

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

**ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)**

МОДЕЛИРОВАНИЕ. ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

*Материалы
VI Международной научно-практической
конференции*

*7 апреля 2006 года
г. Новочеркасск*

Часть 1

Новочеркасск
ЮРГТУ
2006

УДК 519.688
ББК 22.18 в6
М 74

Организаторы конференции:

Федеральное агентство по образованию;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет.

Оргкомитет конференции:

Н.И. Горбатенко (РФ), профессор – председатель;
Ю.А. Бахвалов (РФ), профессор;
Г. Вурмус (ФРГ), профессор;
Г. Йегер (ФРГ), профессор;
Е. Калленбах (ФРГ), профессор;
М.В. Ланкин (РФ), доцент – зам. председателя;
Н.Ф. Никитенко (РФ), профессор;
А.В. Павленко (РФ), профессор;
В.А. Плаксин (РФ), доцент;
В.Н. Чернов (РФ), профессор.

Редакционная коллегия:

Н.И. Горбатенко, д-р техн. наук, профессор – ответственный редактор;
М.В. Ланкин, канд. техн. наук, доцент – зам. ответственного редактора;
В.А. Плаксин, канд. техн. наук, доцент

М 74 Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы VI Международ. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 7 апр. 2006 г.: В 5 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. – Ч. 1. – 71 с.

ISBN 5-88998-671-6

Сборник содержит материалы по нескольким научным направлениям. В первой части рассматриваются общие вопросы моделирования процессов, устройств и явлений; математические модели в теплотехнике и гидравлике.

УДК 519.688
ББК 22.18 в6

ISBN 5-88998-671-6

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2006
© Авторы, 2006

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) – крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные научно-технические контакты, – выступил инициатором проведения ряда Международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе Internet.

В апреле 2006 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила VI Международная научно-практическая конференция «Моделирование. Теория, методы и средства». В работе конференции приняли участие ученые и специалисты – представители высших учебных заведений, НИИ, научно-производственных предприятий Москвы, Липецка, Алматы (Казахстан), Архангельска, Санкт-Петербурга, Смоленска, Орла, Краснодар, Ростова-на-Дону, Таганрога, Ставрополя, Тамбова, Воронежа, Волгограда, Астрахани, Казани, Йошкар-Олы, Ульяновска, Самары, Челябинска, Владимира, Муром, Перми, Томска, Северска, Кургана, Омска, Иркутска, Хабаровска, Новочеркаска, Шахты.

На конференцию представлено 102 доклада, которые вошли в сборник, состоящий из пяти частей, в соответствии с научными направлениями.

В первой части рассматриваются общие вопросы моделирования процессов, устройств и явлений; математические модели в теплотехнике и гидравлике.

Во второй части рассмотрены вопросы математических моделей в электротехнике и магнитной гидродинамике; математических моделей в энергетике и электромашиностроении.

В третью часть вошли доклады о математическом моделировании социальных и экономических процессов; математических моделях в строительстве; математических моделях в химии и металлургии.

В четвертую часть вошли публикации о математических моделях в медицине, биологии и экологии; математических моделях в геологоразведочной и горнодобывающей отраслях; математическом моделировании технологических процессов; а также освещены учебно-методические вопросы преподавания основ моделирования в учебном процессе.

Пятая часть включает материалы, посвященные математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем; физическому моделированию в науке и технике.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МНОГОМЕРНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СО СЛУЧАЙНО ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ПАРАМЕТРАМИ

Г.В. Воронцов

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Выполнено обобщение методов В.С. Пугачева, относящихся к задачам оценивания переменных состояния одномерных стохастических систем, подверженных случайным возмущениям.

1. Линейные дифференциальные и интегральные преобразования случайных процессов

Математическое ожидание и корреляционную матрицу производной

$$\vec{X}(t) = d\vec{\xi}(t)/dt$$

случайного процесса $\vec{\xi}(t)$, характеризуемого математическим ожиданием $\vec{m}_{\xi}(t)$ и корреляционной матрицей $\mathbf{K}_{\xi\xi}(t, t')$, определяем выражениями:

$$M\{\vec{X}(t)\} = M\left\{\frac{d\vec{\xi}(t)}{dt}\right\} := \frac{d}{dt}M\{\vec{\xi}(t)\};$$

$$\mathbf{K}_{xx}(t, t') = \frac{\partial^2 \mathbf{K}_{\xi\xi}(t, t')}{\partial t \partial t'}, \quad \mathbf{K}_{x\xi}(t, t') = \frac{\partial \mathbf{K}_{\xi\xi}(t, t')}{\partial t}.$$

Здесь принято, что перестановки операций $M\{\dots\}$ и $\frac{d}{dt}, \frac{\partial^2}{\partial t \partial t'}$ допустимы. Дифференцируемость вектора $\vec{m}_{\xi}(t)$ и матрицы $\mathbf{K}_{\xi\xi}(t, t')$ является достаточным условием дифференцируемости процесса $\vec{\xi}(t)$.

Для линейного преобразования

$$\vec{X}(t) = \mathbf{A}\vec{\xi}(t),$$

где $\mathbf{A}$ – дифференциальный или интегральный оператор, имеем

$$\vec{m}_x(t) = \mathbf{A}\vec{m}_{\xi}(t), \quad \mathbf{K}_{xx}(t, t') = \mathbf{A}_t \mathbf{K}_{\xi\xi}(t, t') \mathbf{A}_{t'}^*.$$

Здесь индексы t и t' указывают, что действие оператора выполняется по одной переменной (t или t').

Так, интегрирование многомерного случайного процесса

$$\vec{X}(t) = \int_0^T \mathbf{F}(t, \tau) \vec{\xi}(\tau) d\tau$$

приводит к следующим соотношениям:

$$\vec{m}_x(t) = \int_0^T \mathbf{F}(t, \tau) \vec{m}_{\xi}(\tau) d\tau, \quad \mathbf{K}_{x\xi}(t, t') = \int_0^T \mathbf{F}(t', \tau) \mathbf{K}_{\xi\xi}(\tau, t) d\tau,$$

$$\mathbf{K}_{xx}(t, t') = \int_0^T \int_0^T \mathbf{F}(t, \tau) \mathbf{K}_{\xi\xi}(\tau, \tau') \mathbf{F}^*(t', \tau') d\tau d\tau',$$

подробнее см. в книге [2].

2. Оценка влияния случайных возмущений на переменные состояния линейных систем

Рассмотрим линейную систему:

$$\begin{aligned} \dot{\vec{X}}(t) &= \mathbf{A}(t) \vec{X}(t) + \mathbf{B}(t) \vec{\xi}(t); \\ \vec{X}(t) &= \int_0^T \mathbf{\Pi}(t, \tau) \mathbf{B}(\tau) \vec{\xi}(\tau) d\tau, \end{aligned} \quad (1)$$

для которой передаточная матрица

$$\mathbf{\Pi}(t, \tau) = \mathbf{X}(t) \mathbf{X}^{-1}(\tau) =: \mathbf{\Pi}_1(t) \mathbf{\Pi}_1(\tau). \quad (2)$$

В уравнении (2) $\mathbf{X}(t)$ – фундаментальная матрица решений уравнения

$$\dot{\vec{X}}(t) = \mathbf{A}(t) \vec{X}(t); \quad (3)$$

$\vec{\xi}(t)$ – многомерный случайный процесс, заданный математическим ожиданием $\mathbf{m}_\xi$ и корреляционной матрицей $\mathbf{K}_{\xi\xi}(\tau, \tau')$. Учитывая уравнение (1), получаем характеристики случайного процесса $\vec{X}(t)$:

$$\begin{aligned} \vec{m}_x(t) &= \int_0^T \mathbf{\Pi}(t, \tau) \mathbf{B}(\tau) \vec{m}_\xi(\tau) d\tau, \\ \mathbf{K}_{xx}(t, t') &= \int_0^T \int_0^T (\mathbf{\Pi}(t, \tau) \mathbf{B}(\tau)) \mathbf{K}_{\xi\xi}(\tau, \tau') \times (\mathbf{\Pi}(t', \tau') \mathbf{B}(\tau'))^* d\tau d\tau'. \end{aligned}$$

3. Оценка состояний линейных систем со случайно изменяющимися параметрами

Если матрица

$$\mathbf{A}(t) =: \text{diag}[\alpha_1(t) \dots \alpha_n(t)] \mathbf{A}(t)$$

содержит случайно изменяющиеся параметры $\alpha_1(t) \dots \alpha_n(t)$, то и переходная матрица $\mathbf{\Pi}(t, \tau)$ является случайной с плотностями распределения вероятностей первого и второго порядков

$$\begin{aligned} p^{(1)}\{\mathbf{\Pi}_1, t_1; \mathbf{\Pi}_2, t_2\}, \\ p^{(2)}\{\mathbf{\Pi}_1, t_1; \mathbf{\Pi}_2, t_2; \mathbf{\Pi}'_1, \tau_1; \mathbf{\Pi}'_2, \tau_2\}. \end{aligned}$$

Матрицу математических ожиданий и корреляционную матрицу многомерного процесса $\mathbf{\Pi}(t_1, t_2)$ с учетом равенства (2) находим по формулам

$$\begin{aligned} \mathbf{m}_\Pi(t_1, t_2) &= \int_{-\infty}^{\infty} \mathbf{\Pi}_1(t_1) \cdot \mathbf{\Pi}_2(t_2) p^{(1)}\{\mathbf{\Pi}_1, t_1; \mathbf{\Pi}_2, t_2\} d\mathbf{\Pi}_1 d\mathbf{\Pi}_2; \\ \mathbf{K}_\Pi(t_1, t_2, \tau_1, \tau_2) &= \mathbf{\Gamma}(t_1, t_2, \tau_1, \tau_2) - \mathbf{m}_\Pi(t_1, t_2) \mathbf{m}_\Pi^*(\tau_1, \tau_2), \end{aligned} \quad (4)$$

где матрица «начальных» моментов

$$\begin{aligned} \Gamma(t_1, t_2, \tau_1, \tau_2) = & \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} p^{(2)} \{ \Pi_1, t_1; \Pi_2, t_2; \Pi'_1, \tau_1; \Pi'_2, \tau_2 \} \times \\ & \times (\Pi_1 \Pi_2) (\Pi'_1 \Pi'_2)^* d\Pi_1 d\Pi_2 (d\Pi'_1 d\Pi'_2)^*. \end{aligned} \quad (5)$$

Для векторного процесса $\vec{\xi}(t)$ соответственно принимаем

$$\begin{aligned} \vec{m}_{\xi}(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} \vec{\xi} p_{\xi}^{(1)}(\vec{\xi}, t) d\vec{\xi}; \\ \mathbf{K}_{\xi}(t_1, t_2) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int \vec{\xi}_1 \vec{\xi}_2^* p^{(2)}(\vec{\xi}_1, t_1; \vec{\xi}_2, t_2) d\vec{\xi}_1 d\vec{\xi}_2^*. \end{aligned}$$

Характеристики случайного вектора $\vec{X}(t)$ находим по формулам:

$$\begin{aligned} \vec{m}_x(t) &= \int_0^T \mathbf{m}_{\Pi}(t, \tau) \vec{m}_{\xi}(\tau) d\tau, \\ \mathbf{K}_x(t_1, t_2) &= \int_0^T \int \mathbf{m}_{\Pi}(t_1, \tau) \mathbf{K}_{\xi}(\tau, \tau') \mathbf{m}^*(t_2, \tau') + \\ &+ \mathbf{K}_{\Pi}(t_1, \tau; t_2, \tau_2) [\vec{m}_{\xi}(\tau) \vec{m}_{\xi}^*(\tau') + \mathbf{K}_{\xi}(\tau, \tau')] d\tau d\tau', \end{aligned}$$

см. формулы (4), (5). Частный случай задачи, относящейся к скалярному уравнению типа $\dot{x}(t) = a(t)x(t) + \xi(t)$, рассмотрен в книге В.С. Пугачева [2].

4. Матрицы спектральных плотностей переменных состояния системы, подверженной стационарным возмущениям

Введем тождество [2]

$$\vec{X}(t) = \int_{-\infty}^t \Pi(t - \tau) \xi(\tau) d\tau = \int_0^{\infty} \Pi(\tau) \vec{\xi}(t - \tau) d\tau$$

и положим

$$\vec{X}(t_1) \vec{X}^*(t_2) = \int_0^{\infty} \Pi(\tau_1) \vec{\xi}(t_1 - \tau_1) d\tau_1 \int_0^{\infty} \vec{\xi}^*(t_2 - \tau_2) \Pi(\tau_2) d\tau_2. \quad (6)$$

Поскольку

$$M \{ \vec{\xi}(t_1 - \tau_1) \vec{\xi}^*(t_2 - \tau_2) \} = \mathbf{K}_{\xi\xi}(\Delta t - \tau_2 + \tau_1), \quad \Delta t = t_2 - t_1,$$

из выражения (6) следует

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_{xx}(\Delta t) &= M \{ \vec{X}(t_1) \vec{X}^*(t_2) \} = \\ &= \int_0^{\infty} \int \Pi(\tau_1) \mathbf{K}_{\xi\xi}(\Delta t - \tau_2 + \tau_1) \Pi^*(\tau_2) d\tau_1 d\tau_2. \end{aligned}$$

Взаимную корреляционную функцию процессов $\vec{\xi}(t)$ и $\vec{X}(t)$ определяем соотношением

$$\begin{aligned} K_{\xi x}(\Delta t) &= M \left\{ \vec{\xi}(t) \vec{X}^*(t + \Delta t) \right\} = \\ &= \int_0^\infty \Pi(\tau_1) M \left\{ \vec{\xi}(t) \vec{\xi}^*(t + \Delta t - \tau_1) d\tau_1 \right\} = \int_0^\infty \Pi(\tau_1) K_{\xi\xi}(\Delta t - \tau_1) d\tau_1. \end{aligned}$$

Матрицу спектральных плотностей процесса $\vec{X}(t)$ составляем на основе преобразования Фурье

$$S_{xx}(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_{xx}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau = V(i\omega) K_{\xi\xi}(\omega) V^*(-i\omega),$$

где обозначено $V(\pm i\omega) = \int_0^\infty \Pi(\tau) e^{\pm i\omega\tau} d\tau$, здесь $V(\pm i\omega)$ есть матрица собственных векторов матрицы A , см. уравнение (3).

Литература

1. Воронцов Г.В. Введение в математическую теорию оптимального оценивания и управления состояниями технических систем / Под общ. ред. Г.В. Воронцова; Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. – 301 с.
2. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. – М.: Гос. физ.-мат. изд-во, 1960. – 883 с.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т. 55-327,
e-mail: SerbinovskyMU@npi-tu.ru

УДК 004.9:378.1.001.33:65.01

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД МНОГОМЕРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ С КРИТЕРИЕМ КАЧЕСТВА КОЛМОГорова

А.Н. Иванченко, Р.Г. Зайцев, П.Г. Кузьменко

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Описываются проблемы, возникшие при исследовании метода многомерной классификации с заранее неизвестным числом кластеров, а также варианты их решения и методика выбора функционала качества для оценки полученных разбиений.

Типичной задачей теории распознавания образов является задача многомерной кластеризации. Пусть в общем случае имеется совокупность Ω из n объектов $\Omega = \{\Omega_i\}, i = \overline{(1, n)}$. Данная совокупность характеризуется статистической информацией в виде матрицы наблюдений X размерности $n \times p$, где p – количество наблюдаемых свойств объектов Ω_i . Тогда постановка задачи классификации заключается в том, чтобы всю анализируемую совокупность объектов Ω разбить на сравнительно небольшое число (заранее

известное или нет) однородных, в определенном смысле, групп или классов, называемых кластерами

$$(S = \{S_1, \dots, S_k\}, (\bigcap_1^k S_i = \emptyset, \bigcup_1^k S_i = \Omega) \sum.$$

Практическая реализация данного алгоритма обнаруживает следующие недостатки: вследствие случайности выбора начальных точек, а также всех последующих исследуемых точек, может возникнуть ситуация «пересечения» кластеров

$$\exists X_k \in S_i, X_l \in S_j : (d(X_k, S_j) < d(X_k, S_i)) \& (d(X_l, S_i) < d(X_l, S_j)),$$

или возникновение т.н. «далеких» точек, т.е. точек, для которых

$$\exists X \in S_i : d(X, S_i) > d(X, S_j), i \neq j.$$

Одна точка кластера S_1 оказалась от него дальше, чем точки кластера S_2 и наоборот. Анализ причин данной ситуации приводит к следующим заключениям.

Пусть X^* – «далекая» точка, $X^* \in S_1$. Так как процесс выбора точек для формирования кластеров носит вероятностный характер, то для S_1 он мог начаться именно с X^* . Далее, при добавлении новых точек $S_1 = X_l \cup S_1$, $d(\bar{X}(1), X^*)$ постоянно растет (под $\bar{X}(1)$ понимается центр тяжести кластера S_1). Если на очередной итерации выбирается точка $X_m : d(X_m, S_1) > \Psi_0$, то начинается формирование кластера S_2 . Теперь, несмотря на то, что вероятна ситуация, когда $d(X^*, S_2) < d(X^*, S_1)$, в рамках рассмотренного ранее метода данное противоречие исправить невозможно. Аналогично возникают «далекие» точки кластера S_2 .

Как варианты решения поставленной проблемы, можно применить следующие методы:

- «Нулевой шаг». На каждой итерации алгоритма k -средних добавляется новый шаг, который выполняется перед огрублением эталонов. В нем выполняется два действия.

а) «разделение» кластеров:

$$\forall S_i, \forall X \in S_i : d(X, S_i) > \Phi_0 \quad S_i = S_i \setminus X, S = S \cup \{S_{k+1}(X)\}, \quad (1)$$

т.е. выделение в отдельные кластера «далеких» точек существующих кластеров. Если при этом окажется, что $\exists S_i : d(S_{k+1}, S_i) < \Phi_0$, то на следующем шаге (огрубление) кластеры S_{k+1} и S_i будут объединены в один.

б) «выравнивание» кластеров:

$$\forall S_i, \forall S_j, j \neq i, \forall X \in S_i : d(X, S_j) < d(X, S_i), \quad S_i = S_i \setminus X, S_j = S_j \cup X$$

это позволит избежать «пересечения» кластеров.

- «Третий шаг». На каждой итерации алгоритма k -средних добавляется новый шаг, выполняющийся после обработки новой выбранной точки. На данном шаге выполняется лишь одно действие – «выравнивание» кластеров из выражения (1). Выполнение процедуры «разделения» кластеров при этом принципиально невозможно из-за того, что данный шаг может стать последним в работе всего алгоритма, в то время как после него обязательным является огрубление.

- «Последний шаг». После завершения работы алгоритма производится процесс «выравнивания» кластеров по формуле (1).

Для автоматической оценки качества разбиения используются функционалы качества, которые выбирают чаще всего в виде простой алгебраической комбинации (суммы, разности, произведения, отношения) двух функционалов $I_1(S)$ и $I_2(S)$, один из которых I_1 является убывающей (невозрастающей) функцией числа классов k и характеризует, как правило, внутриклассовый разброс наблюдений, а второй – I_2 – возрастающей (неубывающей) функцией числа классов k . Весьма гибкий и общий подход был предложен А.Н. Колмогоровым. Он предложил в качестве таких функционалов следующие:

$$Z_\tau(S) = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{v(X_i)}{n} \right)^\tau \right]^{\frac{1}{\tau}} - \text{мера концентрации,}$$

$$I_\tau^{(K)}(S) = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i \left[Q_\tau^{(K)}(S_i) \right]^\tau \right\}^{\frac{1}{\tau}} - \text{мера внутриклассового рассеяния,}$$

где под $Q_\tau^{(K)}(S_i) = \left[\frac{1}{n_i^2} \sum_{X_j \in S_i} \sum_{X_l \in S_i} d^\tau(X_j, X_l) \right]^{\frac{1}{\tau}}$ понимается обобщенная мера рассеяния, характеризующая класс S_i ,

$v(X_i)$ – число элементов в кластере, содержащем точку X_i ,

n_i – число элементов в i -м кластере,

$d(X_i, X_j)$ – расстояние между точками X_i и X_j .

Числовой параметр τ выбирается по усмотрению исследователя. Тогда функционал качества может быть построен в виде $(\beta * Z_k(S)) / \alpha I_\tau^{(K)}(S)$, где α и β могут быть выбраны как некоторые константы.

Литература

1. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Теория вероятностей и прикладная статистика. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 656 с.

346429, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. ПОВТ,
т. 55182, 55295, e-mail: rzajtsev@npi-tu.ru

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ И СЕТЯХ

М.А. Бутакова

Ростовский государственный университет путей сообщения

Рассмотрены теоретические и практические аспекты построения имитационных моделей на основе процессов Леви, а именно, α -устойчивых случайных процессов, обладающих свойствами самоподобия. Приведен алгоритм генерации случайного процесса и пример его программной реализации.

Информационные системы, развертываемые на базе телекоммуникационных сетей с пакетной организацией обмена информацией, относятся к достаточно большому классу систем (технических, экономических, организационных, биологических), процессы в которых протекают по законам, отличающимся от нормального. При создании имитационных моделей потоков в информационных системах и сетях (ИС), широко используются пуассоновские процессы, что позволяет получить точные аналитические результаты при расчете характеристик систем с пуассоновскими потоками, хотя и накладывает достаточно жесткие ограничения. По этой причине в последнее время получили широкое распространение модели телетрафика со свойствами самоподобия, примером которых является фрактальное броуновское движение [1].

Для моделирования информационных потоков в ИС хорошо подходят процессы Леви [2]. Это объясняется основными свойствами таких систем. Процессы Леви, являясь случайными процессами с независимыми приращениями, представляют один из основных классов стохастических процессов, к которому относятся, в частности, фрактальное броуновское движение и процесс Пуассона. Дадим определение основным понятиям на основе предложенных в [2].

Случайные процессы Леви

Определение 1. Случайный процесс $X = X(X_t)_{t \geq 0}$, заданный на вероятностном пространстве (Ω, Φ, P) , где

$\Omega = \{\omega\}$ – пространство элементарных событий (состояний информационной системы в рассматриваемом контексте);

Φ – σ -алгебра подмножеств Ω (совокупность событий, наблюдаемых при поступлении, обработке и хранении потоков информации);

P – вероятностная мера на (Ω, Φ, P) ,

и принимающий значения в $\mathbf{R}$, называется d -мерным процессом Леви, если выполнены следующие условия:

- 1) $X_0 = 0$ (P -п.н.);
- 2) $\forall n \geq 1$ и набора $0 \leq t_0 < t_1 < \dots < t_n$ величины $X_{t_0}, X_{t_1} - X_{t_0}, \dots, X_{t_n} - X_{t_{n-1}}$ являются независимыми (свойство «независимости приращений»);
- 3) $\forall s \geq 0$ и $\forall t \geq 0$ $X_{t+s} - X_s \stackrel{d}{=} X_t - X_0$ (свойство «стационарности», «однородности приращений»);
- 4) $\forall t \geq 0$ и $\forall \varepsilon > 0$ $\lim_{s \rightarrow t} P(|X_s - X_t| > \varepsilon) = 0$ (свойство стохастической непрерывности).

Или, другими словами, процесс Леви – это стохастически непрерывный процесс со стационарными, независимыми приращениями, выходящий из нуля и имеющий траектории, непрерывные справа с левосторонними пределами. Процессы Леви $X = (X_t)_{t \geq 0}$ являются процессами с однородными независимыми приращениями, поэтому их распределения полностью определяются одномерными распределениями $P_t(dx) = P(X_t \in dx)$. Действительно, для любого $n \geq 1$ и набора $0 \leq t_0 < t_1 < \dots < t_n$ совместное распределение

$$\begin{aligned} P_{t_0, t_1, \dots, t_n}(dx_0, dx_1, \dots, dx_n) &= P(X_{t_0} \in dx_0, X_{t_1} \in dx_1, \dots, X_{t_n} \in dx_n) = \\ &= P(X_{t_n} \in dx_n / X_{t_0}, X_{t_1}, \dots, X_{t_{n-1}}) P(X_{t_{n-1}} \in dx_{n-1} / X_{t_0}, X_{t_1}, \dots, X_{t_{n-2}}) \dots P(X_{t_0} \in dx_0) = \\ &= P_{t_n - t_{n-1}}(dx_n - X_{t_{n-1}}) P_{t_{n-1} - t_{n-2}}(dx_{n-1} - X_{t_{n-2}}) \dots P_{t_0}(dx_0). \end{aligned}$$

Из определения этих процессов следует, что распределение $P_t(dx)$ является безгранично делимым распределением при каждом t (случайная величина X называется безгранично делимой, а ее распределение – безгранично делимым. Если $\forall n \geq 1$, можно найти такие независимые одинаково распределенные случайные величины $X_{n1}, \dots, X_{nn}$, что $X \stackrel{d}{=} X_{n1} + \dots + X_{nn}$. Отметим, что этот момент особенно важен для моделирования.

Характеристическая функция распределения $P_t(dx)$:

$$\begin{aligned} \varphi_t(\theta) &= E e^{i\theta X_t} = \int_R e^{i\theta x} P_t(dx) = \\ &= \exp t \left\{ ib\theta - \frac{1}{2} c\theta^2 + \int_R (e^{i\theta x} - 1 - i\theta x I(|x| \leq 1)) \nu(dx) \right\}, \end{aligned}$$

где $c \geq 0$ и $\nu(dx)$ – мера Леви, то есть мера, удовлетворяющая условиям: $\nu(\{0\}) = 0$ и $\int_R (|x| \wedge 1)^2 \nu(dx) < \infty$. Заметим, что b – это *трендовая* составляющая, ответственная за среднее движение процесса $X = (X_t)_{t \geq 0}$. Компонента c определяет дисперсию непрерывной гауссовской составляющей

процесса X . Мера Леви ν описывает поведение «скачкообразной» составляющей процесса X и характеризует частоту и величину скачков.

Устойчивые процессы

Пусть процесс с произвольным параметрическим множеством T задан на некотором вероятностном пространстве (Ω, Φ, P) .

Определение 2. Действительный случайный процесс $X = X(X_t)_{t \in T}$ называется устойчивым, если $\forall k \geq 1$ и $t_1, \dots, t_k$ из T случайные векторы $(X_{t_1}, \dots, X_{t_k})$ являются устойчивыми, то есть все конечномерные распределения процесса X являются устойчивыми.

Определение 3. Невырожденный случайный процесс $X = (X_t)_{t \geq 0}$ со значениями в $\mathbf{R}^d$ называется α -устойчивым процессом Леви ($\alpha \in (0, 2]$), если X есть процесс Леви и $\forall \alpha > 0$, найдется вектор $D \in \mathbf{R}^d$ такой, что

$$\{X_{at}, t \geq 0\} \stackrel{d}{=} \{a^{1/\alpha} X_t + Dt, t \geq 0\}, \text{ или равносильно} \quad (1)$$

$$Law(X_{at}, t \geq 0) = Law(a^{1/\alpha} X_t + Dt, t \geq 0). \quad (2)$$

Определение 4. α – устойчивый процесс Леви $X = (X_t)_{t \geq 0}$ называется *строго α -устойчивым процессом Леви*, если в (1), (2) вектор $D = 0$, то есть

$$\{X_{at}, t \geq 0\} \stackrel{d}{=} \{a^{1/\alpha} X_t, t \geq 0\}, \text{ или} \quad (3)$$

$$Law(X_{at}, t \geq 0) = Law(a^{1/\alpha} X_t, t \geq 0). \quad (4)$$

Иногда, например в [3], дается несколько иное определение устойчивости векторного случайного процесса Леви $X = (X_t)_{t \geq 0}$.

Определение 5. $\forall a > 0$ найдутся константа c и вектор $\mathbf{R}^n$ такие, что

$$\{X_{at}, t \geq 0\} \stackrel{d}{=} \{cX_t + Dt, t \geq 0\}, \text{ или}$$

$$Law(X_{at}, t \geq 0) = Law(cX_t + Dt, t \geq 0).$$

При этом, если $D = 0$, то процесс строго устойчивый. Кроме того, для невырожденных процессов Леви константа c имеет вид $c = a^{1/\alpha}$, где α – некоторый универсальный, то есть независимый от a , параметр со значениями в $(0, 2]$. Этот результат, доказательство которого имеется, например в [3], объясняет определения (2) – (4), в которых явно присутствует множитель $a^{1/\alpha}$.

Условие $Law(X_{at}, t \geq 0) = Law(cX_t, t \geq 0)$ есть свойство *автомодельности*. Таким образом, α – устойчивые процессы Леви, для которых $c = a^{1/\alpha}$ являются автомодельными. При этом значение $\mathbf{H} = 1/\alpha$ носит название *показателя (параметра) Харста*. Заметим, что соотношение $\mathbf{H} = 1/\alpha$ выполняется только для Леви процесса.

Модели со свойствами самоподобия. Фрактальность

Впервые о самоподобии процессов, описывающих трафик в информационных сетях, указывается в работах [4, 5], в которых были приведены результаты экспериментального анализа трафика в пакетной сети, и показано, что распределение числа пакетов в единицу времени очень хорошо описывается самоподобным случайным процессом с параметром Харста в диапазоне 0,65-0,8 (затем при исследовании Internet – в [6] и многих других). Потоки в таких сетях, в отличие от пуассоновских, являются потоками с последствием. Более того, потоки Пальма и Эрланга также оказываются малоподходящими [1], если в потоке событий имеет место долгосрочная зависимость, что означает, что «число событий на заданном временном интервале может зависеть от числа событий, поступивших в отдаленные от него интервалы времени» или самоподобие. «Процессы, описывающие трафик в различных временных масштабах, шкалах, имеют близкие статистические свойства. При этом часто процесс носит пачечный характер».

Простейшими самоподобными процессами являются *фрактальное броуновское движение* и *фрактальный гауссовский шум*. Понятие *фрактал* было предложено Б. Мандельбротом в 1975 году для обозначения нерегулярных, но самоподобных структур, введено впервые в его работе «Фрактальная геометрия природы» (1977 г.) и нашло отражение в его последующих работах [7]. По определению, данному Б. Мандельбротом, «Фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому». Одним из основных свойств фракталов является самоподобие.

Определение 6. Случайный процесс $X = (X_t)_{t \geq 0}$ со значениями в $\mathbf{R}^d$ называется *автомодельным (самоподобным)*, или удовлетворяющим свойству (статистической) *автомодельности*, если $\forall a > 0$ можно найти такое $b > 0$, что

$$Law(X_{at}, t \geq 0) = Law(bX_t, t \geq 0). \quad (5)$$

Это означает, что изменение временной шкалы ($t \rightarrow at$) приводит к тому же результату, что и изменение фазовой ($x \rightarrow cx$). Если в (5) $\forall a > 0$ параметр $c = a^H$, то случайный процесс $X = (X_t)_{t \geq 0}$ будет называться *автомодельным процессом с показателем Харста H*, или процессом, удовлетворяющим свойству статистической автомодельности с показателем Харста H. Величина $D=1/H$ называется статистической фрактальной размерностью случайного процесса X .

Примерами автомодельных процессов являются процессы с независимыми приращениями: броуновское движение и строго α -устойчивый процесс Леви, а также процесс с зависимыми приращениями – *фрактальное броуновское движение*.

Фрактальное броуновское движение

Рассмотрим функцию

$$A(s, t) = |s|^{2H} + |t|^{2H} - |t - s|^{2H}, \quad s, t \in \mathbf{R}. \quad (6)$$

Эта функция при $0 < H \leq 1$ является неотрицательно определенной, и следовательно, на некотором вероятностном пространстве существует гауссовский процесс с нулевым средним и автоковариационной функцией $Cov(X_s, X_t) = 1/2 A(s, t)$, то есть

$$\begin{aligned} \mathbf{E} X_s, X_t &= 1/2 \left[|s|^{2H} + |t|^{2H} - |t - s|^{2H} \right] \Rightarrow \\ \mathbf{E} X_{as} X_{at} &= a^{2H} \mathbf{E} X_s X_t = \mathbf{E} (a^H X_s) (a^H X_t) \Rightarrow \\ Law(X_{as}, X_{at}) &= Law(a^H X_s, a^H X_t). \end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, фрактальное броуновское движение является автомодельным с показателем Харста H . Из (7) следует $\mathbf{E} |X_t - X_s|^2 = |t - s|^{2H}$.

Определение 7. Непрерывный гауссовский процесс $X = (X_t)_{t \geq 0}$ с нулевым средним и ковариационной функцией (7) называется (стандартным) фрактальным броуновским движением с показателем автомодельности Харста $0 < H \leq 1$ (для такого процесса часто используется обозначение $B_H = (B_H(t))_{t \geq 0}$).

Из определения 7 следует, что стандартное фрактальное броуновское движение удовлетворяет следующим свойствам:

1. $X_0 = 0$, $\mathbf{E} X_t = 0 \quad \forall t \geq 0$.
2. X имеет стационарные приращения: $Law(X_{t+s} - X_t) = Law(X_t)$, $s, t \geq 0$.
3. X является гауссовским процессом, $\mathbf{E} X_t^2 = |t|^{2H}$, $t \geq 0$, где $0 < H \leq 1$.
4. X имеет непрерывные траектории.

Из этих свойств также следует, что фрактальное броуновское движение обладает свойством автомодельности.

Верно и обратное [8]: если невырожденный процесс $X = (X_t)_{t \geq 0}$, $X_0 = 0$ имеет конечную дисперсию, является автомодельным процессом с показателем Харста H и имеет стандартные приращения, то $0 < H \leq 1$ и его автоковариационная функция $Cov(X_s, X_t) = \mathbf{E} X_1^2 A(s, t)$, где $A(s, t)$ задается формулой (6). Кроме того, в случае $0 < H \leq 1$ $\mathbf{E} X_t = 0$, а в случае $H = 1$ имеем $X_t = tX_1$ (Р-п.н.).

Заметим, что существуют также негауссовские процессы с указанными выше свойствами [8].

Если $H = 1/2$, то стандартное фрактальное броуновское движение является стандартным броуновским движением или винеровским процессом.

Поскольку для α -устойчивых процессов Леви показатель Харста $H=1/\alpha$, то оценивание H для таких процессов сводится к оцениванию параметра α . В [9] предложен метод генерации α -устойчивых случайных величин, необходимых для проведения имитационного эксперимента, в [10] предложен алгоритм оценивания параметра α . Возможный метод моделирования информационного потока в телекоммуникационной сети изложен в [11].

Имитационная модель и алгоритмы

Математическая модель для формирования нового класса исследуемых процессов строится на основе функции (6). При построении ковариационной матрицы случайного процесса по указанной формуле получаем симметричную, положительно определенную матрицу, из которой получим, по методу Холецкого [12], нижнетреугольную матрицу. Выполняя суммирование приращений, получаем случайный процесс, построение которого зависит от выбора распределения случайных величин.

Автором реализованы алгоритмы генерации основных видов распределений случайных величин, а также вариант оригинально разработанного алгоритма генерации α -устойчивых процессов Леви [13]. Пример функционирования программного обеспечения, иллюстрирующий работу указанного алгоритма, приведен на рис. 1.

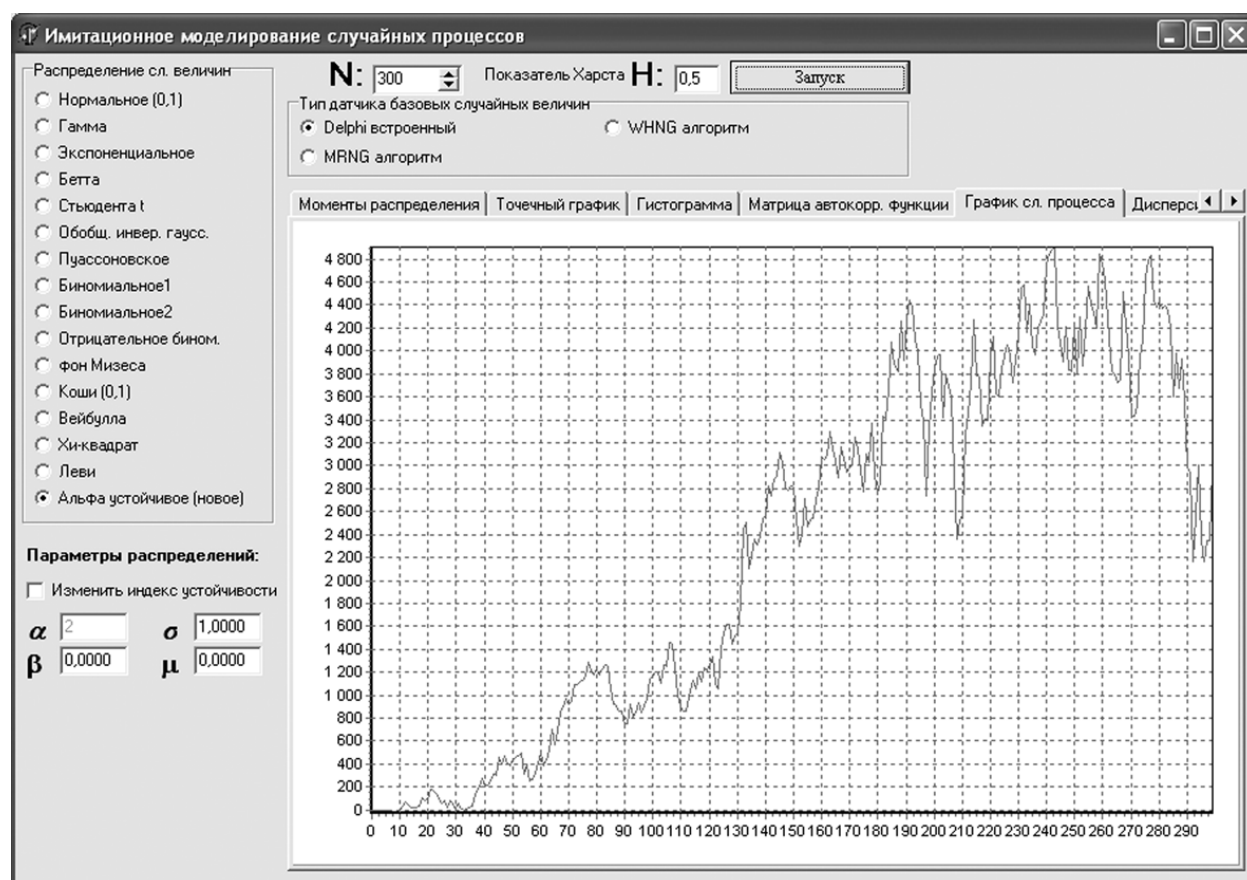


Рис. 1. Пример имитационной модели: график случайного процесса для α -устойчивого распределения случайных величин

Дальнейшим развитием программного обеспечения системы имитационного моделирования случайных процессов в информационных системах и сетях является введение в систему возможностей специализированного языка программирования, назначение которого аналогично известным коммерческим, как *Aptech GAUSS* [14], и некоммерческим, как *R-project* [15], программным комплексам статистического имитационного моделирования.

Литература

1. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
2. Ширяев А.Н. Основы стохастической финансовой математики. – Том 1. Факты. Модели. – М.: ФАЗИС, 1998. – 512 с.
3. Sato K. Levy Processes on the Euclidean Spaces. Preprint. Zürich: Institute of Mathematics, University of Zürich, 1995.
4. Leland W.E., Taqqu M.S., Willinger W., Wilson D.V. On the self-similar nature of Ethernet traffic // Proc. ACM/SIGCOMM'93, San Francisco, 1993, Computer Communications Review 23. – P. 183-193.
5. Leland W. E., Taqqu M. S., Willinger W., Wilson D. V. On the self-similar nature of Ethernet traffic // IEEE Transaction on networking. World Wide Web 12. – № 1. – 1994. – P. 2-15.
6. Crovella M. E., Bestavros A. Self-similarity in World Wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes // Proc. ACM/SIGMETRIC'96, May 96.
7. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы // Компьютинг в математике, физике, биологии / Пер. с англ. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002.
8. Samorodnitsky G., Taqqu M.S. Stable Non-Gaussian Random Processes. New York: Chapman & Hall, 1994.
9. Бутакова М. А. Об одном методе генерации α -устойчивых случайных величин / Обзорение прикладной и промышленной математики. – М.: ТВиП. – Т. 12. – Вып. 1. – 2005. – С. 316-317.
10. Бутакова М.А. Особенности применения оценки Хилла для определения индекса устойчивости в распределениях с «медленно-убывающим хвостом» / Обзорение прикладной и промышленной математики. – М.: ТВиП. – Т. 12. – Вып. 1. – 2005. – С. 317-318.
11. Бутакова М.А. Метод моделирования информационного потока в телекоммуникационной сети. Обзорение прикладной и промышленной математики. – М.: ТВиП. – Т. 12. – Вып. 4. – 2005. – С. 920-921.
12. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 432 с.
13. Бутакова М.А. Использование классов α -устойчивых автомодельных Леви процессов для моделирования информационных систем на железнодорожном транспорте // Современные технологии – железнодорожному транспорту и промышленности: Труды 44-й Всерос. науч.-практ. конф. ученых трансп. вузов, инж. работников и предст. академ. науки. – Хабаровск: Изд-во ДВУГПС, 2006. – Т. 2. – С. 204-209.
14. <http://www.aptech.com>
15. <http://www.r-project.org>

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

А.Л. Жизняков

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета

Предлагается модель полутонного изображения, построенная на основе свойств коэффициентов двумерного вейвлет-преобразования. Модель может служить основой для разработки новых алгоритмов и генерации ансамблей изображений с заданными свойствами.

Описание изображения на основе терминов того или иного теоретического подхода (фактически, создание его математической модели) является одним из важных этапов в разработке новых алгоритмов обработки изображений.

Любая из процедур обработки опирается на модель класса изображений – формализованное описание, выполненное с определенной степенью абстрагирования. Роль модели изображения в процессе извлечения информации состоит в обеспечении адекватного описания существенных свойств класса изображений, позволяющего дать конструктивную основу, для построения эффективных вычислительных процедур.

К настоящему времени разработано большое количество разнообразных моделей, которые используются при синтезе различных алгоритмов обработки. Наиболее часто применяют несколько основных подходов. Для разработки вейвлет-алгоритмов эти подходы могут быть описаны в терминах вейвлет-преобразования [1].

Предлагается подход к построению моделей полутонных изображений, при котором наборы детализирующих коэффициентов вейвлет-преобразования $w_{j,k}^{(i)}$, $vw_{j,k}^{(i)}$, $ww_{j,k}^{(i)}$ можно рассматривать как случайные двумерные некоррелированные поля, с нулевым средним [2]. Как показывает статистический анализ, хотя общая гистограмма всех коэффициентов вейвлет-преобразования является экспоненциальной ($p(\xi=k)=\exp(-\lambda k)$), гистограммы каждого отдельного шага преобразования являются симметричными, одномодальными и приближенно могут быть приняты за нормальные.

Исходя из этого, математическая модель полутонного изображения может быть представлена в виде

$$f(x, y) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (\xi_{1j,k}^{(i)} \Phi \Psi_{j,k}^{(i)}(x, y) + \xi_{2j,k}^{(i)} \Psi \Phi_{j,k}^{(i)}(x, y) + \xi_{3j,k}^{(i)} \Psi \Psi_{j,k}^{(i)}(x, y)),$$

где $\xi_1^{(i)}$, $\xi_2^{(i)}$, $\xi_3^{(i)}$ – случайные поля, с нормальным распределением, нулевым средним и дисперсиями, соответственно, равными дисперсиям $w_{j,k}^{(i)}$, $vw_{j,k}^{(i)}$, $ww_{j,k}^{(i)}$.

Несмотря на то, что для синтеза, на основе данной модели, используются однородные поля коэффициентов, полученные изображения явно неоднородны, что хорошо соответствует свойствам реальных изображений. При этом основные числовые статистические характеристики для моделируемого изображения и модели совпадают.

Альтернативным подходом к описанию изображения является его представление в виде совокупности областей, которые могут различаться по характеристикам. Разработка модели в рамках такого подхода заключается, во-первых, в описании пространственных признаков областей (размеров, взаимного расположения, формы границ и т.п.) и, во-вторых, в описании свойств поля внутри каждой области. Очевидно, что подобные модели являются наиболее подходящими для описания алгоритмов сегментации, выделения структурных элементов изображения и т.д. Главным их недостатком является высокая сложность: как правило, эти модели содержат большое число параметров, значения которых априори неизвестны и подлежат экспериментальной оценке.

Как показывает практика, во многих случаях реальные изображения могут быть описаны моделью случайного поля в виде суммы двух компонент [1]:

$$s(x, y) = s_1(x, y) + s_2(x, y),$$

где $s(x, y)$ – поле яркости; x, y – аргументы, определяющие плоскость изображения; $s_1(x, y)$ – медленно меняющееся поле двух переменных; $s_2(x, y)$ – стационарное поле (текстурная компонента).

Такая модель хорошо согласуется с вейвлет-разложением изображения, так как оно также может быть представлено в виде суммы двух компонент:

$$f(x, y) = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} v v_{j,k} \varphi \varphi(x, y) + \\ + \sum_{i=0}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (\xi_{1j,k}^{(i)} \varphi \psi_{j,k}^{(i)}(x, y) + \xi_{2j,k}^{(i)} \psi \varphi_{j,k}^{(i)}(x, y) + \xi_{3j,k}^{(i)} \psi \psi_{j,k}^{(i)}(x, y)).$$

В качестве кусочно-постоянной компоненты может использоваться случайное поле с заданными свойствами. При этом может быть получен ансамбль изображений со сходными статистическими характеристиками и близких по структуре.

