

По инициативе исследователей данного вопроса были проведены переговоры с одной из фирм в Саратове, в результате которых разработан усовершенствованный вариант гироскопа ВГ941 с переработанным блоком электроники и использованием оптимизированных фильтров сигнала. По результатам испытаний чувствительность ВГ941 составила 0.1 град/час.

Многократные температурные испытания показали стабильную работу гироскопа при 100° С и полное восстановление рабочих характеристик прибора после нахождения при температуре 120° С, что является очень важным показателем, так как, по заявлениям фирмы «Физоптика», их ВОГ не способны работать при таких температурах. Можно сделать вывод о том, что ВОГ фирмы «Физоптика» все же имеют некоторый запас по термоустойчивости.

Необходимо отметить также, что были предложены идеи по созданию новых конфигураций ВОГ для подземной навигации — с намоткой оптоволокна под углом к главной оси прибора. Немаловажно, что при таком способе намотки инклинометрическая система будет отвечать требованиям адаптивности к траектории и инвариантности к пусковым погрешностям датчика угловой скорости.

Заключение

В работе рассмотрены основные преимущества и перспективы использования ВОГ в гироинклинометрии, а также проведен анализ современного рынка ВОГ.

В результате анализа были выделены существующие модели, наиболее перспективные для использования в подземной навигации.

Освещены основные проблемы внедрения ВОГ в скважинную навигацию, а также предложены наиболее оптимальные пути их решения.

Представлены некоторые перспективные результаты проработки вопросов использования ВОГ в подземной навигации.

Рассматривая все преимущества использования ВОГ, освещенные в данной статье, и тот факт, что многие из существующих проблем, связанных с этим вопросом, близки к своему решению, можно судить о больших перспективах внедрения рассмотренного типа гироскопа в разработку новых систем гироинклинометрии.

Литература

- 1. Биндер Я.И. Аналитическое компасирование в инклинометрии скважин малого диаметра // Гироскопия и навигация. 2003. № 2.
- 2. Шереметьев А.Г. Волоконный оптический гироскоп. М.: Радио и связь, 1987. С. 7–23.
- 3. http://www.optolink.ru/productsa.htm
- 4. http://www.fizoptika.ru/products/index.html

КАЛИБРОВКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ ГИРОСКОПИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Н.С. Потемина

Работа посвящена проблеме калибровки чувствительных элементов гироскопических приборов. Дан анализ современного состояния разработок в области гироскопических чувствительных элементов. Рассмотрена структура технологического цикла калибровки.

Введение

Анализ состояния навигационного оборудования (НО) современных кораблей ВМФ РФ и зарубежных стран и тенденций его развития для кораблей начала XXI века, позволили сделать следующие вывод. Информационное обеспечение рассматриваемых задач требует непрерывной выработки практически одних и тех же навигационных (низкочастотных, характеризующих движение центра масс корабля) и динамических (высокочастотных, характеризующих угловые и линейные перемещения заданной точки корабля с учетом качки и орбитального движения) параметров.

При этом точностные требования в части выработки навигационных параметров определяются, прежде всего, требованиями задачи навигации по обеспечению безопасности плавания, а в части выработки динамических параметров – требованиями задачи начальной выставки и калибровки бортовых приборов корабельных потребителей (комплексов оружия и палубной авиации).

Выработка навигационных параметров (НП) на надводных кораблях и морских судах в нашей стране до последнего времени базируется в основном на использовании метода счисления пути по данным различных лагов и гирокурсоуказателей — гирокомпасов и гирогоризонткомпасов. Информация от радиотехнических средств — радионавигационных систем (РНС) наземного базирования, спутниковых навигационных (СНС) и навигационных радиолокационных систем (РЛС) — используется для периодической или квазинепрерывной коррекции счислимых координат места.