Литература

1. Мала С. Вейвлеты в обработке сигналов. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
2. Жизняков А.Л., Вакунов Н.В. Вейвлет - преобразование в обработке и анализе изображений. – М.: ВНИИГеосистем, 2004. – 102 с.

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ПРОГОНКИ НА КЛАСТЕРЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Д.А. Зорина

Таганрогский государственный радиотехнический университет

Рассматриваются особенности практической реализации метода параллельной прогонки на основе принципа суперпозиции для трехточечных уравнений. Приводятся теоретические оценки и практические результаты по эффективности алгоритма.

Особенности адаптации широко известных численных алгоритмов к вычислениям на многопроцессорных ЭВМ до сих пор слабо освещены в литературе. Исключение составляют работы В.В. Воеводина [1] и некоторых других авторов. Основной причиной сложившейся ситуации была быстрая смена архитектуры многопроцессорных вычислительных систем (МВС). В настоящее время, в связи с приближением к физическим пределам быстродействия вычислительной и коммуникационной аппаратуры, ситуация стабилизировалась и появилась возможность сосредоточиться на исследовании алгоритмов и концепций параллельных вычислений.

В основу рассмотренной параллельной прогонки положен принцип суперпозиции решения линейных уравнений [2]. Каждый параллельный алгоритм оценивается по двум параметрам – ускорению S_p и эффективности E_p , которые определяются по формулам:

$$S_p = \frac{t_1}{t_p}, \quad E_p = \frac{S_p}{p} 100 \%,$$

где t_1 – время решения исходной задачи на одном процессоре; t_p – время решения исходной задачи по параллельному алгоритму на p процессорах.

При решении исходной задачи с помощью скалярного алгоритма прогонки приходится выполнить $Q_1 = C_1 N$ обобщенных арифметических действий. При использовании вышеупомянутого параллельного алгоритма производится $Q_p = 3C_2 \frac{N}{p} + 2C_1 p$ действий. Константы C_1, C_2 не зависят от N и p

и близки по величине ($C_2 / C_1 \sim 1.2$). То есть ускорение при $p \ll \sqrt{N}$ близко к $p/3$, а эффективность составляет 33 %. Данная оценка не учитывает накладные расходы, связанные со временем обменов между узлами кластера. В таблице приведены практически полученные результаты эффективности параллельной прогонки.

Показатели эффективности

N	p	E_p
100 000	10	0,02
	5	0,03
200 000	10	0,03
	5	0,36
300 000	10	0,04
	5	0,37
	3	0,39
500 000	10	0,06
	5	0,12
1 000 000	10	0,1
	5	0,19
2 500 000	10	0,2
	5	0,28
3 000 000	10	0,22
	5	0,28
	3	0,33

Также был проведен анализ чувствительности решения параллельного алгоритма к возмущениям правых частей, который показал неухудшение точности алгоритма прогонки при переходе от последовательного варианта к параллельному.

Литература

1. Архитектура ЭВМ и численные методы: Сб. науч. трудов / Под ред. В.В. Воеводина. – М.: ОВМ АН СССР, 1983.
2. Коновалов А.Н. Введение в вычислительные методы линейной алгебры. – Новосибирск: ВО «Наука», Сибирская издательская фирма, 1993.

347936, г. Таганрог, ул. Инициативная, д. 80, кв. 14, т. 60-31-41,

e-mail: dashenka80@front.ru

УДК 658.512

КОНСТРУИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

М.Г. Хозяинова

Московский государственный технологический университет «Станкин»

Рассмотрены отдельные задачи конструирования математических моделей динамических систем в частотной области. Показано применение методов анализа и синтеза на примере конкретной динамической системы.

Разработан метод определения матриц импульсно-переходных функций (ИПФ) отдельных элементов динамических систем.

Методы анализа и синтеза широко применяются при математическом моделировании сложных динамических систем. В процессе анализа осуществляется разделение сложной многомерной системы на более простые, зачастую одномерные подсистемы, которые можно считать элементарными частями исходной динамической системы. На следующем этапе анализа производится исследование каждой из полученных простых подсистем в отдельности.

Синтез подразумевает под собой соединение элементарных подсистем таким образом, чтобы они образовали единое целое. Необходимо учитывать, что при декомпозиции исходной системы происходит потеря важных свойств системы как целого, которые восстанавливаются при ее правильном синтезе. Это уникальное свойство целостной системы – появление новых качеств, не присущих ни одному из элементов системы в отдельности, получило название эмерджентности системы. Следует отметить, что новые свойства возникают благодаря конкретным связям между элементами [1].

Рассмотрим процесс конструирования математической модели динамической системы в частотной области из отдельных элементов, обладающих определенным физическим смыслом, на примере плоской динамической системы.

Рассмотрим математическую модель консольной расточной борштанги с динамическим гасителем колебаний алмазно-расточного станка, описываемую системой дифференциальных уравнений (СДУ) второго порядка [2, 3]:

$$\begin{cases} m\ddot{y} + h\dot{y} + cy - h_1(\dot{y}_1 - \dot{y}) - c_1(y_1 - y) = x(t), \\ m_1\ddot{y}_1 + h_1(\dot{y}_1 - \dot{y}) + c_1(y_1 - y) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $y(t)$, $y_1(t)$ – вибрационные смещения от состояния статического равновесия основной системы и системы демпфера соответственно; $x(t)$ – внешнее возмущение.

Проведем анализ исходной СДУ (1), позволяющий разделить ее элементы на относящиеся непосредственно к рассматриваемой подсистеме и на внешнее возмущение данной подсистемы. Тогда СДУ (1) после проведенных преобразований будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} m\ddot{y} + (h + h_1)\dot{y} + (c + c_1)y = h_1\dot{y}_1 + c_1y_1 + x(t), \\ m_1\ddot{y}_1 + h_1\dot{y}_1 + c_1y_1 = h_1\dot{y} + c_1y. \end{cases} \quad (2)$$

Выполним декомпозицию системы таким образом, чтобы получить в результате следующие импульсно-переходные функции (ИПФ):

G_{yx} – ИПФ основной системы при воздействии на нее внешнего возмущения;

G_{y1} – ИПФ основной системы при возмущении ее динамическим гасителем;

G_{1y} – ИПФ динамического гасителя при возмущении его основной системой.

Тогда на основе имеющейся СДУ (2), в силу ее адекватного отражения взаимодействия элементов исследуемой системы, можно осуществить синтез рассматриваемой динамической системы на основе полученных ИПФ и построить соответствующую структурную схему (рис. 1):

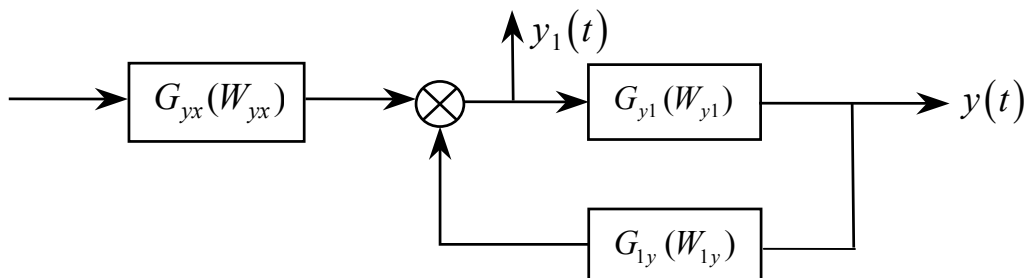


Рис. 1. Структурная схема исследуемой динамической системы

На основе имеющейся структурной схемы можно осуществить конструирование математической модели исследуемой динамической системы в частотной области на основе матриц частотных передаточных функций $W_{km}(s)$, для вычисления которых необходимо воспользоваться преобразованием Лапласа от найденных матриц импульсно-переходных функций $G_{km}(t)$, где $G_{km}(t)$ – матрица ИПФ исследуемого k -го элемента математической модели при тестировании его по m -му входу, $W_{km}(s)$ – матрица частотной передаточной функции (ЧПФ) рассматриваемого элемента.

Таким образом, одной из основных задач, возникающих при конструировании математических моделей, является определение матриц ИПФ элементарных подсистем рассматриваемой динамической системы. Чаще всего, математическая модель таких подсистем описывается матричным дифференциальным уравнением второго порядка с дополнительным преобразованием входного сигнала.

В [2] рассмотрена задача определения реакции многомерной линейной системы, математическая модель которой задается матричным дифференциальным уравнением такого вида. Применяя описанный в [2] общий алгоритм при условии, что в качестве входного воздействия необходимо применять δ – функцию при нулевых начальных условиях, можно определить матрицу ИПФ изучаемой подсистемы.

Рассмотрим математическую модель исследуемого элемента, описываемую матричным дифференциальным уравнением второго порядка:

$$MY'' + HY' + CY = DU' + FU \quad (4)$$

с векторами начальных условий $Y'(0) = Y'_0$ и $Y(0) = Y_0$, которая имеет m входов и n выходов и производит в любой момент времени преобразование входного воздействия $U(t)$ в реакцию $Y(t)$.

Используя технологию сведения матричного дифференциального уравнения вида (4) к интегральному уравнению, описанную в [2] и основанную на двукратном интегрировании исходного уравнения, а также используя в качестве входного воздействия δ – функцию при нулевых начальных условиях, получим уравнение для определения матриц ИПФ, приближенное решение которого на ЭВМ оказывается предпочтительным.

Таким образом, в соответствии с определенными в [4] зависимостями, можно осуществить конструирование математической модели изучаемой динамической системы в частотной области на основе матриц частотных передаточных функций.

Литература

1. Введение в математическое моделирование: Учеб. пособие / Под ред. П.В. Трусова. – М.: Логос, 2004.
2. Хозяинова М.Г. Моделирование многомерных линейных систем с дополнительным преобразованием входного сигнала // Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2005.
3. Анатольев А.В., Попов В.И. К теории динамического гасителя колебаний // Динамика и прочность машин: Сб. науч. тр. Вып. 12. – Харьков: Изд-во Харьков. гос. ун-та, 1971. – С. 119-123.
4. Хозяинова М.Г. Конструирование моделей динамических систем в частотной области на основе применения преобразования Лапласа: Сб. докл. VII науч. конф. МГТУ «СТАНКИН» и «Учебно-научного центра математического моделирования МГТУ «СТАНКИН» – ИММ РАН».

e-mail: maria_m@freemail.ru

УДК 531

О ПРОЦЕССАХ САМОИНДУКЦИИ И СВОЙСТВАХ ИНДУЦИРОВАННЫХ СТРУКТУР ПРИ ТРЕНИИ ТЕЛ

А.В. Бородай

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Предложена схема механизма действия статической составляющей процессов самоиндукции в полях поверхностных сил и рассмотрены вопросы, касающиеся структуры и свойств трибосистем, обусловленных указанной составляющей процессов.

Анализ и обобщение данных, касающихся структуры и свойств трибосистем и фрикционных связей, позволяют заключить, что формирование и функционирование связей и систем неразрывно связано с дискретностью и фокусировкой (туннелированием) действия полей сил вдоль некоторых направлений, нормальных поверхности [1]. Вследствие этого, рассмотрение причин, механизмов действия и физической сущности индукционных и туннельных процессов в зоне контакта тел и свободной поверхности является одной из наиболее важных теоретических и прикладных задач.

В работах [1, 2], посвященных формированию поверхностных структур и кинетике трибосистем, показано, что помимо эффекта действия сил, обусловленного присутствием конденсированной фазы, формирование поверхностных структур обусловлено на микроуровне явлениями взаимного внедрения шероховатостей поверхностей, а в меньших объемах среды – перекрытием электронных орбиталей и локальных зон повышения плотности (рис. 1). При этом отмечается, что в окрестности перекрытия указанных зон

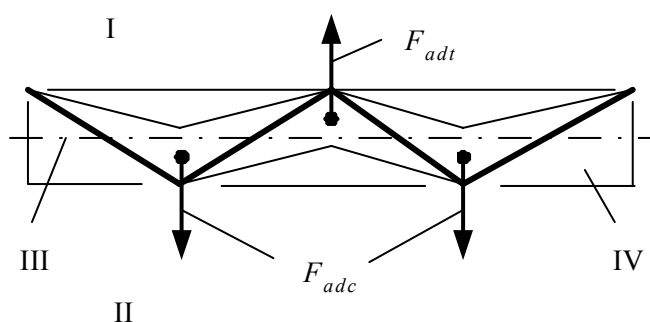


Рис. 1. Схема взаимодействия элементов поверхностей: I – тело; II – контртело; III – поверхность трения; IV – зона реализации процессов самоиндукции

должно иметь место чрезвычайно интенсивное перераспределение вещества и заряда в направлении, нормальном поверхности, происходящее под действием полей сил F_{adt} и F_{adc} конденсированной фазы, и соответственно, возникать мощное вторичное наведенное поле поверхностных сил и электрическое поле в указанных локальных областях пространства, обусловленное этим перераспределением (на рисунке не показано).

Можно предположить, что возникновение указанных наведенных силовых полей, представляющее собой явление особой статической самоиндукции, и является основной причиной формирования первичных структур, в том числе первичных вихревых ячеек, химических и фрикционных связей, а также, вследствие присутствия и функционирования указанных структур, – причиной формирования вещественных объектов и систем. При этом можно предположить, что аналогично динамическим процессам самоиндукции в электромагнитных полях, вектор напряженности индуцированных силовых полей противоположен вектору исходных полей электрических, потенциальных и поверхностных сил.

В пользу справедливости предположения об особой роли процессов самоиндукции при реализации поверхностных и контактных процессов свидетельствует ряд фактов, в том числе явление повышения триботехнических

параметров сопряжений в условиях образования оксидов-непроводников на рабочих поверхностях трущихся пар (аналогия возрастания эффективности действия электрического конденсатора при повышении выраженности диэлектрических свойств среды между его обкладками). В подтверждение указанного предположения может быть также приведена прямая зависимость между нормальной нагрузкой на фрикционное сопряжение и силой трения, поскольку при увеличении нагрузки степень взаимного внедрения элементов поверхностей должна увеличиваться, напряженность индуцированного поля уменьшаться, а эффективность его действия, соответственно, убывать.

Подтверждением справедливости предположения о роли процессов самоиндукции в контактных процессах и, одновременно, объяснением эффектов фрикционного и контактного взаимодействия являются также формирование периферии вихревых ячеек и зависимость скорости тангенциального перемещения фрикционной связи V_3 , определяемой как

$$V_3 = (V_t + V_c)/2,$$

где V_t и V_c – соответственно скорости тангенциального движения тела и контртела [1, 2]. Эффект формирования периферии ячеек может быть объяснен меньшей напряженностью индуцированного поля в центре площадки фактического контакта в сравнении с ее периферией, что обусловлено меньшим зазором между уплотненными частями взаимно внедрившихся элементов на периферии площадки в сравнении с центральными участками зон внедрения. Наличие жесткой зависимости между скоростями тел и связей может быть объяснено существенной нелинейностью системы, являющейся следствием значительной неравновесности деформации зон внедрения и чрезвычайной напряженности индуцированного силового поля.

Выводы

1. Протекание всеобщего естественного процесса самоорганизации обеспечивается действием вторичных силовых полей, возникающих вследствие процессов контактной самоиндукции.
2. Действие вторичных полей в организованных макросистемах осуществляется посредством последовательного линейного суммирования зон самоиндукции (формирования стопы зон индуцированных силовых полей).
3. Кинематическая жесткость индуцированных структур, характеризующая трибосистему, обусловлена существенной неравновесностью и нелинейностью фрикционного взаимодействия, обеспечиваемой присутствием зон статической самоиндукции.

Литература

1. Бородай А.В. О трении тел как индукционным и туннельном процессе // Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике: Материалы III Междунар. науч.-практ. конф., 5 нояб. 2004 г., г. Новочеркасск / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2004. – С. 8-16.

2. Бородай А.В. О механизме взаимодействий и законах сохранения в трибосистемах // Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и механике: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., 8 нояб. 2002 г., г. Новочеркасск / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ООО НПО «ТЕМП», 2002. – Ч. 1. – С. 10-17.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т. 55-412, e-mail: klmno@yandex.ru

УДК 519.85:697

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

С.А. Дьяконница, Д.С. Семенов, П.С. Семенов, А.С. Панов

Братский государственный университет

Цифровое моделирование систем теплоснабжения предоставляет возможность проводить качественный и гибкий анализ количественных закономерностей технологических объектов со сложной структурой, результаты которого позволяют обеспечить требуемые параметры работы систем и достичь оптимального расхода тепловой энергии, что необходимо при современных изменениях и тенденциях к энергосбережению.

При эффективном и оперативном управлении современными автоматизированными процессами теплоснабжения, а также при их изучении, возникают задачи моделирования систем, требующие исследования сложных количественных закономерностей функционирования технологических объектов. При этом математические модели необходимо разрабатывать и реализовывать на базе теории современных методов управления из условий выбора постановки задач в динамических и статических режимах с позиций требований к точности и адаптивности моделей для различных структур систем теплоснабжения. Причем особенностью современных систем теплоснабжения являются многоконтурность и многосвязность.

В общем виде динамическая модель многосвязной системы управления может быть представлена (рис. 1) как взаимосвязь множества входных x_m и выходных y_n величин

$$Y = WX, \quad (1)$$

где X – вектор входных величин $1 \times m$, Y – вектор выходных величин $1 \times n$, W – матрица прямых и взаимных передаточных функций $n \times m$

$$W = \begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1m} \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ W_{n1} & W_{n2} & \cdots & W_{nm} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

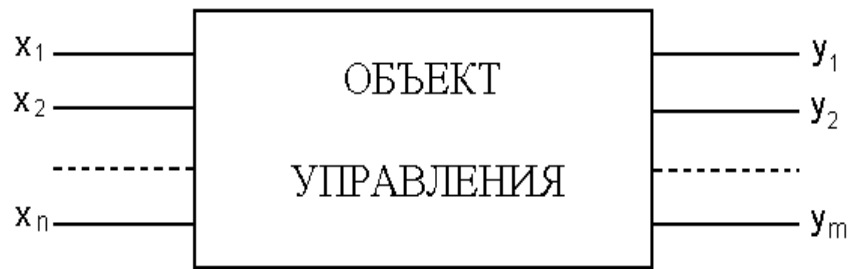


Рис. 1. Математическая модель системы теплоснабжения

С учетом контуров регулирования математическая модель многосвязной системы будет выглядеть следующим образом:

$$(E + W\Phi)Y = WU + (W\Phi)Y_{\text{зад}}, \quad (3)$$

где E – единичная матрица, Φ – матрица передаточных функций регуляторов $m \times n$, U – матрица управляющих воздействий $1 \times m$.

Математическое цифровое моделирование представленной многосвязной системы (рис. 2) сводится к последовательному преобразованию сигналов по структурной схеме, что не вызывает принципиальных затруднений, если известны зависимости отдельных элементов, входящих в матрицы передаточных функций объекта и регуляторов.

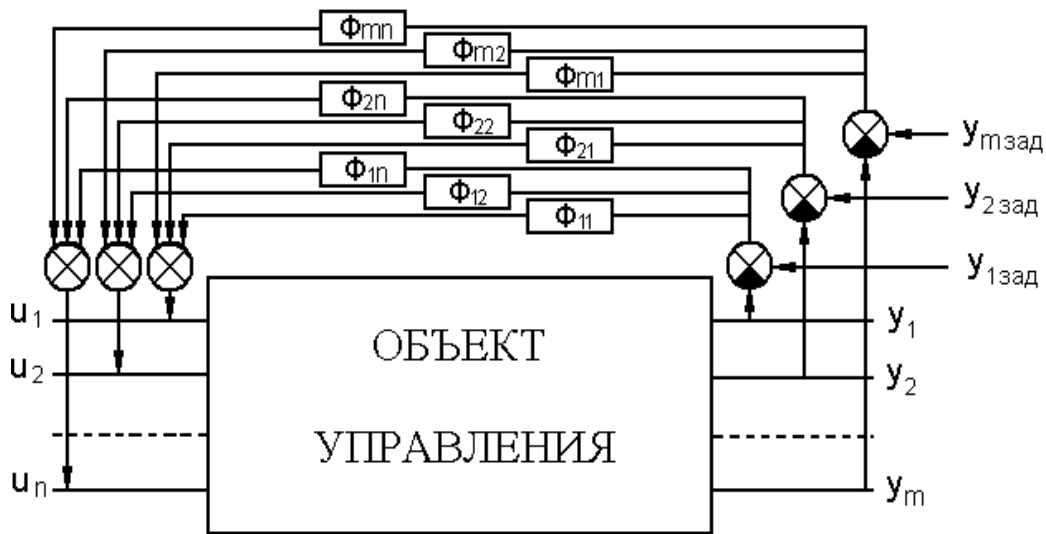


Рис. 2. Математическая модель системы теплоснабжения с учетом регулирования

Зависимости между входными и выходными величинами описываются или дифференциальными уравнениями

$$\sum_{i=0}^n a_i y^{(i)}(t) = \sum_{j=0}^m b_j x^{(j)}(t), \quad (4)$$

или эквивалентными им передаточными функциями

$$W(p) = \frac{\sum_{j=0}^m b_j p^j}{\sum_{i=0}^n a_i p^i} = \frac{Y(p)}{X(p)}. \quad (5)$$

Моделирование систем, описываемых соотношениями (4) и (5), основываются либо на прямом алгоритме цифрового моделирования с помощью уравнения свертки [1], либо на спектральном методе цифрового моделирования с применением дискретного преобразования Фурье (ДПФ) [2], либо на рекуррентном цифровом моделировании, базирующемся на разностных уравнениях [3].

Главный недостаток методов дискретной свертки и ДПФ – необходимость иметь полную выборку входного сигнала для получения хотя бы одного отсчета выходного сигнала, что затруднительно, так как время обработки сигнала, как правило, ограничено. Применение разностных рекуррентных алгоритмов цифрового моделирования и методов Z-преобразования позволяет строить алгоритмы с минимальной задержкой на обработку входной информации.

Основной подход рекуррентного алгоритма цифрового моделирования заключается в получении дискретных аналогов непрерывных передаточных функций, которые при применении свойства сдвига Z-преобразования будут служить для построения разностного уравнения.

Одним из методов перехода к дискретному виду является билинейное преобразование [4]

$$p = \frac{2}{\Delta T} \frac{z-1}{z+1}, \quad (6)$$

которое позволяет с помощью замены оператора Лапласа в непрерывной передаточной функции получить дискретный эквивалент системы, поведение которой можно описать рекуррентным разностным соотношением.

Одной из проблем цифрового моделирования систем управления по структурным схемам является наличие обратной связи (рис. 3), при использовании которой рекуррентные зависимости будут иметь следующий вид:

$$x_{\text{пер}}(i\Delta T) = y_{\text{зад}}(i\Delta T) - y(i\Delta T), \quad (7)$$

$$y_{\text{пер}}(i\Delta T) = y_{\text{пер}}((i-1)\Delta T) - s_0 x_{\text{пер}}(i\Delta T) - s_1 x_{\text{пер}}((i-1)\Delta T) - s_2 x_{\text{пер}}((i-1)\Delta T), \quad (8)$$

где s_0, s_1, s_2 – дискретные коэффициенты настройки регулятора

$$x(i\Delta T) = u(i\Delta T) + y_{\text{пер}}(i\Delta T), \quad (9)$$

$$y(i\Delta T) = \frac{1}{\hat{b}_n} \left(\left(\sum_{k=0}^m \hat{a}_k x((i-n+k)\Delta T) \right) - \sum_{k=0}^{n-1} (\hat{b}_k y((i-n+k)\Delta T) \right), \quad (10)$$

где $\hat{a}_k, \hat{b}_k$ – параметры дискретного эквивалента передаточной функции (5) непрерывной системы после использования одного из методов Z-преобразования.

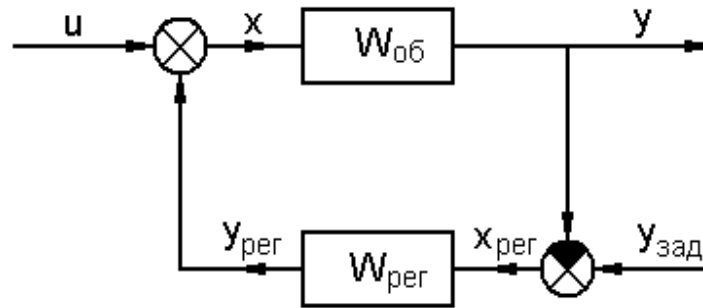


Рис. 3. Система управления с обратной связью

В этом случае возникает алгебраическая петля, которая заключается в том, что вычисление выходного сигнала объекта $y(i\Delta T)$ в текущий момент времени $i\Delta T$ требует информацию о выходном сигнале регулятора $y_{\text{рег}}(i\Delta T)$, вычисление которого, в свою очередь, требует значение выходного сигнала объекта $y(i\Delta T)$. Для развязки алгебраической петли можно использовать подход в задерживании выходного сигнала регулятора на один отсчет, равный интервалу дискретизации ΔT . Тогда соотношение (9) будет соответствовать выражению:

$$x(i\Delta T) = u(i\Delta T) + y_{\text{рег}}((i-1)\Delta T).$$

В качестве примера рассмотрим один из уровней технологических процессов системы теплоснабжения – систему отопления индивидуальных тепловых пунктов, структурная схема которой представлена на рис. 4.

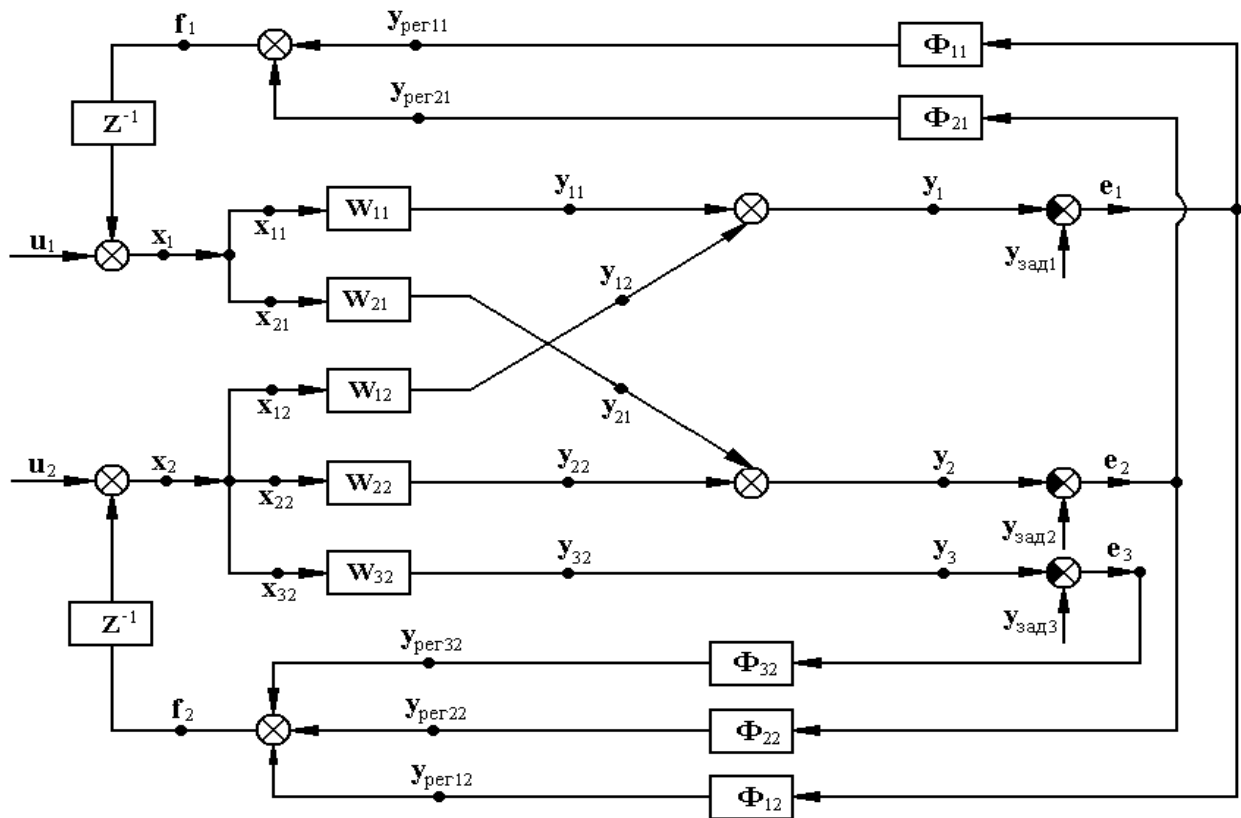


Рис. 4. Структурная схема системы отопления

Для упрощения записи уравнение (10) в дальнейшем будем представлять в виде

$$y(i\Delta T) = F(x(i\Delta T)),$$

где F – разностное уравнение.

С учетом вышесказанного алгоритм цифрового моделирования данной структурной схемы будет следующим:

1. На основе априорной информации выбираем необходимое время моделирования t и интервал дискретизации ΔT . Чем меньше время дискретизации, тем точнее будет происходить процесс моделирования систем. Количество отсчетов N определяется из соотношения

$$N = \frac{t}{\Delta T}.$$

2. Для текущего момента времени $i\Delta T$ ($i=0 \dots N-1$) вычисляем рассогласование $e_{\text{зад}j}$ ($j=1,2,3$) требуемого выходного сигнала $y_{\text{зад}j}$, которое, как правило, является постоянным значением на протяжении всего процесса моделирования

$$e_{\text{зад}j}(i\Delta T) = y_{\text{зад}j}(i\Delta T) - y_j(i\Delta T).$$

3. Далее находим выходные значения регуляторов $y_{\text{рег}jk}$ с использованием выражения (8)

$$y_{\text{рег}jk}(i\Delta T) = F_{\Phi_{jk}}[e_j(i\Delta T)], \quad k = 1, 2.$$

4. Рассчитываем суммарные управляющие сигналы f_1 и f_2 , как

$$f_1(i\Delta T) = y_{\text{рег}11}(i\Delta T) + y_{\text{рег}21}(i\Delta T),$$

$$f_2(i\Delta T) = y_{\text{рег}12}(i\Delta T) + y_{\text{рег}22}(i\Delta T) + y_{\text{рег}32}(i\Delta T).$$

5. Определяем выходные сигналы системы x_k

$$x_k(i\Delta T) = u_k(i\Delta T) + y_{\text{рег}k}((i-1)\Delta T).$$

6. Вычисляем выходные сигналы объекта управления y_j по разностным рекуррентным уравнениям

$$y_j(i\Delta T) = \sum_k F_{\Phi_{jk}}[x_k(i\Delta T)].$$

7. Переходим на следующую итерацию процесса моделирования, увеличивая текущее время на значение, равное интервалу дискретизации.

8. Повторяем этапы (1)-(7) до тех пор, пока не будет произведен весь процесс моделирования.

При использовании нулевых начальных условий все параметры системы имеют нулевые значения в отрицательных отсчетах времени.

Таким образом, разработанный алгоритм цифрового моделирования позволит проводить более качественный и гибкий анализ количественных

закономерностей систем теплоснабжения в целом, а также подсистем, входящих в нее.

Литература

1. Гольденберг Л.М. и др. Цифровая обработка сигналов: Справочник. – М.: Радио и связь, 1985. – 312 с.
2. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. – М.: Мир, 1982. – 428 с.
3. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем. – М.: Физматиздат, 1963. – 966 с.
4. Глинченко А.С. Цифровая обработка сигналов: Учеб. пособие. В 2 ч. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001. – 383 с.

665709, г. Братск, ул. Наймушина, 38-а, кв. 33, т. 37-60-64,
e-mail: semenovds1981@mail.ru

УДК 697.34

ПОДХОД К ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Е.В. Гойтина

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Рассмотрена методика идентификации математических моделей тепловых сетей, основанная на использовании обобщенной математической модели.

Обеспечение точности расчетов тепловых сетей является важной и актуальной задачей. Одной из причин, препятствующих получению точных результатов расчетов режимов тепловых сетей, является задание неадекватных входных данных для расчета, в частности, гидравлических сопротивлений участков сети. Значения сопротивлений участков в процессе эксплуатации тепловых сетей претерпевают значительные изменения, существенно отклоняются от проектных данных и фактически являются неизвестными величинами. Обычно при расчете тепловых сетей для расчета гидравлических сопротивлений участков используются нормативные значения коэффициентов эквивалентной шероховатости, которые более всего подходят для новых участков. Это сказывается на точности расчетов сети, поскольку происходит значительное отклонение рассчитанных параметров режимов от фактических.

В связи с этим возникает задача идентификации математических моделей тепловых сетей путем использования экспериментальных значений расходов и напоров сети. Один из подходов к данной проблеме может заключаться в использовании обобщенной математической модели тепловой сети [1], представленной на рис. 1.

Идентификация неизвестных параметров математической модели осуществляется на основе статистических наблюдений значений напоров H_{Π}^* и расходов G_{Π}^* потребителей, напора источника $H_{И0}$, а также матриц связей A, A^*, B, B^* .

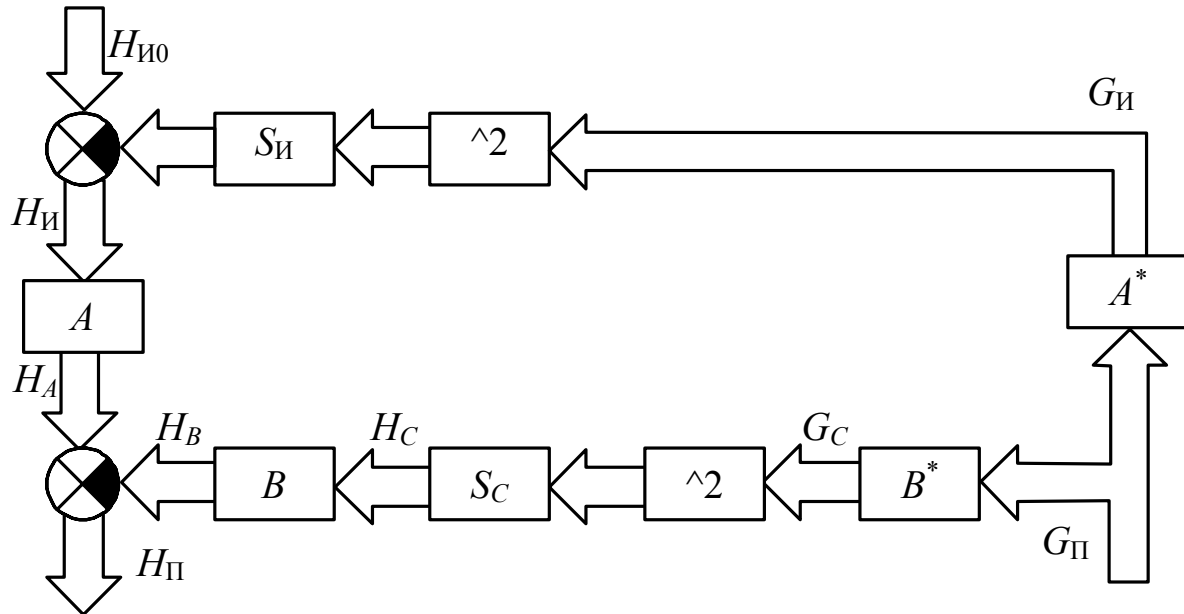


Рис. 1. Расчетная модель тепловой сети:

$S_{И}$ – внутренние сопротивления источников; S_C – гидравлические сопротивления участков сети; Y_{Π} – гидравлические проводимости потребителей; $H_{И0}$ – напоры источников, когда через них идет нулевой поток; $H_{И}$, H_C , H_{Π} – напоры соответственно источников, участков сети и потребителей; $G_{И}$, G_C , G_{Π} – расходы соответственно источников, участков сети и потребителей; A, A^*, B, B^* – матрицы связей, которые задают топологию сети

Пусть m – число потребителей, n – число участков тепловой сети. По полученной статистической информации формируются функции невязки Ψ выходов модели (H_{Π}) и объекта (H_{Π}^*). В данном случае можно принять:

$$\Psi(t, S_c) = \sum_{i=1}^m \left[H_{\Pi i}^*(t) - H_{\Pi i}(t, S_c) \right]^2.$$

Здесь через $H_{\Pi i}^*(t)$ обозначены измеренные значения напоров потребителей, соответствующие расходам потребителей G_{Π}^* ; а через $H_{\Pi i}(t, S_c)$ – расчетные значения напоров потребителей, которые вычисляются по расчетной модели тепловой сети, представленной на рис.1. Далее задача параметрической идентификации сводится к задаче поиска минимума целевого функционала вида:

$$J(S_c) = \sum_{k=1}^N \Psi(t_k, S_c) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Таким образом, задача идентификации может быть сведена к задаче минимизации, при которой минимизируется сумма значений функции невязки

на конечном множестве точек t_k . Ставится задача определить такие коэффициенты гидравлических сопротивлений участков сети S_{ci} , которые бы сводили целевую функцию (1) к минимуму.

Подставляя выражения для $H_{\Pi i}^*$ и $H_{\Pi i}$ в (1), получаем:

$$J(S_c) = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^m \left(a_{i,k} - \sum_{j=1}^n b_{i,j,k} S_{cj} \right)^2 \rightarrow \min ,$$

где

$$a_{i,k} = H_{Ai,k} - H_{\Pi i,k}^* ;$$

$$b_{ij,k} = b_{ij} \cdot \left(\sum_{i=1}^m b_{i,j} G_{\Pi i,k}^* \right).$$

Для решения поставленной задачи оптимизации может быть использован метод покоординатного спуска [2]. Метод имеет нулевой порядок, т.е. не требует включения в вычислительную систему информации о производных для минимизируемого функционала.

В качестве примера на рис. 2 приведена расчетная схема участка тепловой сети промышленного района коксохимического производства (КХП) ОАО «ММК» (г. Магнитогорск).

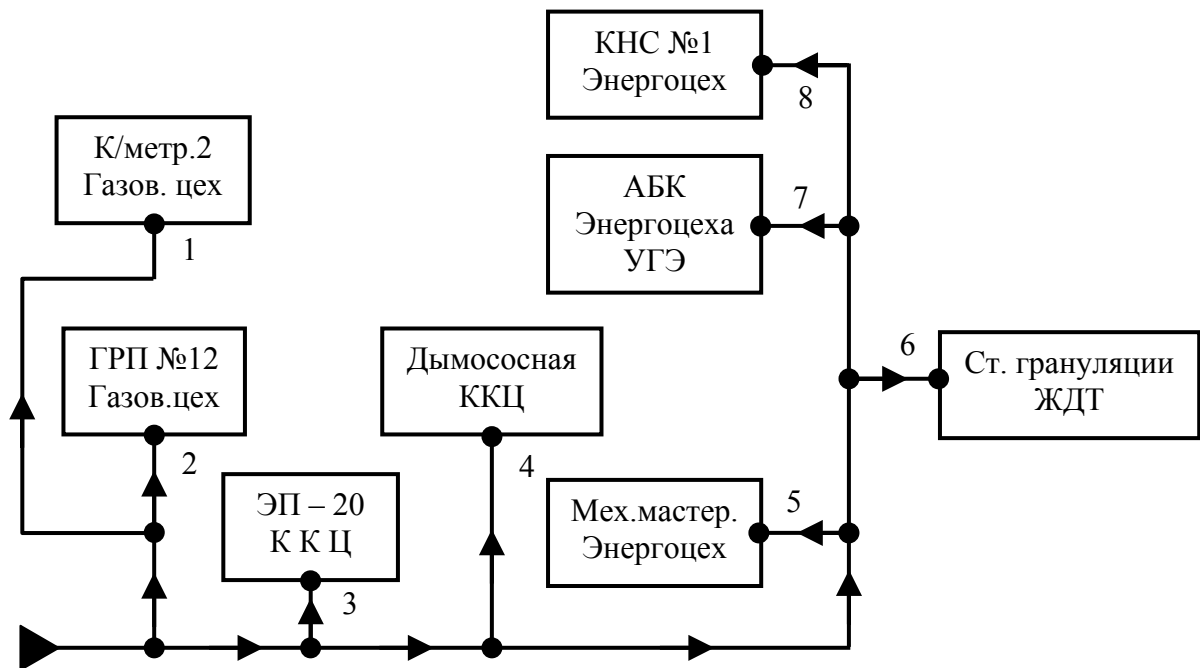


Рис. 2. Расчетная схема участка тепловой сети КХП ОАО «ММК»

Сопоставление расчетных данных параметров напоров потребителей $H_{\Pi i}$, полученных по результатам моделирования, с данными, полученными в результате специально проведенных замеров $H_{\Pi i}^*$, показало достаточное для практического использования совпадение результатов (таблица).

**Сравнение результатов моделирования гидравлического режима
по идентифицированной модели с данными замеров**

Замеренные значения H_{Pi}^* , м	Рассчитанные значения H_{Pi} , м	Погрешность, %
473.4801	473.3916	0.0187
472.9212	472.8439	0.0164
480.9288	480.8952	0.0070
468.0527	468.0160	0.0078
480.2800	480.3347	-0.0114
480.0306	480.0836	-0.0110
480.1149	480.1859	-0.0148
479.0249	479.0526	-0.0058

Полученные результаты свидетельствуют о возможности практического использования предложенного подхода в расчетах тепловых сетей.

Литература

1. Ельфи́мовская Е.В., Казаринов Л.С. Алгоритм гидравлического расчета тепловой сети по динамической модели // Энергосбережение на промышленных предприятиях: Материалы 2-й Междунар. науч.-техн. конф. – Магнитогорск: Изд-во «Дом печати», 2000. – С. 195-199.
2. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации в теории управления. – СПб.: Питер, 2004. – 256 с.

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 87, к. 711, т. (351)267-90-11, e-mail: goytina@list.ru

УДК 519.688

ЛОКАЛЬНО-ДВУМЕРНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СО СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ И НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

А.И. Сухинов, М.Н. Левченко

Таганрогский государственный радиотехнический университет

Рассматривается применение локально-двумерных схем расщепления для решения обобщенной постановки задачи (с разрывным коэффициентом температуропроводности) о распределении температуры в уплотнительном элементе котлоагрегата, который может иметь неоднородности в местах сварных соединений с трубами (пакетом труб), а также при отличии тепловых свойств материала труб и уплотнительных элементов с граничными условиями первого-третьего родов.

Для решения многомерных параболических и гиперболических уравнений в произвольных областях весьма плодотворным является метод суммарной аппроксимации [1]. Построение экономичных аддитивных разностных схем стало возможным в результате замены многомерной дифференциальной задачи последовательностью дифференциальных задач меньшей размерности и перехода от понятия аппроксимации в классическом смысле к более общему понятию суммарной аппроксимации. До сих пор конструирование аддитивных схем подразумевало, что основным методом решения получающихся систем разностных уравнений является один из вариантов прогонки. Отсюда вытекала необходимость замены многомерной задачи цепочкой одномерных дифференциальных задач, каждая из которых аппроксимировалась системой трехточечных разностных уравнений – локально-одномерной схемой (ЛОС). Однако указанный переход приводит к тому, что наряду с погрешностью разностной аппроксимации появляется погрешность, обусловленная заменой многомерной дифференциальной задачи цепочкой одномерных задач.

Повышение технико-экономических показателей и надежности котельных агрегатов большой мощности требует прецизионных расчетов распределения температуры в конструктивных элементах, имеющих сложную геометрию и содержащих соединения материалов, обладающих различными коэффициентами теплопроводности (температуропроводности), например, сталей различных марок, сварных швов и т.д. Не исключено также наличие дефектов в местах соединения отдельных элементов – пустот или зашлакованных участков, которые могут располагаться внутри шва. Математические постановки таких задач сводятся к начально-краевым задачам для уравнений параболического типа в пространстве трех измерений, с разрывными коэффициентами, которые приводят к обобщенным постановкам данных задач (в классе обобщенных функций) [2].

Для построения экономичных алгоритмов решения многомерных задач математической физики, к которым относятся и пространственно-трехмерные задачи теплового расчета конструкций, используются схемы расщепления, в частности ЛОС. Применение ЛОС для таких задач наталкивается на трудности, связанные с существенным понижением точности этих схем для задач с разрывными коэффициентами, особенно для ячеек сетки, прилегающих к поверхностям разрыва.

С одной стороны, именно эти части конструкций испытывают наибольшие термические и механические нагрузки и именно для них важно знать реальное распределение температуры. Переход к двумерным схемам расщепления [3], которые во многих случаях позволяют использовать быстрые прямые методы (циклическую редукцию, методы разложения по базису в комбинации с быстрым преобразованием Фурье – Фурье алгоритм и другие)

для решения двумерных эллиптических сеточных уравнений на каждом временном слое с затратами арифметических операций порядка $O(N \ln N)$, где N – общее число узлов сетки. С другой стороны, в случае, если поверхности разрыва, которые могут быть криволинейными, являются цилиндрическими поверхностями с образующей параллельной, соответствующей координатной оси, то построение соответствующей двумерно-одномерной схемы расщепления позволяет добиться той же точности, что и для схем полной аппроксимации (без расщепления).

Авторами рассмотрено применение локально-двумерных схем расщепления для решения обобщенной постановки задачи (с разрывным коэффициентом температуропроводности) о распределении температуры в уплотнительном элементе котлоагрегата, который может иметь неоднородности в местах сварных соединений с трубами (пакетом труб), а также при отличии тепловых свойств материала труб и уплотнительных элементов с граничными условиями первого-третьего родов. По результатам численных экспериментов для случаев использования ЛОС и ЛДС установлено, что применение последних предпочтительнее для задач данного класса.

Литература

1. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Аддитивные схемы для задач математической физики. – М., 2000.
2. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1977.
3. Сухинов А.И. Двумерные схемы расщепления и некоторые их приложения. – М.: МАКС Пресс; МГУ, 2005. – 408 с.

346970, Ростовская область, п. Матвеев Курган, ул. Новостройка, 36, т. (86341) 3-14-71,
e-mail: lev72@fromru.com

УДК 697.34

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВОГО ПУНКТА ЗДАНИЯ

А.Г. Копков, Д.А. Шнайдер

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Рассмотрено построение статической теплогидравлической модели теплового пункта здания. Проведены идентификация параметров и моделирование на примере жилого дома.

В настоящее время одним из ключевых подходов к энергосбережению в области теплоснабжения является автоматическое регулирование отопления и горячего водоснабжения (ГВС) зданий. При этом практическая реализация подобных систем встречает ряд сложностей, связанных с расчетом и выбором оборудования систем автоматизации. Одним из путей выхода из данной ситуации является разработка имитационных моделей режимов работы

тепловых пунктов, позволяющих производить проверку правильности выбора оборудования на стадии проектирования.

Рассмотрим построение статической теплогидравлической модели автоматизированного индивидуального теплового пункта (АИТП) здания на примере 9-этажного 144-квартирного жилого дома. Упрощенная схема АИТП приведена на рис. 1. Как видно из данного рисунка, схема АИТП включает следующие основные структурные элементы: отопительные системы уличного и дворового фасадов, теплообменники системы ГВС, регулирующие и обратные клапаны, насосы.

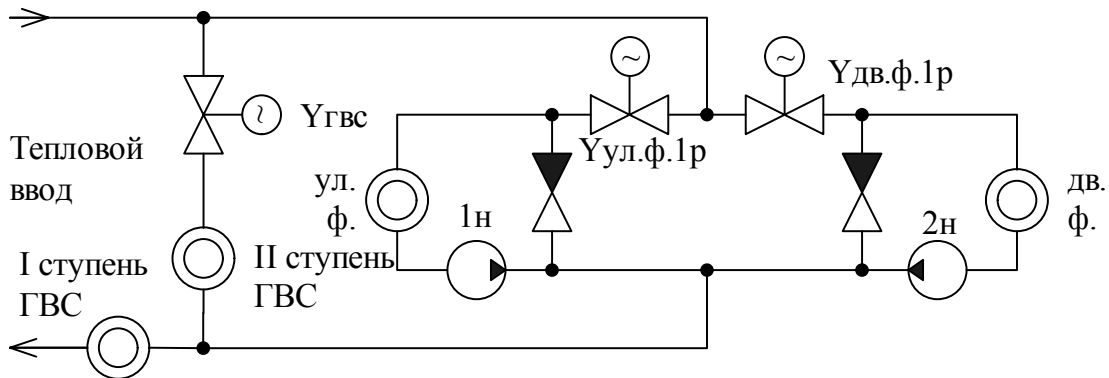


Рис. 1. Упрощенная схема АИТП:

$Y_{ул.ф.1р}$, $Y_{дв.ф.1р}$ – степень открытия регулирующего клапана уличного и дворового фасадов соответственно; $Y_{ГВС}$ – степень открытия клапана ГВС; 1н, 2н – насосы соответствующих фасадов; ул. ф., дв. ф. – уличный и дворовый фасады соответственно

Рассмотрим математические модели указанных выше структурных элементов.

Клапаны. Клапан (запорный или регулирующий) представляет собой регулируемое гидравлическое сопротивление с нулевой тепловой нагрузкой. Падение давления на клапане $\Delta P_{кл}$, с учетом направления потока теплоносителя через него, рассчитывается по формуле [1]:

$$\Delta P_{кл} = s G^2 \text{sign } G, \quad (1)$$

где s – гидравлическое сопротивление клапана; G – расход воды.

Гидравлическое сопротивление s определяется пропускной способностью клапана K_{VS} , равной расходу через клапан при $\Delta P_{кл} = 1$ атм. Значение K_{VS} зависит от степени закрытия клапана φ и определяется заводом-изготовителем. Для обратного клапана K_{VS} главным образом зависит от направления потока теплоносителя.

Отсюда система уравнений модели клапана будет иметь вид:

$$\begin{cases} s = \frac{K_{VS}^2(\varphi)}{\Delta P_{кл}}; P_{вых} = P_{вх} - s G_{вх}^2 \text{sign } G; \\ G_{вых} = G_{вх}; T_{вых} = T_{вх}. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь и далее $P_{\text{вых}}$, $G_{\text{вых}}$, $T_{\text{вых}}$, $P_{\text{вх}}$, $G_{\text{вх}}$, $T_{\text{вх}}$ – давление, расход и температура теплоносителя на входе и выходе структурного элемента соответственно.

Отопительная система и теплообменники. В отопительной системе и теплообменниках ГВС осуществляется теплопередача от потока теплоносителя к внешней среде (внутренний воздух помещений для систем отопления или холодная вода для теплообменников). Как правило, отопительная система характеризуется тепловой нагрузкой Q , которая может быть вычислена по формуле

$$Q = cG(T_{\text{вх}} - T_{\text{вых}}) \Leftrightarrow T_{\text{вых}} = T_{\text{вх}} - Q/(cG),$$

где c – удельная теплоемкость теплоносителя.

Падение давления $\Delta P_{\text{от}}$ на системе отопления может быть вычислено по формуле (1) с заменой $\Delta P_{\text{кл}}$ на $\Delta P_{\text{от}}$.

Таким образом, система уравнений, описывающих отдельную отопительную систему или теплообменник, имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \Delta P = sG_{\text{вх}}^2 \Leftrightarrow P_{\text{вых}} - P_{\text{вх}} = sG_{\text{вх}}^2 \Leftrightarrow P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}} + sG_{\text{вх}}^2; \\ G_{\text{вых}} = G_{\text{вх}}; T_{\text{вых}} = T_{\text{вх}} - Q/(cG_{\text{вх}}). \end{cases} \quad (3)$$

Насос. Перепад напора ΔH между выходом и входом насоса является функцией расхода теплоносителя через насос $\Delta H(G)$, которая может быть рассчитана по данным завода-изготовителя. Отсюда, с учетом вышесказанного, система уравнений, описывающих насос, будет иметь вид:

$$\begin{cases} P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}} + \Delta H(G_{\text{вх}}); \\ G_{\text{вых}} = G_{\text{вх}}; T_{\text{вых}} = T_{\text{вх}}. \end{cases} \quad (4)$$

Уравнения (2)-(4) представляют собой статическую теплогидравлическую модель теплового пункта здания.

Для идентификации параметров модели (получения характеристик бойлеров и систем отопления фасадов) был проведен активный эксперимент, который состоял из двух этапов:

- 1) отключалась система отопления и определялись неизвестные характеристики теплообменников ГВС;
- 2) отключалась система ГВС и определялись неизвестные характеристики систем отопления фасадов.

На основе полученных данных были рассчитаны неизвестные параметры схемы. Моделирование производилось в среде VisSim версии 5.0g фирмы «Visual Solutions» с использованием методики, изложенной в [2]. Результаты моделирования АИТП в режиме, соответствующем второму этапу эксперимента, сведены в таблицу.

Результаты моделирования (этап 2 эксперимента)

	Модель	Эксперимент	Относительная погрешность, %
G_1 , кг/ч	22,1	23,7	6,8
G_2 , кг/ч	22,1	26,2	8,0
$P_{1\text{ул.ф.}}$, М. В. с.	75,3	73,5	2,4
$P_{2\text{ул.ф.}}$, М. В. с.	71,1	70,5	0,9
$P_{1\text{дв.ф.}}$, М. В. с.	74,6	73,5	1,5
$P_{2\text{дв.ф.}}$, М. В. с.	72,0	71,5	0,7

В данной таблице G_1 , G_2 – расходы теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах АИТП соответственно; $P_{1\text{ул.ф.}}$, $P_{2\text{ул.ф.}}$, $P_{1\text{дв.ф.}}$, $P_{2\text{дв.ф.}}$ – давления в подающем и обратном трубопроводах систем отопления уличного и дворового фасадов соответственно.

Как видно из таблицы, ошибка идентификации разработанной статической модели не превышает 8 %. Полученная ошибка во многом связана с погрешностью измерений физических величин и может быть уменьшена путем применения более точных измерительных приборов при проведении эксперимента. В целом разработанная статическая модель является адекватной и позволяет успешно решать задачи, связанные с расчетом теплогидравлических режимов при проектировании АИТП зданий.

Литература

1. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоматомиздат, 1986. – 320 с.
2. Шишкин М. В., Шнайдер Д. А. Моделирование теплогидравлических систем в среде VisSim // Приборостроение: Темат. сб. науч. тр. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – С. 143-150.

454080, Челябинск, проспект им. В.И. Ленина, 76, т. 267-91-35,

e-mail: shnayder@ait.susu.ac.ru, akg-i@inbox.ru

УДК 681.51;536.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫРАВНИВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ДВУМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ НАЛИЧИИ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

А.Ю. Ощепков, В.В. Кирюшов

Пермский государственный университет,
ФГУП «ОКБ «Маяк», г. Пермь

Описывается тепловая модель двумерного объекта (пластины), построенная в PDE-tool пакета Matlab. Опробованы алгоритмы идентификации и управления темпера-

турным полем. Приведены результаты численных экспериментов по отладке алгоритмов многоканального управления температурным полем объекта на основе спектрального метода.

Введение

В работе [1] обсуждается возможность управления температурным полем распределенных тел с использованием декомпозиции системы на основе спектрального метода, предварительной идентификации двух первых температурных мод и синтеза управления по этим модам для реального одномерного объекта. В работе [2] описывается математическая модель двумерного тела (пластины), разработанная для проведения компьютерных экспериментов по отработке алгоритмов идентификации и управления температурными полями. Показана достоверность модели путем сравнения результатов численного и натурального экспериментов по идентификации одномерного объекта.

В данной работе приведены результаты исследований по идентификации и управлению температурным полем двумерного объекта с целью выравнивания поля, проведенных с помощью усовершенствованной математической модели.

Идентификация температурных мод

Цель регулирования состоит в наиболее точном, для заданного размещения датчиков и управляющих элементов, выравнивании температуры по поверхности пластины при наличии внешних постоянных возмущений. Построена модель, в которой учтено наличие четырех дифференциальных датчиков температуры (термопар) и пяти нагревательных элементов. Расположение датчиков и нагревателей указано схематично на рис. 1. Первый этап идентификации состоит в том, чтобы связать показания датчиков T_1 , T_2 , T_3 и T_4 с температурными модами A_1 , A_2 , A_3 , и A_4 , которые изменяются с течением времени по экспоненциальному закону:

$$A_1(t) \sim \exp(-t/\tau_1), A_2(t) \sim \exp(-t/\tau_2), A_3(t) \sim \exp(-t/\tau_3), A_4(t) \sim \exp(-t/\tau_4).$$

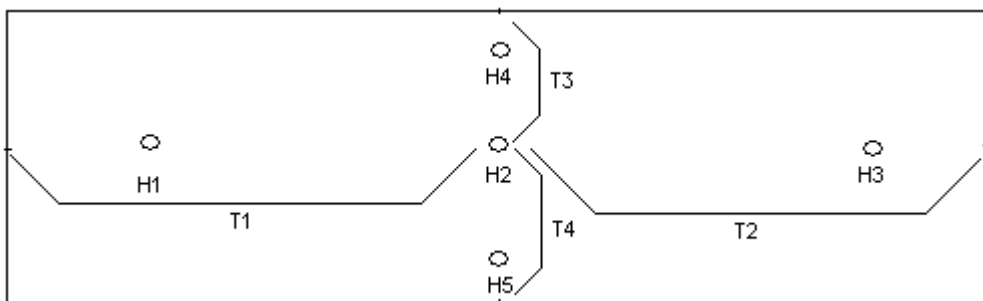


Рис. 1. Модель объекта

Времена τ_1 , τ_2 , τ_3 и τ_4 теоретически должны совпадать со значениями времен релаксации амплитуд первых собственных функций $\Phi_n(x,y)$ объекта:

$$T(x,y;t) = \sum_n \Phi_n(x,y) A_n(t), A_n(t) = C_n \exp(-t/\tau_n). \quad (1)$$

Собственные функции объекта $\Phi_n(x,y)$ неизвестны, и вместо бесконечного ряда (1) мы имеем дело лишь с несколькими слагаемыми. Поэтому мы можем только констатировать наличие линейной связи между модами и показаниями термопар:

$$\begin{aligned} T_1 &= C_{11}A_1(t) + C_{12}A_2(t); \quad A_1(t) = a_1T_1(t) + b_1T_2(t), \\ T_2 &= C_{21}A_1(t) + C_{22}A_2(t); \quad A_2(t) = a_2T_1(t) + b_2T_2(t), \\ T_3 &= C_{31}A_3(t) + C_{32}A_3(t); \quad A_3(t) = a_3T_3(t) + b_3T_4(t), \\ T_4 &= C_{41}A_4(t) + C_{42}A_4(t); \quad A_4(t) = a_4T_3(t) + b_4T_4(t). \end{aligned}$$

Алгоритм экспериментальной идентификации следующий: нагреваем объект, например, нагревателем Н1 в точке $(-L, 0)$, затем нагреватель выключаем и все время следим за изменением показаний датчиков через определенные промежутки времени. Результаты измерений сохраняем и обрабатываем. На участке свободной динамики рассчитываются собственные времена гармоник и определяется связь температурных мод с показаниями термопар. По показаниям датчиков на этапе разгона для каждого нагревателя определяем компоненты тепловой матрицы, которая говорит, в какой пропорции нужно включать нагреватели. Для каждой тепловой моды эта матрица содержит два столбца: один столбец характеризует возбуждение моды, а другой подавление. В итоге мы получим возможность свести задачу многоканального управления по связанным переменным состояния (показаниям датчиков) к одноканальному управлению по независимым переменным (температурным модам).

Объект управления

Модель объекта управления построена с использованием пакета MATLAB и утилиты PDE-tool, входящей в состав этого пакета. Для моделирования выбрана прямоугольная область. Внутри области расположены нагреватели, обозначенные буквами Н1, Н2, Н3, Н4 и Н5. Модель состоит из сетки, образованной треугольниками. Программа дает возможность получить температуру только в узлах сетки. Количество узлов сетки можно увеличивать либо уменьшать. Пример сетки для модели (рис. 1) представлен на рис. 2.

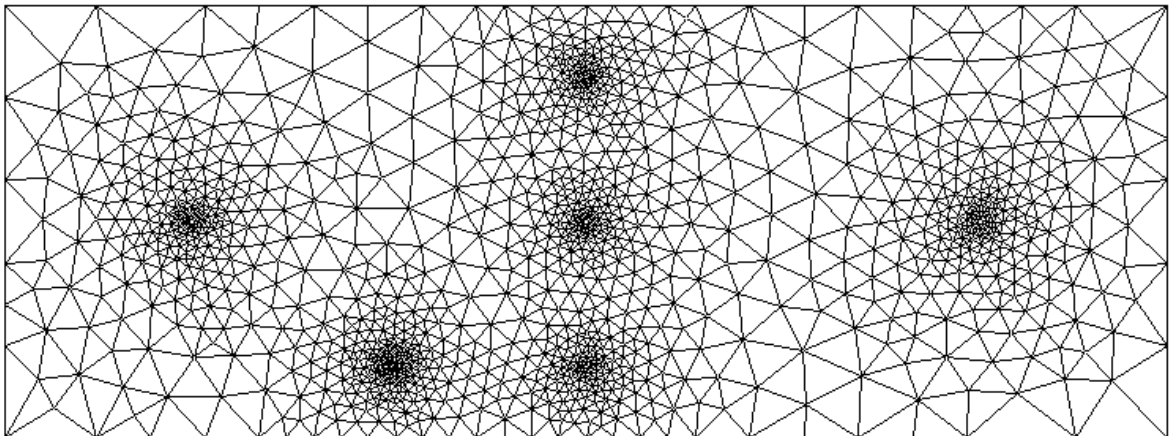


Рис. 2. Размещение узлов сетки

Около неоднородностей объекта, где расположены нагреватели и возмущающее воздействие, создается большее количество узлов сетки. Узлы располагаются по внутреннему алгоритму PDE-tool, разработчик не всегда имеет возможность определить значение температуры в точке с требуемыми координатами. Температурой в требуемой точке, с приемлемой точностью, будем считать значение температуры в узле, который расположен наиболее близко. Границы объекта при регулировании считаем теплоизолированными. Тепловые параметры модели выбираем, как у дюралюминия.

Результаты управления

На рис. 3 показано поле температуры, установившееся в объекте при действии возмущения в отсутствие регулирования. Разница между максимальным и минимальным значениями температуры около значения 0.0045. Показания термопар с течением времени, рассчитанные программой, показаны на рис. 4.

В работе [2] поле управлялось по каждой моде последовательно. Такой алгоритм в двумерном случае дал очень невысокую точность регулирования. Был предложен алгоритм одновременного вывода мощности на нагреватели: сначала рассчитывается управление по каждой моде, затем рассчитывается мощность, выводимая на каждый нагреватель, мощности суммируются и выводятся одновременно.

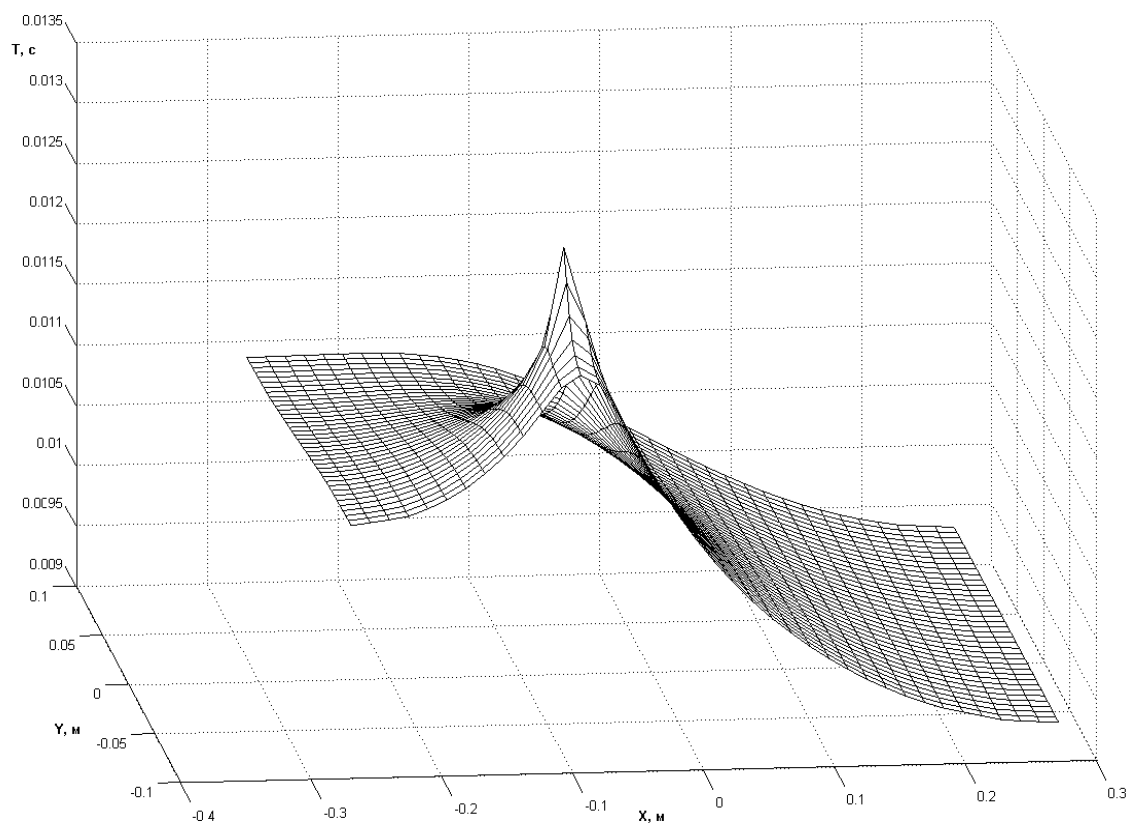


Рис. 3. Стационарное температурное поле при отсутствии регулирования

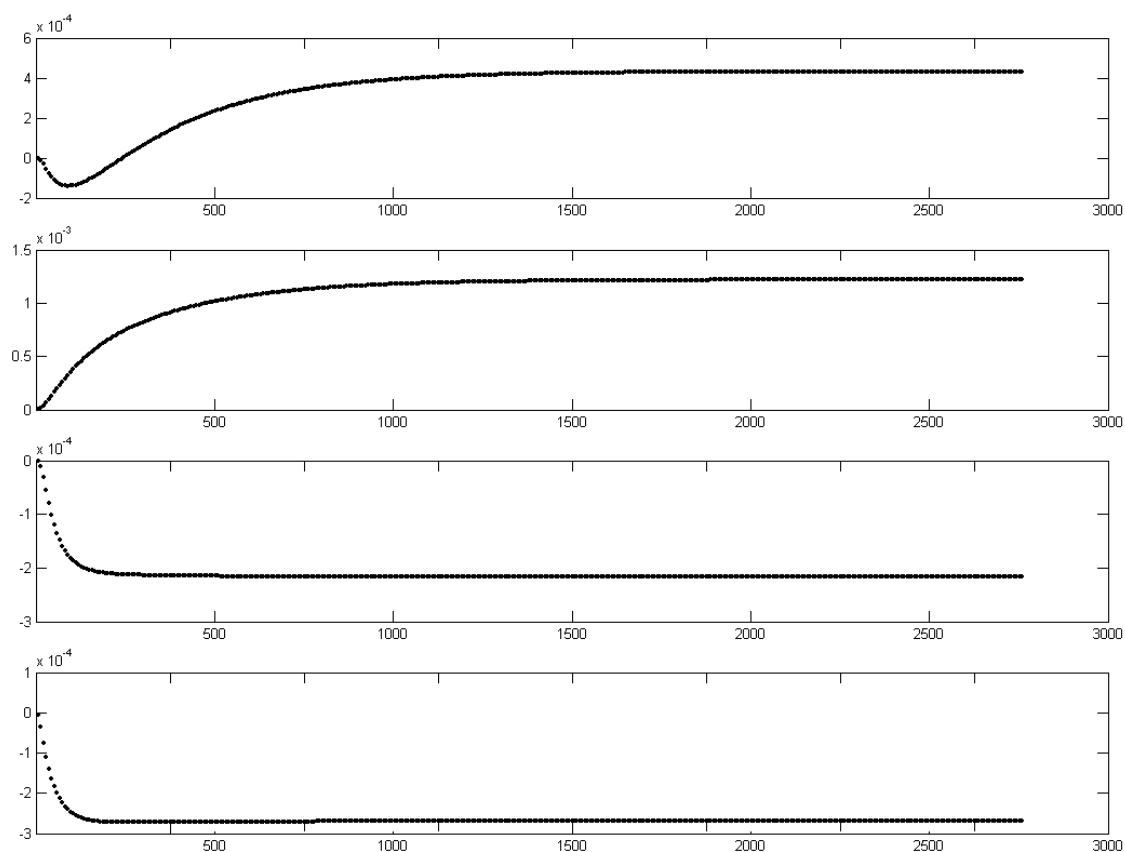


Рис. 4. Показания датчиков температуры при отсутствии регулирования

В этом случае показания датчиков равны 0, разница между максимальным и минимальным значениями температуры составила около 0,012 (рис. 5 и рис. 6).

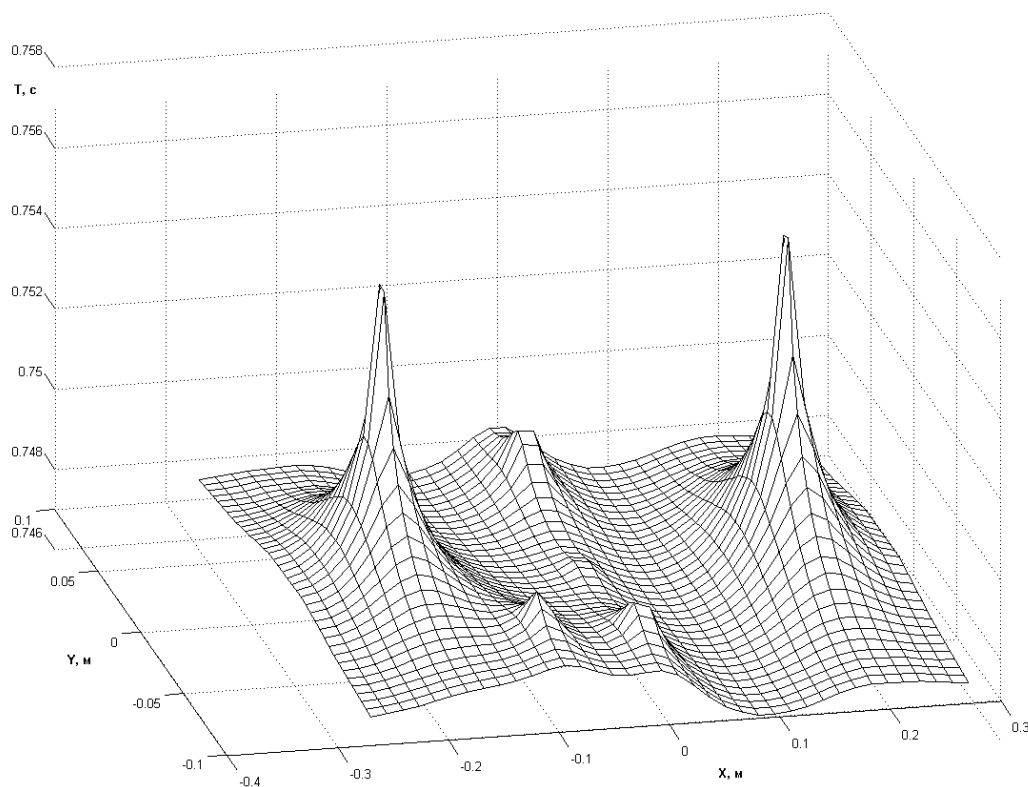


Рис. 5. Стационарное поле при наличии управления

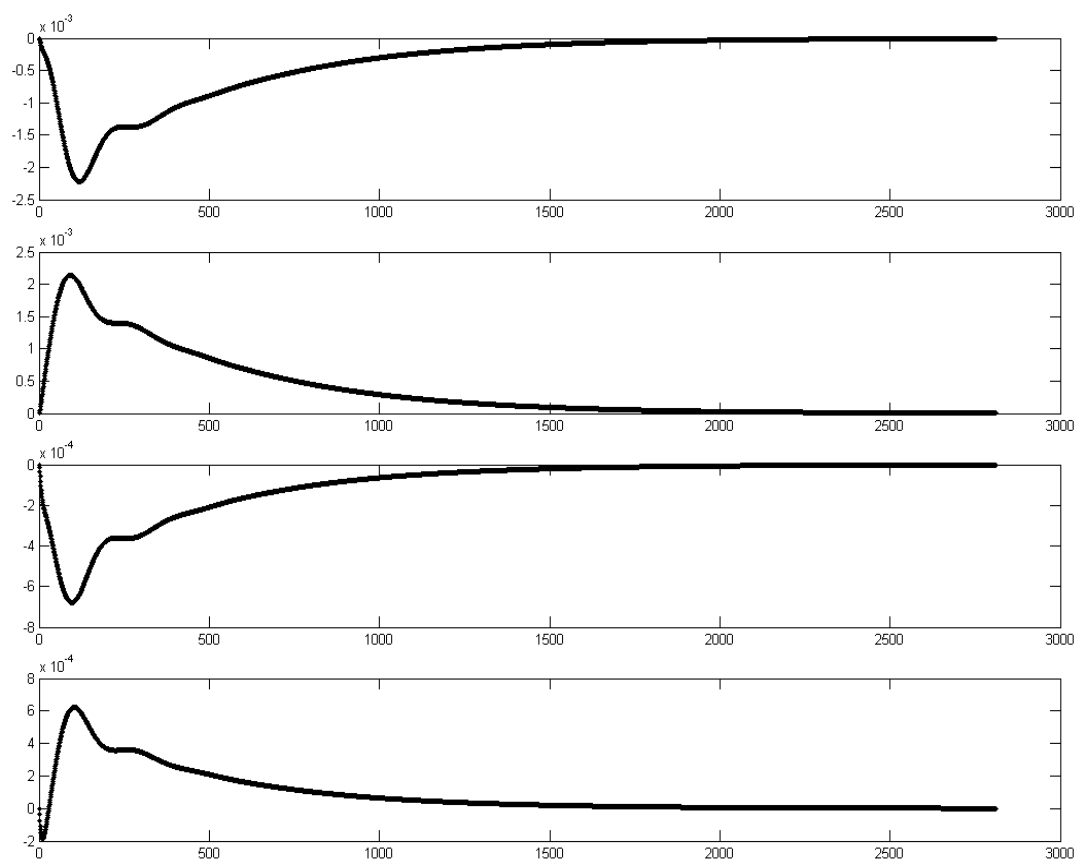


Рис. 6. Показания датчиков температуры при наличии регулирования

Заключение

Предложенный подход показал свою работоспособность. Метод позволяет произвести идентификацию объекта. При этом расположение измерительных приборов и нагревателей может быть неточным. В процессе идентификации эта неточность будет учтена. Такой способ позволяет управлять полем температуры с использованием ограниченного количества нагревателей. Для обеспечения большей точности количество нагревателей и датчиков можно увеличить.

Литература

1. Martsenyuk M.A., Oschepkov A.Yu. Precision control of thermal field in solid sample // Proc. Intern. Conf. «Physics and Control 2005», St.Petersburg, Aug. 24-26, 2005. – P. 750-753.
2. Ощепков А.Ю., Кирюшов В.В. Использование MATLAB для моделирования тепловых процессов в двумерных объектах: идентификация температурных мод // Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2005. – С. 26-30.

614990, г. Пермь, ул. Даницина, 19, ФГУП ОКБ «Маяк», т. (342) 2371775,
e-mail: aos@mpm.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ ОБОСНОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ ПРИВОДА

И.И. Дружинин

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева,
г. Санкт-Петербург

Изложены принципы, положенные в основу расчетной модели электромагнита, входящего в состав привода системы управления и защиты ядерного реактора. Использование модели позволяет проанализировать возможные варианты уменьшения температуры обмотки электромагнита, от которой зависит срок его службы. Приведено сравнение расчетных и экспериментальных данных.

Шаговые электромагнитные приводы типа ШЭМ используются в системе управления и защиты ядерного реактора ВВЭР-1000. В состав привода входят три электромагнита, осуществляющие совместно с остальными частями привода вертикальное перемещение органа регулирования.

Корпус привода имеет температуру порядка 280-300 °С. Тепловой поток, идущий от него, нагревает электромагниты, расположенные с небольшим зазором относительно корпуса. Для охлаждения электромагнитов используется воздух, прокачиваемый через этот зазор. Срок службы электромагнитов зависит от температуры, до которой нагреваются их обмотки в процессе эксплуатации, и поэтому уменьшение этой температуры позволяет увеличить их долговечность.

Особенно актуальна эта задача для нижнего, наиболее нагретого электромагнита. Спецификой поставленной задачи является то, что она должна быть решена применительно к уже используемым на атомной станции приводам и системе охлаждения, но, несмотря на эти ограничения, существует несколько возможных вариантов ее решения, требующих количественной оценки их эффективности. Простейшие расчеты не позволяют получить эту оценку, экспериментальная же проверка каждого из предлагаемых решений невозможна в силу ее высокой стоимости.

Выходом из этой ситуации является численное моделирование тепло-гидравлических процессов, протекающих в области электромагнитов, и выбор на основе разработанной модели наиболее эффективного решения с последующей его экспериментальной проверкой.

Рассчитываемая система изображена на рис. 1.

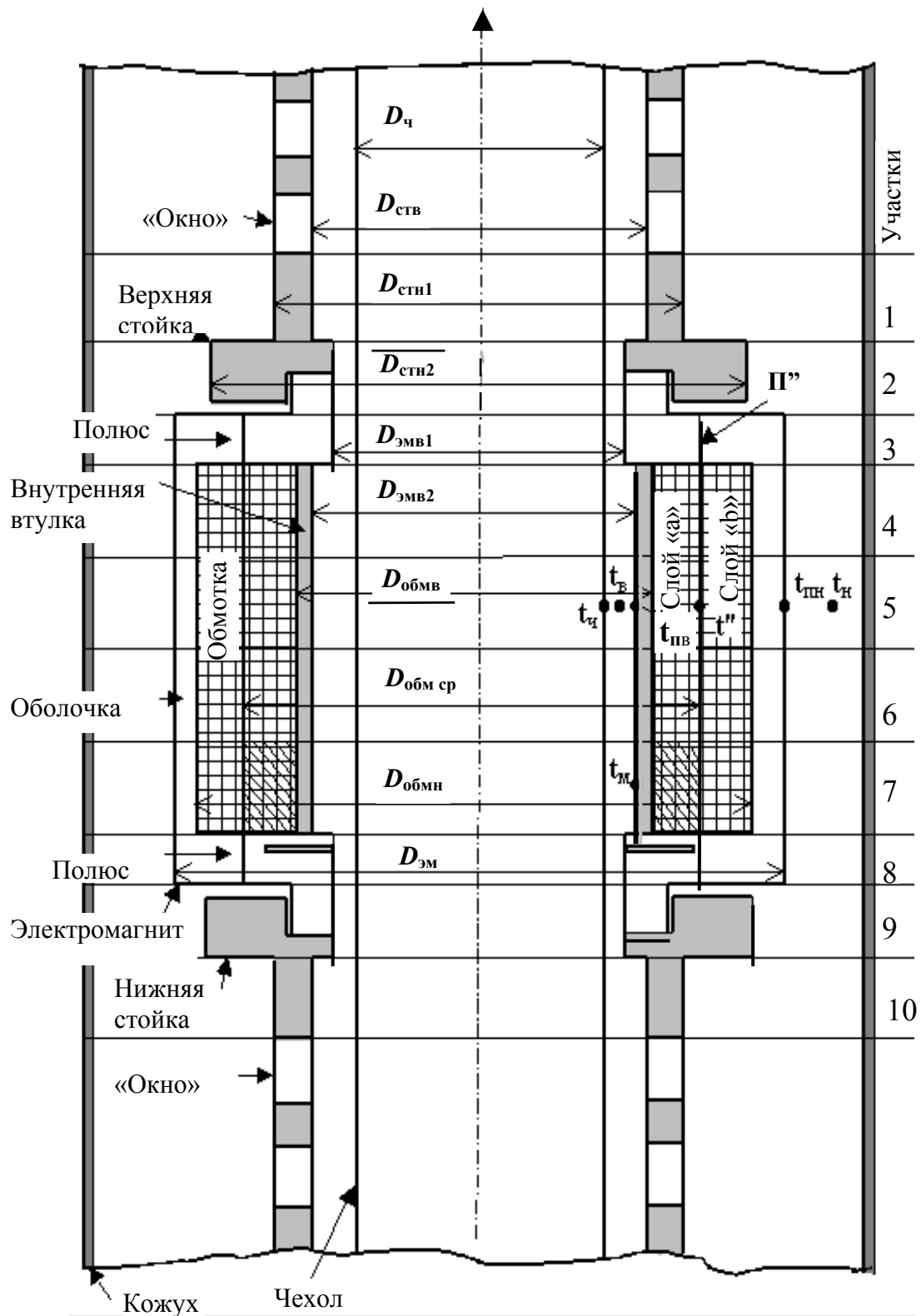


Рис. 1. Рассчитываемая система и разбиение ее на участки

Она имеет осевую симметрию и включает в себя: электромагнит; прилегающие к электромагниту части нижней и верхней стоек, служащих для соединения электромагнитов между собой; чехол – корпус привода, являющийся источником теплоты в системе; кожух, осуществляющий теплоизоляцию

рассматриваемой системы от внешней среды в радиальном направлении. Обмотка электромагнита заключена между оболочкой, полюсами и внутренней втулкой. Охлаждающий воздух в системе протекает в направлении сверху вниз через внутренний канал, прилегающий к чехлу, и наружный канал, прилегающий к кожуху.

Расчет производится для отрезка, заключенного между пазами в нижней и верхней стойке («окнами»), на котором отсутствует перетекание воздуха между каналами. Отрезок разбит на десять участков.

Задачей расчета является нахождение температурного поля системы, которое сводится к определению на каждом из участков средних значений температуры: воздуха во внутреннем канале t_b , внутренней поверхности стойки или электромагнита $t_{пв}$, наружной поверхности стойки или электромагнита $t_{пн}$, воздуха в наружном канале t_n . Для детализации температурного поля электромагнита на участках с 4-го по 7-й определяется температура t'' , соответствующая среднегеометрическому диаметру обмотки (поверхность П"). Термическим сопротивлением оболочки можно пренебречь и поэтому, на основании совокупности значений $t_{пв}$, t'' и $t_{пн}$, можно определить среднюю температуру обмотки электромагнита.

Расчет позволяет также определить температуру наиболее нагретой части электромагнита (область с косой штриховкой и точка t_m на рис. 1).

Исходными данными для расчета являются: массовый расход воздуха в приводе σ_m , ток в обмотке электромагнита $I_{эм}$ и ее омическое (при 20 °C) сопротивление $R_{эм0}$, температура воздуха на входе во внутренний и наружный канал 1-го участка $t_{вxb1}$ и $t_{вxn1}$, температура чехла t_q . Значения σ_m , $I_{эм}$ и $R_{эм0}$ заданы в технической документации на привод. Значения $t_{вxb1}$, $t_{вxn1}$ и t_q принимаются по имеющимся экспериментальным данным.

В расчете используются также геометрические параметры элементов системы – длины участков и диаметры, указанные на рис. 1, и физические параметры элементов системы и воздуха, принимаемые по экспериментальным и справочным данным [1, 2, 3]. Используемые в формулах соотношения основаны на известных формулах теплотехники и гидравлики [1, 2].

Расчет температурного поля системы основан на трех итерационных процессах:

1. Определение параметров теплового баланса по участкам системы;
2. Расчет гидравлического сопротивления системы;
3. Учет зависимости мощности внутреннего тепловыделения в обмотке электромагнита от температурного поля обмотки.

Для инициации этих итерационных процессов используются следующие начальные значения параметров:

- 1) $t_{\text{пв}i} = t_{\text{в}i}$ (i – номер участка);
- 2) массовый расход воздуха через внутренний и наружный каналы $\sigma_{\text{мв}}$ и $\sigma_{\text{мн}}$, пропорционален площадям поперечного сечения этих каналов на первом участке;
- 3) мощность внутреннего тепловыделения в обмотке $Q_{\text{внутр}}$ определяется температурой $t_{\text{вхн1}}$.

На этапе определения параметров теплового баланса по участкам системы для каждого i -го участка, начиная с первого, методом последовательных приближений находится совокупность значений температур $t_{\text{в}i}$, $t_{\text{пв}i}$, $t_{\text{н}i}$, $t_{\text{пн}i}$, $t_{\text{н}i}$, для которой выполняется условие теплового баланса на участке в радиальном направлении. В процессе расчета первого участка определяется температура воздуха в обоих каналах, но уже на выходе с участка. Полученные значения используются как входные данные для расчета второго участка и так далее, вплоть до 10-го участка.

На каждом шаге итерационного процесса для каждого участка вычисления осуществляются в следующей последовательности.

1. Расчет физических параметров воздуха во внутреннем канале:

- а) температура на входе (кроме $i = 1$) $t_{\text{вхв}i} = t_{\text{выхв}(i-1)}$ (равна температуре воздуха на выходе с предыдущего участка);
- б) средняя температура $t_{\text{в}i} = t_{\text{вхв}i}$ на первом шаге, на последующих шагах берется значение, полученное на предыдущем шаге;
- в) плотность $\rho_{\text{в}i} = 273\rho_0 / (273 + t_{\text{в}i})$, где ρ_0 – плотность при 0 °C;
- г) скорость $w_{\text{в}i} = \sigma_{\text{мв}} / \rho_{\text{в}i} / S_{\text{кв}i}$, где $S_{\text{кв}i}$ – площадь поперечного сечения канала;
- д) динамический коэффициент вязкости $\mu_{\text{в}i} = C_{\text{д}}(273 + t_{\text{в}i})^{3/2} / (384 + t_{\text{в}i})$, где $C_{\text{д}} = 1,46425 \cdot 10^{-6}$ Па·с – постоянная, полученная преобразованием формулы Сутерленда [4];

е) кинематический коэффициент вязкости $\nu_{\text{в}i} = \mu_{\text{в}i} / \rho_{\text{в}i}$.

2. Расчет конвективного теплообмена чехла с воздухом во внутреннем канале:

- а) критерий Рейнольдса $Re_{\text{в}i} = w_{\text{в}i} D_{\text{гв}i} / \nu_{\text{в}i}$, где $D_{\text{гв}i}$ – гидравлический диаметр внутреннего канала;
- б) критерий Нуссельта $Nu_{\text{в}i} = 0,018 Re_{\text{в}i}^{0,8}$ (для рассматриваемой системы течение в каналах можно считать турбулентным);
- в) теплопроводность $\lambda_{\text{в}i} = \lambda_0 + C_{\text{т}} t_{\text{в}i}$, где λ_0 – коэффициент теплопроводности воздуха при 0 °C, $C_{\text{т}} = 0,000072$ Вт/(м·°C²) – постоянная для расчета коэффициента теплопроводности воздуха в диапазоне от 0 до 300 °C;

г) коэффициент теплоотдачи $\alpha_{bi} = Nu_{bi} \lambda_{bi} / D_{гвi}$;

д) теплоотдача конвекцией от чехла к воздуху $Q_{чкi} = \alpha_{bi} F_{чi} (t_{ч} - t_{bi})$,

где $F_{чi}$ – площадь поверхности теплообмена воздуха с чехлом.

3. Расчет конвективного теплообмена внутренней поверхности с воздухом во внутреннем канале, температуры воздуха на выходе участка и средней температуры воздуха на участке:

а) $t_{пвi} = t_{bi}$ на первом шаге, $t_{пвi} = t_{пвi \text{ пред}} + \Delta t_{пвi \text{ пред}}$ на последующих шагах, где $t_{пвi \text{ пред}}$ – значение $t_{пвi}$, полученное на предыдущем шаге, $\Delta t_{пвi \text{ пред}}$ – поправка на значение $t_{пвi}$, полученное на предыдущем шаге. Эта поправка определяется в конце каждого шага;

б) теплоотдача конвекцией от внутренней поверхности к воздуху $Q_{пвi} = \alpha_{bi} F_{пвi} (t_{пвi} - t_{bi})$, где $F_{пвi}$ – площадь поверхности теплообмена воздуха с внутренней поверхностью стойки или электромагнита;

в) суммарная теплоотдача конвекцией от чехла и от внутренней поверхности к воздуху $Q_{ки} = Q_{чкi} + Q_{пвi}$;

г) нагрев воздуха $\Delta t_{bi} = Q_{ки} / \sigma_{мв} / C_p$, где $C_p = 1026 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$ – средняя удельная теплоемкость воздуха в диапазоне от 0 до 300 °C;

д) температура воздуха на выходе $t_{вхвi} = t_{бхвi} + \Delta t_{bi}$;

е) средняя температура воздуха $t_{bi} = (t_{бхвi} + t_{вхвi}) / 2$.

4. Расчет теплоотдачи от чехла излучением:

$Q_{члi} = \varepsilon_{прi} C_0 F_{чi} [(T_{ч} / 100)^4 - (T_{пвi} / 100)^4]$, где $\varepsilon_{прi}$ – приведенная степень черноты системы поверхностей «чехол – внутренняя поверхность электромагнита или стойки», $C_0 = 5,67 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K}^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $T_{ч} = t_{ч} + 273$, $T_{пвi} = t_{пвi} + 273$.

5. Расчет градиента температуры между внутренней и наружной поверхностью:

а) приток теплоты к внутренней поверхности $Q_{при} = Q_{члi} - Q_{пвi}$;

б) перепад температуры в слое «а» от транзитного теплового потока $dt_{тр(а)i} = Q_{при} R_{три} / 2$, где $R_{три}$ – полное термическое сопротивление участка в радиальном направлении от внутренней до наружной поверхности (так как поверхность П" находится на среднегеометрическом диаметре, то термическое сопротивление слоя «а» составляет половину от $R_{три}$);

в) перепад температуры в слое «а» от внутреннего тепловыделения $dt_{внутр(а)i} = Q_{vi} [(D_{обм \text{ ср}}^2 - D_{обмв}^2 - 2 D_{обмв}^2 \ln(D_{обм \text{ ср}} / D_{обмв}))] / 16 \lambda_{обм} (i = 4 - 7)$, где $Q_{vi} = Q_{внутр} / V_{обм}$, $Q_{внутр} = I_{эм}^2 R_{эм0} (235 + t_{вхн1}) / 255$, $V_{обм}$ – объем обмотки;

г) перепад температуры в слое «а» $dt_{сум(а)i} = dt_{тр(а)i} + dt_{внутр(а)i} (i = 4 - 7)$;

д) температура на поверхности П" $t''_i = t_{\text{пв}i} - dt_{\text{сум(a)}i} (i = 4 - 7)$;

ж) суммарный перепад температуры в обмотке от внутреннего тепловыделения $dt_{\text{внутр}i} = Q_{\text{в}i} [(D_{\text{обмн}}^2 - D_{\text{обмв}}^2 - 2D_{\text{обмв}}^2 \ln(D_{\text{обмн}} / D_{\text{обмв}}))] / 16\lambda_{\text{обм}} (i = 4-7)$;

з) градиент температуры между внутренней и наружной поверхностью $dt_{\text{сум}i} = Q_{\text{пр}i} R_{\text{тр}i} + dt_{\text{внутр}i} (i = 4 - 7)$; $dt_{\text{сум}i} = Q_{\text{пр}i} R_{\text{тр}i} (i = 1 - 3, 8 - 10)$;

и) средняя температура на наружной поверхности $t_{\text{пн}i} = t_{\text{пв}i} - dt_{\text{сум}i}$;

к) суммарный приток теплоты к наружной поверхности $Q_{\text{сум}i} = Q_{\text{пр}i} + Q_{\text{внутр}} / 4 (i = 4 - 7)$; $Q_{\text{сум}i} = Q_{\text{пр}i} (i = 1 - 3, 8 - 10)$.