Однако ужесточение требований со стороны потребителей навигационной информации по точности и формату данных, необходимость существенно повысить информационную автономность контура навигации кораблей в условиях естественных и искусственных радиопомех при одновременном снижении его массогабаритные характеристики энергопотребления и стоимости привели к необходимости поиска новых решений. Информационное обеспечение задач навигации и управления движением, а также задач начальной выставки, калибровки и стабилизации бортовых приборов различных корабельных потребителей требует непрерывной выработки практически одних и тех же навигационных и динамических параметров. Наиболее жесткие требования к точности выработки навигационных параметров исходят из задачи обеспечения навигационной безопасности плавания морских подвижных объектов, а к точности выработки динамических параметров - из задачи начальной выставки и калибровки бортовых приборов корабельных потребителей.

Современное состояние инерциальной техники

Анализ современного состояния разработок в области гироскопических чувствительных элементов, приведенный в статье [1], позволяет схематично изобразить диапазон точностных характеристик различных типов современных гироскопов в виде рис. 1

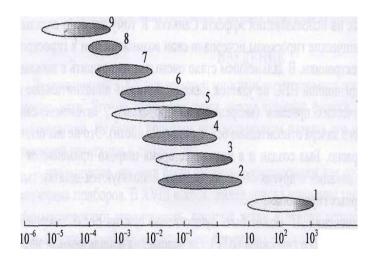


Рис.1. Диапазон точностных характеристик различных типов современных гироскопов: 1 — микромеханический; 2 — динамически настраиваемый; 3 — волоконно-оптический; 4 — лазерный; 5 — волновой твердотельный; 6 — закрытый шаровый; 7 — поплавковый; 8 — магнитный сферический; 9 — электростатический

Представленный спектр точностных характеристик основных типов гироскопов достаточен для решения современных задач автономной навигации. Избыточность типов гироскопов позволяет производить выбор на основании различных критериев, которые, впрочем, в конечном виде могут быть сведены к экономическому.

Этапы калибровки чувствительных элементов

Целью калибровки чувствительных элементов (ЧЭ) является определение с заданной точностью численных значений параметров ЧЭ, которые мало изменяются с течением времени.

Калибровку чувствительных элементов гироскопических приборов можно разделить на три этапа.

Этап 1 – первичная калибровка (рассмотрим ее на примере ДУС).

Модель погрешностей ДУС может быть аппроксимирована в виде суммы нескольких составляющих [2, 3]:

- погрешность калибровки начального смещения «нуля» и его нестабильности в пуске, практически постоянная на достаточно длительном интервале времени;
- погрешность масштабного коэффициента, которая определяет составляющую, пропорциональную измеряемой величине;
- погрешности, вызванные изменением температуры.

Особое внимание уделяется учету нелинейности масштабного коэффициента, которая особенно заметна на краях рабочего диапазона. Ошибка, вызванная нелинейностью, пропорциональна скорости и при большом рабочем диапазоне может достигать значительных величин. Поэтому сначала выявляют зависимость выходного сигнала ДУС от действующей на него угловой скорости, затем аппроксимируют эту зависимость функцией, которая дает нелинейность, обеспечивающую требуемую точность прибора. Аппроксимирующая функция также учитывает смещение нуля и сам масштабный коэффициент.

Этап 2 – определение неортогональности осей чувствительности ЧЭ (рис. 2).

В связи с наличием инструментальных погрешностей, возникающих из-за неточности сборки ЧЭ, оси чувствительности образуют косоугольную систему координат, развернутую относительно ортогональной системы координат, связанной с базовой поверхностью ЧЭ, на некоторые малые углы. Данный факт обусловливает наличие пере-

крестных связей по осям, что влечет за собой появление методической ошибки. Исключение методической ошибки легко осуществляется введением матрицы направляющих косинусов перехода от системы координат, связанной с осями чувствительности, к системе координат, связанной с базовой поверхностью ЧЭ.

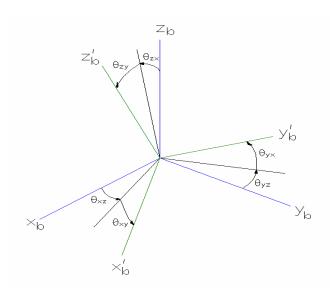


Рис. 2. Углы неортогональностей θ_{ii}

Этап 3 – калибровка ЧЭ относительно установочных плоскостей прибора. Этот этап необходим, если прибор в процессе работы меняет направление своей рабочей оси.