6. Расчет конвективного теплообмена наружной поверхности с воздухом в наружном канале:

а) формулы для расчета $t_{\text{вхн}i}$, $t_{\text{н}i}$, $\rho_{\text{н}i}$, $w_{\text{н}i}$, $\mu_{\text{н}i}$, $\nu_{\text{н}i}$, $Re_{\text{н}i}$, $Nu_{\text{н}i}$, $\lambda_{\text{н}i}$, $\alpha_{\text{н}i}$ аналогичны формулам, использованным в п.п. 1 и 2, с соответствующей заменой индексов «в» на «н»;

б) теплоотдача конвекцией от наружной поверхности к воздуху $Q_{\text{пн}i} = \alpha_{\text{н}i} F_{\text{пн}i} (t_{\text{пн}i} - t_{\text{н}i})$, где $F_{\text{пн}i}$ – площадь поверхности теплообмена воздуха с наружной поверхностью стойки или электромагнита;

в) нагрев воздуха $\Delta t_{\text{н}i} = Q_{\text{пн}i} / \sigma_{\text{мн}} / C_p$;

г) температура воздуха на выходе $t_{\text{выхн}i} = t_{\text{вхн}i} + \Delta t_{\text{н}i}$;

д) средняя температура воздуха $t_{\text{н}i} = (t_{\text{вхн}i} + t_{\text{выхн}i}) / 2$.

7. Проверка теплового баланса на участке и определение поправки на значение $t_{\text{пв}i}$

Отклонение от теплового баланса на участке определяется по величине и знаку разности $Q_{\text{сум}i} - Q_{\text{пн}i}$. Если $Q_{\text{сум}i} > Q_{\text{пн}i}$, то приток теплоты к наружной поверхности больше конвективной теплоотдачи от поверхности к воздуху. Чтобы обеспечить баланс, нужно увеличить значение $Q_{\text{пн}i}$, то есть $t_{\text{пн}i}$ и, соответственно, $t_{\text{пв}i}$.

Для определения поправки на $t_{\text{пв}i}$ предварительно находится изменение тепловых потоков при увеличении $t_{\text{пв}i}$ на один градус:

а) уменьшение теплоотдачи излучением от чехла к внутренней поверхности $dQ_{\text{чл}i} = 4\epsilon_{\text{пр}i} C_0 F_{\text{ч}i} (t_{\text{пв}i} + 273)^3 / 10^8$ (использовано, что в первом приближении $(T_{\text{пв}i} + 1)^4 - T_{\text{пв}i}^4 = 4T_{\text{пв}i}^3 + 6T_{\text{пв}i}^2 + 4T_{\text{пв}i} + 1 \approx 4T_{\text{пв}i}^3$);

б) уменьшение теплоотдачи конвекцией от внутренней поверхности к воздуху $dQ_{\text{пв}i} = \alpha_{\text{в}i} F_{\text{пв}i}$;

в) уменьшение притока теплоты к внутренней и, соответственно, к наружной поверхности $dQ_{\text{пр}i} = dQ_{\text{чл}i} + dQ_{\text{пв}i}$;

г) увеличение температуры наружной поверхности $dt_{\text{пн}i} = 1 + dQ_{\text{пр}i} R_{\text{тр}i}$;

д) увеличение теплоотдачи конвекцией от наружной поверхности к воздуху $dQ_{\text{пн}i} = \alpha_{\text{н}i} F_{\text{пн}i} dt_{\text{пн}i}$;

е) уменьшение избыточного притока теплоты к наружной поверхности $d(Q_{\text{сум}i} - Q_{\text{пн}i}) = dQ_{\text{пр}i} + dQ_{\text{пн}i}$.

Определением поправки на температуру внутренней поверхности по формуле

$$\Delta t_{\text{пв}i} = (Q_{\text{сум}i} - Q_{\text{пн}i}) / d(Q_{\text{сум}i} - Q_{\text{пн}i})$$

заканчивается каждый шаг расчета теплового баланса на участке. На следующем шаге получаются более точные значения $t_{\text{в}i}$, $t_{\text{пв}i}$, $t_{\text{н}i}$, $t_{\text{пн}i}$, а абсолютная величина разности $(Q_{\text{сум}i} - Q_{\text{пн}i})$ постепенно уменьшается.

Цель расчета гидравлического сопротивления системы – уточнить значения $\sigma_{\text{мв}}$ и $\sigma_{\text{мн}}$. Для этого вычисляются гидравлические сопротивления $\Delta p_{\text{в}}$ и $\Delta p_{\text{н}}$ внутреннего и наружного каналов. Так как на входе в систему и на выходе из нее каналы сообщаются, то эти сопротивления должны быть равны. Это условие используется для коррекции $\sigma_{\text{мв}}$ и $\sigma_{\text{мн}}$, после чего расчет теплового баланса по участкам производится заново, но уже с более точными значениями скоростей воздуха в обоих каналах.

При расчете $\Delta p_{\text{в}}$ учитываются потери на трение $\Delta p_{\text{тр.в}}$ и потери на местных сопротивлениях $\Delta p_{\text{м.в}}$. Потерями на ускорение воздуха и сопротивлением самотяги в рассматриваемой системе можно пренебречь.

Расчет коэффициентов сопротивления трения на участках производится по формуле Альтшуля:

$$\xi_{\text{в}i} = 0,11(k_{\text{эв}i} / D_{\text{гв}i} + 68 / Re_{\text{в}i})^{0,25},$$

где $k_{\text{эв}i}$ – гидравлическая (эквивалентная) шероховатость поверхности. Расчет коэффициентов местного сопротивления $\xi_{\text{мв}i}$ производится при сужении потока по формуле Идельчика, при расширении потока – по формуле Борда [2].

Далее определяются $\Delta p_{\text{тр.в}i} = \xi_{\text{в}i} L_{yi} \rho_{\text{в}i} w_{\text{в}i}^2 / (2D_{\text{гв}i})$, где L_{yi} – длина участка, и $\Delta p_{\text{м.в}i} = \xi_{\text{м.в}i} \rho_{\text{в}i} w_{\text{в}i}^2 / 2$, а затем полное гидравлическое сопротивление $\Delta p_{\text{в}} = \sum_{i=1}^{i=10} (\Delta p_{\text{тр.в}i} + \Delta p_{\text{м.в}i})$.

Расчет $\Delta p_{\text{н}}$ производится аналогично с соответствующей заменой индексов «в» на «н».

Обозначив $m = (\Delta p_{\text{н}} / \Delta p_{\text{в}})^{1/2} (\sigma_{\text{мв}} / \sigma_{\text{мн}})$, находим $k = m / (m + 1)$, а затем уточненные значения $\sigma_{\text{мв}} = k \sigma_{\text{м}}^{\text{н}} + (1 - k) \sigma_{\text{мв}}^{\text{н}}$ и $\sigma_{\text{мн}} = \sigma_{\text{м}}^{\text{н}} - \sigma_{\text{мв}}^{\text{н}}$, используемые в следующей итерации.

При учете зависимости $Q_{\text{внутр}}$ от температурного поля обмотки для $i = 4, 5, 6, 7$ определяется средняя температура участка обмотки $t_{\text{ср}i} = (t_{\text{пв}i} + t_{\text{пн}i}) / 2$, мощность внутреннего тепловыделения на участке $Q_{\text{внутр}i} = I_{\text{эм}}^2 R_{\text{эм}0} (235 + t_{\text{ср}i}) / 255 / 4$ и объемная мощность внутреннего тепловыделения на участке $Q_{\text{vi}} = 4Q_{\text{внутр}i} / V_{\text{обм}}$. Скорректированные значения $Q_{\text{внутр}i}$ и Q_{vi} используются для следующего шага расчета.

Количество шагов в каждом итерационном процессе определяется требуемой точностью определения параметров температурного поля системы.

В таблице приведены результаты измерения на стенде приводов ШЭМ средней температуры обмотки нижнего электромагнита и результаты расчета при различных значениях σ_m и $I_{\text{эм}}$. Учитывая наличие погрешности и в результатах измерения, и в результатах расчета, полученную близость этих результатов можно считать удовлетворительной.

Таблица

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных

$I_{\text{эм}}, \text{A}$	0				9			
$\sigma_m, \text{кг/с}$	0,0751	0,0898	0,1187	0,1458	0,0748	0,0898	0,1187	0,1487
$t_{\text{вхв}1}, ^\circ\text{C}$	127	123	114	111	126	123	115	112
$t_{\text{вхн}1}, ^\circ\text{C}$	111	108	102	99	112	109	102	100
Средняя температура обмотки нижнего электромагнита, $^\circ\text{C}$								
Измерения	154,0	151,0	146,0	135,0	170,5	170,5	157,0	148,5
Расчет	159,6	154,1	144,7	139,4	176,6	169,6	157,4	151,1

На основе модели оценена эффективность различных вариантов снижения температуры электромагнита. Анализ показывает, что определяющее значение в притоке теплоты к электромагниту имеет тепловое излучение от чехла. Поэтому наибольший эффект может быть получен за счет уменьшения степени черноты системы «чехол - внутренняя поверхность электромагнита». Практически эта цель достигается установкой на внутреннюю поверхность электромагнита тонкого теплоотражающего экрана [5]. Эффективность этого решения экспериментально проверена на стенде приводов. Полученные результаты соответствовали расчетным оценкам (температура обмотки уменьшилась на 10°C , что соответствует увеличению срока службы электромагнита примерно с 30 до 50-60 лет).

Литература

1. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. 2-е. изд. – М.: Энергия, 1977. – 343 с.
2. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 510 с.

3. Излучательные свойства твердых материалов: Справочник / Под общ. ред. А.Е. Шейн-длина. – М.: Энергия, 1974. – 472 с.
4. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
5. Патент RU 44867 U1, МПК⁷ H01F7/16, G21C7/12. Электромагнит привода органа регулирования ядерного реактора / Н.П. Герасимов, И.И. Дружинин, Р.Е. Тайманов. – Оpubл. 27.03.2005. – Бюл. № 9.

193231, г. Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 9, к. 1, кв. 609,
т. 323-96-24, 360-55-18, e-mail: DRUZHININ@VNIIM.RU

УДК 532.543

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ КРАЙНЕЙ ЛИНИИ ТОКА И ПАРАМЕТРОВ ВДОЛЬ НЕЕ С УЧЕТОМ СИЛ ТРЕНИЯ ПОТОКУ

В.В. Ширяев, Н.В. Коханенко, Е.Г. Баленко

Донской государственный аграрный университет, п. Персиановский Ростовской области

Приведена методика определения координат крайней линии тока и параметров вдоль нее с учетом сил трения потока. Для решения поставленной задачи был применен итерационный процесс, который с помощью линейной экстраполяции позволил получить математическую модель для определения глубин и скоростей вдоль крайней линии тока.

Схема свободного растекания бурного потока в широкое отводящее русло приведена на рис. 1.

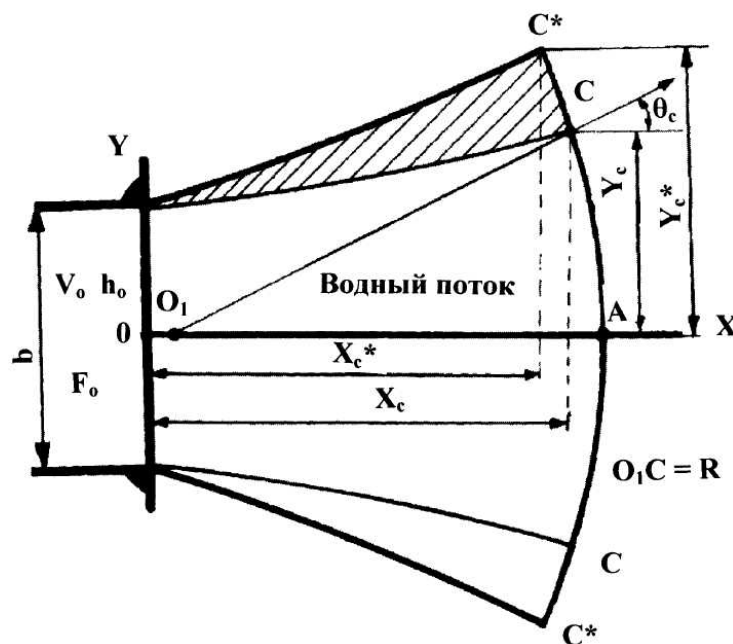


Рис. 1. Схема к определению параметров потока

Пусть в потоке без учета сил трения известны координаты точки C и параметры потока в этой точке: V_c , θ_c , h_c , F_c , R , H_0 [1], где V_c – величина

скорости в точке C ; θ_c – угол наклона вектора скорости к оси OX ; h_c – глубина потока в точке C ; F_c – критерий Фруда в точке C ; R – радиус эквипотенциали, проходящей через точку C ; H_0 – постоянная в интеграле Д. Бернулли. Необходимо определить координаты точки C^* на эквипотенциали в потоке с начальными параметрами V_0 , h_0 , F_0 , b на его выходе из трубы в широкое отводящее русло с учетом сил трения потоку и параметры потока в точке C^* : V_c^* , h_c^* , F_c^* , θ_c^* .

Решив поставленную задачу, можно построить крайнюю линию тока и определить параметры потока вдоль нее. Исходные положения к решению задачи:

1) решение базируется на уже известном решении задачи без учета сил трения потоку [2, 3, 4];

2) считаем, что вид эквипотенциали в случае учета сил трения потоку не изменяется по сравнению с решением задачи без учета сил трения потоку, а только несколько удлиняется от точки C к точке C^* по дуге радиуса R ;

3) для решения задачи используем метод фиктивного потока, позволяющий использовать основные уравнения движения для элементарной струйки интегрированием и осреднением применительно к потоку в целом;

4) адекватность модели оценивается сравнением результатов модели с результатами экспериментов.

Обозначив длину дуги $C - A - C$ посредством $2S$ и, полагая, что в фиктивном потоке, без учета сил трения потоку, глубины и скорости потока не изменяются вдоль эквипотенциали и имеют значения: V , h , F , запишем уравнение неразрывности для потока в целом:

$$bV_0h_0 = SVh. \quad (1)$$

В уравнении (1) параметры V , h неизвестны. Значения V , h можно определить из системы уравнений:

$$\begin{cases} bV_0h_0 = SVh \\ H_0 = \frac{V^2}{2g} + h, \end{cases} \quad (2)$$

при этом

$$S = R\theta_c. \quad (3)$$

Определив параметры фиктивного потока V , h , определим также и критерий Фруда фиктивного потока:

$$F = \frac{V^2}{gh}. \quad (4)$$

Далее разработаем итерационный процесс для определения координат точки C^* .

Пометим найденные параметры из системы (2)-(4) индексом – (0), а именно:

$$V^{(0)} = V; h^{(0)} = h; F^{(0)} = F;$$

это нулевое приближение найденных параметров. Далее для фиктивного потока определим падение гидродинамического напора с учетом сил трения потока по формуле [5]:

$$\frac{dH}{dx} = -\frac{\lambda}{2} F, \quad (5)$$

при этом для коэффициента гидравлического трения можно использовать формулу Маннинга [6]:

$$\lambda = 0,0303(K_s/h)^{1/3}, \quad (6)$$

где K_s – высота неровностей поверхности дна отводящего русла.

Используя численные методы интегрирования [7], можно, пользуясь уравнениями (5), (6), определить новое значение гидродинамического напора с учетом сил сопротивления потоку. Таким образом, получим нулевое приближение в итерационном процессе для параметра H :

$$H^{(0)} = H_0 - \int_0^{x_A} \frac{\lambda^{(0)}}{2} F^{(0)} dx. \quad (7)$$

Для замыкания процесса и определения ширины элементарной струйки потока [5], используем дифференциальное уравнение:

$$\frac{db}{b} = \frac{F-1}{V} \frac{dV}{dx} dx + \frac{\lambda F}{2h} dx. \quad (8)$$

Однако, согласно «исходным положениям», вид этого уравнения не изменится и для фиктивного потока в целом.

Полагая в уравнении (8), что $\lambda = 0$, получим:

$$\frac{db}{b} = \frac{F-1}{V} \frac{dV}{dx} dx. \quad (9)$$

Интегрируя уравнения (8) и (9), определим:

$$\begin{cases} \ln\left(\frac{2S}{b}\right) = J_1 \\ \ln\left(\frac{2S^*}{b}\right) = J_1 + J_2, \end{cases} \quad (10)$$

где $J_1 = \int_0^{x_A} \frac{F-1}{V} \frac{dV}{dx} dx$; $J_2 = \int_0^{x_A} \frac{\lambda F}{2h} dx$; $S^* = S + \Delta S$; S^* – длина дуги

$C^* - A - C^*$ (см. рис. 1).

Из системы уравнений (10) получим нулевое приближение для длины дуги $S^{*(0)}$:

$$S^{*(0)} = S \cdot e^{J_2^{(0)}}, \quad (11)$$

где $J_2^{(0)} = \int_0^{X_A} \frac{\lambda^{(0)} F^{(0)}}{2h^{(0)}} dx$.

Далее по уравнениям (2), (7), (11) заменой S на $S^{*(0)}$ определим первое приближение параметров:

$$V^{(1)}, h^{(1)}, F^{(1)}, H^{(1)}, \\ S^{*(1)}.$$

Итерационный процесс повторяем до стабилизации параметров или до выполнения условия:

$$\left| H^{(K)} - H^{(K-1)} \right| \leq \varepsilon, \quad (12)$$

где ε – малое, наперед заданное положительное число.

При выполнении условия (12) определим значение $S^{*(K)}$ и координаты точки X_{c^*} :

$$X_c^* = X_A - R(1 - \cos \theta_c^*); \\ Y_c^* = R \sin \theta_c^*; \\ \theta_c^* = \frac{S^{*(K)}}{S} \theta_c.$$

Для определения параметров в точке C^* воспользуемся методом линейной экстраполяции, согласно которому:

$$F_c^* = 2F^{(K)} - F_A; \\ H_c^* = 2H^{(K)} - H_A, \quad (13)$$

где F_A – критерий Фруда с учетом сил трения в точке A на оси симметрии потока; H_A – значение гидродинамического напора в точке A . Из системы уравнений (13) легко определить глубины и скорости потока в точке C^* .

Литература

1. Коханенко В.Н. Вывод основной системы уравнений двухмерного потока в плоскости годографа скорости и поиск ее частных решений. – М., 1996. – 98 с. – Деп. в ВИНТИ 10.12.96, № 3584 – В96.
2. Коханенко В.Н., Калмыков Б.Ю. Вывод уравнения крайней линии тока при свободном растекании потока, исходя из экспериментальных данных // Применение математических методов в вопросах совершенствования техники и технологии легкой промышленности: Сб. науч. тр. / Шахтин. технол. ин-ут бытового обслуживания. – Шахты: ШТИБО, 1995. – Вып. 17. – С. 101-105.
3. Коханенко В.Н., Калмыков Б.Ю. Применение принципа оптимальности, к расчету свободного растекания бурных плановых потоков // Автосервис, машины и агрегаты, механика: Сб. науч. тр. / Донская гос. академия сервиса. – Шахты: ДГАС, 1996. – Вып. 17. – 4.1. – С. 65-69.
4. Коханенко В.Н., Кольченко О.Л. Влияние неравномерности потока в выходном сечении трубы на характер свободного растекания потока в нижнем бьефе // Гидравлика и гидротехника. – Киев. – 1989. – Вып. 51. – С. 42-48.

5. Емцев Б.Т. Двухмерные бурные потоки. – М.: Энергия, 1967. – 212 с.
6. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: В 4-х т. – М.: Энергоиздат, 1991. – Т. IV. – 366 с.
7. Кюнж Ж.А., Холли Ф.М., Вервей А. Численные методы в задачах речной гидравлики / Пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1985. – 255 с.

УДК 532.543

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛЕЙ ПО РАСЧЕТУ СВОБОДНО РАСТЕКАЮЩЕГОСЯ БУРНОГО СТАЦИОНАРНОГО ПОТОКА ЗА ВОДОПРОПУСКНЫМИ ТРУБАМИ ПРИ ЕГО ИСТЕЧЕНИИ В ШИРОКОЕ ОТВОДЯЩЕЕ РУСЛО

В.В. Ширяев, Н.В. Коханенко, Е.Г. Баленко

Донской государственный аграрный университет, п. Персиановский Ростовской области

Приводятся аналитические исследования ряда математических моделей и их сравнение с экспериментальными данными, полученными авторами.

В работе рассматриваются следующие модели и экспериментальные данные по определению параметров бурного свободно растекающегося стационарного водного потока за водопропускными трубами:

– аналитическая модель, полученная на базе системы уравнений движения двухмерного в плане потока в плоскости годографа скорости [1, 2, 3]; модель 1; численная модель расчета сопряжения бьефов в пространственных условиях на базе решения двухмерных уравнений Сен-Венана [4, 5]; модель 2; модель расчета планового потока при его свободном растекании в широкое отводящее русло на базе универсального графика И.А. Шеренкова [6]; модель 3; экспериментальные данные Х. Рауза [7]; экспериментальные данные авторов настоящей работы.

Во всех моделях не учитываются силы трения потоку со стороны горизонтального русла, выполненного из гладкого бетона. В качестве контролируемых параметров потока рассматриваются глубины и скорости потока вдоль его продольной оси симметрии.

Согласно теории, приведенной в работах [1, 2, 3], была получена следующая формула, связывающая параметры распределения глубин и скоростей бурного свободно растекающегося потока в зависимости от продольной координаты по оси симметрии потока в виде (модель):

$$x = \frac{Ah_0}{2H_0\sqrt{2gH_0}} \left[\frac{1+\tau}{\tau(1-\tau)} - \ln \frac{1-\tau}{\tau} - \frac{1+\tau_0}{\tau_0(1-\tau_0)} + \ln \frac{1-\tau_0}{\tau_0} \right], \quad (1)$$

где x – расстояние от торца водопропускной трубы до рассматриваемой точки вдоль оси симметрии потока; τ – квадрат скоростного коэффициента,

равный $\tau = \frac{V^2}{2gH_0}$; V – величина скорости частицы потока; g – ускорение

силы тяжести; H_0 – постоянная в интеграле Бернулли, где $H_0 = \frac{V_0^2}{2g} + h_0$; V_0 ,

h_0 – значения скорости и глубины потока на его выходе в отводящее русло;

$\tau_0 = \frac{V_0^2}{2gH_0}$; $A = \frac{V_0 b}{2 \sin \theta_{\max}}$ – коэффициент, получаемый в результате решения

краевой задачи свободного растекания бурного, стационарного потенциального открытого потока воды; b – ширина водопропускной трубы; $\theta_{\max}$ – угол наклона крайней линии тока к продольной оси симметрии на бесконечности, определяемый по формуле:

$$\theta_{\max} = C_1 + (\sqrt{3} - 1) \frac{\pi}{2}, \quad (2)$$

где $C_1 = \arctg \sqrt{\frac{3\tau_0 - 1}{1 - \tau_0}} - \sqrt{3} \arctg \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{3\tau_0 - 1}{1 - \tau_0}}$.

Заметим, что справедливы следующие формулы, связывающие параметр τ с глубиной h и скоростью V частиц потока:

$$h = (1 - \tau) H_0;$$

$$V = \sqrt{2gH_0} \tau^{1/2};$$

$$\tau = 1 - \frac{h}{H_0}; \quad (3)$$

$$V = \sqrt{2g(H_0 - h)}.$$

Результаты расчета параметров потока вдоль его продольной оси симметрии брались из графиков в литературе [3, 4] (модель 2).

Для расчета параметров свободного растекания потока вдоль его продольной оси симметрии использовался универсальный график И.А. Шеренкова (рис. 1).

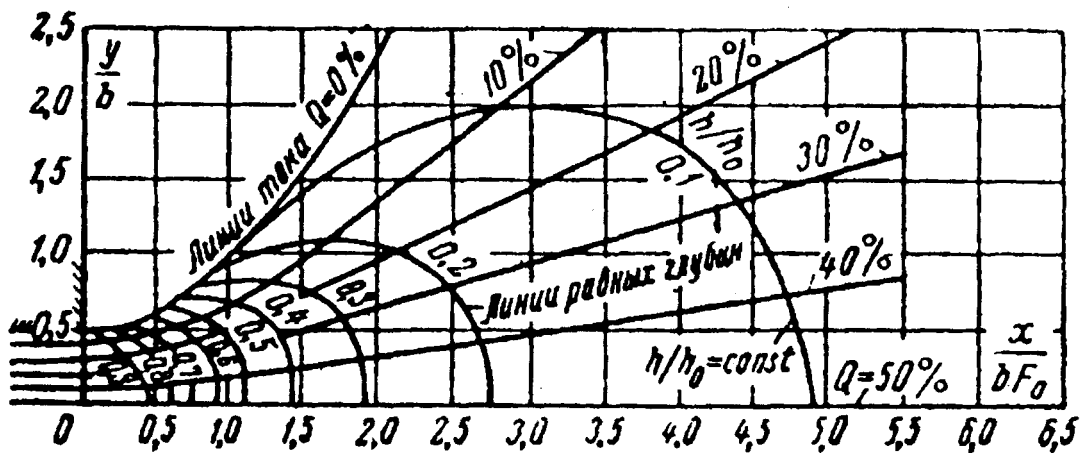


Рис. 1. Безразмерный график для расчета свободного растекания

Экспериментальные данные Х. Рауза приведены в литературе [6]. Экспериментальные данные авторов настоящей работы получены на экспериментальной установке при изучении свободного растекания бурного стационарного открытого водного потока.

Результаты исследований при $F_0 = 2$, $b = 16$ см, $h_0 = 7,71$ см и $V_0 = 125,65$ см/с приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследований

x/b	x/bF_0	Модель 3 h/h_0	Модель 2 h/h_0	Модель 1 h/h_0	По Раузу h/h_0	Авторы h/h_0
0	0	1	1	1	1	1
0,25	0,125	0,96	0,96	0,9	0,93	0,91
1,5	0,75	0,7	0,78	0,5	0,54	0,52
2,75	0,375	0,5	0,6	0,4	0,4	0,41
4	2	0,29	0,48	0,25	0,27	0,26
4,625	2,3125	0,25	0,44	0,2	0,24	0,22

Графики, построенные по результатам сравнительных исследований, показаны на рис. 2.

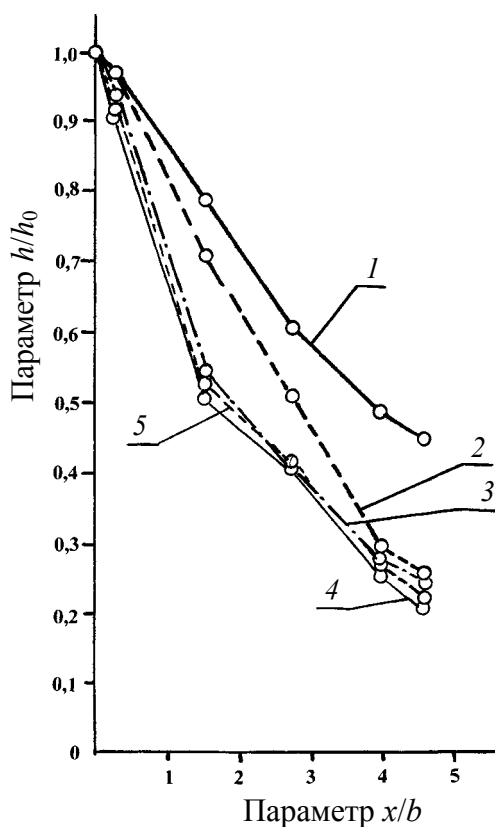


Рис. 2. Распределение глубин потока вдоль его продольной оси симметрии ($F_0=2$):

1 – модель 2; 2 – модель 3; 3 – по Раузу; 4 – модель 1; 5 – авторы

Результаты исследований при $F_0 = 4$, $b = 16$ см, $V_0 = 213,15$ см/с, $h_0 = 11,57$ см приведены в таблице 2.

Результаты исследований

x/b	x/bF_0	Модель 3 h/h_0	Модель 2 h/h_0	Модель 1 h/h_0	По Раузу h/h_0	Авторы h/h_0
0	0	1	1	1	1	1
0,25	0,0625	0,99	0,97	0,95	0,94	0,94
1,5	0,375	0,93	0,91	0,81	0,82	0,8
2,75	0,69	0,7	0,81	0,7	0,69	0,7
4	1	0,58	0,74	0,5	0,49	0,5
5	1,25	0,54	0,61	0,33	0,3	0,32

Графики, построенные по результатам сравнительных исследований, показаны на рис. 3.

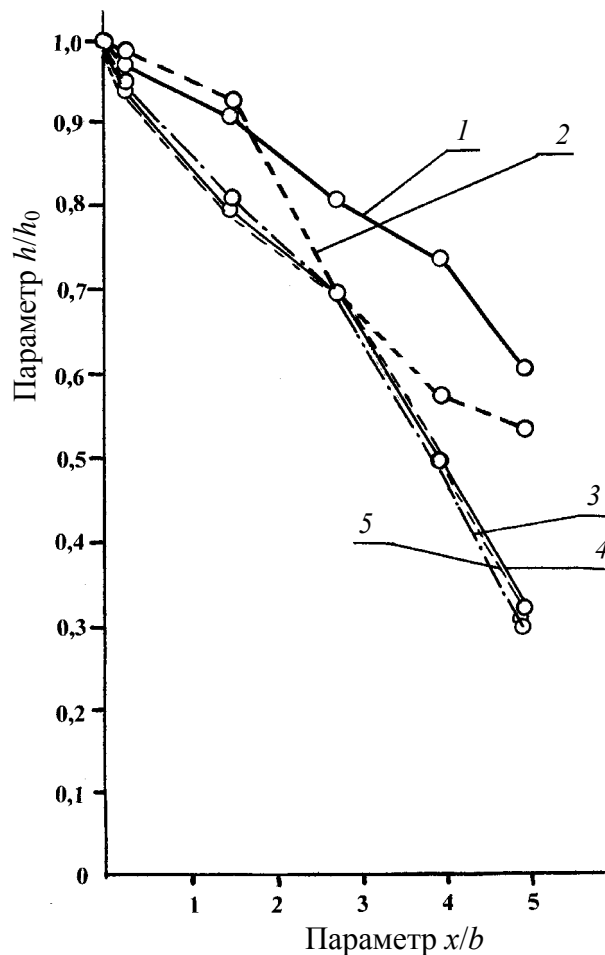


Рис. 3. Распределение глубин потока вдоль его продольной оси симметрии ($F_0 = 4$):

1 – модель 2; 2 – модель 3; 3 – по Раузу; 4 – модель 1; 5 – авторы

Из сравнения результатов моделей и экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Наилучшую адекватность с экспериментальными данными имеет модель 1, полученная В.Н. Коханенко, Б.Ю. Калмыковым и М.Ф. Мицик, и может быть рекомендована для практических расчетов. Относительное

рассогласование этой модели по глубине потока вдоль его продольной оси симметрии в среднем не превосходит 5 %.

2. Экспериментальные данные Х. Рауза и авторов настоящей работы практически совпадают.

3. Модели 2, 3 более грубы по сравнению с моделью 1, относительное рассогласование глубин потока по модели 2 в среднем достигает 42 %, а по модели 3 – около 20 %.

4. Степень растекания потока уменьшается с возрастанием скорости потока в выходном сечении водопропускной трубы.

5. Дополнительные исследования показывают, что кривые распределения глубин потока в координатах x/bF_0 , y/b не всегда носят универсальный характер, и это рассогласование от универсальности возрастает с возрастанием F_0 .

Литература

1. Коханенко В.Н. Вывод основной системы уравнений двумерного потока в плоскости годографа скорости и поиск ее частных решений. – М., 1996 – 98 с. – Деп. в ВИНТИ 10.12.96, № 3584-В96.
2. Коханенко В.Н., Калмыков Б.Ю. Поиск структуры формулы распределения скоростей жидкости вдоль продольной оси симметрии свободно растекающегося планового потока: Сб. тр. ДГАС. – Шахты, 1996. – С. 59-65.
3. Коханенко В.Н., Мицик М.Ф., Калмыков Б.Ю. Метод размерностей применительно к определению структуры формул геометрических характеристик свободно растекающихся бурных потоков: Сб. науч. тр. ШТИБО. – Шахты, 1995. – Вып. 17 – С. 105-108.
4. Милитеев А.Н., Тогунова Н.П. Метод расчета сопряжения бьефов в пространственных условиях // Гидравлика сооружений оросительных систем: Сб. науч. тр. НИМИ. – Новочеркасск, 1976. – Т. XVIII. Вып. 5. – С. 180-194.
5. Лятхер В.М., Милитеев А.Н., Тогунова Н.П. Исследования плана течений в нижнем бьефе гидротехнических сооружений численными методами // Гидротехническое строительство – 1978. – № 6.
6. Емцев Б.Т. Двухмерные бурные потоки. – М.: Энергия, 1967.
7. Rous H., Bhoota B., EN – Jun – Hsu, Design of channel expansions, Transactions ASCE, vol. 116, 1951.

УДК 001.891.573:621.822.575

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ В ЛЕПЕСТКОВОМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ ПОДШИПНИКЕ НА БАЗЕ МОМЕНТНОЙ ТЕОРИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

А.В. Сытин

Орловский государственный технический университет

Рассмотрены расчетные схемы и математическая модель расчета деформаций элементов лепесткового газодинамического подшипника. Для расчета деформаций лепестка предложена моментная теория цилиндрических оболочек.

Одним из существенных недостатков подшипников качения является ограничение предельной быстроходности. Более перспективным, с точки зрения быстроходности и надежности, является использование различных видов подшипников скольжения. Наиболее перспективными из них являются лепестковые газодинамические подшипники (рис. 1).

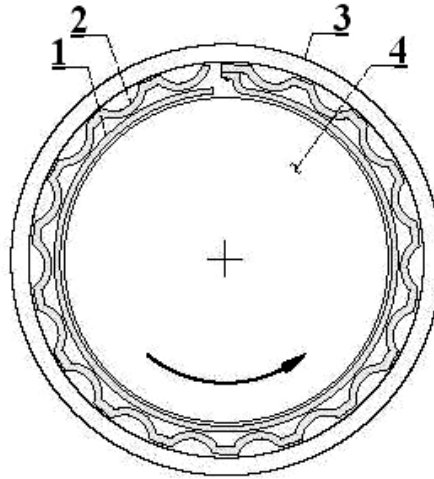


Рис. 1. Лепестковый газодинамический подшипник с упругими элементами:

1 – лепесток; 2 – круговой гофрированный элемент; 3 – корпус; 4 – ротор

Подшипник состоит из полого цилиндра, внутри которого расположен гофрированный элемент, на который опирается очень тонкий лепесток. И круговой гофрированный элемент, и основной лепесток, оба прикреплены к втулке с помощью точечной сварки. При вращении вала формируется клинообразная полость под воздействием смещений вала в радиальном направлении. Газодинамическая сила затягивает рабочий газ в эту полость, где он подвергается сжатию. Лепесток прогибается, обеспечивая некоторую толщину смазочного слоя, превышающую толщину при эквивалентной жесткой поверхности, что приводит к снижению потерь мощности [1]. Гофрированный элемент работает как пружина, обеспечивающая подстройку под расширение, резкие скачки и любое нарушение центровки или смещения от оси. В чистом виде получается, что относительное перемещение является добавочным и в свою очередь создает высокое кулоновское демпфирование, эквивалентное эффекту трения.

Расчет подшипников скольжения предполагает определение полей давления в смазочном слое подшипника. В данном случае уравнение Рейнольдса для давления в подшипнике с газовой смазкой в случае стационарного течения имеет вид [2]:

$$\frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\rho h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\rho h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6\mu\omega \frac{\partial(\rho h)}{\partial \theta}, \quad (1)$$

где p – давление газа; ρ – плотность; μ – вязкость; R – внутренний радиус подшипника.

Функцию радиального зазора, входящую в уравнение Рейнольдса, можно представить в виде:

$$h = C + e \cdot \cos \theta + w, \quad (2)$$

где w – прогиб лепестка, e – эксцентриситет, θ – расчетный угол.

Для определения прогиба представим лепесток в виде незамкнутой цилиндрической оболочки. Незамкнутую цилиндрическую оболочку не удастся удовлетворительно рассчитать по безмоментной теории, так как в рамках этой теории невозможно удовлетворить граничным условиям на прямолнейных краях. Исходя из этого, лепесток подшипника описываем, длинной тонкостенной незамкнутой цилиндрической оболочкой, рассчитываемой по моментной теории [3].

Рассмотрим цилиндрическую оболочку в системе координат z, θ, R (рис. 2).

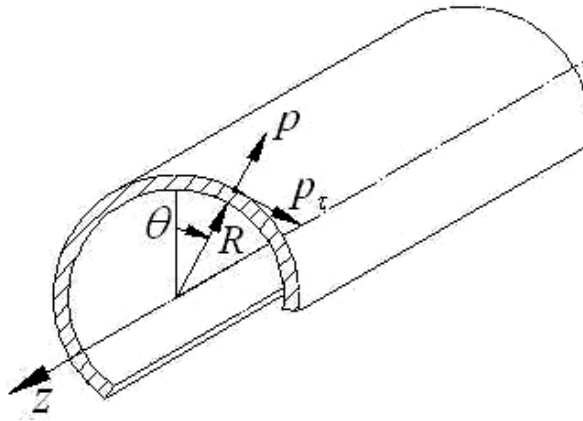


Рис. 2. Расчетная схема цилиндрической оболочки

Прогиб лепестка под действием приложенной нагрузки представим в виде двух составляющих:

$$w = w_0 + w_1, \quad (3)$$

где w – общее решение системы уравнений; w_0 – решение однородной системы уравнений (когда p и p_τ в системе (4) равны нулю); w_1 – частное решение неоднородной системы уравнений (4).

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1-\nu}{2R^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} + \frac{1+\nu}{2R} \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial z \partial \theta} + \frac{\nu}{R} \cdot \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \\ \frac{1+\nu}{2R} \frac{\partial^2 u}{\partial z \partial \theta} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial \theta^2} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial z^2} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial w}{\partial \theta} = -\frac{1-\nu^2}{Et_B} p_\tau, \\ \frac{\nu}{R} \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial \vartheta}{\partial \theta} + \frac{w}{R^2} = -\frac{1-\nu^2}{Et_B} p, \end{cases} \quad (4)$$

где w , ϑ , u – перемещения оболочки в направлении осей x , y , z соответственно; ν – коэффициент Пуассона; E – модуль упругости; t_B – толщина оболочки.

Решение системы (4) совместно с граничными условиями однозначно определяет перемещения цилиндрической оболочки, к тому же общее решение w , состоящее из двух частей, должно удовлетворять всем граничным условиям.

Граничные условия:

- крепление лепестка $w_0 = 0$, $\vartheta_0 = 0$, $u_0 = 0$;
- жесткость кругового гофрированного элемента ограничивает прогиб лепестка $w \leq K(p - p_a)$, (p_a – наружное давление).

Коэффициент жесткости, исходя из геометрии кругового гофрированного элемента (рис. 3), эмпирически можно представить в виде [1]:

$$K = \frac{2s}{E} \left(\frac{l}{t_B} \right)^2 (1 - \nu^2), \quad (5)$$

где s – шаг гофрированного элемента; l – половина длины гофрированного элемента.

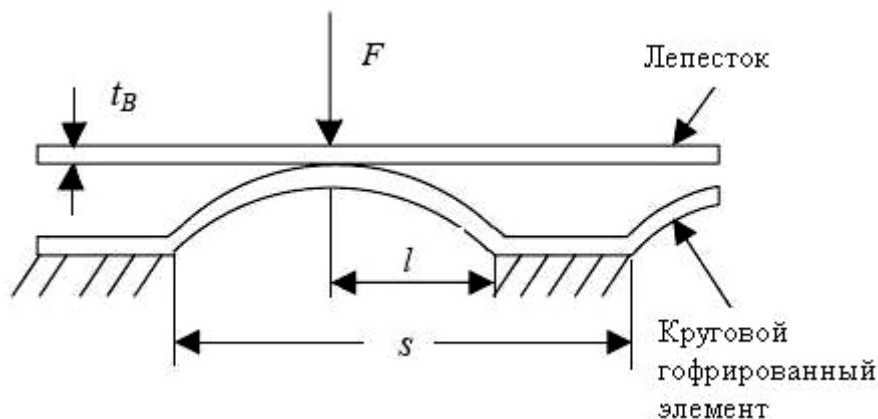


Рис. 3. К расчету коэффициента жесткости кругового гофрированного элемента

Применение моментной теории цилиндрических оболочек позволяет более точно описать процесс деформаций в лепестковом газодинамическом подшипнике, добавлением в функцию радиального зазора перемещений лепестка под действием нагрузки. Совместное решение задачи газодинамики и теории упругости учитывает влияние давления на прогиб оболочки и обратное влияние прогиба на давление через функцию радиального зазора, тем самым замыкая поставленную задачу.

Литература

1. Хешмет Х., Уоловит Дж. А., Пинкус О. Анализ газового ленточного радиального подшипника // Проблемы трения и смазки. – 1983. – Т. 105. – № 4. – С. 124-132.

2. Сери А. Некоторые направления развития теории смазки Рейнольдса // Проблемы трения и смазки. – 1987. – № 1. – С. 21-39.
 3. Колкунов Н.В. Основы расчета упругих оболочек. – М.: Высш. шк., 1963. – 278 с.
- 302027, г. Орел, ул. Игнатова, 33-56, т. (4862)41-34-91, e-mail: sytin@ostu.ru

УДК 519.67

ВЛИЯНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ВЗРЫВНОГО КЛАПАНА НА ДАВЛЕНИЕ ВЗРЫВА ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ЗАЩИЩАЕМОМ ОБЪЕМЕ

Ю.Х. Поландов, М.А. Барг, С.А. Власенко, А.В. Митрохин
Орловский государственный технический университет

Приведены результаты оценки влияния места расположения и размеров взрывного клапана на давление взрыва в топке топливно-воздушной смеси, полученные методом численного моделирования (метод крупных частиц).

Обеспечение безопасности теплотехнического оборудования, в состав которых входят топки, продолжает оставаться проблемой. Численное моделирование таких сложных процессов, как горение и взрывы, позволяет эффективно решать отдельные задачи этой проблемы. В ряду таких задач стоит повышение эффективности взрывных клапанов, устанавливаемых на ограждении топки для защиты при взрывах топливно-воздушных смесей. Нами методом численного моделирования исследуется влияние на давление взрыва места установки взрывного клапана на ограждении топки.

При численном моделировании за основу был взят метод крупных частиц [1, 2] с внесенными в него некоторыми изменениями. Если использовать в качестве параметра состояния, описывающего исследуемый процесс, массовую долю продуктов сгорания f , то вносимые изменения можно пояснить следующим образом.

В соответствии с методом крупных частиц моделируемое пространство разбивается на совокупность ячеек. Долю продуктов сгорания f для каждой ячейки можно определить из выражения:

$$f = \frac{m_B}{m}. \quad (1)$$

где m – общая масса смеси в ячейке, кг; m_B – масса продуктов сгорания в ячейке, кг.

При этом расчетные ячейки можно разделить на три группы:

- ячейки с исходной смесью, для которых выполняется условие $f < \varepsilon$, где ε – параметр точности расчетов;
- «сгоревшие» ячейки – $f > 1 - \varepsilon$;
- «горящие» ячейки.

Моделирование горения производится в три этапа.

На первом этапе рассматривается горение газа в ячейках. Для всех «горящих» ячеек определяется доля газа Δf , сгоревшего за время Δt , и рассчитывается выделение энергии ΔE :

$$\begin{aligned}\Delta m_B &= m k_m; \\ \Delta f &= \frac{\Delta m_m}{m} = k_m; \\ f' &= f + \Delta f; \\ \Delta E &= \Delta m_B H; \\ E' &= E + \frac{\Delta E}{m} = E + fH,\end{aligned}\tag{2}$$

где k_B – коэффициент скорости горения газа; E – удельная полная энергия газа в ячейке, Дж/кг; ΔE – абсолютное выделение энергии, Дж; H – теплотворная способность газа, Дж/кг; f' и E' – соответственно доля продуктов сгорания и полная удельная энергия после этапа «горения».

Второй этап предполагает исследование распространения горения на соседние ячейки. В прямоугольной трехмерной сетке каждая ячейка имеет двадцать шесть соседних ячеек. С шестью из них она имеет общую грань, с двенадцатью – общее ребро, и с восемью ячейками – общую вершину. Соседняя ячейка воспламеняется в момент, когда фронт горения достигает границы между ячейками (соответственно грани, ребра или вершины). Рассмотрим распространение фронта горения внутри ячейки.

На данном этапе будем рассматривать распространение горения в «стоячем» газе, т.е. состояние газа не влияет на движение фронта горения. Пусть источник воспламенения находится в центре ячейки (точка O , рис. 1), тогда фронту потребуется различное время для достижения точек A , B и C (соответственно центр грани, центр ребра, вершина).