Целью данного этапа калибровки является нахождение матрицы направляющих косинусов, которая определяет взаимное расположение системы координат, связанной с ЧЭ (x_0, y_0, z_0) , и системы координат, связанной с посадочными поверхностями прибора (x_0, y_0, z_0) .

Интегрированные системы ориентации и навигации

Первичные измерители составляют ядро инерциальной системы. Далее их измерения должны быть проинтегрированы с целью получения координат места и курса объекта. В результате интегрирования возникают ошибки, которые могут быть исправлены за счет внешних по отношению к инерциальным измерителям систем.

Выход был найден в интеграции датчиков с приемниками глобальных спутниковых навигационных систем (ГСНС) типа ГЛОНАСС (Россия) и NAVSTAR (США). В интегрированных системах ориентации и навигации (ИСОН) обеспечивается реализация достоинств и компенсация недостатков этих двух составных частей. Долговременная точность ИСОН определяется точностными характеристиками ГСНС, погрешность которых не накапливается со временем. Измерение динамических (быстро меняющихся) параметров движения и сохранение навигационной информации при непродолжительной потере сигнала ГСНС обеспечивается первичными измерителями. При работающем спутниковом канале такие датчики непрерывно калибруются по данным ГСНС, что позволяет повысить их точность. Создание ИСОН – принципиально новая идея, определяющая актуальное направление работ в гироскопии.

В настоящее время считается обоснованной необходимость инерциальной поддержки функционирования интегрированных навигационных систем. Такая поддержка составляет основу непрерывного навигационного обеспечения высокоманевренных объектов. Однако для реализации потенциальных возможностей инерциальных навигационных систем (ИНС) актуальной остается проблема улучшения их эксплуатацион-

ных характеристик. К таким характеристикам, существенно влияющим на навигационную безопасность, можно отнести время подготовки к применению, точность и надежность ИНС.

Комбинированные инерциальные навигационные системы

Традиционные подходы [4] к решению указанной проблемы опираются на аппаратурную модернизацию существующих и создание новых типов чувствительных элементов: гироскопов и акселерометров. Перспективными считаются также подходы [4], предусматривающие оценку ошибок ИНС по информации от спутниковых и других внешних навигационных систем. Вместе с тем исследованию возможностей комбинированных ИНС (КИНС), построенных на основе чувствительных элементов различных принципов действия, уделяется недостаточно внимания. В то же время существующие технические решения [5] такой задачи создают необходимую основу для проведения исследований в данной области.

Калибровка ЧЭ КИНС предусматривает взаимную информационную поддержку инерциальных измерительных блоков при реализации следующих процедур: оценка «дрейфов» ЧЭ путем обработки наблюдений во временной области; идентификация параметров моделей дрейфов ЧЭ путем обработки полученных оценок в частотной области [6]. Диагностирование КИИБ предусматривает распознавание технических состояний ЧЭ на основе ретроспективного анализа оценок по комплексным критериям согласия.

При подготовке КИНС к применению на неподвижном основании выходные сигналы КИИБ отличаются от эталонных по следующим причинам: наличие конструктивных дефектов; неточность задания начальных условий; наличие инструментальных и методических ошибок при реализации измерительных и управляющих каналов. Поэтому при реализации по выходным сигналам КИИБ уравнений инерциальной навигации и ориентации счисляются приборные значения движения, которые могут быть названы псевдокоординатами. Такие параметры являются избыточными относительно штатных режимов начальной выставки КИНС. Однако на их основе могут быть сформированы сигналы дополнительных наблюдений, как позиционных, так и угловых, которые косвенно отражают техническое состояние ЧЭ. При наличии математических моделей ошибок КИИБ это позволяет на базе алгоритмов оптимального оценивания построить единый технологический цикл (ЕТЦ) калибровки и диагностирования ЧЭ.

Вывод

Для определения координат места и курса объекта различных подвижных объектов широко применяются инерциальные системы ориентации и навигации, в том числе и интегрированные, использующие сигналы спутниковых навигационных систем, в которые входят различные типы измерительных датчиков. Одной из важнейших задач является повышение точности подобных систем без значительного удорожания.