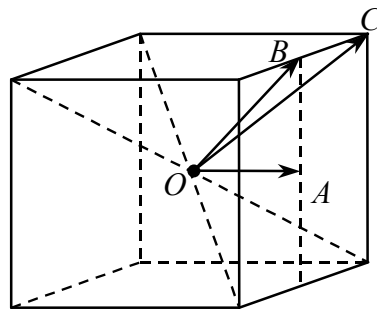


Рис. 1. Схема ячейки в модели распространения фронта пламени

Если представить ячейку в форме куба, то при условии равенства его сторон: $\Delta X = \Delta Y = \Delta Z$, справедливы следующие соотношения длин отрезков:

$$OB = OC \sqrt{\frac{2}{3}}, \quad OA = \frac{OC}{\sqrt{3}}.\tag{3}$$

В момент времени, когда радиус фронта горения превышает OA (OB , OC), происходит воспламенение ячеек, имеющих с текущей общую грань (ребро, вершину).

Рассматриваемая модель не позволяет определить непосредственное положение фронта внутри ячейки, однако для моделирования распространения горения достаточно знать лишь степень сгорания ячейки f . Так как ячейки, граничащие по вершинам, воспламеняются фактически в момент полного сгорания ячейки, то степень сгорания f_4 ячейки, при которой происходит их воспламенение, можно определить как:

$$f_4 = 1 - \varepsilon.$$

Степень сгорания ячейки, при которой воспламеняются ячейки, имеющие с текущей ребро (f_2) или грань (f_1), можно определить по аналогии с выражениями (3):

$$f_2 = f_4 \sqrt{\frac{2}{3}}, \quad f_1 = \frac{f_4}{\sqrt{3}}.$$

Таким образом, для выполнения второго этапа будем пользоваться следующей схемой:

1. Если выполняется условие $f > f_1$, «воспламеним» все «негоревшие» ячейки, имеющие с текущей общую грань.
2. Если выполняется условие $f > f_2$, «воспламеним» все «негоревшие» ячейки, имеющие с текущей общее ребро.
3. Если выполняется условие $f > f_4$, «воспламеним» все «негоревшие» ячейки, имеющие с текущей общую вершину.

Под «воспламенением» здесь понимается установка плотности продуктов сгорания для ячейки в некоторое начальное значение ($f \leftarrow \varepsilon$).

Далее определим значение коэффициента скорости горения k^B , используемого на первом этапе в выражении (2). Этот коэффициент показывает, какая доля газа в ячейке сгорает за время Δt :

$$k_B = \frac{\Delta t}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}} U_B f_4,$$

где U_B – скорость распространения фронта в «стоячем» газе, м/с.

Скорость нормального горения сильно зависит от температуры газа:

$$U_B = U_{B0} (T / T_0)^2,$$

где T_0 – температура горения газа при начальных условиях, К; T – текущая температура газа в ячейке, К; U_{B0} – скорость нормального горения газа при начальных условиях, м/с.

Третий этап моделирования процесса горения заключается в моделировании переноса массы сгоревшего газа через границы ячеек. Перенос производится на основе схемы, применяемой для переноса остальных параметров. Однако здесь следует учитывать, что перенос осуществляется только из

полностью сгоревших ячеек в уже горящие ячейки. Так, например, формулы первого порядка точности принимают следующий вид:

$$f_{i,j,k}^{n+1} = f_{i,j,k}^n \rho_{i,j,k}^n + \left(\Delta M_{i-\frac{1}{2},j,k} f_{i-\frac{1}{2},j,k} - \Delta M_{i+\frac{1}{2},j,k} f_{i+\frac{1}{2},j,k} + \right. \\ \left. + \Delta M_{i,j-\frac{1}{2},k} f_{i,j-\frac{1}{2},k} - \Delta M_{i,j+\frac{1}{2},k} f_{i,j+\frac{1}{2},k} + \Delta M_{i,j,k-\frac{1}{2}} f_{i,j,k-\frac{1}{2}} - \right. \\ \left. - \Delta M_{i,j,k+\frac{1}{2}} f_{i,j,k+\frac{1}{2}} \right) \frac{1}{\Delta x \Delta y \Delta z \rho_{i,j,k}^{n+1}};$$

$$f_{i+\frac{1}{2},j,k} = \begin{cases} f_{i,j,k}, & \tilde{U}_{i+\frac{1}{2},j,k} > 0, f_{i+1,j,k} > \varepsilon, f_{i,j,k} > 1 - \varepsilon; \\ v_{i+1,j,k}, & \tilde{U}_{i+\frac{1}{2},j,k} < 0, f_{i+\frac{1}{2},j,k} > \varepsilon, f_{i+1,j,k} < 1 - \varepsilon; \\ 0; \end{cases}$$

$$f_{i-\frac{1}{2},j,k} = \begin{cases} f_{i-1,j,k}, & \tilde{U}_{i-\frac{1}{2},j,k} > 0, f_{i,j,k} > \varepsilon, f_{i-1,j,k} < 1 - \varepsilon; \\ f_{i,j,k}, & \tilde{U}_{i-\frac{1}{2},j,k} < 0, f_{i-1,j,k} > \varepsilon, f_{i,j,k} < 1 - \varepsilon; \\ 0. \end{cases}$$

Предложенная модификация метода крупных частиц позволяет с определенной степенью точности моделировать процессы горения и взрыва. Данная методика была применена авторами для оценки влияния места расположения и размеров взрывного клапана на давление взрыва в топке парового котла. Так, на рис. 2, 3 представлены графики изменения давления взрыва при различных положениях взрывного клапана относительно источника воспламенения и при различных соотношениях площадей сечения отверстия клапана (s) и топки (S) с учетом того, что клапан располагался в противоположной от горелки части топки котла.

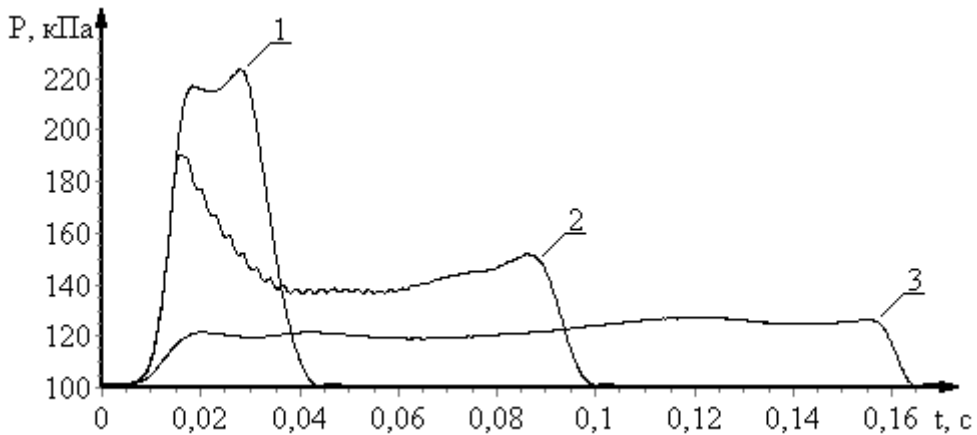


Рис. 2. Динамика изменения давления (абсолютного) при взрыве при $s/S=1/4$:
 1 – клапан в противоположной от горелки части; 2 – клапан в средней части топки;
 3 – клапан рядом с горелкой

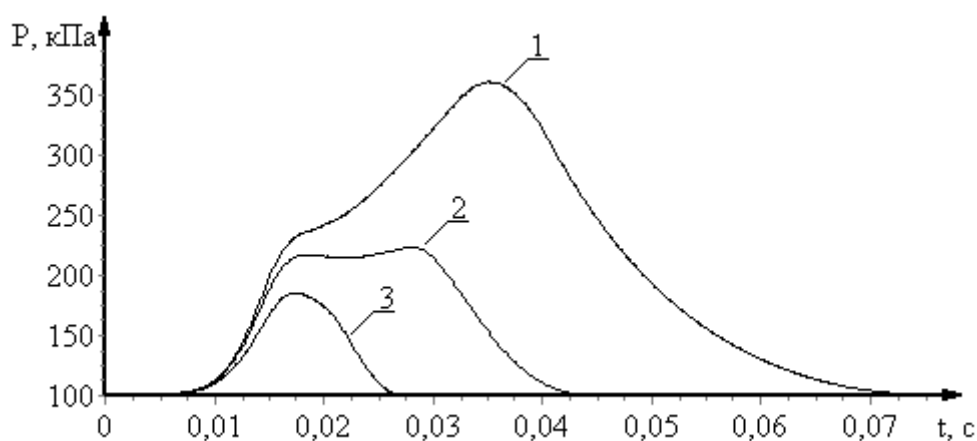


Рис. 3. Динамика изменения давления (абсолютного) при взрыве при положении клапана в противоположной от горелки части топки:
 $1 - s/S = 1/8$; $2 - s/S = 1/4$; $3 - s/S = 1/2$

Видно, что давление взрыва смеси в топке уменьшается с приближением места положения взрывного клапана к горелке, что может служить рекомендацией при проектировании средств защиты теплотехнического оборудования.

Таким образом, предложенный способ моделирования позволяет прогнозировать развитие реального процесса взрыва и в дальнейшем разрабатывать меры по предотвращению его опасных последствий.

Литература

1. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике. Вычислительный эксперимент. – М.: Наука, Физматгиз, 1982.
2. Давыдов Ю.М., Акжолов М.Ж., Алабужев П.М. Численное исследование актуальных проблем машиностроения и механики сплошных и сыпучих сред методом крупных частиц: В 5 т. Т. 4: Ракетные двигатели. Алгоритмы / Национальная Акад. прикладных наук, Междунар. ассоциация разработчиков и пользователей метода крупных частиц. – М., 1998.

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29, т. (4862) 41-98-48, e-mail: fotina77@list.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Воронцов Г.В. Исследование динамики многомерных технических систем со случайно изменяющимися параметрами	4
Иванченко А.Н., Зайцев Р.Г., Кузьменко П.Г. Усовершенствованный метод многомерной классификации с критерием качества Колмогорова	7
Бутакова М.А. Общие принципы имитационного моделирования случайных процессов в информационных системах и сетях	10
Жизняков А.Л. Моделирование изображений на основе вейвлет-преобразования	17
Зорина Д.А. Параллельная реализация метода прогонки на кластере распределенных вычислений	19
Хозяинова М.Г. Конструирование математических моделей динамических систем в частотной области	20
Бородай А.В. О процессах самоиндукции и свойствах индуцированных структур при трении тел	23
Дьяконица С.А., Семенов Д.С., Семенов П.С., Панов А.С. Цифровое моделирование систем теплоснабжения	26
Гойтина Е.В. Подход к идентификации математических моделей тепловых сетей	31
Сушинов А.И., Левченко М.Н. Локально-двумерные схемы для математического моделирования термически нагруженных конструкций со сложной геометрией и неоднородностями	34
Копков А.Г., Шнайдер Д.А. Моделирование теплогидравлических режимов теплового пункта здания	36
Ощепков А.Ю., Кирюшов В.В. Моделирование процессов выравнивания температурных полей двумерных объектов при наличии внешних возмущений	39
Дружинин И.И. Моделирование как способ обоснования возможности повышения срока службы электромагнитов привода	45
Ширяев В.В., Коханенко Н.В., Баленко Е.Г. Определение геометрии крайней линии тока и параметров вдоль нее с учетом сил трения потоку	53
Ширяев В.В., Коханенко Н.В., Баленко Е.Г. Сравнительный анализ адекватности моделей по расчету свободно растекающегося бурного стационарного потока за водопропускными трубами при его истечении в широкое отводящее русло	57
Сытин А.В. Математическое моделирование деформаций в лепестковом газодинамическом подшипнике на базе моментной теории цилиндрических оболочек	61
Поландов Ю.Х., Барг М.А., Власенко С.А., Митрохин А.В. Влияние местоположения взрывного клапана на давление взрыва топливно-воздушной смеси в защищаемом объеме	65

Научное издание

Моделирование. Теория, методы и средства

Материалы VI Международной научно-практической конференции
Часть 1

Редактор А.С. Лобова
Компьютерная верстка М.К. Востокова

Подписано в печать 15.05.2006 г.
Формат 60х84 1/16. Усл. печ. л. 4,44. Тираж 100 экз. Заказ 47-3894.

Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)
Центр оперативной полиграфии ЮРГТУ (НПИ)

Адрес университета и центра оперативной полиграфии:
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел. 55-222

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

**ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)**

МОДЕЛИРОВАНИЕ. ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

*Материалы
VI Международной научно-практической
конференции*

*7 апреля 2006 года
г. Новочеркасск*

Часть 2

Новочеркасск
ЮРГТУ
2006

УДК 519.688
ББК 22.18 в6
М 74

Организаторы конференции:

Федеральное агентство по образованию;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет.

Оргкомитет конференции:

Н.И. Горбатенко (РФ), профессор – председатель;
Ю.А. Бахвалов (РФ), профессор;
Г. Вурмус (ФРГ), профессор;
Г. Йегер (ФРГ), профессор;
Е. Калленбах (ФРГ), профессор;
М.В. Ланкин (РФ), доцент – зам. председателя;
Н.Ф. Никитенко (РФ), профессор;
А.В. Павленко (РФ), профессор;
В.А. Плаксин (РФ), доцент;
В.Н. Чернов (РФ), профессор.

Редакционная коллегия:

Н.И. Горбатенко, д-р техн. наук, профессор – ответственный редактор;
М.В. Ланкин, канд. техн. наук, доцент – зам. ответственного редактора;
В.А. Плаксин, канд. техн. наук, доцент

М 74 Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы VI Международ. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 7 апр. 2006 г.: В 5 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. – Ч. 2. – 70 с.

ISBN 5-88998-671-6

Сборник содержит материалы по нескольким научным направлениям. Во второй части рассмотрены вопросы математических моделей в электротехнике и магнитной гидродинамике; математических моделей в энергетике и электромашиностроении.

УДК 519.688
ББК 22.18 В6

ISBN 5-88998-671-6

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2006
© Авторы, 2006

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) – крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные научно-технические контакты, – выступил инициатором проведения ряда Международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе Internet.

В апреле 2006 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила VI Международная научно-практическая конференция «Моделирование. Теория, методы и средства». В работе конференции приняли участие ученые и специалисты – представители высших учебных заведений, НИИ, научно-производственных предприятий Москвы, Липецка, Алматы (Казахстан), Архангельска, Санкт-Петербурга, Смоленска, Орла, Краснодар, Ростова-на-Дону, Таганрога, Ставрополя, Тамбова, Воронежа, Волгограда, Астрахани, Казани, Йошкар-Олы, Ульяновска, Самары, Челябинска, Владимира, Муром, Перми, Томска, Северска, Кургана, Омска, Иркутска, Хабаровска, Новочеркаска, Шахты.

На конференцию представлено 102 доклада, которые вошли в сборник, состоящий из пяти частей, в соответствии с научными направлениями.

В первой части рассматриваются общие вопросы моделирования процессов, устройств и явлений; математические модели в теплотехнике и гидравлике.

Во второй части рассмотрены вопросы математических моделей в электротехнике и магнитной гидродинамике; математических моделей в энергетике и электромашиностроении.

В третью часть вошли доклады о математическом моделировании социальных и экономических процессов; математических моделях в строительстве; математических моделях в химии и металлургии.

В четвертую часть вошли публикации о математических моделях в медицине, биологии и экологии; математических моделях в геологоразведочной и горнодобывающей отраслях; математическом моделировании технологических процессов; а также освещены учебно-методические вопросы преподавания основ моделирования в учебном процессе.

Пятая часть включает материалы, посвященные математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем; физическому моделированию в науке и технике.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В СХЕМАХ ЗАМЕЩЕНИЯ С УПРАВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

С.Н. Басан, М.А. Мякинченко

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Рассмотрены возможности моделирования линейных схем замещения управляемыми источниками тока и напряжения и применения таких моделей для решения задач эквивалентных преобразований участков схем замещения.

Известно [1], что эквивалентные преобразования позволяют решать множество задач анализа и синтеза линейных электрических цепей, не составляя соответствующих систем уравнений. В то же время нельзя сказать, что аппарат эквивалентных преобразований разработан в полном объеме. Это объясняется тем, что современная теория электрических цепей использует достаточно большое количество различного рода идеализированных элементов, которое постоянно пополняется [2]. В свою очередь, состав элементного базиса, использованного для синтеза схемы замещения, в существенной мере влияет на сложность в обосновании различных приемов эквивалентных преобразований.

Целью данной работы является рассмотрение возможности моделирования линейных схем замещения управляемыми источниками тока и напряжения и применения таких моделей для решения задач эквивалентных преобразований участков схем замещения.

Рассмотрим моделирование двухполюсников управляемыми источниками тока и напряжения.

На рис. 1,а приведен линейный двухполюсник с сопротивлением $Z(p)$. Здесь p – оператор дифференцирования

$$p = d/dt. \quad (1)$$

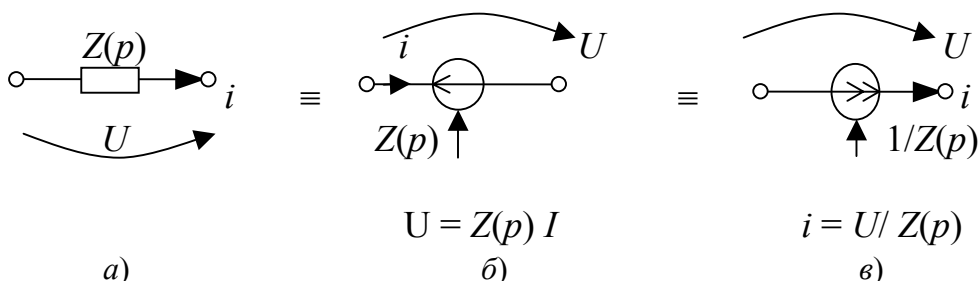


Рис. 1

Несложно убедиться, что полюсные уравнения всех трех двухполюсников на рис. 1,а,б,в совпадают:

$$U = Z(p) I. \quad (2)$$

Следовательно, эти двухполюсники эквивалентны. Таким образом, можно сделать вывод о том, что любую линейную схему замещения электрической цепи можно представить в виде сочетания управляемых и независимых источников тока и напряжения.

Эквивалентные преобразования схем замещения с управляемыми источниками можно расчленить на две группы: преобразования управляющих величин и преобразования участков схем замещения с источниками.

Рассмотрим вначале преобразования управляющих величин.

На рис. 2 приведен фрагмент схемы замещения с источником напряжения управляемым собственным током.

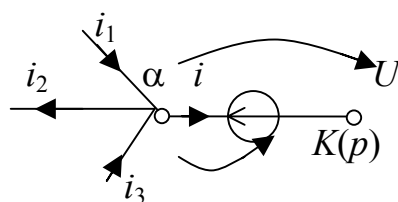


Рис. 2

Из уравнения 1-го закона Кирхгофа для узла α следует

$$i = i_1 - i_2 + i_3 \quad (1)$$

Тогда напряжение источника можно представить в виде $U = E$:

$$U = K(p) i = K(p) i_1 - K(p) i_2 + K(p) i_3. \quad (2)$$

Выражению (2) соответствует схема замещения, приведенная на рис. 3.

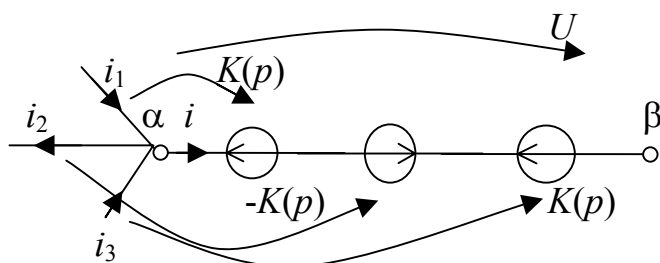


Рис. 3

Если в схеме на рис. 3 для контура, обозначенного кривой стрелкой, составить уравнение 2-го закона Кирхгофа, то оно в точности совпадет с уравнением (2). Следовательно, фрагменты схем замещения на рис. 3 и рис. 4 эквивалентны.

Результат не изменится, если источник напряжения управляется сторонним током (рис. 4).

Полюсное уравнение источника напряжения на рис. 4 в точности совпадает с полюсным уравнением (2) двухполюсника на рис. 2. Если для узла δ составить уравнение 1-го закона Кирхгофа и выразить управляющий ток через токи ветвей, сходящихся в узле δ , то получим соотношения, в точности совпадающие с (1) и (2).

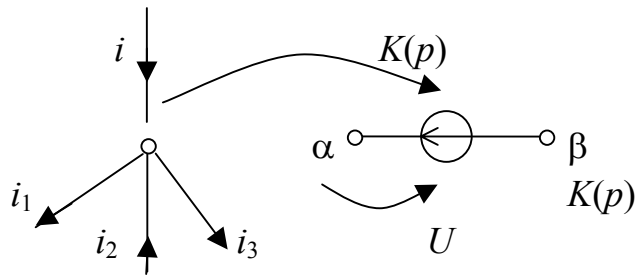


Рис. 4

Таким образом, для схемы замещения на рис. 4 можно получить эквивалентную схему, приведенную на рис. 5 (показан фрагмент схемы замещения рис. 4).

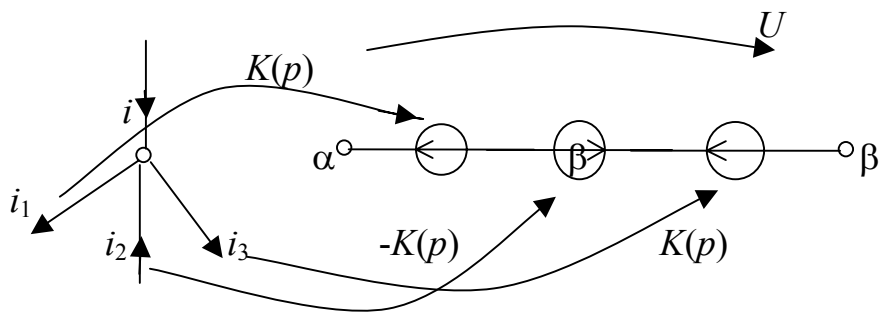


Рис. 5. Фрагмент схемы замещения рис. 4

Рассмотрим теперь источник напряжения, управляемый напряжением, (рис. 6).

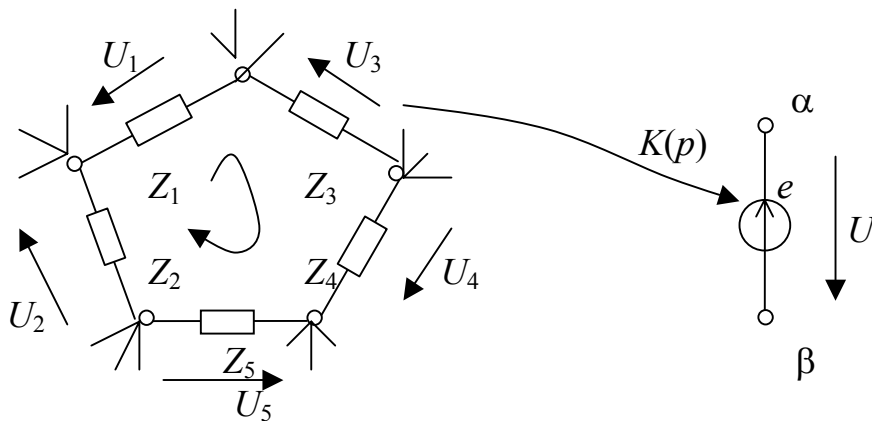


Рис. 6

Здесь управляющим напряжением является напряжение U_3 .

$$e = K(p) U_3. \quad (3)$$

Составим уравнение второго закона Кирхгофа для контура, обозначенного круговой стрелкой на рис. 6.

$$\begin{aligned} -U_1 - U_3 + U_4 - U_5 + U_2 &= 0 \\ \text{или } U_3 &= U_4 - U_5 + U_2 - U_1. \end{aligned}$$

Из (3) получим:

$$e = K(p) U_4 - K(p) U_5 + K(p) U_2 - K(p) U_1. \quad (4)$$

Уравнению (4) соответствует схема замещения на рис. 7.

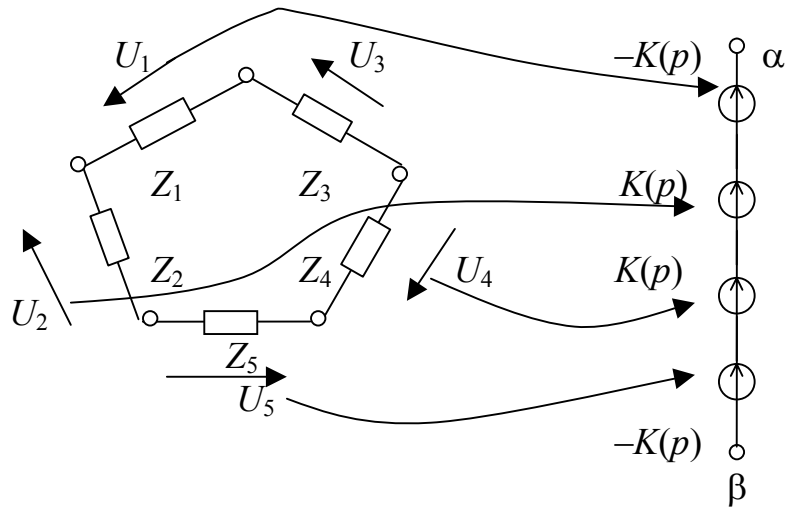


Рис. 7

Совершенно аналогично можно показать эквивалентность участков схем замещения, приведенных на рис. 8, 9.

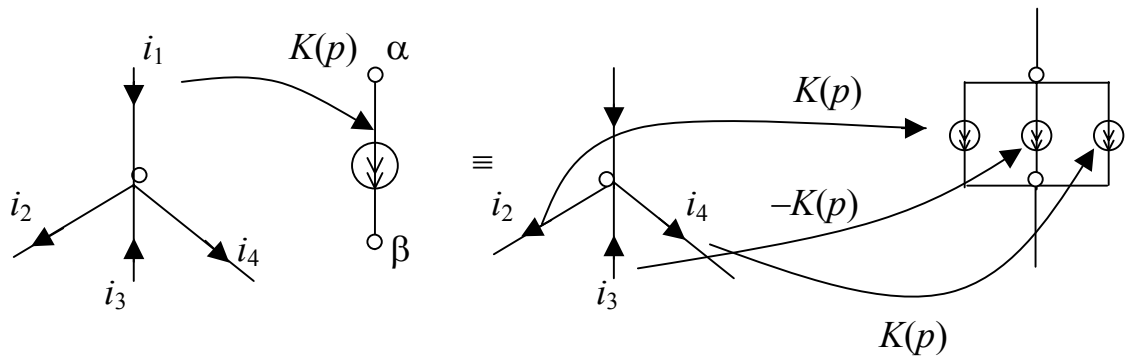


Рис. 8

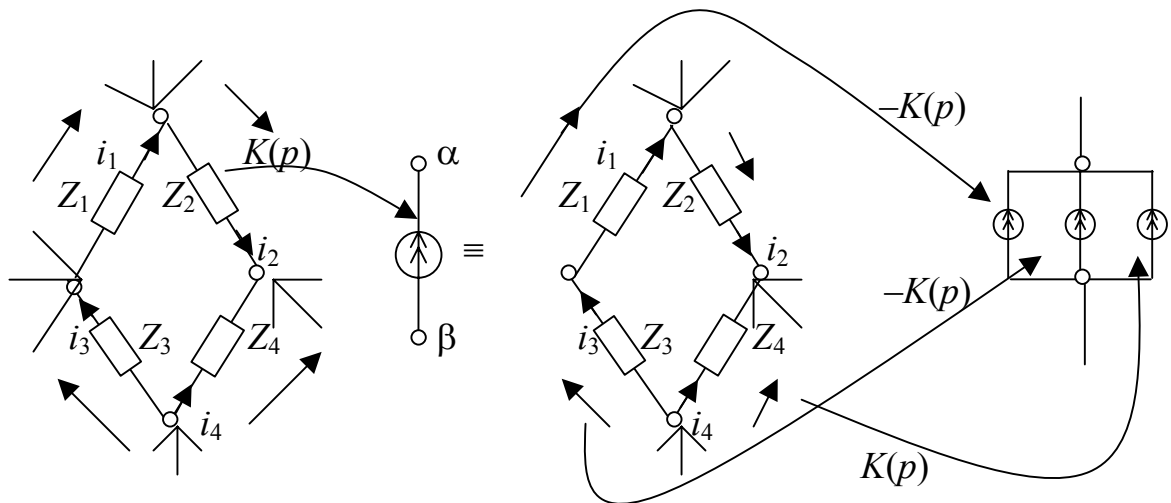


Рис. 9

Из изложенного материала можно сделать следующие выводы:

1. Любую схему замещения можно заменить эквивалентной схемой, состоящей только из управляемых и неуправляемых источников тока и (или) напряжения.

2. Известно [1], что напряжение любой ветви в схеме замещения, состоящей из двухполюсников, можно выразить через напряжение ветви дерева, а ток любой ветви через токи ветвей связи.

Следовательно, в схеме замещения, состоящей из управляемых источников, все управляющие напряжения можно выразить через напряжения ветвей дерева, а управляющие токи через токи связей.

Литература

1. Басан С.Н., Махин В.Д. Эквивалентные преобразования в линейных схемах замещения электрических цепей с управляемыми источниками. – Таганрог, 1990. – 66 с.
2. Нейман Д.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 533 с.

УДК 539.213, 621, 530.1

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБОБЩЕННОГО УРАВНЕНИЯ ДИФФУЗИИ ПРИ ДИСПЕРСИОННОМ ПЕРЕНОСЕ

Р.Т. Сибатов, В.Г. Бурмистрова

Ульяновский государственный университет

Для обобщенного дробно-дифференциального уравнения диффузии носителей заряда в неупорядоченных полупроводниках при дисперсионном переносе составлено разностное уравнение неявной схемы, которое решалось методом прогонки. В качестве конечно-разностного аналога дробной производной Римана-Лиувилля использовался оператор, построенный на основе определения дробной производной по Грюнвальду-Летникову.

В неупорядоченных полупроводниках часто наблюдается дисперсионный перенос заряда, для которого не применим закон Фика, а, следовательно, и обычное уравнение диффузии [1]. Применяемые в различных работах [2 и др.] уравнения получены обобщением классического уравнения диффузии путем введения зависимости от координат и/или от времени в коэффициенте диффузии и подвижности. Последнее обстоятельство находится в явном противоречии с тем фактом, что представляющая интерес концентрация неравновесных носителей заряда является характеристикой, усредненной по ансамблю реализаций неупорядоченной среды. Рассмотрим модель переноса носителей заряда в неупорядоченных полупроводниках, контролируемого многократным захватом на локализованные состояния. Кинетическое уравнение захвата-эмиссии связывает концентрации делокализо-

ванных носителей $P_d(\mathbf{r}, t)$ и носителей, захваченных в ловушки с энергией ε , $P_{l,\varepsilon}(\mathbf{r}, t)$ [3]:

$$\frac{\partial P_{l,\varepsilon}}{\partial t} = \omega_\varepsilon P_d - r_\varepsilon P_{l,\varepsilon}, \quad (1)$$

где скорости термической эмиссии r_ε и захвата на локализованные состояния ω_ε связаны условием детального равновесия: $r_\varepsilon = \omega_\varepsilon \exp(-\varepsilon/kT)$.

Проинтегрировав уравнение (1), приходим к

$$P_{l,\varepsilon}(\mathbf{r}, t) = P_{l,\varepsilon}(\mathbf{r}, 0) + \int_0^t P_d(\mathbf{r}, \tau) \exp[-\omega_\varepsilon(t - \tau) \exp(-\varepsilon/kT)] d\tau.$$

Усредняя по энергии концентрацию локализованных носителей: $P_l = \int P_{l,\varepsilon} \rho(\varepsilon) d\varepsilon / \int \rho(\varepsilon) d\varepsilon$, в предположении о слабой зависимости скорости захвата от энергии $\omega_\varepsilon \approx \omega$, полагая энергетическое распределение локализованных состояний экспоненциальным: $\rho(\varepsilon) \propto \exp(-\varepsilon/kT_c)$, где T_c – характеристическая температура распределения ловушек, приходим к

$$\frac{\partial P_l}{\partial t} = \alpha \Gamma(\alpha) \omega^{1-\alpha} \frac{\partial}{\partial t} \int_0^t \frac{P_d(r, \tau)}{(t - \tau)^\alpha} d\tau; \quad \alpha = \frac{T}{T_c}.$$

Переписывая иначе, получаем

$$\frac{\partial P_l}{\partial t} = A \omega^{1-\alpha} \frac{\partial^\alpha P_d}{\partial t^\alpha}, \quad (2)$$

где $A = \pi\alpha / \sin \pi\alpha$ и $\frac{\partial^\alpha P_d}{\partial t^\alpha} = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{\partial}{\partial t} \int_0^t \frac{P_d(\mathbf{r}, \tau)}{(t - \tau)^\alpha} d\tau$ – дробная производная

Римана-Лиувилля [4]. Подставив выражение для плотности тока проводимости:

$$\mathbf{j} = e\mu P_d \mathbf{E} - eD \nabla P_d$$

в уравнение непрерывности:

$$e(\partial P_d / \partial t + \partial P_l / \partial t) + \operatorname{div} \mathbf{j} = 0,$$

с учетом соотношения (2) получаем обобщенное диффузионное уравнение

$$\frac{\partial P_d}{\partial t} + A \omega^{1-\alpha} \frac{\partial^\alpha P_d}{\partial t^\alpha} + \mu \mathbf{E} \nabla P_d - D \nabla^2 P_d = 0. \quad (3)$$

Это и есть обобщенное уравнение диффузии, контролируемой многократным захватом на локализованные состояния (число $\alpha < 1$ – дисперсионный параметр, определяемый из экспериментов по времени пролета носителей в неупорядоченных полупроводниках). Полученное уравнение является по своей сути интегро-дифференциальным, поскольку содержит интегро-дифференциальный оператор дробного дифференцирования.

Функции Грина этого уравнения получены в работах [5, 6]. Для нахождения распределения неравновесных носителей в полупроводниковых структурах в задачах с различными граничными и начальными условиями

необходима разработка численных методов для решения указанного уравнения. Составим разностное уравнение, аппроксимируя дробно-дифференциальное диффузионное уравнение (1). Сначала задаем сетку на пространственно-временной плоскости (x_i, t_j) , где x – ось, направленная вдоль электрического поля E . Известно, что для достаточно «хороших», например, дифференцируемых на отрезке функций, определения дробных производных по Грюнвальду-Летникову и Риману-Лиувиллю эквивалентны [4]. Дробная производная Грюнвальда-Летникова определяется как предел

$$D_t^\alpha f(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h^\alpha} \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \frac{\Gamma(\alpha+1)}{j! \Gamma(\alpha-j+1)} f(t-jh).$$

Конечно-разностный аналог дробной производной Римана-Лиувилля из уравнения (3) запишем так:

$$\frac{1}{\Delta t_j^\alpha} \sum_{j=0}^k (-1)^{k-j} \frac{\Gamma(1+\alpha)}{(k-j)! \Gamma(\alpha-k+j+1)} P_d(x_i, t_j).$$

Разностное уравнение неявной схемы для (3) будет иметь вид

$$\begin{aligned} P_d(x_i, t_j) \left(\frac{\mu E}{\Delta x_i} + \frac{D}{\Delta x_i^2} \right) - P_d(x_i, t_j) \left(\frac{1}{\Delta t_j} + \frac{A\omega^{1-\alpha}}{\Delta t_j^\alpha} + \frac{\mu E}{\Delta x_i} + \frac{2D}{\Delta x_i^2} \right) + \\ + P_d(x_{i+1}, t_j) \frac{D}{\Delta x_i^2} = - \frac{P_d(x_i, t_{j-1})}{\Delta t_j} + A\omega^{1-\alpha} \frac{1}{\Delta t_j^\alpha} \times \\ \times \sum_{k=0}^{j-1} (-1)^{j-k} \frac{\Gamma(1+\alpha)}{(j-k)! \Gamma(1+\alpha-j+k)} P(x_i, t_k), \end{aligned} \quad (4)$$

где Δt_j , Δx_i – шаги сетки по времени и по координате соответственно.

Это уравнение решается методом прогонки [7].

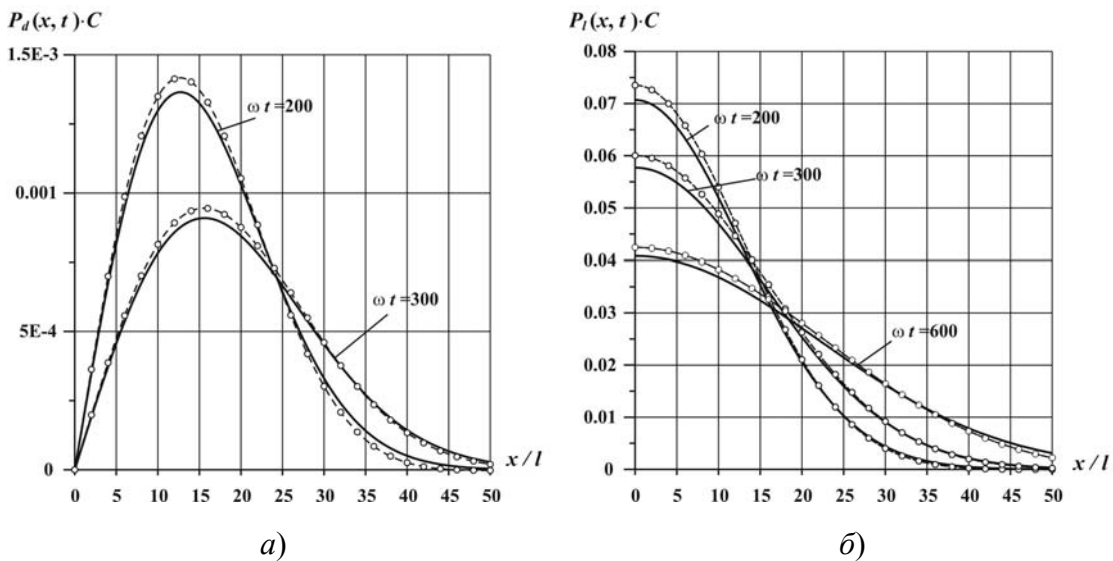


Рис. 1. Концентрации свободных (а) и локализованных (б) носителей: сплошные линии – аналитические решения уравнений (2)-(3) с начальным условием $P_d(x, t=0) = N\delta(x)$, полученные в [5, 6], пунктирные линии с кружками – численные решения разностного уравнения (4)

На рис. 1 представлены аналитические и численные решения уравнений (2) и (3).

Аналитические решения выражаются через дробно-устойчивые плотности [6]. Эти решения получены для случая однородного постоянного внешнего электрического поля. В случае режима токов, ограниченных пространственным зарядом, полем, создаваемым самими зарядами, пренебрегать нельзя. То есть в уравнении (3) появится зависимость $E(P_l(x,t))$, а само уравнение в общем случае будет нелинейным.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 0402-16571 и № 06-01-00338-а) и фонда некоммерческих программ «Династия».

Литература

1. Звягин И.П. Кинетические явления в неупорядоченных полупроводниках. – М.: Мир, 1984. – 192 с.
2. Нестационарные инжекционные токи в неупорядоченных твердых телах / В.И. Архипов, А.И. Руденко, А.М. Андриеш и др. – Кишинев, 1983. – 175 с.
3. Noolandi J. // Phys. Rev., B16, 1977, p. 4466.
4. Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. – Минск: Наука и техника, 1987.
5. Учайкин В.В., Сибатов Р.Т. Дробные производные в теории полупроводников // ОППМ, 2005. Т. 12. Вып. 2. – С. 540.
6. Сибатов Р.Т., Учайкин В.В. Дробно-устойчивые распределения в теории дисперсионного переноса в неупорядоченных полупроводниках // ОППМ, 2005. Т. 12. Вып. 4.
7. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1989. – 616 с.

УДК 51-7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ДВОЙНОГО РОДА ТОКА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

В.И. Лачин, К.Ю. Соломенцев

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Рассмотрены вопросы моделирования процессов при измерении сопротивления изоляции электрических сетей любого рода тока, находящихся под рабочим напряжением или обесточенных и изолированных от земли, с помощью пакета Micro-Cap, что позволяет исследовать электрические характеристики.

Для измерения сопротивления изоляции электрических сетей, находящихся под рабочим напряжением или обесточенных и изолированных от земли, был предложен способ измерения [1], который заключается в следующем. Сначала производят заряд емкости сети относительно земли постоянным током неизменного значения до величины заданного значения напряжения, затем отключают источник тока и подключают источник измерительного

постоянного напряжения заданного значения, проводят измерение тока утечки, затем повторяют цикл измерения с изменением полярности напряжений на емкостях сети.

Для определения возможности применения этого способа к сетям двойного рода тока были промоделированы процессы в сети и в устройстве, которые реализуют указанный способ, при различных воздействиях на контролируемую сеть. Моделирование велось с использованием пакета моделирования Micro-Cap 7.0.

Схема, созданная в Micro-Cap 7.0, представлена на рис. 1. Резисторы R1, R2, R3 имитируют сопротивления изоляции (были заданы значения $R1 = R2 = R3 = 6 \text{ МОм}$). Конденсаторы C1, C2, C3 имитируют емкости фаз относительно земли. Подключение устройства к сети осуществляется через мост Ларионова D1 – D6. Источник тока (обоих полярностей) собран на полевых транзисторах, обозначенных M1 и M2.

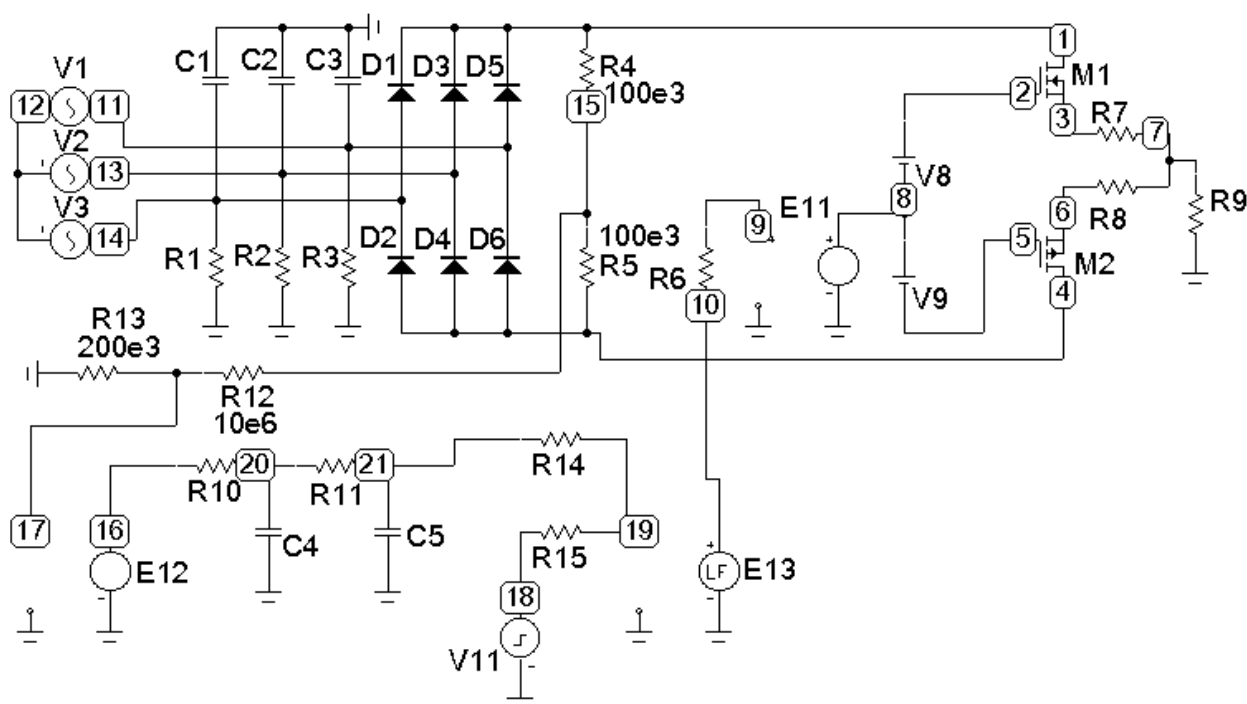


Рис. 1

Цепь обратной связи: R12, R13, E12. На элементах R10, C4, R11, C5 собран фильтр низких частот (ФНЧ). Источник V11 является источником задаваемого значения напряжения. С помощью резисторов R14, R15 происходит суммирование задаваемого напряжения и сигнала обратной связи (так как сигналы в последствии инвертируются, то на самом деле происходит вычитание). Источник E13 имитирует регулятор, который воздействует на источник тока. Micro-Cap 7.0 позволяет задавать линейные управляемые источники напряжения преобразованиями Лапласа (Laplace Sources) [2]. Передаточные функции задаются с помощью формул. Эти источники используются

не только при расчете частотных характеристик, но и проведении всех остальных видов анализа. Именно таким источником является E13. Резистор R6, усилитель напряжения E11, источники смещения V8, V9 моделируют оконечные каскады схемы воздействия на сеть, причем с максимальным приближением к реальной схеме.