Литература

- 1. Пешехонов В.Г. Ключевые задачи современной автономной навигации // Гироскопия и навигация. №1. С.48–55.
- 2. Анучин Н.О., Емельянцев Г.И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов. СПб, 1999.
- 3. http://www.elektropribor.spb.ru

- 4. Пешехонов В.Г. Современная автономная навигация. Проблемы и перспективы. Механика и навигация // Материалы научной сессии, посвященной 85-летию академика А.Ю. Ишлинского. СПб: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 1999. С. 13–22.
- 5. Джанджгава Т.И., Будкин В.Л., Тихолаз В.И. Системы навигации, курсовертикали на базе динамически настраиваемых гироскопов. Состояние и возможности. / В сб.: Раменское приборостроительное конструкторское бюро. М.: Машиностроение, 2002. С. 19–21.
- 6. Чернодаров А.В., Быстров С.А., Енютин В.В., Патрикеев А.П. и др. Калибровка лазерных инерциальных измерительных блоков на основе гарантирующих процедур оценивания // Материалы IX Санкт-Петербургской междунар. конф. по интегрированным навигационным системам.

НАШИ АВТОРЫ

Акимов Антон Павлович – студент кафедры ЭТиПЭМС

Александров Г.С. – аспирант кафедры ПКС

Антипова Ирина Владимировна – студентка кафедры ЭТиПЭМС

Бахвалов Алексей Сергеевич – ИАнП РАН, аспирант

Бестужева Валентина Васильевна – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и технологии каучука и резины СПбГТИ (ТУ)

Бирюлин Гавриил Владимирович – студент кафедры КТФиЭФМ

Блинова Ирина Владимировна – ассистент кафедры ВМ

Богданов Всеволод Викторович – аспирант кафедры ТПС

Боголюбов Данила Александрович – студент кафедры ПКС

Богомолов Дмитрий Сергеевич – студент кафедры КТФиЭМ

Бондаренко Роман Владимирович – аспирант кафедры ТПС

Борисов Павел Александрович – кандидат технических наук, ассистент кафедры ЭТиПЭМС

Борисова Елена Юрьевна – студентка кафедры КТФиЭМ

Бородинов Андрей Геннадьевич – специалист ОАО «Научные приборы»

Гатчин Юрий Арменакович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ПКС

Гладских Дмитрий Аркадьевич – студент кафедры КТФиЭМ

Годырева Анастасия Валерьевна – студентка кафедры ПКС

Горбунов Сергей Александрович – аспирант кафедры ТПС

Григорьев Борис Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры электроники

Гусаров Виктор Владимирович – член-корреспондент РАН, зав. лабораторией физикохимии наноразмерных систем ИХС РАН, доктор химических наук, профессор

Гусарова Наталия Федоровна – кандидат технических наук, доцент кафедры ТПО

Дейнека Г.Б. – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры ФИТОС

Драницын Алексей Владимирович – студент кафедры ЭТиПЭМС

Евстрапов Анатолий Александрович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Био- и хемосенсорные информационно-измерительные микросистемы» ИАнП РАН

Егоров Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры КТФиЭФМ

Елисеев Олег Валерьевич – аспирант кафедры ПКС

Ермаков Николай Владимирович – старший специалист отдела информационной безопасности ОАО «Банк Восточно-европейской финансовой корпорации»

Ермолинская Вера Александровна – аспирант каф. НТМ

Жданов Иван Николаевич – научный сотрудник, ассистент кафедры ЭТиПЭМС

Иванов Роман Владимирович – ассистент кафедры ТПО

Ильин Д.В. – аспирант кафедры ЛТиЭП

Ильина Аглая Геннадьевна – аспирантка кафедры ЭТ и ПЭМС

Исламова Анастасия Дамировна – студентка кафедры КТФиМ

Кармановский Николай Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры ПКС

Кириллов Кирилл Валерьевич – аспирант кафедры КТФиМ

Китаев Юрий Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электроники

Клепинина Надежда Вячеславовна – студентка кафедры ТПО

Кораблев Владимир Антонович – кандидат технических наук, доцент кафедры КТФиЭФМ

Кузюк Денис Васильевич – студент кафедры ИС

Куликов Дмитий Дмитриевич – доктор технических наук, профессор кафедры ТПС

Кямяря А.Р. – ведущий инженер ЗАО «ПКТИ»

Лазуренко Н.В. – аспирант кафедры КТФиЭФМ

Лебедев Алексей Игоревич – студент кафедры ЭТиПЭМС

Леви Никита Александрович – студент кафедры ЭТиПЭМС

Лекомцева Мария Васильевна – аспирант кафедры ПКС

Манько Иван Алексеевич – студент кафедры ЭТиПЭМС

Маятин Александр Владимирович – кандидат педагогических наук, доцент кафедры ИС

Медунецкий Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор, декан факультета ТМиТ

Мешковский Игорь Касьянович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ФИТОС

Миронов Сергей Александрович – доцент кафедры ФиТОС

Михайленко Алексей Евгеньевич – студент кафедры физики

Новиков Б.Ю. – аспирант кафедры ЛТиЭП

Овчинников Игорь Евгеньевич – доктор технических наук, профессор кафедры ЭТиПЭМС

Олехнович Р.О. – ассистент кафедры ФиТОС

Осломенко Денис Валерьевич – руководитель отдела развития ООО «Лаборатория противодействия промышленному шпионажу»

Пашковский Матвей Александрович – аспирант кафедры физики

Перепелкин Андрей Васильевич – студент кафедры ЭТиПЭМС **Пилипенко Николай Васильевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры КТФиЭФМ

Плотников Александр Алексеевич – начальник отдела КИПиА ООО «ТЕРМО»

Попов Игорь Юрьевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой ВМ

Потемина Наталья Станиславовна – аспирантка кафедры ИРС

Рыжаков Н.И. – студент кафедры ФиТОС

Савинцева Людмила Алексеевна – старший научный сотрудник кафедры КТФиМ

Семенов Вениамин Александрович – аспирант кафедры ПКС

Сиротинкин Николай Васильевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и технологии каучука и резины СПбГТИ (ТУ)

Сисюков Артем Николаевич – аспирант кафедры ТПС

Смирнов Филипп Александрович – студент кафедры ИС

Соболев Сергей Фёдорович – кандидат технических наук, доцент кафедры ТПС

Совков Владимир Борисович – доктор физико-математических наук, специалист ОАО «Научные приборы»

Соколов Дмитрий Александрович – аспирант кафедры ИНС

Соловьев Денис Викторович – аспирант-ассистент кафедры ПКС

Стафеев Сергей Константинович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики

Сулейманов Данис Фанисович – аспирант кафедры физики

Стригалев В.Е. – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры ОКРФ СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича

Строганов Кирилл Витальевич – руководитель проектов ООО «ОБИТ»

Сухорукова Марина Вилевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики

Сушко Виктория Юрьевна – аспирант кафедры КТФиЭФМ

Терещенко Александр Валерьевич – аспирант кафедры ТПС

Токарев Алексей Владимирович – аспирант кафедры химии и технологии каучука и резины СПбГТИ (ТУ)

Толмачев Валерий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры ЭТиПЭМС

Тупик Александра Николаевна – студентка кафедры НТМ

Туранцев Дмитрий Сергеевич – студент кафедры ПКС

Туркунов Станислав Алексеевич – начальник сектора ОАО «НИТИ АВАНГАРД»

Усольцев Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры ЭТиПЭМС

Успенская Майя Валерьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры ФиТОС

Федоров Алексей Анатольевич – аспирант кафедры ПКС

Филиппов Александр Николаевич – доцент каф. ТПС

Фомин Сефан Геннадьевич – студент кафедры ЭТиПЭМС

Фролков Владимир Николаевич – аспирант-ассистент каф. ПКС

Храбров Юрий Викторович – аспирант кафедры ТПС

Чернокнижная Екатерина Геннадьевна – аспирант кафедры ПКС

Шарков Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой КТФиЭФМ

Яблочников Евгений Иванович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой ТПС

Яковлев Евгений Борисович – доктор технических наук, профессор кафедры ЛТ и $Э\Pi$