Принцип действия заключается в следующем. До начала воздействия на сеть напряжение на входе фильтра низких частот (точка 16), в общем случае, содержит переменную составляющую, определяемую переменным напряжением контролируемой сети, и постоянную составляющую, если контролируемая сеть является сетью двойного рода тока. Причем значения этих составляющих определяются параметрами контролируемой сети и степенью ее несимметрии. На выходе фильтра низких частот содержится лишь среднее значение (постоянная составляющая) этих напряжений. Воздействие на сеть начинается в момент появления напряжения на выходе V11. До тех пор пока выходное напряжение ФНЧ не приблизится по своей величине к значению задающего напряжения, в сеть подается большой ток неизменной величины, происходит процесс заряда эквивалентной емкости контролируемой сети до задаваемого значения. Когда напряжение на выходе ФНЧ станет близким по величине (и обратным по знаку) напряжению V11, ток начинает уменьшаться, напряжение сети относительно земли стабилизируется на определенном уровне. Этот уровень соответствует равенству выходного напряжения ФНЧ и напряжения V11. По окончании переходных процессов измеряется установившееся значение тока I_1 , подаваемого в сеть, и напряжение U_1 . Затем весь процесс повторяется с противоположным знаком задаваемого напряжения, измеряются значения I_2 , U_2 . Сопротивление изоляции вычисляется по формуле

$$R_{\text{из}} = \frac{U_1 - U_2}{I_1 - I_2}$$

В процессе моделирования необходимо было определить оптимальные настроечные параметры регулятора E13. Эксперименты показали, что применение ПИД и ПИ регуляторов не приводит к хорошим результатам, так как их использование не привело к повышению быстродействия. Наиболее подходящим оказался П-регулятор с коэффициентом $K = 5$. При таком коэффициенте система остается устойчивой при различных емкостях сети и в то же время обеспечивается достаточное быстродействие при наибольшей емкости, 30 мкФ. Приведенные ниже рисунки получены при моделировании половины цикла измерения, т.е. воздействие на сеть только положительным напряжением. На рис. 2 представлена временная диаграмма напряжения на выходе ФНЧ при емкости сети 0,5 мкФ. На рис. 3 то же самое, но при емкости 30 мкФ.

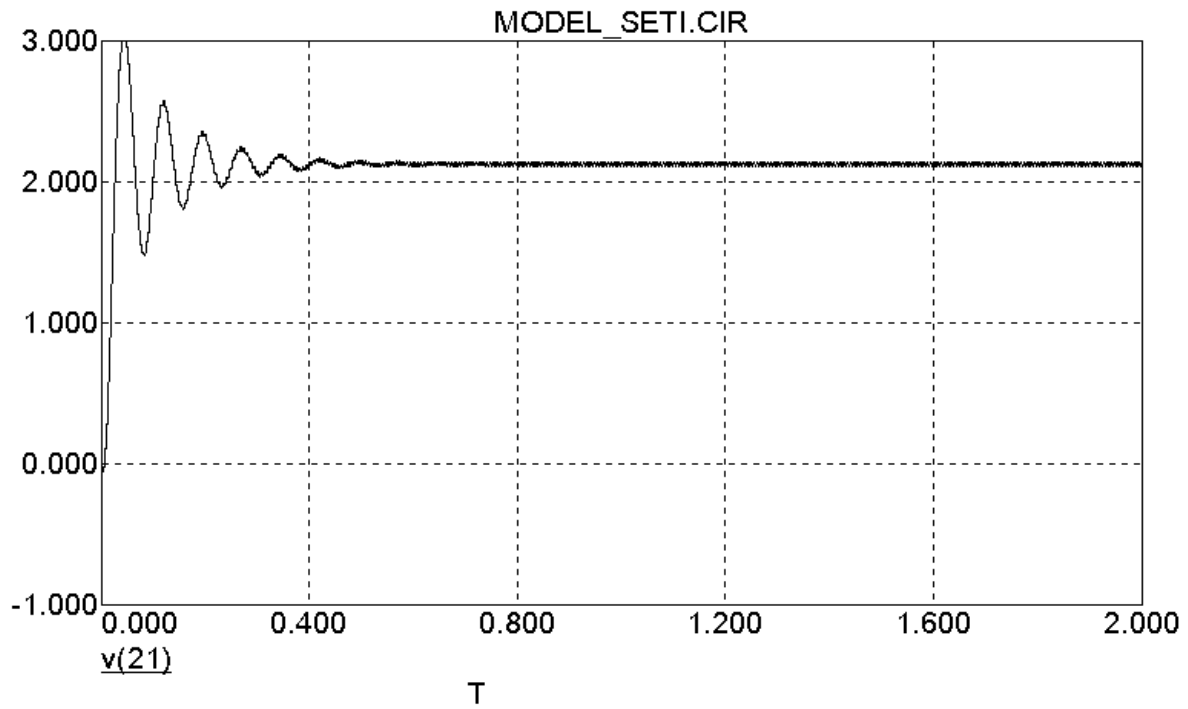


Рис. 2

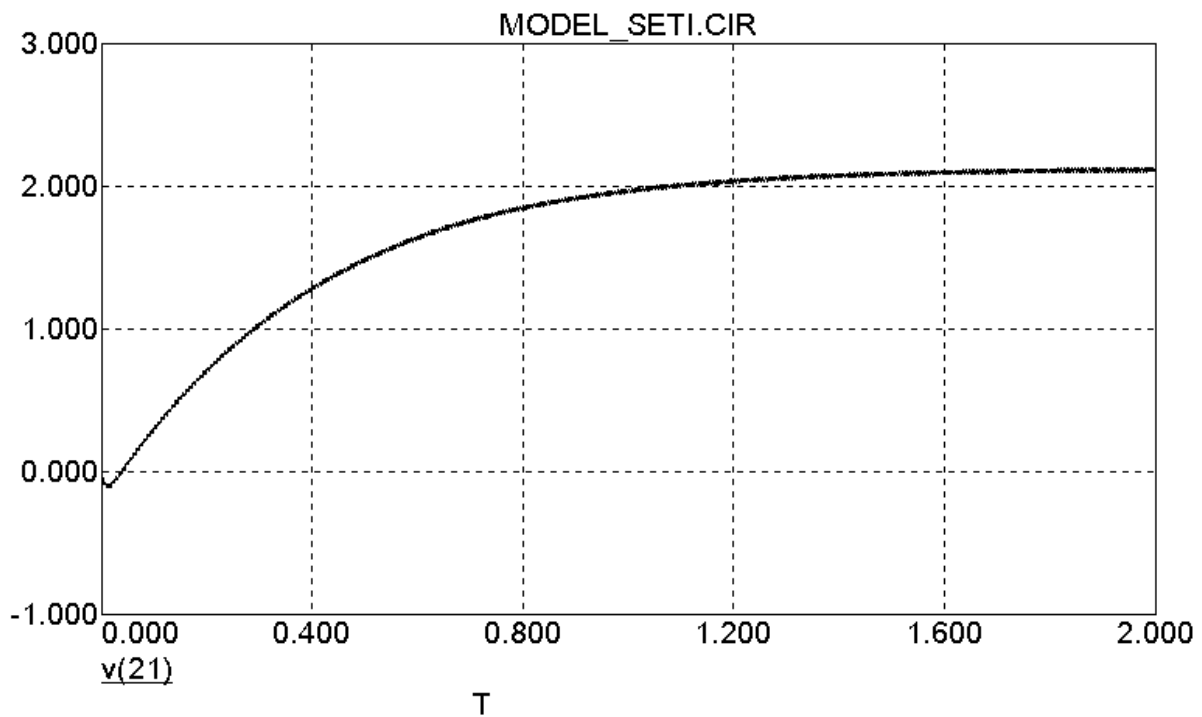


Рис. 3

Моделирование с помощью Micro-CAP позволило исследовать как вопросы устойчивости, так и электрические режимы работы, поведение системы при перекосах сопротивлений изоляции между фазами, при перекосах емкостей фаз и др.

Таким образом, с помощью моделирования удалось найти оптимальный коэффициент передачи E13. Разработанное устройство позволяет измерять сопротивление изоляции от 1 кОм до 2 МОм при емкости сети от 0,5 до

30 мкФ. При наибольшей емкости, 30 мкФ, переходный процесс заканчивается приблизительно за 1,5 с, весь цикл измерения составляет при этом около 3 с.

Литература

1. А.с. 1737363 СССР, МКИ G01R 27/18. Способ измерения сопротивления изоляции электрических сетей / Е.А. Иванов, В.И. Лачин, А.К. Малина и др. – Оpubл. 1992. Бюл. № 20.
2. Разевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap 7. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003.

УДК 519.688

ОБОБЩЕННАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПУСКА И ТОРМОЖЕНИЯ СРЕДСТВАМИ MATLAB 6.5 SIMULINK

А.С. Тарасов, Л.Я. Теличко

Международный институт компьютерных технологий

Предложено математическое описание обобщенной электрической модели системой дифференциальных уравнений для исследования электродинамических процессов. Полученное описание математической модели и приведенная структурная схема позволяют выполнять исследования переходных процессов пуска и торможения асинхронного электропривода средствами Matlab 6.5.

Математические модели асинхронного двигателя принято представлять в виде эквивалентных схем замещения или системы дифференциальных уравнений Горева-Парка. Эквивалентные схемы обычно используются для изучения характеристик установившегося движения машин, а системы с дифференциальными уравнениями для исследования электродинамических процессов. В теории электрических машин доказано, что любая многофазная электрическая машина с n – фазной обмоткой статора и m – фазной обмоткой ротора при условии равенства полных сопротивлений фаз статора в динамике может быть представлена двухфазной моделью (рис. 1). Возможность такой замены создает условия для получения обобщенного математического описания процессов электро-механического преобразования энергии как в неподвижной, так и во вращающейся системе координат электрической машины,

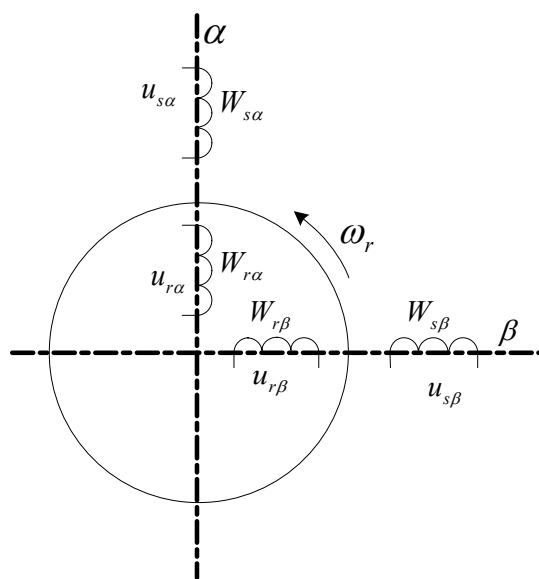


Рис. 1. Модель обобщенной электрической машины

являющейся упрощенной моделью реальной машины [1]. Здесь $\omega_{S\alpha}, \omega_{S\beta}$ – число витков обмотки статора по осям α и β ; $\omega_{r\alpha}, \omega_{r\beta}$ – число витков обмотки ротора по осям α и β ; $u_{S\alpha}, u_{S\beta}, u_{r\alpha}, u_{r\beta}$ – соответственно напряжения по осям α и β на статоре и роторе; ω_r – угловая скорость ротора.

$$\left. \begin{aligned} u_{S\alpha} &= r \left(1 + \overline{T_S s} \right) i_{S\alpha} - \frac{k_r}{T_R} \psi_{R\alpha} - k_R p \psi_{R\beta} \\ u_{S\beta} &= r \left(1 + \overline{T_S s} \right) i_{S\beta} - \frac{k_r}{T_R} \psi_{R\beta} - k_R p \psi_{R\alpha} \\ 0 &= -k_R r_R i_{S\alpha} + \frac{1}{T_R} \left(1 + \overline{T_R s} \right) \psi_{R\alpha} + p \psi_{R\beta} \\ 0 &= -k_R r_R i_{S\beta} + \frac{1}{T_R} \left(1 + \overline{T_R s} \right) \psi_{R\beta} + p \psi_{R\alpha} \\ m &= k_R \left(\psi_{R\alpha} i_{S\beta} - \psi_{R\beta} i_{S\alpha} \right), \\ \overline{T_m s} \psi &= m - m_H, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $\overline{T_S} = x_S / r$.

В процессе эксплуатации ленточных наклонных конвейеров выявились некоторые проблемы использования существующих систем релейно-контакторного пуска и последующей работы электропривода конвейера. Существует необходимость в исследованиях динамических нагрузок и потребность в проведении экспериментов по снижению динамических нагрузок в электромеханической системе ленточного конвейера [2]. Трудность проведения экспериментов на постоянно работающем агрегате приводит к необходимости использования математической модели существующих двигателей с помощью ЭВМ в программном обеспечении Matlab 6.5 Simulink.

Модель асинхронного двигателя может быть построена по системе уравнений (1) в операторной форме, описывающей обобщенную электрическую машину, в данном случае для неподвижной системы координат. В этих уравнениях все переменные относительные, полученные как результат деления реальных значений на базовые, все коэффициенты также безразмерные, полученные аналогично. Некоторые переменные и параметры в относительных единицах: $\psi = \frac{\omega_m}{\omega_b}$ – относительная скорость ротора, $m = \frac{M}{M_b}$ – относительный момент на валу машины, а также безразмерные коэффициенты

$r = \left(r_S + k_R^2 r_R \right)$, $x_S = \left(x_S - \frac{x_m^2}{x_R} \right)$, $k_R = \frac{x_m}{x_R}$, $\overline{T_R} = \frac{x_R}{r_R}$. Можно сказать, что для синтеза и анализа электропривода выбор системы координат (неподвижной

или вращающейся) является решающим. Это обстоятельство особенно проявляется при синтезе параметров регуляторов и при моделировании всей системы электропривода в пакете Simulink, так как при решении задач в этом пакете существуют ограничения, которые можно избежать только при правильном выборе систем координат [3].

До сих пор предполагалось, что наиболее развитой считается система управления для электропривода конвейера с двигателем постоянного тока. Однако в большинстве случаев предпочтение отдается приводу переменного тока. Электропривод переменного тока обладает рядом достоинств по сравнению с приводом постоянного тока. Это – высокое быстродействие и меньшая масса, небольшие габариты и моменты инерции. Плавно регулируемый привод переменного тока не содержит коллектора.

Анализ динамических процессов преобразования энергии в асинхронном двигателе представляет собой сложную задачу в связи с существенной нелинейностью уравнений, обусловленной наличием произведений переменных. Исследование динамических процессов при широких пределах изменения скорости целесообразно вести с применением вычислительной техники. Для этих целей удобную форму математического описания дает система, использующая в качестве опорного вектора – вектор потокосцепления ротора. Все векторные соотношения представлены на рис. 2.

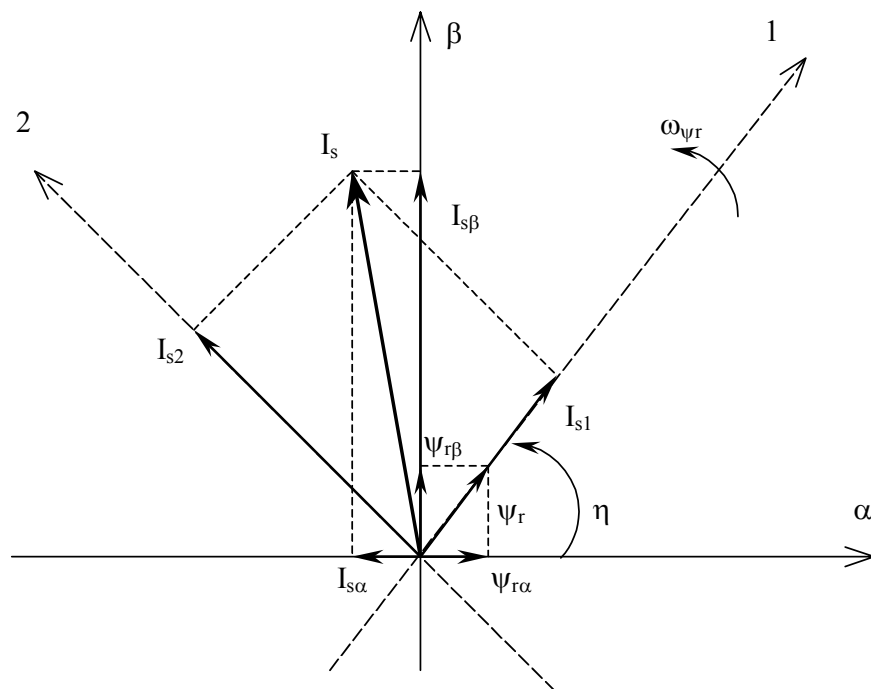


Рис. 2. Векторная диаграмма векторов ψ_r и $\dot{I}_s$

Для описания электромеханических процессов асинхронного двигателя, как было сказано выше, примем за основу обобщенную двухполюсную модель двухфазной машины. Система дифференциальных уравнений, описывающих динамику асинхронного двигателя в системе координат, связанных с вектором потокосцепления ротора, имеет вид:

$$\begin{aligned}
\frac{d|\psi_r|}{dt} &= -\frac{R_r}{L_r}|\psi_r| + k_r R_r I_{s1}; \\
\frac{dI_{s1}}{dt} &= -\frac{R_s + k_r^2 R_r}{L'_s} I_{s1} + \frac{k_r R_r}{L'_s L_r} |\psi_r| + \omega_{\psi r} I_{s2} + \frac{1}{L'_s} U_{s1}; \\
\frac{dI_{s2}}{dt} &= -\frac{R_s + k_r^2 R_r}{L'_s} I_{s2} - \omega_{\psi r} I_{s1} - \frac{k_r}{L'_s} Z_p \omega |\psi_r| + \frac{1}{L'_s} U_{s2}; \\
\frac{d\omega}{dt} &= \frac{3Z_p k_r}{2J} |\psi_r| I_{s2} - \frac{1}{J} M_c; \\
|\psi_r|(\omega_{\psi r} - Z_p \omega) &= k_r R_r I_{s2},
\end{aligned} \tag{2}$$

где U_{s1} , U_{s2} , I_{s1} , I_{s2} – проекции напряжения и тока статора на оси координат, вращающихся с синхронной частотой; R_s , R_r – приведенные сопротивления обмоток статора и ротора; L_s , L_r , L_m – индуктивность статорной и роторной

цепи и их взаимная индуктивность; $L'_s = L_s - \frac{L_m^2}{L_r}$ – переходная индуктивность

статорной обмотки; $R'_s = R_s + k_r^2 R_r$; $k_r = L_m/L_r$ – коэффициент связи ротора; ω – частота вращения ротора; $\omega_{\psi r}$ – частота вращения вектора потокосцепления ротора Ψ_r ; Z_p – число пар полюсов; J – момент инерции ротора; M_c – статический момент; $T'_1 = L'_s/R'_s$ – электромагнитная постоянная времени статора; $T_r = L_r/R_r$ – электромагнитная постоянная времени ротора [4].

Структурная схема асинхронного двигателя представлена на рис. 3.

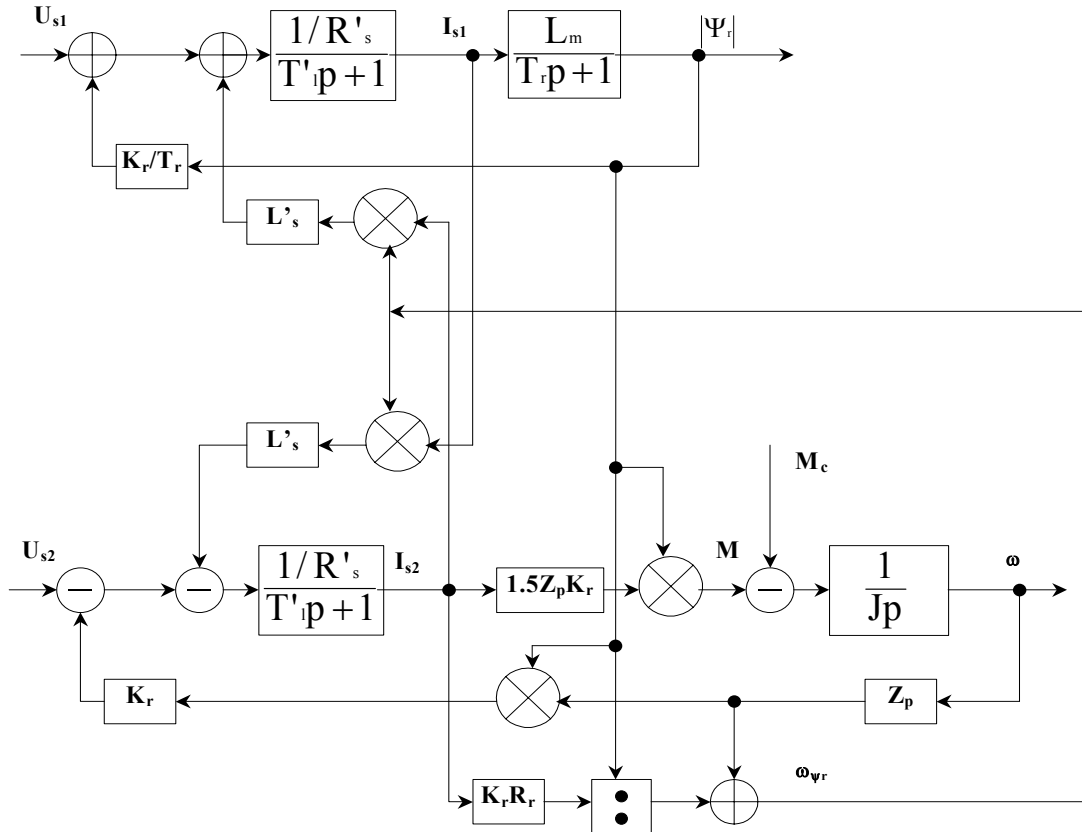


Рис. 3. Структурная схема асинхронного двигателя

Структурная схема для моделирования в пакете Simulink асинхронного двигателя разработана на основании уравнений (2).

Литература

1. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.
2. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1987. – 394 с.
3. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.
4. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.

398046, г. Липецк, ул. Смургиса, д. 6, кв. 69, т. 35-49-63,
e-mail: [<tarasoandrei@yandex.ru>](mailto:tarasoandrei@yandex.ru)

УДК 681.511.22(076.5)

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

М.М. Савин, Д.Е. Рубан

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Разработана математическая модель преобразователя напряжения постоянного тока методом Калмана, основой которого является обработка экспериментально полученных данных, в результате получают коэффициенты разностного и дифференциального уравнений соответствующего порядка.

Объектом управления (ОУ) является преобразователь, питающее напряжение которого является постоянным и варьируется от 175 до 420 В, выходное напряжение также является постоянным и принимает значение строго 110 В, то есть это преобразователь постоянного тока понижающего типа. Выходное напряжение является заданным и регулируется при помощи величины скважности ШИМ.

Структурная схема преобразователя изображена на рис. 1. Данная система характеризуется двумя воздействиями: задающим и возмущающим. Задающим сигналом является установленное значение выходного напряжения; сигнал с нагрузки, поступающий с объекта управления ($W_o(p)$), будет сравниваться с заданным значением и, исходя из величины рассогласования ε , будет вырабатываться управляющее воздействие γ регулятором ($W_p(p)$). В системе также имеет место возмущение в виде изменения нагрузки и питающего напряжения. При идентификации объекта управления, определение коэффициентов K_γ и K_n не вызвало затруднений, так как они определяются

статическими характеристиками преобразователя. Для определения передаточной функции $W_o(p)$ воспользуемся методом Калмана [1, 2]. Для чего подадим на вход преобразователя тестовый сигнал и снимем кривую разгона при фиксированной скважности ШИМ.

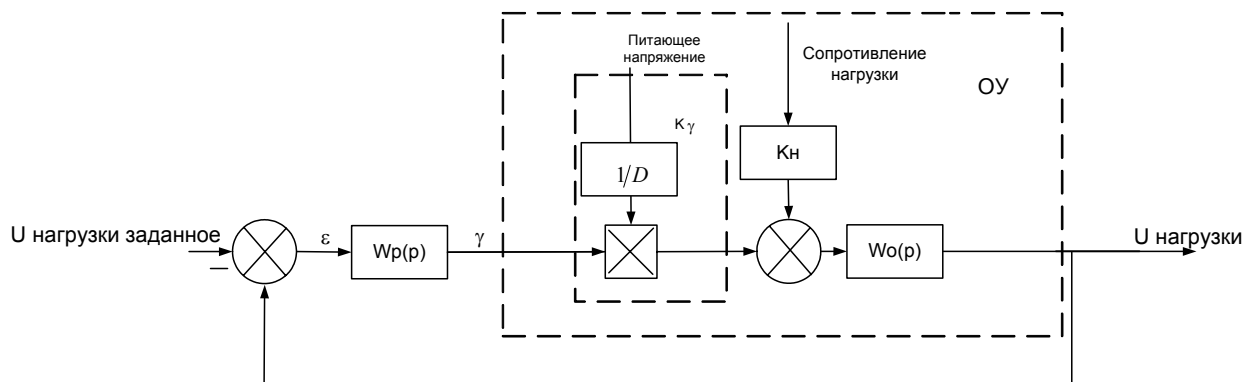


Рис. 1. Структурная схема преобразователя напряжения постоянного тока

Из рис. 2 видно, что преобразователь описывается дифференциальным уравнением не ниже второго порядка, так как имеет место точка перегиба.

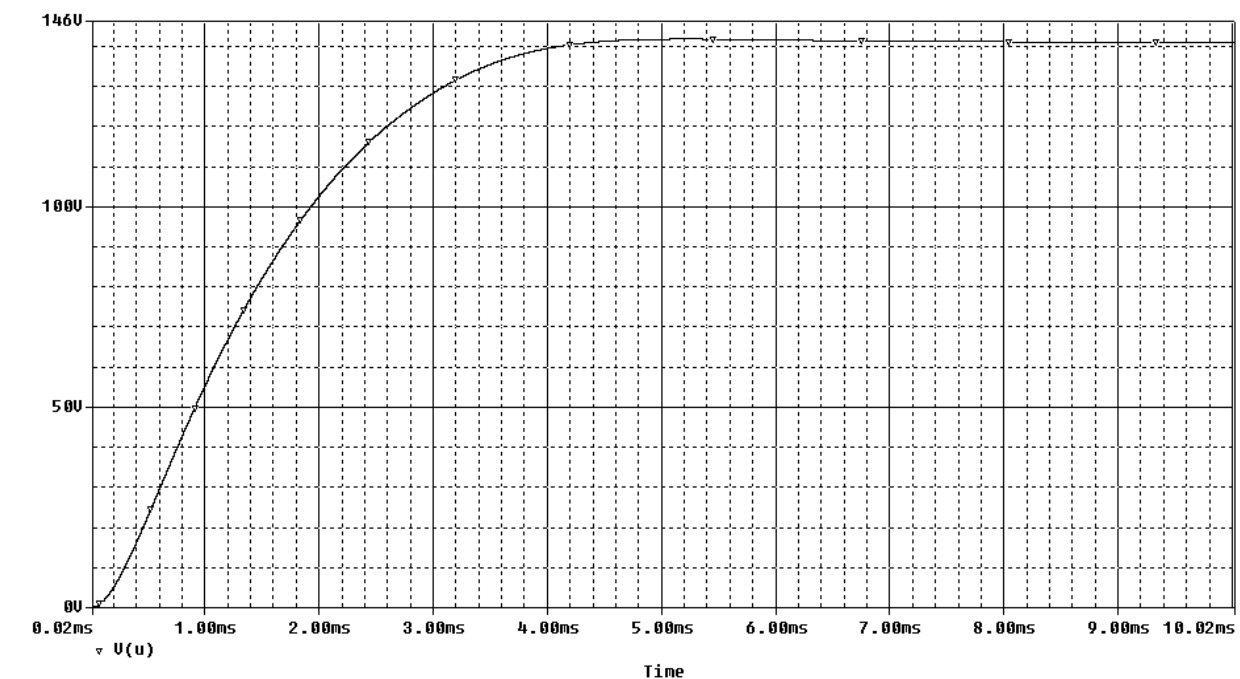


Рис. 2. Кривая разгона преобразователя

Получив сведения об экспериментальных исследованиях объекта управления и построив кривую разгона объекта, определим графические параметры динамической модели объекта (K, T_1, T_2).

Разработанный детальный алгоритм и программа для расчета коэффициентов разностного уравнения будут базироваться на методе Калмана [1, 2].

Меру отклонения полученной модели от данных исследований, полученных при эксперименте, можно оценить по величине $S_{уд}$.

Приведем на рис. 3 график, полученный из разностного уравнения, также приведем численное значение $S_{уд}$.



Рис. 3. Кривая разгона, полученная посредством разностного уравнения

Так как наиболее простым способом получения разностных уравнений, описывающих дискретные САУ, является аппроксимация производных конечными разностями, то возможна замена производных в дифференциальном уравнении. Получим систему двух уравнений:

$$\begin{cases} \frac{T_1 + T_2}{\Delta t} - \frac{2T_1T_2}{\Delta t^2} = -B_0, \\ 1 + \frac{T_1T_2}{\Delta t^2} - \frac{T_1 + T_2}{\Delta t} = -B_1, \end{cases}$$

где B_0 , B_1 – коэффициенты разностного уравнения второго порядка.

Видно, что результат вычислений напрямую зависит от выбора Δt . Его выбор необходимо производить в соответствии с теоремой Котельникова-Шеннона [3].

Частоту $\omega_{\max}$ определим из АЧХ ОУ, приравняв $A(\omega_{\max}) = 0,01 \cdot k$:

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{(T_1^2 \omega^2 + 1)(T_2^2 \omega^2 + 1)}}.$$

Для проверки правильности расчета промоделируем реакцию звена, описываемого дифференциальным уравнением второго порядка с рассчитанными коэффициентами, на тестовый сигнал.

Сняв последовательно совокупность точек из графика, изображенного на рис. 4, максимальное отклонение ΔY_i составляет 12 В (при величине входного сигнала 175 В), вычислим отклонение по формуле:

$$S_{\text{откл}} = \frac{\Delta Y_i}{Y_i}.$$

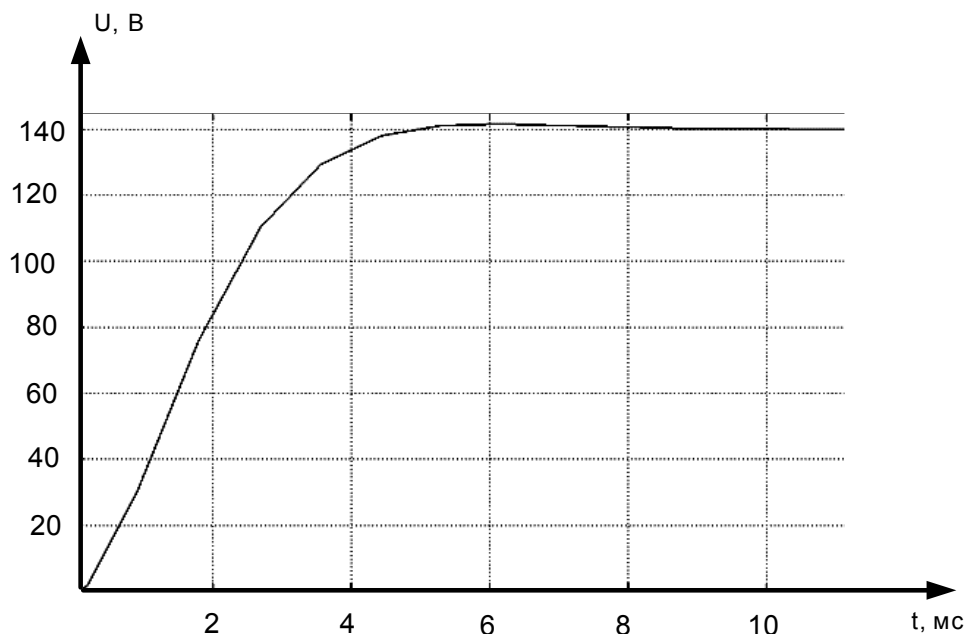


Рис. 4. Кривая, полученная посредством моделирования звена второго порядка с рассчитанными коэффициентами в программе Simulink (Matlab)

Можно сделать вывод, что для данного тестового сигнала и данного шага Δt отклонение решетчатой функции, полученной из разностного уравнения, от экспериментальной явно меньше, чем кривой, полученной посредством перехода от конечных разностей к производным. Но, несмотря на это, очевидно, что модель, представленная в виде инерционного звена второго порядка, адекватно отражает поведение реального объекта: наличие точки перегиба, перерегулирование, время регулирования – соответствуют экспериментальным значениям, что позволяет использовать эту модель в методах расчета для непрерывных систем.

Литература

1. Ли Т.Г., Адамс Г.Э Гэйнз У.М. Управление процессами с помощью вычислительных машин. Моделирование и оптимизация. – М.: Советское радио, 1972. – С. 127-135.
2. Автоматизация тепловых технологических процессов и установок: Учебник для вузов / А.М. Корытин и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – С. 73-77.
3. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984. – С. 32-33.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ В СРЕДЕ MATLAB

А.М. Константинов, Д.П. Светлаков, В.С. Климаш, С.В. Власьевский

Дальневосточный государственный университет путей сообщения,
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

Рассматривается способ моделирования системы управления вентильными преобразователями, за счет которого достигается повышение скорости расчета переходных процессов модели и упрощение системы управления.

Разработка математической модели исследуемого вентильного преобразователя совместно с системой управления является первой задачей практически любого исследования. На этапе разработки модели закладываются основные допущения, которые упрощают построение модели. Сегодня в помощь специалистам разработаны специализированные мощные пакеты моделирования, к которым относится Matlab [1, 2], в состав которого входят как готовые полупроводниковые элементы, так и уже собранные системы управления полупроводниковыми преобразователями различных типов. При моделировании систем управления могут быть использованы виртуальные, функциональные и математические модели. В настоящей статье, по сути, предложена универсальная методика моделирования систем управления преобразователями на основе математических уравнений. Так, зная принципы построения и процессы, происходящие в системе управления, создание таких моделей не представит серьезных затруднений.

Рассмотрим модель системы управления на примере транзисторного и тиристорного инверторов. Распространенным способом управления быстродействующими полупроводниковыми элементами является способ с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией. В этом случае модулирующим напряжением является синусоида, которая задается с определенной амплитудой, частотой и фазой. В качестве опорного напряжения в данном случае используются импульсы треугольной формы, которые описываются соответствующим математическим уравнением (рис. 1).

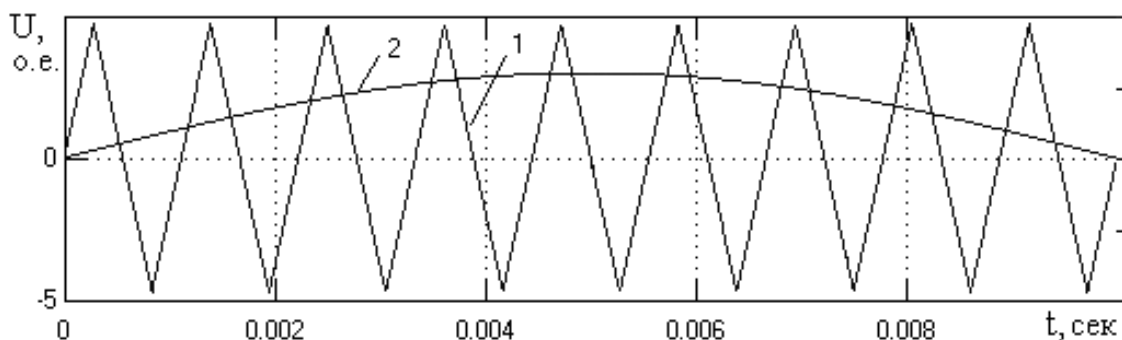


Рис. 1. Зависимости опорного (1) и модулирующего (2) напряжения

Опорное напряжение подается на элемент сравнения (функциональный компаратор), в качестве которого используется математический элемент, обозначенный в программном пакете ($\leq$) «Relational Operator», выбранный из библиотеки «Logic and Bit Operations». Одновременно на компаратор поступает и входное напряжение (сигнал управления). Для транзисторных инверторов импульсы, полученные с функционального компаратора и инвертированные с помощью элемента (NOT) «Logical Operator» из библиотеки «Logic and Bit Operations» (рис. 2), подаются непосредственно на полупроводниковые ключи.

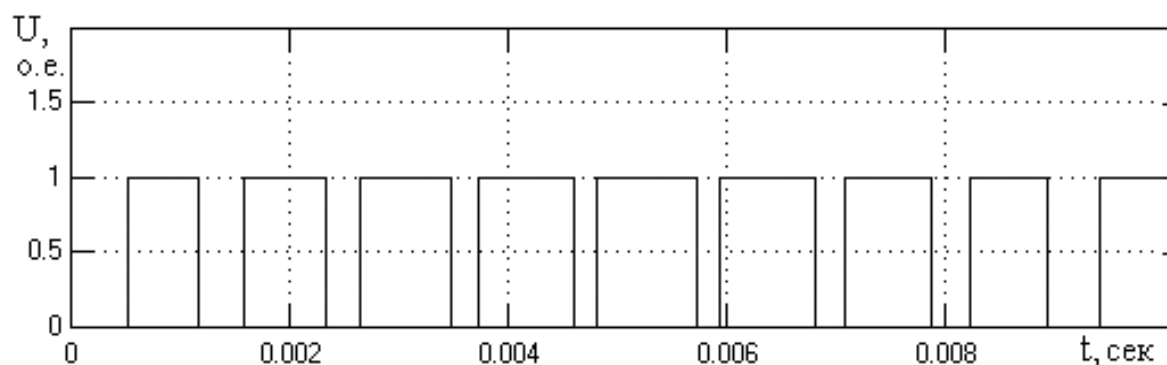


Рис. 2. Форма инвертированного сигнала компаратора

Для инверторов, выполненных на тиристорах, импульсы преобразуются в короткие с заданной амплитудой и длительностью. Соответственно для этого необходимо произвести дифференцирование по заднему фронту сигнала с помощью элемента «Difference» из библиотеки «Discrete» (рис. 3).

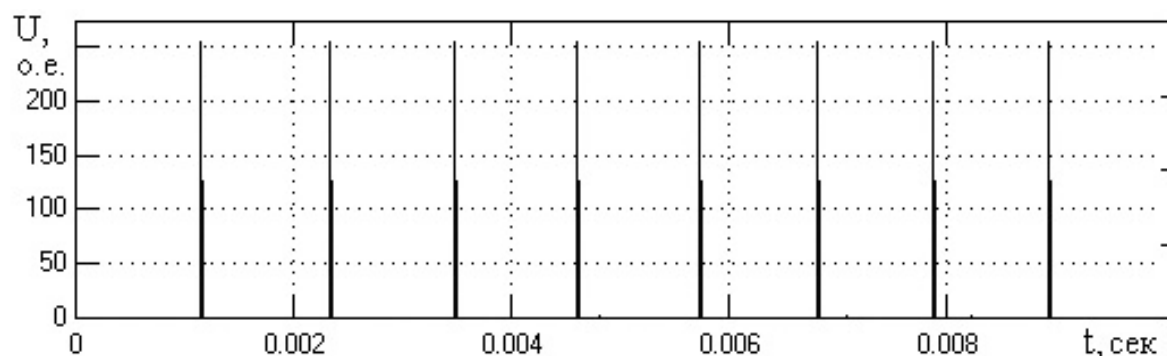


Рис. 3. Форма сигнала после дифференцирования

Затем подать полученный сигнал на один из входов функционального компаратора. На другой вход этого компаратора поступает нулевой сигнал. В качестве компаратора используется математический элемент ($>$) «Relational Operator», выбранный из библиотеки «Logic and Bit Operations» (рис. 4).

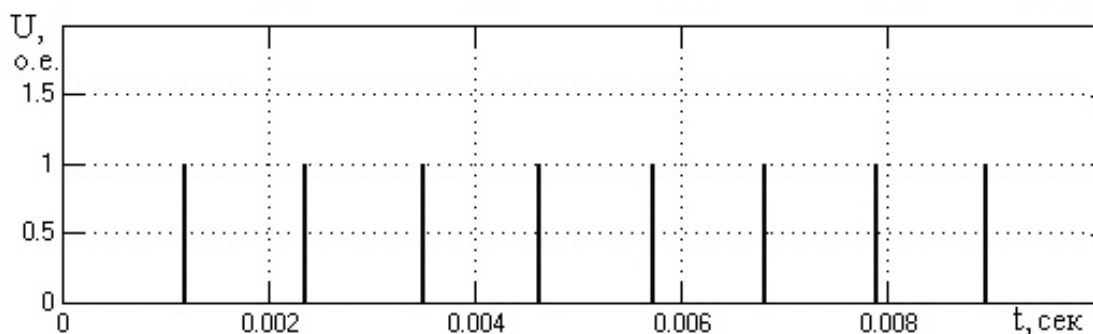


Рис. 4. Форма управляющих импульсов для тиристоров

Математическое моделирование даже с помощью таких мощных математических пакетов, как Matlab, не исключает проблем с нестыковкой шагов интегрирования моделей различных элементов. Это еще один аргумент в пользу моделирования посредством математических уравнений.

Таким образом, предложенный подход при моделировании систем управления практически не влияет на результат при исследовании электро-механических систем с вентильными преобразователями, и в то же время значительно упрощает эту модель и экономит время ее расчета.

Литература

1. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 302 с.
2. Герман-Галкин С.Г. Силовая электроника: Лабораторные работы на ПК. – СПб.: Учитель и ученик; КОРОНА принт, 2002. – 304 с.

Константинов Андрей Михайлович, 680021, Россия, г. Хабаровск, ул. Станционная, д. 20, корп. 1, ком. 521, сот. 8 924 206 92 83, e-mail: a_konstantinov@inbox.ru

УДК 621.318.56

УЧЕТ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ ПРИ РЕШЕНИИ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ

А.Г. Старостин

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Приводится один из вариантов решения обратной задачи расчета динамических характеристик применительно к электромагнитам постоянного тока. Особенностью модели является учет вихревых токов на этапе проектирования электромагнитных механизмов.

В традиционном представлении к электромагнитным механизмам (ЭММ) предъявляется одно основное требование – достижение якорем электромагнита конечной точки заданной траектории. С появлением интеллектуальных электромеханических устройств, систем и комплексов к ЭММ стали предъявлять более жесткие требования. Эти требования относились не только

к быстрдействию устройств, но и к характеру движения якоря электромагнита [1, с. 51].

Существует ряд проблем, с которыми приходится сталкиваться при эксплуатации электромагнитных приводов различных конструкций. Например, для типовых конструкций электромагнитов особенностью функционирования является резкое увеличение скорости движения якоря в конце хода, заканчивающееся ударным воздействием на исполнительные механизмы. В некоторых случаях наличие сильного удара в конце хода якоря является одним из требуемых факторов. К таким устройствам можно отнести электромагниты, применяемые в электромагнитных молотах и перфораторах, а также в устройствах привода масляных выключателей для приведения в действие устройств взведенных пружин. В остальных случаях факт удара при срабатывании ЭММ можно считать нежелательным, приводящим к преждевременному износу привода и влиянию его на работу других устройств, шумовым эффектам и пр. С целью уменьшения удара в конце хода скорость движения якоря должна быть ограничена. Такие ограничения могут быть использованы в коммутационной аппаратуре с большой частотой включений, таких как контакторы, пускатели электродвигателей, различные типы реле и пр. Отдельную группу составляют устройства, требующие к которым является обеспечение максимально возможной равномерности движения исполнительного механизма. Движение якоря ЭММ с постоянной скоростью может быть применено в различных устройствах подачи и регулирования (зеркало тепловизора), электромагнитные клапаны, муфты.

Решение указанных выше проблем можно осуществить путем совершенствования существующих [1, с. 227], [2, с. 37] и разработки новых методов проектирования электромагнитов постоянного тока с заданными динамическими параметрами. Одним из таких подходов является применение двухэтапной методики проектирования, частично изложенной в работе [3, с. 91]. На первом этапе используется математическая модель, представленная двумя системами дифференциальных уравнений (обратная и прямая задачи расчета динамических характеристик ЭММ), [3, с. 94-95].

Исходными данными для расчета являются: характеристика скорости движения якоря, масса якоря; сопротивление и напряжение питания обмотки; противодействующая характеристика. Результатом решения обратной задачи расчета динамических характеристик (ОЗРДХ) являются зависимости индуктивности обмотки и тока в ней от времени [4, с. 26-28].

Предложенная в [4] математическая модель была усовершенствована путем введения в систему дифференциальных уравнений ОЗРДХ соотношений, позволяющих учитывать влияние вихревых токов на процесс движения якоря. В отличие от известных методов учета вихревых токов, ориентированных только на прямую задачу [5, 6], в излагаемом случае показано, что влияние вихревых токов не зависит от величины радиуса стержней магнитопровода,

а в большей степени зависит от его длины и материала. Кроме увеличения времени трогания якоря, вихревые токи оказывают демпфирующее воздействие на движение последнего. Данный факт может быть использован как дополнительное средство для уменьшения удара при срабатывании ЭММ.

С целью экспериментальной проверки предлагаемой математической модели учета воздействия вихревых токов проводился эксперимент с использованием электромагнита с шихтованным (расслоенным) магнитопроводом. Эффект воздействия вихревых токов на процесс срабатывания ЭММ вызывался установкой на стержнях последнего короткозамкнутой гильзы. По полученным результатам эксперимента можно сделать вывод об адекватности используемых методов проектирования. Опираясь на экспериментальные данные и вычисления, возможна дальнейшая оптимизация полученных ЭММ для большего соответствия заданным динамическим параметрам. В последнем случае вариации могут подвергаться формы питающего напряжения и тока, противодействующая характеристика, масса подвижной части и пр.