СОДЕРЖАНИЕ

1. МАТЕМАТИКА	3
Блинова И.В., Попов И.Ю., Гусаров В.В «Почти квазистационарное»	
приближение для описания роста зерен	3
2. ФИЗИКА	10
Клепинина Н.В., Пашковский М.А., Сухорукова М.В., Стафеев С.К.	10
Внедрение открытого образовательного стандарта SCORM в учебный процесс	10
Сулейманов Д.Ф Сухорукова М.В. Образование на базе идеологии ВЕБ 2.0	
3. ЭНЕРГОМОНИТОРИНГ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	21
Пилипенко Н.В. Методические погрешности параметрической идентификации	0.1
моделей теплопереноса в нестационарной теплометрии	21
Лазуренко Н.В., Кямяря А.Р. Контроль качества теплозащиты зданий	20
с помощью кон	30
Кириллов К.В., Пилипенко Н.В. Определение нестационарных условий	2.0
теплообмена с помощью комбинированных тепломеров	36
Плотников А.А., Борисова Е.Ю. Установка приборов учета тепловой энергии	
высокой точности – путь к энергосбережению	42
Пилипенко Н.В., Гладских Д.А. Определение погрешности измерения	
температуры поверхности массивных тел с использованием дифференциально-	
разностных моделей теплопереноса	46
4. ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ, МАССЫ, ИМПУЛЬСА	
И ИНФОРМАЦИИ	49
Бирюлин Г.В, Егоров В.И., Шарков А.В., Туркунов С.А. Тепловой режим	17
модуля электронной памяти	49
Бирюлин Г., Егоров В.И. Расчет температурных аномалий, обусловленных	17
заглубленными в грунт инородными объектами	54
Сушко В.Ю., Кораблев В.А., Богомолов Д.С. Определение тепловых потерь	
	59
Исламова А.Д., Кораблев В.А., Савинцева Л.А., Шарков А.В. Тепловой режим	
оптического прибора	
5. ФИЗИКА И ТЕХНИКА ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ	68
Дейнека Г.Б., Стригалев В.Е., Рыжаков Н.И. Методы обработки сигналов	
волоконно-оптического гироскопа	68
Миронов С.А. Волоконно-оптический датчик концентрации метана: расчет	
характеристик	72
Сиротинкин Н.В., Токарев А.В., Бестужева В.В., Успенская М.В.	
Модификация натрийборсиликатных микрошариков тонкими	
полиуретановыми пленками	79
Стригалев В.Е., Олехнович Р.О., Мешковский И.К. Согласующие элементы	
интегрально-оптических модулей	83
6. ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
Новиков Б.Ю. Лазерная структурно-фазовая молификация ситалла СТ-50-1	88

Ильин Д.В., Яковлев Е.Б. Быстрая кристаллизация стекол при лазерном	
локальном нагревании	95
7. СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА	100
Григорьев Б.И. Опыт использования виртуального лабораторного практикума	
по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника»	100
Китаев Ю.В. Использование TCP/IP-протокола и USB-интерфейса	
в лабораторных стендах на микроконтроллерах	102
Тогатов В.В., Гагарский С.В, Гнатюк П.А., Черевко Ю.И. Импульсный	
блок питания лазерных диодных модулей для накачки твердотельных лазеров	105
Тогатов В.В., Гагарский С.В., Гнатюк П.А., Терновский Д.С.	
Высоковольтный импульсный модулятор с наносекундным фронтом	108
8. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА	
и электротехнологии	111
Овчинников И.Е. Динамика непосредственного привода опорно-поворотного	111
устройства с вентильным двигателем	111
Овчинников И.Е., Леви Н.А. Привод легких транспортных средств на основе	111
дискового вентильного электрического двигателя	118
Борисов П.А., Драницын А.В. Импульсный источник электропитания	110
с коррекцией коэффициента мощности	124
Жданов А.Н., Лебедев А.И. Информационная подсистема следящего	121
вентильного электропривода	130
Жданов И.Н., Домрачев В.М., Денисов К.М. Оптимизация информационных	150
подсистем следящих электроприводов прецизионных комплексов слежения	135
Толмачев В.А., Антипова И.В., Фомин С.Г. Математическая модель следящег	
электропривода оси опорно-поворотного устройства	
Усольцев А.А., Ильина А.Г. Векторное управление вентильным двигателем	
в безредукторном следящем электроприводе	147
9. СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ	
Соколов Д.А. Перспективы использования малогабаритных волоконно-оптичес	ких
гироскопов в гироинклинометрии	154
Потемина Н.С. Калибровка чувствительного элемента как способ повышения	
точности работы гироскопической системы	160
10. ФИЗИКА И ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	165
Евстрапов А.А., Тупик А.Н. Исследование движения потоков вещества	
в микрофлюидных чипов.	165
Бахвалов А.С., Бородинов А.Г., Ермолинская В.А., Совков В.Б.	
Моделирование функции отклика энергодисперсионного	4-0
полупроводникового детектора	170
11. ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ	
И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ	
ПРОИЗВОДСТВА	175
Куликов Д.Д., Яблочников Е.И. Управление технологической подготовкой	1/3
изделий в среде PDM-системы	175
Медунецкий В.М., Горбунов С.А. Вопросы изготовления малогабаритных	1/3
зубчатых передач с нестандартными параметрами	181