Литература

1. Электромагнитные механизмы. Анализ и синтез / Под ред. А.Г. Никитенко. – М.: Высш. шк., 1998. – 330 с.
2. Компьютерное моделирование и оптимизация элементов систем мехатроники / Под ред. А.Г. Никитенко. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 1999. – 192 с.
3. Ковалев О.Ф. Комбинированные методы моделирования магнитных полей в электромагнитных устройствах. – Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. – 220 с.
4. Ковалев О.Ф., Старостин А.Г. Определение зависимости индуктивности от зазора электромагнита по заданным динамическим характеристикам // Изв. вузов. Электромеханика. – 2001. – № 2. – С. 26-28.
5. Гринченков В.П., Ершов Ю.К. Метод расчета динамических характеристик электромагнитов с массивным магнитопроводом // Изв. вузов. Электромеханика. – 1989. – № 8. – С. 22.
6. Ковалев О.Ф., Ковалева Н.В., Старостин А.Г., Моделирование динамических характеристик электромагнитных механизмов с учетом вихревых токов. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ, № 2003612356 от 17.10.2003.

УДК 621.365:666.76:538.5

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ ОКСИДНЫХ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.А. Абдрахманов

Алматинский институт энергетики и связи, г. Алматы (Казахстан)

Для расчетной схемы руднотермической печи в виде трех плоскопараллельных слоев с различными электрическими, магнитными и теплофизическими свойствами полу-

чены упрощенные математические модели и разработан алгоритм расчета электрического, температурного и скоростного полей в жидкой ванне при плавке оксидных огнеупорных материалов с электромагнитным перемешиванием.

Электродуговая плавка оксидных материалов с электромагнитным перемешиванием в руднотермических печах является сильноточным и высокотемпературным технологическим процессом, сопровождающимся мощными электрическими и магнитными полями. В связи с трудностью непосредственного исследования, при анализе таких комплексных явлений в основном применяют методы математического и физического моделирования [1, 2].

В данной работе для математического моделирования магнитогидродинамических явлений в качестве расчетной принята схема руднотермической печи для выплавки оксидных огнеупорных материалов с электромагнитным перемешиванием, представляющая собой совокупность трех плоскопараллельных слоев с различными электрическими, магнитными и теплофизическими свойствами (рис. 1).

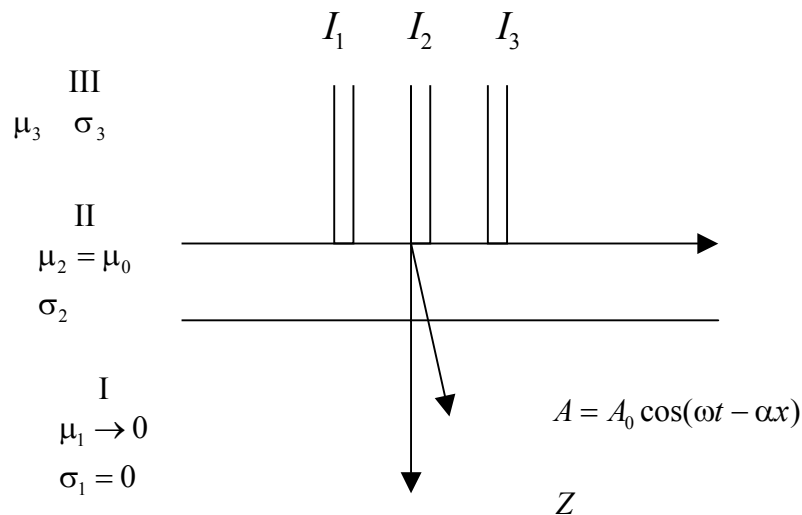


Рис. 1. Расчетная схема для исследования магнитогидродинамических процессов в руднотермической печи для выплавки оксидных огнеупорных материалов:

h – глубина ванны; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ и μ_1, μ_2, μ_3 – электропроводность и магнитная проницаемость магнитопровода, расплава и воздушного зазора

Электрический ток подводится к расплаву тремя незаглубленными электродами небольшого радиуса (по сравнению с межэлектродным расстоянием), расположенным в вершинах равностороннего треугольника. Электромагнитное перемешивание осуществляется плоским электромагнитным устройством, расположенным под ванной. Дополнительно к используемым в практике исследованиям магнитогидродинамических процессов приняты допущения:

– размеры ванн и электромагнитного устройства по длине и ширине неограничены (пренебрегаются краевые эффекты);

– обмотка электромагнитного устройства представляет собой бесконечный токовый слой, расположенный на гладкой поверхности магнитопровода с $\mu = \infty$ с линейной нагрузкой:

$$A = A_0 \cos \varphi (\omega t - \alpha x + \varphi_0);$$

где A_0 – амплитуда линейной нагрузки; φ – фаза; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота тока; f – частота тока; t – время; $\alpha = \pi/\tau$, τ – полюсное деление электромагнитного устройства; φ_0 – начальная фаза.

На основе принятой расчетной схемы и допущений из системы уравнений магнитной гидродинамики получены математические модели электрического, температурного и скоростного полей в ванне руднотермической печи при электродуговой плавке оксидных огнеупорных материалов с электромагнитным перемешиванием.

Потенциал электрического поля в расплаве имеет вид:

$$\varphi(\vec{R}, t) = \frac{j_0 H(z)}{2\pi\tau} = \sum_{k=1}^N \frac{\exp(i\omega t - \frac{2\pi i(k-1)}{N})}{\sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2 + (z-z_k)^2}}, \quad (1)$$

где $H(z)$ – функция Хэвисаида; $\vec{R}_k = (x_k, y_k, z_k)$ – координаты k -го электрода, ($z_k = 0$).

Он удовлетворяет условию:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0; \quad z = 0. \quad (2)$$

Здесь электроды моделируются сосредоточенными источниками токов на поверхности расплава.

Плотность электрических токов задается следующей формулой:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} = \sigma \text{grad} \varphi,$$

$$\begin{pmatrix} j_x \\ j_y \\ j_z \end{pmatrix} = \frac{j_0 H(z) e^{i\omega t}}{2\pi} \sum_{k=1}^N \frac{\exp(i\omega t - \frac{2\pi i(k-1)}{N})}{|R - R_k|^{\frac{3}{2}}} \begin{pmatrix} x - x_k \\ y - y_k \\ z - z_k \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Из (2) следует, что $j_z = 0$ при $z = 0$, т.е. токи на поверхности расплава $z = 0$ лежат в этой плоскости.

По формулам (1)-(3) рассчитывается поле на расстояниях от электродов порядка их радиуса и выше. Для определения электрического поля непосредственно вблизи k -го электрода следует использовать потенциал электрода конечного радиуса r_k

$$\varphi_k = \frac{j_0 H(z)}{2\pi r} \exp(i\omega t - \frac{2\pi i(k-1)}{N}) \int_0^{2\pi} d\alpha \int_0^k \frac{r' dr'}{|R - R_k'|}, \quad (4)$$

где $R'_k = R_k + \begin{vmatrix} r' \cos \alpha \\ r' \sin \alpha \\ 0 \end{vmatrix}$, $R_k = \begin{vmatrix} x_k \\ y_k \\ 0 \end{vmatrix}$ – координаты центра электрода в плоскости

касания поверхности расплава.

Температурное поле в расплаве описывается уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial \vartheta(x, t)}{\partial t} = \chi \Delta \vartheta + Q(x, t), \quad (5)$$

где Q – джоулево тепло, выделяемое токами в расплаве:

$$Q = \frac{1}{\tau} (j_x^2 + j_y^2 + j_z^2).$$

Поскольку $Q \gg \chi \Delta \vartheta$ в рамках первого приближения, первым слагаемым в (5) можно пренебречь. Тогда для определения температуры среды имеем соотношение:

$$\vartheta(x, t) - \vartheta_0(x, t) = \frac{1}{\tau} \int_0^t Q(\vec{R}, t) dt, \quad (6)$$

где $\vartheta_0(x, t)$ – начальное поле температуры. Предполагается, что оно постоянное.

Уравнение движения оксидного расплава имеет вид:

$$\rho \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{j} \times \vec{B} - \text{grad } p - \gamma \text{grad } \vartheta. \quad (7)$$

Здесь $\vec{j} \times \vec{B} = F$ – сила Лоренца, главная составляющая, обеспечивающая перемешивание расплава. При $\vec{B} = 0$, как показывают эксперименты, $\vec{V}$ очень малы, расплав перемешивается очень слабо, особенно вдали от электродов.

Следовательно, в первом приближении можно положить:

$$\|\vec{F}\| \gg \|\text{grad } p\|, \|\vec{F}\| \gg \|\gamma \text{grad } \vartheta\|.$$

При этом для скоростей имеем:

$$\frac{d}{dt} \vec{V}(\vec{R}, t) = \frac{1}{\rho} (\vec{j} \times \vec{B}). \quad (8)$$

Здесь $\vec{R}_t$ – радиус-вектор частицы расплава в момент t , которая при $t = 0$ имела координаты (x, y, z) .

Тогда

$$\begin{cases} \vec{V}(\vec{R}_t, t) = \vec{V}_0(x, y, z, t) + \frac{1}{\rho} \int_0^t [\vec{j}(\vec{R}_t, t) \times \vec{B}] dt \\ \vec{R}_t = \vec{R} + \int_0^t \vec{V}(\vec{R}_t, t) dt. \end{cases} \quad (9)$$

Нелинейная система (9) позволяет следить за движением любой фиксированной точки и системы точек расплава. Пренебрегая конвективными

членами в выражении ускорения для материальной точки расплава (второе слагаемое), что часто делается для линеаризации уравнений магнитной гидродинамики, получим

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \sum_{k=x,y,z} \frac{\partial \vec{V}}{\partial x_k} \vec{V}_k. \quad (10)$$

В итоге получаем выражение для определения полей скоростей:

$$\vec{V}(\vec{R}, t) = -\frac{1}{\rho} \vec{B} x \int_0^t \vec{j}(\vec{R}, t) dt. \quad (11)$$

На основе полученных расчетных формул (1)-(4) и (6)-(11), были разработаны алгоритм и программа расчета полей скалярного потенциала Φ , напряженности электрического поля E , плотности тока J , температуры ϑ и скорости V в ванне расплава при электродуговой плавке оксидных огнеупорных материалов в электромагнитном поле.

Блок-схема программы расчета приведена на рис. 2.

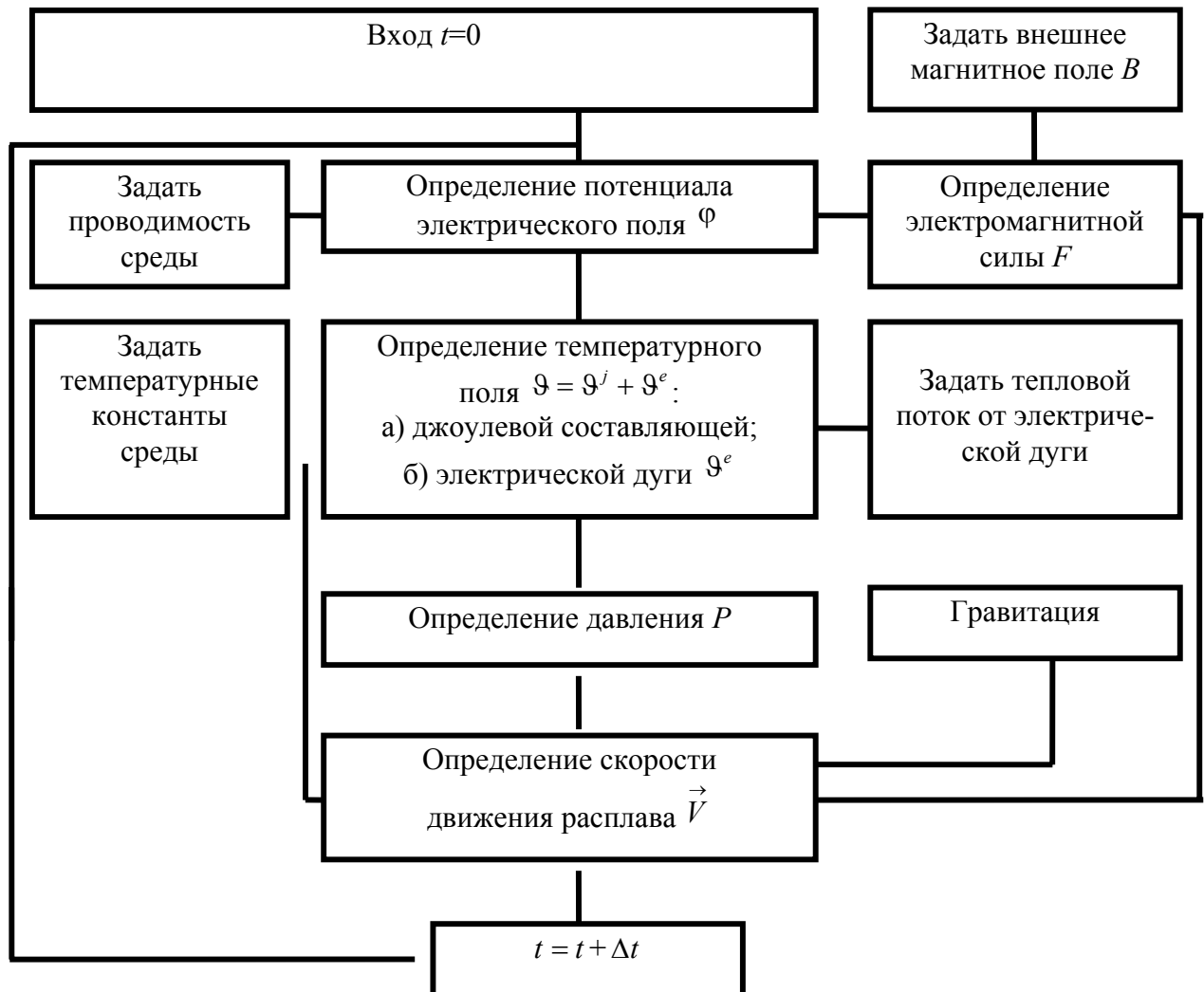


Рис. 2. Блок-схема (пошаговая по времени) алгоритма расчета электрического, температурного и скоростного полей в жидкой ванне руднотермической печи с электромагнитным устройством

Исходными данными для вычисления являются: ток дуги I ; размеры расчетной области по осям x, y, z, xx, yy, zz ; количество электрических дуг n ; число узлов сетки по осям x, y, z, m ; координаты электродов x_1, y_1 , частота тока дуги f ; проводимость расплава σ ; шаг по времени Δt . Максимальное число дуг – 10, максимальное число узлов сетки – 15. Если координаты i -го электрода совпадают с координатами j -го узла сетки, то на экран монитора выдается сообщение о необходимости изменения координаты.

Разработанная программа позволяет провести расчет упомянутых характеристик электромагнитного, температурного и гидродинамического полей в ванне руднотермической печи при плавке оксидных огнеупорных материалов с электромагнитным перемешиванием.

Литература

1. Верте Л.А. Магнитная гидродинамика в металлургии. – М.: Металлургия, 1975. – 288 с.
2. Электровихревые течения / В.В. Бояревич, Я.Ж. Фрейберг, Е.И. Шилова, Э.В. Щербинин. – Рига: Зинатне, 1985. – 315 с.
3. Абдрахманов Е.А. Интенсификация процесса электродуговой плавки форстеритовых огнеупоров в электромагнитном поле: Дис. ... канд. техн. наук. – Алматы, 1992.

УДК 519.86:621.31

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БОЛЬШОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

М.Е. Васильева, М.В. Шаповаленко, А.В. Шаповаленко

Новочеркасская государственная мелиоративная академия,
ОАО «Ростовэнерго», г. Ростов-на-Дону

Предлагается стохастическая модель функционирования энергосистемы, учитывающая случайные факторы, которые действуют как со стороны производителей, так и со стороны потребителей электроэнергии.

В электроэнергетике, характеризующейся капиталоемкостью, сложностью технологических процессов производства, передачи, распределения и реализации электроэнергии, высокими требованиями качества и эффективности энергоснабжения, давно появилась острая необходимость системного подхода в решении актуальных задач проектирования, строительства и эксплуатации. Основу современной энергетики составляют большие системы (энергосистемы и их объединения).

Отличительными особенностями задач оптимизации энергетических систем являются неоднозначность большей части исходной информации, используемой при проектировании, и резко выраженная динамичность их развития.

Случайные ситуации, возникающие в электроэнергетических системах, оказывают существенное, иногда решающее, влияние на экономику этих систем. В больших электроэнергетических системах (БЭЭС) это влияние не устраняется, а лишь ослабляется сглаживанием и усреднением: последствия сказываются в более длительном периоде. В аварийных и других непредвиденных ситуациях подключаются резервные мощности, которые должны быть заранее спроектированы с учетом случайных характеристик всевозможных ситуаций.

Случайные факторы действуют как со стороны производителей электроэнергии (это аварии на самой электростанции, на подстанциях, на ЛЭП; это случайный характер многолетней, годовой и сезонной наполняемости водохранилищ; это и непредвиденные перебои со снабжением энергоносителями и др.), так и со стороны потребителей: это непредвиденные кратко- и долгосрочные отклонения фактических режимов энергопотребления от заявленных графиков.

Все эти факторы приводят к тому, что степень напряженности балансов мощностей и энергии в системе случайно колеблется. Вместе с этим случайно колеблются и соответствующие им стоимостные балансы в электроэнергетической системе.

Чтобы акцентировать анализ на вероятностной сущности проблем БЭЭС, построим стохастическую модель ее оптимизации структуры и функционирования. При этом системную ситуацию будем обозначать просто ее номером γ ($\gamma=1,2, \dots, M$).

Предположим, что мощность источника не задана, а проектируется, и должна быть определена ее оптимальная величина x Мвт. Заметим, что проект такой энергетической системы может рассматриваться в рамках уже существующей энергосистемы.

Введем остальные обозначения: z^γ , Мвт – используемая мощность в ситуации γ ; $z^{-\gamma}$, Мвт – резерв мощности источника в ситуации γ ; y_j^γ – подача электроэнергии j -му потребителю в ситуации γ ; $y_j^{-\gamma}$ – недопоставка электроэнергии j -му потребителю в ситуации γ ; T , часов – время плановой работы источника энергии за рассматриваемый период; β – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сети при ее транспортировке; v_j^γ – потребность j -го потребителя в электроэнергии в ситуации γ ; k^t , ден.ед. – норматив капитальных затрат в расчете на 1 Мвт мощности на стадии t реализации проекта; k_o , ден.ед. – приведенные единовременные затраты на создание источника и ЛЭП в расчете на 1 Мвт установленной мощности; K^t – лимит инвестиций, выделяемых на реализацию проекта создания БЭЭС в период t за весь период реализации проекта, $t=1,2, \dots, \tau$; $c_j^{-\gamma}$, ден.ед. – ущербы у j -го

потребителя от недоподачи электроэнергии в расчете на 1 тыс. кВт часов недопоставленной энергии; c_j^γ , ден.ед. – затраты на производство и подачу электроэнергии в расчете на 1 тыс. кВт часов.

Задача состоит в том, чтобы для данных условий функционирования БЭЭС найти: оптимальную проектную мощность источника электроэнергии x ; количество подаваемой энергии каждому потребителю в каждой ситуации $\{y_j^\gamma\}$ с учетом недопоставки $\{y_j^{-\gamma}\}$ из-за возможного ее дефицита в системе в каждой ситуации γ ; а также резервной мощности $\{z^{-\gamma}\}$ в менее напряженных ситуациях ($\gamma: z^{-\gamma} > 0$).

В качестве критерия оптимальности выбора решений целесообразно взять минимум математического ожидания суммарных затрат на создание и эксплуатацию системы при таком обеспечении потребителей электроэнергией, при котором суммарные ущербы у потребителей были бы также минимальными.

С учетом введенных обозначений задача запишется так:

$$\text{Найти } \min_x \left\{ k_0 x + M \min_v \left[\sum_{j=1}^n C_j^v y_j^v + \sum_{j=1}^n C_j^{-v} y_j^{-v} \right] \right\},$$

при условиях:

1. $k^t x \leq K^t, \quad t = 1, 2, \dots, \tau;$
2. $z^v + z^{-v} = x, \quad v = 1, 2, \dots, M;$
3. $\sum_{j=1}^n y_j^v \leq T \eta z^v \beta, \quad v = 1, 2, \dots, M;$
4. $y_j^v + y_j^{-v} \geq b_j^v, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad v = 1, 2, \dots, M;$
5. $z^v, \quad z^{-v}, \quad y_j^v, \quad y_j^{-v} \geq 0; \quad x \geq 0.$

Здесь M – символ математического ожидания по системным ситуациям.

Условие 1 выражает требование, чтобы инвестиции в реализацию проекта не превышали лимитов инвестиционных средств, распределенных по периодам (по стадиям реализации проекта). Ограничения 2 – есть балансы мощностей в энергетической системе в каждой из возможных ситуаций. Условия 3 выражают балансы электроэнергии в системе в каждой ситуации с учетом ее потерь при передаче и аварийных ситуаций. Условия 4 – это балансы электроэнергии у потребителей: потребности – подача электроэнергии. Последнее условие – это естественное требование неотрицательности переменных.

На основе стохастических двойственных оценок представленной модели, можно строить конструктивный экономический механизм принятия стратегических и оперативных (эксплуатационных) решений по БЭЭС, учитывающий влияние случайных факторов функционирования системы на экономическую оптимизацию этих решений.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИГНАЛОВ И ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

А.В. Мокеев

Архангельский государственный технический университет

Рассматривается общий подход к математическому описанию входных сигналов и частотных фильтров устройств релейной защиты и автоматики энергосистем. Для решения задач анализа и синтеза частотных фильтров предложено использование математических моделей сигналов и частотных фильтров при использовании частотно-временного подхода с использованием преобразования Лапласа.

В большинстве практических случаев математические модели входных сигналов устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), соответствующие определенному режиму работы энергосистемы, могут быть представлены в виде совокупности затухающих колебательных составляющих

$$x(t) = \sum_{i=0}^n X_{mi} e^{-\beta_i t} \cos(\omega_i t - \varphi_i). \quad (1)$$

При этом частными случаями затухающей колебательной составляющей являются синусоидальная, экспоненциальная (апериодическая) и постоянная составляющие входного сигнала.

Изображение по Лапласу входного сигнала (1)

$$X(p) = \sum_{i=0}^n X_{mi} \frac{(p + \beta_i) \cos(\varphi_i) + \omega_i \sin(\varphi_i)}{(p + \beta_i)^2 + \omega_i^2}. \quad (2)$$

В общем случае математические модели входных сигналов устройств РЗА следует рассматривать в виде набора сигналов (1) конечной длительности, каждый из которых соответствует конкретному режиму работы энергосистемы. Но для решения большинства практических задач, связанных с анализом и синтезом частотных фильтров, достаточно использование математической модели входных сигналов согласно выражению (1).

При необходимости учета процессов регулирования частоты, возбуждения синхронных генераторов, при возникновении асинхронных режимов в энергосистеме и т.д., следует использовать более сложные модели входных сигналов. При этом в отличие от рассматриваемой модели входных сигналов (1) необходимо использовать более сложную математическую модель входных сигналов устройств РЗА, в которой амплитуда, частота и начальная фаза являются функциями времени.

Как и для входного сигнала, математическую модель весовой (импульсной) функции для абсолютного большинства физически реализуемых частотных фильтров с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-

фильтров) можно также представить в виде совокупности затухающих колебательных составляющих

$$g(t) = \sum_{i=0}^m g_i(t) = \sum_{i=0}^m k_i e^{-\alpha_i \cdot t} \cos(w_i t - \phi_i). \quad (3)$$

При этом выражение для передаточной функции фильтра с весовой функцией вида (3) будет иметь следующий вид:

$$K(p) = \sum_{i=0}^m K_i(p) = \sum_{i=0}^m k_i \frac{(p + \alpha_i) \cos(\phi_i) + w_i \sin(\phi_i)}{(p + \alpha_i)^2 + w_i^2}. \quad (4)$$

При решении задач анализа и синтеза частотных фильтров широко используются математические модели сигналов и частотных фильтров на основе спектральных представлений преобразования Фурье [1]. Но при этом необходимо отметить, что наиболее эффективно использование указанных спектральных представлений имеет место при синусоидальных (гармонических) входных сигналах. Это связано в свою очередь с тем обстоятельством, что синусоидальный сигнал при прохождении через частотный фильтр сохраняет свою форму, т.е. на выходе частотного фильтра в установившемся режиме сигнал будет также синусоидальным. Поэтому установившееся (принужденное) значение реакции частотного фильтра в этом случае можно определить исходя из физического смысла частотных характеристик [1].

Для сигналов вида (1) частотные характеристики фильтра могут использоваться только для качественной оценки прохождения сигнала через частотный фильтр. Поэтому для входных сигналов, математическое описание которых во временной области может быть представлено в виде взвешенной суммы функций вида (1), целесообразно использовать преобразование Лапласа, которое позволяет разложить сигнал на совокупность конечного числа затухающих колебательных составляющих [2]. При этом так же, как и синусоидальный сигнал, сигнал в виде затухающей колебательной составляющей не изменяет свою форму при прохождении через линейный частотный фильтр.

В [2, 3] показано, что на основе спектральных представлений преобразования Лапласа можно определить не только принужденные составляющие входного сигнала вида (1), но и свободные составляющие, определяемые параметрами передаточной функции фильтра вида (4).

При этом математическая модель выходного сигнала обобщенного фильтра с передаточной функцией вида (4) при подаче на вход сигнала (1) будет иметь следующий вид:

$$y(t) = \sum_{i=0}^n X_{mi} K(-\beta_i, \omega_i) e^{-\beta_i \cdot t} \cos(\omega_i t - \phi_i + F(-\beta_i, \omega_i)) + \sum_{i=0}^m k_i X(-\alpha_i, w_i) e^{-\alpha_i \cdot t} \cos(w_i t - \phi_i + F_x(-\alpha_i, w_i)), \quad (5)$$

где $K(-\beta_i, \omega_i) = |K(p_i)|$ модуль передаточной функции при значении комплексной частоты, равной $p_i = -\beta_i + j\omega_i$;

$F(-\beta_i, \omega_i) = \arg K(p_i)$ значение аргумента передаточной функции;

$X(-\alpha_i, w_i) = |X(p_i)|$ модуль спектральной плотности при значении комплексной частоты $p_i = -\alpha_i + jw_i$, определяемой i -й составляющей весовой функции;

$F_x(-\alpha_i, w_i) = \arg X(p_i)$ значение аргумента спектральной плотности.

На основании выражений (2) и (4), можно получить следующие выражения для модуля и аргумента i -й составляющей передаточной функции:

$$K(-\beta_i, \omega_i) = k_i \sqrt{\frac{[(\alpha_i - \beta_i) \cos(\phi_i) + w_i \sin(\phi_i)]^2 + \omega_i^2 \cos^2(\phi_i)}{[(\alpha_i - \beta_i)^2 + (w_i^2 - \omega_i^2)]^2 + 4w_i^2(\alpha_i - \beta_i)^2}},$$

$$F(-\beta_i, \omega_i) = \arg \left(\frac{[(\alpha_i - \beta_i) + j\omega_i] \cos(\phi_i) + w_i \sin(\phi_i)}{[(\alpha_i - \beta_i) + j\omega_i]^2 + w_i^2} \right).$$
(6)

Аналогичные выражения могут быть получены и для i -й составляющей модуля и аргумента спектральной плотности входного сигнала

$$X(-\alpha_i, w_i) = X_{mi} \sqrt{\frac{[(\beta_i - \alpha_i) \cos(\phi_i) + \omega_i \sin(\phi_i)]^2 + w_i^2 \cos^2(\phi_i)}{[(\beta_i - \alpha_i)^2 + (\omega_i^2 - w_i^2)]^2 + 4\omega_i^2(\beta_i - \alpha_i)^2}},$$

$$F_x(-\alpha_i, w_i) = \arg \left(\frac{[(\beta_i - \alpha_i) + jw_i] \cos(\phi_i) + \omega_i \sin(\phi_i)}{[(\beta_i - \alpha_i) + jw_i]^2 + \omega_i^2} \right).$$
(7)

Компоненты первой суммы в выражении (5) определяют принужденные составляющие на выходе фильтра, а компоненты второй суммы – свободные составляющие реакции фильтра на входное воздействие (1).

При использовании спектральных представлений на основе преобразования Лапласа необходимо оперировать комплексной частотой, и поэтому спектр сигнала, а также амплитудно-частотная и фазово-частотная функции, будут зависеть не только от частоты, но и от вещественной части оператора Лапласа. Графики указанных функций будут трехмерными. Но как следует из полученного ранее выражения (5), для определения принужденных составляющих выходного сигнала фильтра достаточно использовать информацию только о конечном наборе значений передаточной функции на комплексных частотах, соответствующих параметрам затухающих колебательных составляющих, а для определения свободных составляющих реакции фильтра достаточно использовать информацию только о конечном наборе значений спектральной плотности входного сигнала на комплексных частотах, соответствующих параметрам затухающих колебательных составляющих импульсной функции фильтра [2, 3].

На основе математической модели выходного сигнала фильтра, согласно выражениям (5), (6), (7), можно достаточно просто производить моделирование работы фильтра при различных вариациях параметров входного сигнала.

Другим важным преимуществом предлагаемого метода является его тесная связь со спектральными представлениями сигналов и систем. Это дает возможность использовать рассматриваемые спектральные представления и для решения задач синтеза частотных фильтров, в том числе и при использовании частотно-временного представления сигналов.

Для обоснования использования частотно-временного подхода на основе преобразования Лапласа выполним подстановку в выражение для интеграла свертки i -й составляющей весовой функции фильтра:

$$y_i(t) = \int_0^t x(\tau) g_i(t - \tau) d\tau = k_i \int_0^t x(\tau) e^{-\alpha_i(t-\tau)} \cos(w_i(t - \tau) - \phi_i) d\tau.$$

После несложных преобразований получим следующее выражение для i -й составляющей реакции фильтра:

$$y_i(t) = k_i X(-\alpha_i, w_i, t) e^{-\alpha_i \cdot t} \cos(w_i t - \phi + F(-\alpha_i, w_i, t)). \quad (8)$$

В выражении (8) используются следующие обозначения:

$$X(p, t) = \int_0^t x(\tau) e^{-p \cdot \tau} d\tau; \quad (9)$$

$$X(-\alpha_i, w_i, t) = |X(p_i, t)|, \quad F(-\alpha_i, w_i, t) = \arg(X(p_i, t)),$$

где $X(p, t)$ – текущая спектральная плотность (спектр) входного сигнала; $X(p_i, t)$ – значение текущего спектра $X(p, t)$ входного сигнала согласно выражению (9) на комплексной частоте $p_i = -\alpha_i + j \cdot w_i$; $X(-\alpha_i, w_i, t)$ – значение модуля текущего спектра $X(p_i, t)$; $F(-\alpha_i, w_i, t)$ – значение аргумента спектра $X(p_i, t)$.

Обычные частотные фильтры, называемые также БИХ-фильтрами, имеют бесконечную импульсную характеристику. В практических расчетах длительность импульсной характеристики для физически реализуемых частотных фильтров часто принимают конечной и определяют исходя из допустимой погрешности.

В этом случае будем иметь дело уже не с текущим спектром, а с мгновенным спектром по Лапласу:

$$X(p, T) = \int_{t-T}^t x(\tau) \cdot e^{-p \cdot \tau} d\tau. \quad (10)$$

Тогда выражение (8) можно переписать следующим образом:

$$y_i(t) \approx k_i X(-\alpha_i, w_i, T_i) e^{-\alpha_i \cdot t} \cos(w_i t - \phi_i + F(-\alpha_i, w_i, T_i)), \quad (11)$$

где $X(p_i, T_i)$ – значение мгновенного спектра по Лапласу согласно (10) на комплексной частоте $p_i = -\alpha_i + j w_i$ при времени наблюдения, равном T_i ;

$X(-\alpha_i, \omega_i, T_i)$ – значение модуля мгновенного спектра $X(p_i, T_i)$; $F(-\alpha_i, \omega_i, T_i)$ – значение аргумента мгновенного спектра $X(p_i, T_i)$.

При этом огибающая выходного сигнала фильтра будет приблизительно пропорциональна (в случае КИХ-фильтров будет иметь место точная зависимость) значению модуля мгновенного спектра входного сигнала на комплексной частоте, определяемой параметрами i -й составляющей импульсной функции фильтра, а начальная фаза – аргументу мгновенного спектра при тех же условиях.

Из выражения (11) следует, что выходной сигнал любого фильтра представляет собой взвешенную сумму значений мгновенных спектров на комплексных частотах, определяемых корнями передаточной функции.

Частотно-временной подход может быть распространен и на передаточную функцию фильтра. При этом спектр входных сигналов (по Лапласу), описываемых с помощью выражения (1), следует принять дискретным, а конечность времени наблюдения за сигналом учитывать за счет использования динамической (зависимой от времени) передаточной функции:

$$K(p, t) = \int_0^t g(\tau) e^{-p \cdot \tau} d\tau. \quad (12)$$

Для получения необходимого математического описания вновь воспользуемся интегралом свертки, поменяв местами входной сигнал и импульсную функцию, пользуясь свойством коммутативности свертки.

Рассмотрим выражения для реакции фильтра на i -ю составляющую входного сигнала

$$y_i(t) = \int_0^t g(\tau) x_i(t - \tau) d\tau = \int_0^t g(\tau) x_i(t - \tau) d\tau.$$

Проделав несложные преобразования, получим следующее выражение для i -й составляющей выходного сигнала фильтра:

$$y_i(t) = k_i K(-\beta_i, \omega_i, t) e^{-\beta_i \cdot t} \cos(\omega_i t - \varphi_i + F(-\beta_i, \omega_i, t)), \quad (13)$$

где $K(-\beta_i, \omega_i, t)$ – значение модуля динамической передаточной функции, определяемой согласно выражению (12), на комплексной частоте $p_i = -\beta_i + j\omega_i$; $F(-\beta_i, \omega_i, t)$ – значение аргумента передаточной функции при тех же условиях.

Таким образом, реакция системы на входное воздействие в виде затухающей колебательной составляющей описывается также затухающей колебательной составляющей с той же частотой и коэффициентом затухания, но при этом начальное значение и фаза являются функциями времени. После завершения переходных процессов в фильтре начальное значение и фаза будут соответствовать начальному значению и фазе принужденной составляющей выходного сигнала фильтра.

Другими словами, функция $K(-\beta_i, \omega_i, t)$ описывает огибающую i -й составляющей выходного сигнала фильтра, а функция $F(-\beta_i, \omega_i, t)$ – изменение фазы указанной выше компоненты выходного сигнала.

В отличие от полученного ранее выражения (5), при подаче на вход фильтра i -й составляющей входного сигнала вместо двух составляющих выходного сигнала (принужденной и свободной составляющих), согласно выражению (13), получим только одну составляющую, описывающую реакцию фильтра. При этом информация о переходном процессе в фильтре заключена в огибающей выходного сигнала и в изменении фазы сигнала.

При использовании динамической передаточной функции могут быть получены амплитудно-частотные и фазово-частотные функции, которые будут являться функциями трех переменных: вещественной и мнимой частей комплексной частоты, а также времени.

Использование частотно-временных представлений сигналов и частотных фильтров позволяет эффективно решать задачи синтеза фильтров, критичных по быстродействию. Рассмотренные выше подходы к анализу и синтезу частотных фильтров на основе спектральных представлений преобразования Лапласа могут быть легко распространены для решения аналогичных задач для цифровых фильтров.

Литература

1. Харкевич А.А. Спектры и анализ. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1962. – 236 с.
2. Мокеев А.В. Основы автоматического управления систем электроснабжения: Учеб. пособие. Ч. I. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2005. – 136 с.
3. Использование спектральных представлений сигналов и систем на основе преобразования Лапласа для анализа линейных систем // Цифровая обработка сигналов и ее применение: Труды 8-й Междунар. конф., 2006.

163000, г. Архангельск, ул. Северодвинская, 11, кв. 5, т. (8182) 61-99-37,
e-mail: amokeev@inbox.ru, a.mokeev@ens.ru

УДК 621.331:621.332.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ НАРУШЕНИЯ ТОКОСЪЕМА В ЭЛЕКТРОТЯГОВЫХ СЕТЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Ю.И. Жарков, Д.В. Колосов

Ростовский государственный университет путей сообщения

Рассмотрены различные варианты математического моделирования электродуговых процессов при нарушениях токосъема. Проведен сравнительный анализ существующих методов и сделан вывод о сферах применения данных моделей в рамках автоматизированной системы диагностики нарушений токосъема для электротяговых сетей железных дорог.

Согласно плану НИОКР МПС РФ в РГУПС на кафедре «Автоматизированные системы электроснабжения» с 2002 года проводятся научные исследования по теме 11.1.28 «Автоматизированная система диагностики нарушений токосъема в электротяговых сетях железных дорог». Разрабатываемая система представляет собой современный высокотехнологичный технический комплекс для автоматизации контроля мест с дуговым токосъемом, обеспечивающий обнаружение и распознавание опасных режимов токосъема на контролируемом участке и передачу необходимой оперативной информации диспетчерским службам и линейным подразделениям. Основной целью создания системы является повышение безопасности движения поездов, бесперебойности электроснабжения, своевременное выявление предотказного состояния, предупреждение повреждений контактной сети и токоприемников электроподвижного состава, оптимизация затрат на текущее содержание и ремонт.

В декабре 2003 года проведены испытания макетного образца автоматизированной системы контроля диагностики нарушений токосъема (станция Ростов – Главный, помещения ДЭЛ СКЖД и ЭЧК106). По результатам успешных испытаний макетного образца системы принято решение о создании нескольких опытных образцов и их последующих испытаниях с целью уточнения технических характеристик отдельных технических элементов системы.

Для дальнейшей разработки и совершенствования технических средств и алгоритма функционирования системы необходимо провести исследование характеристик радиоизлучений – информационного признака режимов дугового токосъема – при различных режимах токосъема с использованием аналитического и статистического методов.

Моделирование электрической дуги, возникающей при нарушениях токосъема, подразумевает преобразование математического описания динамических процессов и установившихся характеристик дугового разряда в аналитическую форму. В этом случае получение достоверных результатов возможно только при математическом описании свойств стабильно горящей дуги. Одним из возможных подходов к созданию модели дугового токосъема является объединение физических характеристик дуговых процессов с результатами эмпирических исследований. Несмотря на то, что разработанные модели основаны на некоторых допущениях для упрощения алгоритма реализации расчетов ввиду крайней сложности полного математического описания дуговых процессов, приведенные результаты расчетов при различных исходных параметрах и сравнение с результатами измерений показывают их корректность и достаточно точное соответствие реальным процессам.

Примером другого подхода к аналитическому моделированию служит определение дуговых процессов с помощью функции времени, применяющейся для описания характерных параметров электрической дуги. Данный

метод применен при моделировании электрической дуги в рамках европейского проекта ESCARV. Приведенный вариант моделирования дуговых процессов отличается высокой достоверностью полученных результатов. Недостатком применения подобного метода состоит в том, что определение некоторых важных параметров для проведения расчетов (к примеру, характеристик импульса переходного напряжения при возникновении дуги) возможно только при предварительном использовании результатов измерений на реальном действующем участке. Помимо соответствующих мероприятий по организации и проведению исследовательской работы, подобные эксперименты требуют применения высокоточной измерительной аппаратуры и мощных вычислительных ресурсов.

Разработанные аналитические модели предоставляют возможность варьировать разнообразные параметры, влияющие на уровень и частотный спектр радиопомех (тип контактной подвески, потребляемые электровозами токи, количество и место расположения электровозов на межподстанционной зоне, ширина сближения с тяговой сетью); полученные результаты расчетов совпадают с экспериментальными данными, как минимум, по порядку величин. Подобные аналитические модели представляют собой самостоятельные расчетные методы, но наибольшее соответствие полученных результатов реальным процессам при дуговом токоосъеме возможно получить при совместном использовании данных методов со статистическим анализом.

Выбор статистической модели для описания электромагнитных излучений, возникающих при дуговом нарушении токоосъема, обусловлен тем, что электрическая дуга между пантографом электровоза и контактным проводом возникает в случайные моменты времени, поэтому статистический подход достаточно точно согласуется с природой исследуемого явления. Кроме того, статистическая модель является достаточно наглядной и позволяет избежать сложных математических описаний электромагнитных процессов (моделирование электрической дуги, тяговой сети, граничных условий), расчет которых подразумевает использование компьютерной вычислительной техники и специальных программных продуктов, а исходные данные при подобных описаниях весьма трудны для определения. В итоге полученные результаты расчетов практически совпадают с данными при статистическом приближении.

В основе статистической модели лежат аналитические выражения для магнитного и электрического полей, максимально точно совпадающие с результатами экспериментальных исследований. Важным преимуществом является отсутствие необходимости проведения экспериментальных измерений непосредственно на участке, осуществление которых в некоторых случаях затруднено или совсем невозможно. Статистическая модель позволяет варьировать разнообразные параметры, влияющие на уровень и частотный спектр

радиопомех, основываясь на наглядных и простых математических выражениях для расчета характеристик электромагнитного поля.

Максимальная погрешность при использовании разработанной статистической модели не превышает 21,2 дБ при дисперсии 9,9 дБ, что позволяет применять подобный подход для количественной оценки амплитудного уровня радиопомех при различных влияющих факторах, а также в качестве быстрого и наглядного способа проверки и подтверждения результатов, полученных экспериментальным путем.

Разработанные аналитические и статистические модели являются самостоятельными, но в определенной степени дополняют друг друга и при совместном использовании позволяют получать достоверные результаты, характеризующие электромагнитные излучения при дуговом токосъеме с учетом различных влияющих факторов. Полученные данные необходимы для анализа радиоизлучений при различных режимах дугового токосъема, позволяющего определить частотную область и чувствительность радиоприемных устройств для надежной фильтрации полезного сигнала при дуговых процессах от помех.

По результатам исследований сделан вывод, что аналитическое моделирование режимов токосъема является новым и перспективным способом изучения электромагнитных явлений при токосъеме и позволяет получить достоверные характеристики радиоизлучений при различных исходных данных фактически без необходимости осуществления соответствующих мероприятий по организации и проведению исследовательской экспериментальной работы.

Результаты расчетов могут быть использованы для создания различных алгоритмов анализа и распознавания дефектов скользящего контакта при разработке систем контроля и диагностики нарушений токосъема и при изучении вопросов электромагнитной совместимости.

УДК 621.336.2

СИСТЕМА ТОКОСЪЕМА С ЖЕСТКИМ ТОКОПРОВОДОМ С ПОЗИЦИЙ ТРИБОФАТИКИ

О.А. Сидоров, С.А. Ступаков, А.Н. Кутькин, В.А. Жданов

Омский государственный университет путей сообщения

Рассмотрены методы для исследования электрического скользящего контакта устройств токосъема электрического транспорта.

Система контактного токосъема с жестким токопроводом применяется для передачи электроэнергии на борт подвижного состава метрополитена,

монорельсового транспорта с электромагнитным и колесным опиранием. С 2002 г. ОмГУПС принимает участие в государственной программе по разработке и исследованию системы токосъема Московской монорельсовой дороги и скоростной монорельсовой системы «город-аэропорт» для скоростей движения подвижного состава до 250 км/час.

Токоприемник скоростной монорельсовой дороги представляет собой сложный электромеханический комплекс, общая схема которого представлена на рис. 1.

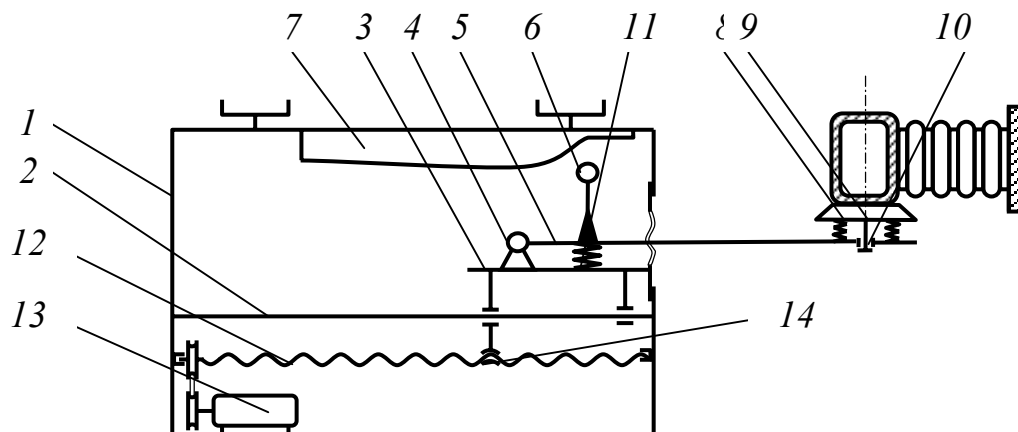


Рис. 1

Токоприемник для монорельсовой транспортной системы нового поколения с увеличенной скоростью движения содержит корпус 1 с закрепленными в нем направляющими 2, на которых установлено подвижное основание 3. На основании 3 установлен вал 4, с которым сочленена штанга 5 токоприемника. На штанге 5 установлен ролик 6, взаимодействующий с копиром 7. На конце штанги 5 с помощью пружин 8 установлен контактный элемент 9, оснащенный фиксатором 10.

Нажатие контактного элемента на токопровод осуществляется нажимной пружиной 11. Перемещение основания по направляющим обеспечивается с помощью винта 12, двигателя 13 и гайки 14.