Соболев С.Ф., Акимов А.П., Манько И.А., Перепелкин А.В.	
Учебно-исследовательская лаборатория поверхностного монтажа	186
Филиппов А.Н., Сисюков А.Н. Организация взаимодействия виртуального	
строкового пространства технологических данных	
и коммуникационного формата Mark	191
Богданов В.В. Моделирование и проектирование ТП в среде PDM-системы	197
Бондаренко Р.В., Богданов В.В. Использование CMS систем для решения	
технологических задач	203
Храбров Ю.В. «Таблица семейств» как средство проектирования операционных	
заготовок	209
Терещенко А.В. Об автоматизации контроля микрогеометрии	
в современных условиях	213
12. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ	
ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ	218
Гатчин Ю.А., Чернокнижная Е.Г. Методологические основы проектирования	
САПР ТП	218
Ермаков Н.В., Строганов К.В. Система обнаружения атак в сети	
коммерческого банка на основе RealSecure	223
Елисеев О.В., Кармановский Н.С., Федоров А.А. Универсальная	
система автоматизированного управления документами и бизнес-процессами	
Боголюбов Д.А., Кармановский Н.С. Исследование тепловых режимов различи	НЫХ
радиоэлектронных конструктивов с помощью системы COSMOSWorks	234
Годырева А.В., Кармановский Н.С. Особенности защиты информации	
на предприятии ВНИИМ им. Д.И. Менделеева	239
Туранцев Д.С. Организация пропускного режима на предприятии – первый шаг	
к обеспечению конфиденциальности и безопасности информации	244
Лекомцева М.В., Семенов В.А. Информационно-аналитическая работа	
подразделения безопасности кредитных организаций	253
Соловьев Д.В., Фролков В.Н. Системы управления на основе	
оптического волокна	257
Осломенко Д.В. Проблемы создания автоматизированных систем защиты	
информации	262
Иванов Р.В., Маятин А.В., Михайленко А.Е. Моделирование	
процесса обработки заявок при техническом обслуживании сложных	
технических систем	
Гусарова Н.Ф., Иванов Р.В., Кузюк Д.В., Маятин А.В. Информационно-справ	
система для поддержки допечатной подготовки изданий	275
Гусарова Н.Ф., Маятин А.В., Смирнов Ф.А. Обратные задачи	• • •
в компьютеризированных технологических средах	284
НАШИ АВТОРЫ	295

Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. Выпуск 44. Современные технологии / Главный редактор д.т.н., проф. В.Н. Васильев. — СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. — 300 с.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК СП6ГУ ИТМО Выпуск 44

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Главный редактор доктор технических наук, профессор В.Н. Васильев Дизайн обложки В.А. Петров, А.А. Колокольников Редакционно-издательский отдел СПбГУ ИТМО Зав. РИО Н.Ф. Гусарова Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99. Подписано в печать 25.12.07. Заказ 1100. Тираж 100 экз.