Традиционный подход к исследованию проблемы функционирования элементов системы токосъема заключается, в основном, в рассмотрении процессов взаимодействия контактного элемента (КЭ) токоприемника и токопровода (Т). Эта точка зрения основана на многолетнем опыте эксплуатации систем токосъема и фундаментальных исследованиях в области электрического скользящего контакта. При традиционной оценке работоспособности механической системы по отдельным критериям (износостойкости или сопротивлению усталости) практически не учитывается связь между элементами системы.

Однако, на основе современных представлений о токоприемнике как о силовой системе, необходимо оценивать его работоспособность и надежность, используя основные положения трибофатики, т.е. с позиций комплексного износоусталостного состояния системы.

В соответствии с общими положениями трибофатики нельзя рассматривать в качестве причин отказа любой трибосистемы только износ и усталостные повреждения, необходимо учитывать комплексный характер процессов повреждения и разрушения. Комплексное износоусталостное повреждение силовой системы обусловлено двумя специфическими источниками:

- 1) контактное взаимодействие элементов системы;
- 2) повторно-переменное объемное деформирование элементов системы.

Например, в случае системы КЭ-Т такой элемент конструкции, как токопровод, подвергается воздействию повторно-переменной нагрузки со стороны КЭ, являясь при этом элементом пары трения. Таким образом, данная трибосистема рассматривается как силовая система, которая работает в условиях комплексного износоусталостного повреждения: трение скольжения + механическая усталость. С позиций этих же положений необходимо рассматривать и функционирование конструктивных узлов токоприемника. При детальном рассмотрении токоприемника в этой системе можно выделить несколько подсистем, работающих в условиях контактно-механической и фрикционно-механической усталости.

Исследования динамических процессов взаимодействия элементов системы КЭ-Т монорельсового транспорта в процессе эксплуатации показывают, что в узлах системы присутствуют:

- 1) фрикционно-механическая усталость (прямой и обратный эффекты);
- 2) фреттинг-усталость;
- 3) механическая усталость;
- 4) контактно-механическая усталость.

Методы и экспериментальные установки для износоусталостных испытаний позволяют проводить испытания моделей силовой системы КЭ-Т в широком диапазоне изменения изгибной и контактной нагрузок. Конструктивные особенности экспериментального комплекса позволяют моделировать возникновение в элементах системы циклических и контактных напряжений от нагрузки, соответствующей реальному режиму эксплуатации.

Рассмотрение этой проблемы еще и с позиций микромеханики рассеянного повреждения позволяет отметить, что дефекты, имеющиеся в материале изначально, взаимодействуют в процессе эксплуатации с дефектами, генерируемыми в процессе деформации. Это ведет к непрерывному процессу накопления суммарных повреждений путем из слияния и разрастания вплоть до появления источника разрушения.

Развиваемый с позиций трибофатики подход состоит в следующем:

- 1) для силовой системы КЭ-Т характерно комплексное износоусталостное повреждение и разрушение;
- 2) эксплуатационная работоспособность системы (надежность и долговечность) определяется как прямым, так и обратным эффектами;
- 3) оптимальная долговечность как системы в целом, так и ее элементов может быть достигнута путем управления процессами комплексного износоусталостного повреждения с учетом реального взаимодействия необратимых повреждений (из-за контактного взаимодействия элементов системы и их объемного повторно-переменного деформирования).

В настоящее время в ОмГУПСе проводится комплекс теоретических и экспериментальных работ по созданию метода (методики) оценки надежности токоприемников монорельсового транспорта на основе указанных положений трибофатики.

Полученные данные о ресурсных возможностях скоростных токоприемников подтверждают обоснованность применения методов исследования с позиций трибофатики. Подобный подход позволяет осуществлять более достоверную оценку надежности как отдельных узлов, так и токоприемника в целом.

Литература

1. Сидоров О.А. Токосъем в монорельсовых системах // Мир транспорта. – 2004. – № 3. – С. 30-39.
2. Трибофатика: Сб. науч. тр. / Иркут. гос. ун-т путей сообщ. – Иркутск; ИрИИТ, 2005. Т. 1.
3. Сидоров О.А., Ступаков С.А., Тарасенко А.В. Лабораторный комплекс для исследования износа контактных пар устройств токосъема // Электрификация и развитие энергосберегающей инфраструктуры и электроподвижного состава на ж.-д. транспорте: Материалы III междунар. симпозиума. – СПб., 2005. – С. 130-131.

644070, г. Омск, а/я 3099, т.р. 31-34-46, 44-28-31, т.д. 56-65-47,
e-mail: kutkin_omsk@mail.ru

УДК 621.332

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНТАКТНЫХ ПОДВЕСОК И ТОКОПРИЕМНИКОВ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ТРЕХМЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

О.А. Сидоров, А.Н. Смердин, А.С. Голубков, В.В. Томилов
Омский государственный университет путей сообщения

Предложены новые направления использования многомассовых параметрических моделей взаимодействия токоприемников и контактных подвесок с применением средств трехмерной визуализации.

В связи с постоянно возрастающими требованиями к надежности и экономичности токосъема на железных дорогах России, активно ведется внедрение новых технических средств и схемных решений устройств электроснабжения. При вводе в эксплуатацию новых конструкций и узлов контактной сети и токоприемников необходимы полномасштабные линейные испытания для оценки эффективности и надежности этих устройств. Такие испытания требуют значительных затрат времени и привлечения больших объемов материальных и людских ресурсов.

Для сокращения времени разработки и поиска оптимальных параметров вновь создаваемых устройств токосъема (контактных подвесок и токоприемников) наиболее рациональным и перспективным методом оценки работоспособности является математическое моделирование процесса их взаимодействия.

Благодаря использованию вычислительных методов становится возможным оценить характеристики различных контактных подвесок и токоприемников и найти рациональные параметры и режимы их работы с учетом широкого спектра воздействий всевозможных внешних факторов.

В процессе токосъема на поведение токоприемников и контактной сети влияют: аэродинамическое воздействие, нажатие одного или нескольких токоприемников, колебания подвижного состава, сила трения при скольжении полоза, волновые процессы в контактной подвеске и различные случайные процессы. Обычно при моделировании эти силы не учитываются или учитываются раздельно – для каждого вида воздействия составляется собственная модель с сосредоточенными параметрами. Для получения более точной картины процесса взаимодействия следует составлять общую модель, учитывающую максимальное число влияющих факторов.

Для выполнения этой задачи необходимо создать адекватную математическую модель процесса токосъема с возможностью параметрического задания различных характеристик контактных подвесок и токоприемников. Модель должна иметь гибкую модульную архитектуру, позволяющую вносить оперативные изменения в любой из компонентов системы.

Открытая архитектура системы моделирования токосъема обеспечивает учет дополнительных конструктивных элементов и видов воздействий. Возможность динамического изменения расчетных схем взаимодействия позволяет оперативно сравнивать различные варианты моделей и выбирать рациональную схему имитируемого процесса. Широкий выбор создаваемых виртуальных ситуаций обеспечивается наличием библиотеки свойств функциональных узлов и расчетных схем контактных подвесок и токоприемников. Процесс моделирования может корректиро-

ваться в интерактивном режиме во взаимодействии с библиотекой компонентов (рис. 1).

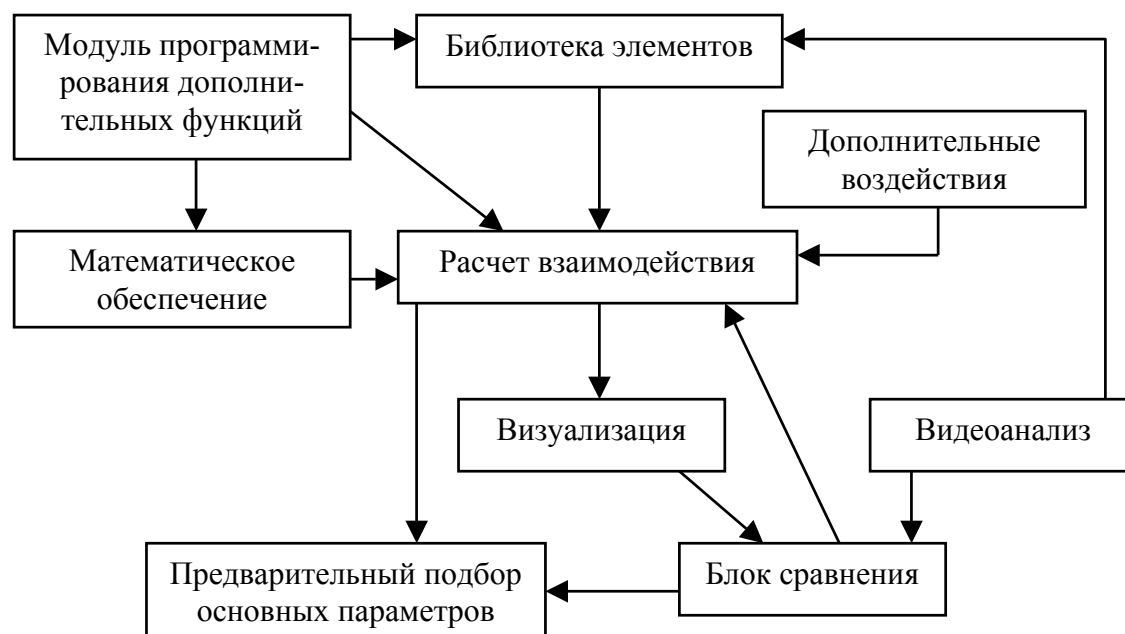


Рис. 1. Структурная схема взаимодействия модулей предлагаемого комплекса

Одним из методов оценки качества токосъема при линейных испытаниях является видеосъемка токоприемника с крыши подвижного состава. После цифровой обработки отснятого материала получают траектории перемещения элементов токоприемника, по которым при наличии известных параметров контактной подвески и токоприемника определяют контактное нажатие [1].

Для работы таких систем необходимо точное позиционирование и настройка высокоскоростного видеорегистратора и соответствующее программное обеспечение, позволяющее с высокой степенью достоверности распознать и количественно оценить перемещения элементов токоприемника. В Омском государственном университете путей сообщения разработан способ для оценки корреляции показаний системы видеоанализа и результатов моделирования с помощью виртуального изображения процесса токосъема (рис. 2). Такой подход позволяет:

- проводить оценку эффективности испытуемых схемных решений без необходимости их реализации в материальном виде;
- обеспечивать предварительный подбор основных параметров системы токосъема в автоматическом режиме;
- имитировать сочетания воздействий экстремальных природных и антропогенных факторов [2].

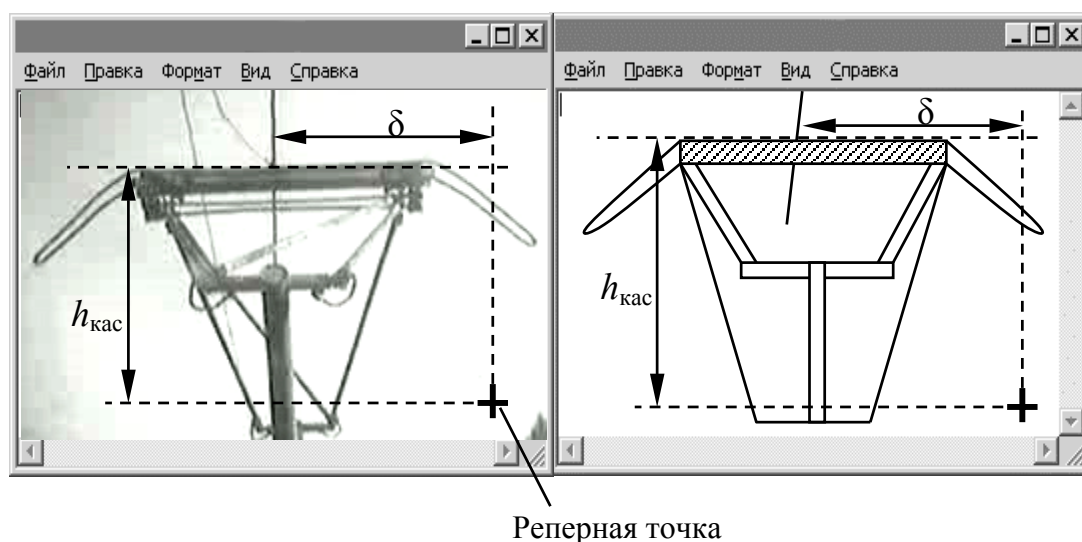


Рис. 2. Пример работы блока сравнения результатов моделирования и натурной видеосъемки

В связи с незначительным полигоном линий скоростного движения в России и отсутствием специализированных испытательных трасс, предложенный подход дает возможность значительно сократить время ввода в эксплуатацию перспективных технических решений за счет предварительного отбора без необходимости изготовления макетных образцов. При этом возможно накопление базы расчетных схем типовых и вновь создаваемых конструкций токоприемников и контактных подвесок, моделирование различных вариантов их взаимодействия, что в конечном счете ведет к созданию и внедрению в эксплуатацию надежных и экономичных токосъемных устройств.

Литература

1. Сидоров О.А., Смердин А.Н., Голубков А.С. Методика измерения отжатый проводов контактных подвесок с использованием скоростных видеоанализаторов // Электрификация и развитие энергосберегающей инфраструктуры и электроподвижного состава на железнодорожном транспорте: Тез. докл. 3-го междунар. симпозиума «Eltrans`2005» / Петербург. гос. ун-т путей сообщения. – СПб: ПГУПС, 2005. – С. 128-129.
2. Сидоров О.А., Саля И.Л. Голубков А.С. Математическое моделирование ударных процессов при взаимодействии скоростных токоприемников с жестким токопроводом // Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2005. – С. 57-59.

644070, г. Омск, а/я 3099, т.р. (3812) 31-34-46, т.д. (3812) 54-01-94,
e-mail: tony_d@bk.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОКОПРИЕМНИКА С ЦЕПНОЙ КОНТАКТНОЙ ПОДВЕСКОЙ

О.А. Сидоров, И.Л. Саля, И.В. Тарабин

Омский государственный университет путей сообщения

Представлены основы и результаты расчета взаимодействия токоприемника магистрального железнодорожного транспорта с цепной контактной подвеской. В расчете исследовалось влияние характеристики жесткости подвески в подопорных точках на качество процесса токосъема.

Процесс передачи электрической энергии локомотиву через скользящий контакт между проводом и токоприемником весьма сложен. Нажатие токоприемника на провод приводит к двум последствиям, с которыми необходимо считаться: провод под действием нажатия токоприемника поднимается; при движении токоприемника по проводу между ними возникает сила трения, которая ведет к изнашиванию провода и контактных вставок.

Ввиду многообразия случайных факторов, исследовать теоретически динамическую систему «токоприемник – контактная подвеска» в полном объеме сложно. Более простым для теоретических исследований и достаточным для практического применения является рассмотрение детерминированных процессов.

В расчете принята схема подвески (рис. 1), в которой на небольшом отрезке подвески осуществлены дискретизация параметров и приведение их к точке контакта. Токоприемник для расчетов принят с одной степенью свободы (рис. 2). Основные параметры токоприемника приведены к точке контакта и верхнему шарниру подвижных рам.

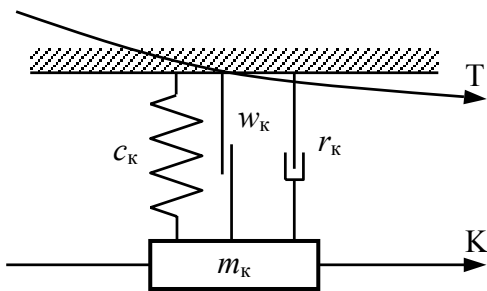


**Рис. 1. Расчетная схема
контактной подвески**

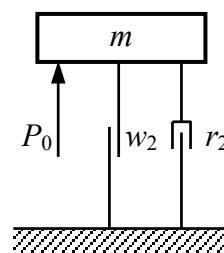


**Рис. 2. Расчетная схема
токоприемника**

Практический интерес при теоретических исследованиях представляет определение траектории движения точки контакта, перемещений контактного провода в разных точках пролета и контактного нажатия.

Для нахождения искомых параметров и характеристик была решена следующая система дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} (m_k + m)\ddot{y}_1 + r_k\dot{y}_1 + c_k(y_1 - y_{k0}) + w_k \text{sign } \dot{y}_1 + \\ + r_2(\dot{y}_1 - \dot{y}_л) + w_2 \text{sign}(\dot{y}_1 - \dot{y}_л) = P_0 + P_y + P'_a; \\ P_{кт} = m_k\ddot{y}_1 + r_k\dot{y}_1 + c_k(y_1 - y_{k0}) + w_k \text{sign } \dot{y}_1. \end{cases}$$

где m_k – масса подвески, сосредоточенная над токоприемником; m – приведенная масса токоприемника; r_k – вязкое трение в контактной подвеске, сосредоточенное над токоприемником; c_k – жесткость подвески над токоприемником; y_{k0} – высотное положение подвески без присутствия под ней токоприемника; w_k – сухое трение в контактной подвеске, сосредоточенное над токоприемником; r_2 – вязкое трение в токоприемнике; w_2 – сухое трение в токоприемнике; $y_л$ – перемещение основания токоприемника; y_1 – высотное положение полоза токоприемника.

Начальные условия для первого расчетного пролета, как правило, задаются ориентировочно. Поэтому данные по взаимодействию токоприемника с контактной подвеской в первых трех-четырех пролетах не должны приниматься во внимание, а при общем числе расчетных пролетов, равном десяти, показатели, характеризующие качество токосъема, усредняются по результатам расчетов для пролетов с 6-го по 10-й.

В расчетах исследовалась степень влияния уменьшения жесткости подвески в опорном узле на процесс токосъема.

В результате расчета в универсальной математической программе MathCAD получена кривая контактного нажатия (рис. 3) в пролетах с шестого по десятый. В расчетах: токоприемник 13PP; подвеска М-120+МФ-100; скорость 100 км/ч.

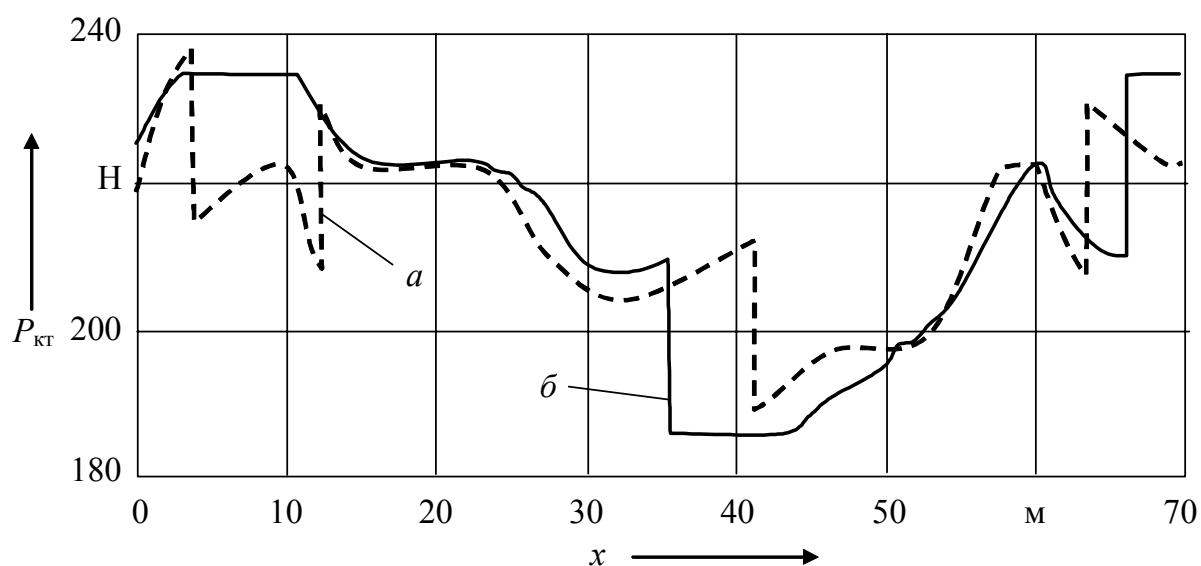


Рис. 3. Кривые контактного нажатия:

a – с упругим фиксатором; b – со штатным (жестким) фиксатором

По результатам исследований было установлено, что снижение жесткости в подпорном узле подвески на 30 % уменьшает коэффициент относительного изменения контактного нажатия на 8,9 %, а двойную амплитуду вертикальных перемещений полоза токоприемника в пролете – на 25 %.

Литература

1. Беляев И.А., Михеев В.П. Токосъем и токоприемники электроподвижного состава. – М.: Транспорт, 1976. – 184 с.
2. Михеев В.П. Контактные сети и линии электропередачи. – М.: Маршрут, 2003. – 415 с.
3. Беляев И.А., Вологин В.Л. Взаимодействие токоприемников и контактной сети. – М.: Транспорт, 1982. – 190 с.

644070, г. Омск, а/я 3099, т.р. (3812) 31-34-46, т.д. (3812) 40-27-81,
e-mail: [igor tarabin@mail.ru](mailto:igor_tarabin@mail.ru)

УДК 681.3:624.4

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОВОЗА В ТЯГОВОМ РЕЖИМЕ

А.Н. Крыгин

Омский государственный университет путей сообщения

Получена математическая модель определения оптимального числа движущих осей для использования в решающих устройствах системы автоматического управления локомотивом при задании оптимального количества работающих тяговых двигателей.

Рациональным способом повышения эксплуатационного КПД локомотива является автоматизация выбора числа работающих тяговых двигателей при регулировании мощности локомотива [1].

Реализация данного способа на электровозах с плавным регулированием напряжения на тяговых двигателях (ТД) возможна при применении устройств автоматического регулирования мощности с заданием оптимального нагрузочного режима работы тягово-энергетической установки (ТЭУ) локомотива.

Отключение части двигателей приводит к изменению параметров режима ведения поезда вследствие некоторого увеличения сопротивления движению поезда на ΔW . Сопротивление движению поезда, при сохранении поступательной скорости, возрастает и становится $W_2 = W_1 + \Delta W$. Поэтому энергетическое состояние электровоза и его КПД определены с учетом дополнительных затрат энергии на преодоление ΔW .

При этом для исходного режима сила тяги, приходящаяся на движущую ось локомотива $F_{\text{кд1}}$, рассчитана по математическому выражению

$$F_{\text{кд1}} = F_{\text{к1}} / n,$$

а для режима с частично отключенными двигателями $F_{\kappa 2}$ – по формуле

$$F_{\kappa 2} = F_{\kappa 1} / (n - n_{\text{отк}}) = (F_{\kappa 1} + \Delta W) / (n - n_{\text{отк}}).$$

Увеличение сопротивления движению электровоза при отключении части ТД определено по формуле

$$\Delta W = (w'_{\text{ох}} - w'_0) n_{\text{отк}} q,$$

где $w'_{\text{ох}}$ и w'_0 – удельные сопротивления движению электровоза без тока и под током соответственно; $n, n_{\text{отк}}$ – общее и количество отключенных тяговых двигателей; q – нагрузка от оси колесной пары электровоза на рельсы; $F_{\kappa 1}, F_{\kappa 2}$ – сила тяги локомотива исходного режима движения и при отключении части движущих осей соответственно.

Наиболее приемлемым для практического использования считается способ ступенчатого регулирования мощности многоосных сцепов электровозов с отключением части тяговых тележек [2].

Потери в узлах электровоза сгруппированы по характеру их изменения при отключении части тяговых тележек. При этом суммарные потери мощности в узлах сцепа электровозов определены по формуле

$$\Delta P_{\text{э}} = \Delta P_{\text{э}1} + \Delta P_{\text{э}2} + \Delta P_{\text{э}3},$$

где $\Delta P_{\text{э}1} = \Delta P_{\text{тр.эл}} + \Delta P_{\text{вы}} + \Delta P_{\text{ср.маг}} + \Delta P_{\text{д.маг}} + \Delta P_{\text{зп}} + P_{\text{сн}}$;

$$\Delta P_{\text{э}2} = \Delta P_{\text{пр}} + \Delta P_{\text{ср.эл}} + \Delta P_{\text{д.эл}} + \Delta P_{\text{эм}};$$

$$\Delta P_{\text{э}3} = \Delta P_{\text{тр.хх}} + \Delta P_{\text{д.мех}};$$

$\Delta P_{\text{тр.эл}}, \Delta P_{\text{пр}}, \Delta P_{\text{ср.эл}}, \Delta P_{\text{д.эл}}$ – электрические и добавочные потери в обмотках тяговых трансформаторов, переходных и сглаживающих реакторов, тяговых двигателей соответственно;

$\Delta P_{\text{тр.хх}}, \Delta P_{\text{ср.маг}}, \Delta P_{\text{д.маг}}$ – магнитные потери в тяговых трансформаторах, сглаживающих реакторах и тяговых двигателях;

$\Delta P_{\text{вы}}$ – потери в выпрямительно-инверторных преобразователях;

$\Delta P_{\text{эм}}, P_{\text{сн}}$ – потери энергии в электрическом монтаже и затраты энергии на собственные нужды электровоза;

$\Delta P_{\text{д.мех}}, \Delta P_{\text{зп}}$ – механические потери в тяговом двигателе и зубчатой передаче.

Анализ зависимостей $\Delta P_{\text{э}}(n)$ и составляющих $\Delta P_{\text{э}1}(n), \Delta P_{\text{э}2}(n)$ и $\Delta P_{\text{э}3}(n)$ для заданных значений силы тяги F_{κ} и скорости движения V сцепа электровозов [2] показал, что интенсивность уменьшения потерь $\Delta P_{\text{э}1}(n)$ в одних узлах и их возрастания $\Delta P_{\text{э}2}(n)$ в других различна. По мере отключения тяговых тележек наступает момент, когда рост электрических потерь

становится преобладающим, а зависимости $\Delta P_3(n)$ приобретают U – образную форму с минимумом в точке, соответствующей $n_{\text{опт}}$.

Исследованием функции ΔP_3 на экстремум [3] по числу движущих осей локомотива установлено, что численное значение производных потерь $d\Delta P_3/dn$ равно нулю как постоянная величина, а $d\Delta P_3/dn$ равно нулю по условию существования экстремума функции. Отсюда следует, что минимум потерь мощности $\Delta P_{3\text{min}}$ в точке с оптимальными значениями $n_{\text{опт}}$ характеризуется равенством первых производных

$$d\Delta P_{31}/dn = d\Delta P_{32}/dn \quad (1)$$

потерь мощности, увеличивающихся ΔP_{32} и уменьшающихся ΔP_{31} , по мере отключения числа движущих осей.

Уравнение (1) представляет собой математическую модель определения оптимального числа движущих осей и может быть использовано в решающих устройствах системы автоматического управления локомотивом для задания оптимального соотношения количества работающих тяговых двигателей.

Литература

1. Бабич В.М., Крыгин А.Н. Пути повышения энергетической эффективности электровозов при вождении поезда увеличенной массы на участках сложного профиля / Омский ин-т инж. ж.-д. трансп. – Омск, 1989. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 25.05.89, № 4672.
2. Бабич В.М., Крыгин А.Н. Энергетическая эффективность сцепа электровозов при оптимальном числе движущих осей / Омский ин-т инж. ж.-д. трансп. – Омск, 1994. – Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 27.02.95, № 5963.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1978. – 832 с.

644109, г. Омск, Сибирский проспект, д. 8/2, кв. 33, т. 31-18-66, e-mail: krygin48@mail.ru

УДК 621 314

ПРОГРАММА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

А.Я. Шкарупин, А.А. Дегтярев

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Приводится описание программы «ППН push-pull» для автоматизированных расчетов двухтактных преобразователей постоянного напряжения.

Программа «ППН push-pull» предназначена для автоматизированного проектирования двухтактных преобразователей постоянного напряжения (ППН), выполненных с применением специализированных двухтактных

интегральных ШИМ-контроллеров. Данный тип ППН является наиболее распространенным типом преобразователей постоянного напряжения средней и большой мощности. В качестве ключевых транзисторов могут использоваться полевые, IGBT или биполярные транзисторы.

Программа «ППН push-pull» удобна в эксплуатации и имеет удобный оконный интерфейс, позволяющий выполнять такую сложную задачу, как проектирование МТП, в течение нескольких минут. В качестве языка программирования выбран Object Pascal в среде визуального программирования Delphi 6 для ОС семейства Windows.

Программа содержит файл справки, в котором изложены порядок работы с программой, теория работы и методика расчета проектируемого ППН, справочные данные некоторых компонентов, которые могут быть использованы при разработке устройства.

Алгоритм расчета состоит из следующих этапов:

1. Запуск программы и вызов на экран монитора проект-заготовки схемы разрабатываемого ППН.
2. Выбор типа интегрального ШИМ-контроллера и установка исходных данных
3. Расчет параметров и выбор типа ключевого (коммутирующего) транзистора. Расчет демпфирующих цепей.
4. Расчет параметров импульсного трансформатора: выбор марки и типа сердечника, расчет параметров обмоток.
5. Расчет выходных выпрямителей и сглаживающих фильтров.
7. Выбор типовой схемы включения ШИМ-контроллера и расчет элементов системы управления.
8. Вывод результатов автоматизированного проектирования на экран монитора или печать.

После запуска программы и закрытия титульной заставки на экран монитора выводится окно с изображением принципиальной схемы проектируемого ППН и окно для установки исходных данных.

После ввода и редактирования исходных данных на экране появляется основное окно программы (рис. 1), на котором высвечиваются цветные активные кнопки, расположенные возле элементов принципиальной схемы, подлежащих расчету. Дальнейший расчет преобразователя выполняется после активизации соответствующих кнопок на изображении принципиальной схемы.

Необходимый тип транзистора, выпрямительных диодов, сердечника трансформатора и провода можно выбрать из справочника или из списков предлагаемых программой. При выборе элементов из списка программа

автоматически устанавливает необходимые для расчета параметры выбранных элементов.

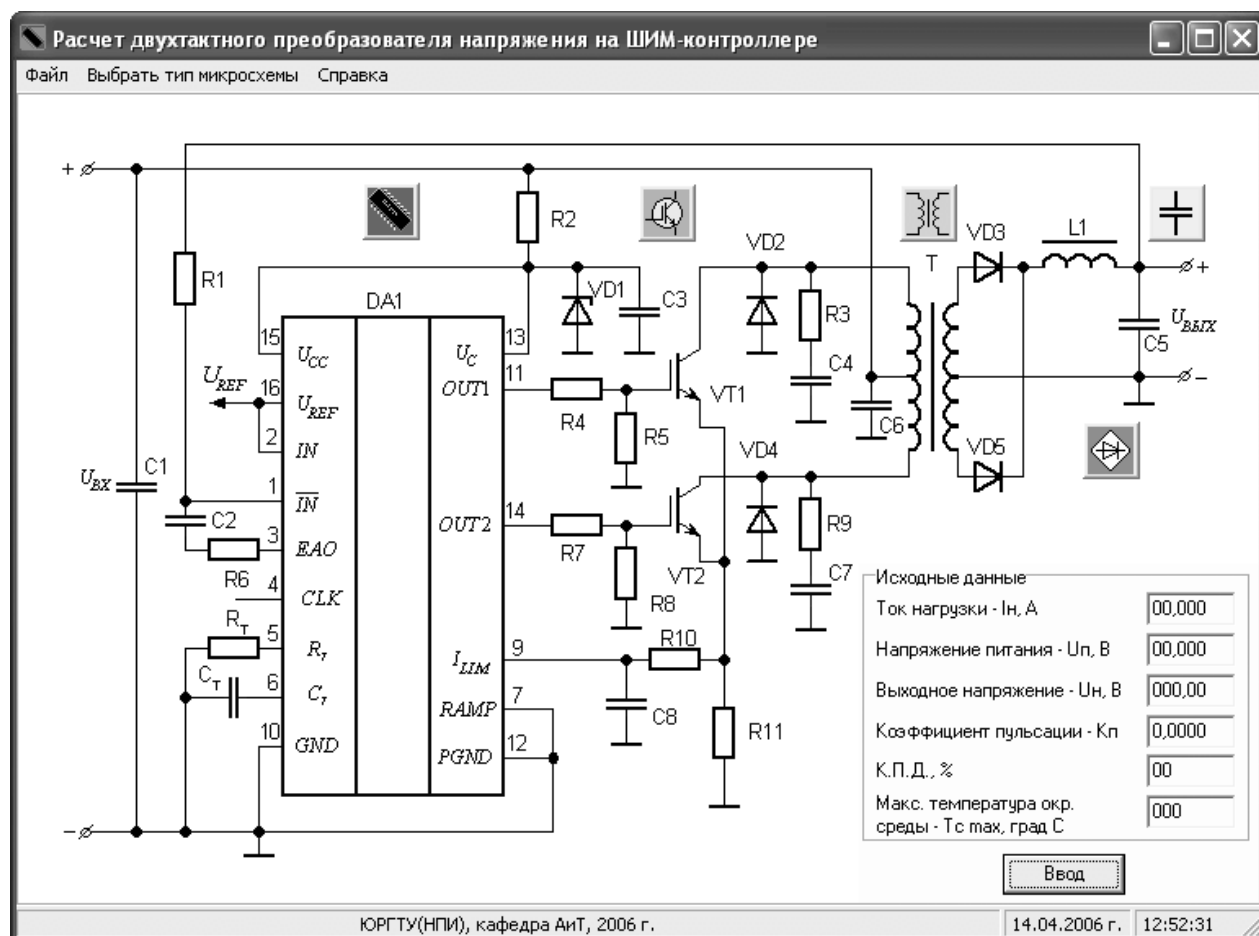


Рис. 1. Основное окно программы

Если при редактировании исходных данных были допущены ошибки, программа выдает сообщение. Если в процессе проектирования были выбраны полупроводниковые приборы, параметры которых не соответствуют условиям работы в разрабатываемом преобразователе, программа это определяет и предлагает выбрать другой тип прибора или изменить условия его охлаждения.

После выполнения всех расчетов на экран монитора выводятся заданные исходные данные и итоговые результаты расчета ППН. Результаты расчета можно сохранить в текстовый файл или отправить на печать.

Работа выполнена в рамках гранта № 26 ЮРГТУ (НПИ) на научно-инновационные работы.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т. 55-2-97.

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ ДЛЯ РАСЧЕТА СЛОЖНОГО РЕЖИМА РАЗРЯДА В СОСТАВЕ АГРЕГАТОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

В.А. Бабкин

ФГУП «ПКП «ИРИС», г. Ростов-на-Дону

Рассмотрены некоторые вопросы создания агрегатов бесперебойного электропитания для корабельных систем управления. Показана проблема выбора аккумуляторных батарей для аварийных источников электроэнергии. Предложена аналитическая модель аккумуляторной батареи как источника энергии и методика расчета процесса разряда батареи при ступенчатом характере тока нагрузки.

Для обеспечения надежного электропитания ответственных систем управления автономных объектов, несущих в себе потенциальную угрозу для обслуживающего персонала и окружающей среды, необходимо применять агрегаты бесперебойного питания (АБП) [1]. К таким объектам, безусловно, относятся любые крупные суда, например, атомные ледоколы.

Ледокол содержит две атомные энергетические установки с необходимой структурой датчиков, различных измерительных устройств и исполнительных механизмов, которые составляют системы контроля и безопасности реакторов, парогенераторов и других энергетических агрегатов судна. Кроме того, ледокол, как любое современное судно, оснащен большим количеством устройств судовой автоматики, связи и навигации. Большинство электронных устройств выполнено с широким применением микропроцессоров, контроллеров и другой компьютерной техники, качество работы которой напрямую зависит от качества электропитания.

АБП, получающие питание от основной и резервной сетей главного тока и имеющие в своем составе аккумуляторные батареи, гарантируют непрерывное поступление электроэнергии к потребителям при провалах до нуля напряжения обеих питающих сетей. Такие агрегаты электропитания обеспечивают повышенное качество электроэнергии, которое можно охарактеризовать следующими параметрами: малая чувствительность к колебаниям напряжения питающих сетей; малая динамическая и статическая нестабильность выходного напряжения; низкий уровень пульсаций выходного напряжения; низкий уровень радиопомех, создаваемый преобразователями АБП на входных и выходных фидерах; устойчивость к импульсным коммутационным перенапряжениям и их глубокая фильтрация.

Один АБП обеспечивает до 20 гальванически развязанных фидеров с выходным напряжением 28,5 В постоянного тока, либо 220 В, 50 Гц переменного. Эти фидера являются выходами модулей-преобразователей [2] и

модулей-инверторов, которые совместно с аккумуляторными батареями (АБ), переключателями и другими модулями составляют собственно АБП.

По требованию разработчиков систем управления – потребителей электроэнергии, все выходные фидера АБП могут быть разделены на 5 групп по временным характеристикам: 10 с, 5, 10, 30 и 60 минут. Указанное число обозначает отрезок времени, в течение которого бесперебойный фидер получает питание от встроенного аварийного источника после провала напряжения в обеих питающих сетях. Паспортная мощность фидера может лежать в диапазоне от 100 до 600 Вт. Такое многообразие численных значений характеристик фидеров определено требованиями норм Российского Морского регистра судоходства (РМРС) и опытом эксплуатации атомных ледоколов предыдущих поколений.

В структуре АБП роль АБ, как аварийных источников энергии, весьма велика. В то же время эти элементы, вследствие своей электрохимической сущности, являются не особенно надежными. При выборе конкретного типа АБ разработчики аппаратуры стремятся получить максимальную удельную емкость, но основным критерием должна быть устойчивость технологии производителя [3]. По этому критерию для корабельных АБП подходят свинцово-кислотные аккумуляторы серии А512 производства фирмы Sonnenshein (ФРГ). Это шестиэлементные необслуживаемые батареи с желеобразным электролитом, имеющие сертификаты РМРС и Госстандарта РФ.

При расчете необходимой емкости АБ разработчики сталкиваются с определенными трудностями, так как недостаточно подсчитать сумму произведений тока на время для различных длительностей бесперебойной работы АБП, чтобы получить требуемую величину. Указанная в паспорте на АБ емкость обеспечивается при разряде заряженной батареи при температуре 20 °С в течение 10 часов одинаковым током до напряжения 1,75 В на элемент. При других режимах разряда емкость может сильно отличаться от паспортной величины.

По табличным данным фирмы-производителя, емкость АБ снижается при увеличении потребляемого тока по нелинейному закону. На рис. 1 приведены кривые зависимости отдаваемой емкости Q от разрядного тока I для батареи А512/10S (паспортная емкость $Q_p = 10$ Ач). Как видно из кривой, величина емкости при разрядном токе, равном 16 А, составит около 50 % от паспортной, а при токе в 30 А – около 30 %.

Применять при расчетах табличную либо графическую зависимость не всегда удобно. Предлагается аналитическая аппроксимация приведенной кривой при помощи экспоненциального выражения:

$$Q = Q_p \left(a + b \exp \left(-\frac{I}{dI_{10}} \right) \right), \quad (1)$$

где a , b , d – аппроксимирующие коэффициенты; I_{10} – значение разрядного тока при 10-часовом разряде ($I_{10} = Q_p/10$).

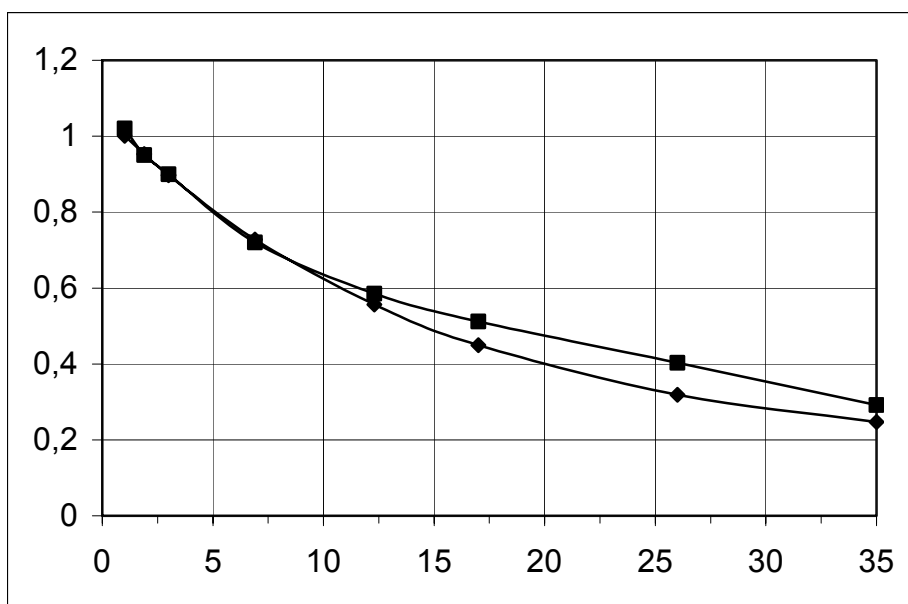


Рис. 1. Зависимость емкости АБ от разрядного тока:

—◆— – аналитическая кривая; —■— – экспериментальные данные

Для АБ серии А512 коэффициенты аппроксимации принимают следующие значения: $a = 0,15$; $b = 0,9$; $d = 15,5$.

Физический смысл выражения (1) объясняется следующим образом. При очень малых разрядных токах отдаваемая емкость близка к паспортному значению, немного превышая его. При большом токе разряда, ограниченном током короткого замыкания, экспонента стремится к константе a , которая характеризует долю емкости, формально отдаваемую батареей в режиме КЗ.

Для расчета требуемой емкости батарей при проектировании АБП автором предложена следующая методика:

1. Рассчитаем суммарную входную мощность фидеров P_t , для каждого промежутка времени бесперебойной работы T_t по формуле:

$$P_t = \frac{1}{\eta} \sum_{i=1}^{n_t} P_{it},$$

где t – номер промежутка времени; i – номер выходного фидера; n_t – количество фидеров, работающих в t -ом промежутке; P_{it} – выходная мощность i -го фидера в t -ом промежутке; η – минимальное значение КПД преобразователей.

2. Зная необходимую мощность P_t , вычислим средний разрядный ток I_t батарей в течение каждого промежутка времени T_t с учетом потерь на внут-

реннем сопротивлении АБ и на переходных монтажных соединениях, исходя из уравнения баланса мощности:

$$NEI_t - N(R_a + R_m)I_t^2 = P_t, \quad (2)$$

где $E = 12 \text{ В}$ – средняя ЭДС нормально заряженной батареи; N – количество батарей в аварийном источнике электроэнергии; R_a – внутреннее сопротивление АБ; R_m – сопротивление монтажных соединений одной батареи.

Тождественные преобразования уравнения (2) приводят к выражению для тока:

$$I_t = \frac{E - \sqrt{E^2 - 4(R_a + R_m)P_t/N}}{2(R_a + R_m)}.$$

3. Для каждого значения тока по модели емкости АБ (1) определим значение коэффициента $K_t(I)$ эффективности использования как отношение отдаваемой батареей емкости к паспортному значению этой величины.

4. Рассчитаем эквивалентную емкость Q_e , израсходованную каждой батареей по истечении времени бесперебойной работы АБП по формуле:

$$Q_e = \sum_{t=1}^{m_t} \frac{T_t I_t}{K_t(I)},$$

где m_t – количество промежутков времени бесперебойной работы АБП.

5. Выбираем из номенклатуры выпускаемых АБ ближайшее большее значение емкости, учитывая, что для элементов такого рода требуется запас порядка 25 %. Этот запас необходим для компенсации потери характеристик в процессе эксплуатации, а также снижения емкости АБ, вызванное неоптимальным режимом заряда.

Литература

1. Войтецкий В.В., Губанов Ю.А. Системы бесперебойного электропитания корабельных электронных комплексов // Морская радиоэлектроника. – 2003. – № 3(6). – С. 30-36.
2. Новое поколение модулей-преобразователей для корабельных агрегатов бесперебойного питания / В.А. Бабкин, С.В. Кравченко, С.Г. Миронов, Р.А. Тумасянц // Системы управления и обработки информации: Науч.-техн. сб. / ФНПЦ НПО «Аврора». – СПб., 2005. – Вып. 9. – С. 130-134.
3. Аккумуляторы // Электрическое питание: Науч.-техн. журнал. – СПб. – 2002. – № 3. – С. 15-28.

*Бабкин Владимир Александрович, к.т.н., начальник сектора ФГУП «ПКП «ИРИС»
344011, г. Ростов-на-Дону, ул. Красноармейская, д. 9, т. (863) 291-70-01,
e-mail: vlbabkin@mail.ru*

УДК 621.396.2

ОПТИМИЗАЦИЯ ВИБРОЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ МЕТОДОМ ЧАСТОТНОЙ ОТСТРОЙКИ

В.А. Ухин

Владимирский государственный университет

Проводится оптимизация виброзащиты электронной аппаратуры методом частотной отстройки с целью минимизации массы конструкции.

Одним из методов повышения виброустойчивости электронной аппаратуры является частотная отстройка. Она реализуется в основном следующими способами: увеличение толщины платы, уменьшение площади платы, применение ребер жесткости и дополнительных точек крепления (ДТК). Частотная отстройка влияет на массу конструкции, поэтому необходимо проводить оптимизацию. Масса ячейки должна быть минимальной и не должна превышать максимально допустимое значение. При этом необходимо выполнить условие $f_1 \geq 1,25 f_v$, где f_v – верхнее значение частотного диапазона внешнего воздействия.

Исследования показали, что способы частотной отстройки предпочтительно применять в следующей последовательности: использование ребер жесткости, использование ДТК и ребер жесткости, увеличение толщины платы, уменьшение площади платы. Оптимизация начинается с поиска собственной частоты колебаний (СЧК), для которой выполняется условие $f_n \geq 1,25 f_v$, и у ее формы определяются координаты узловых линий. Ребра жесткости устанавливаются в местах образования этих линий, а на их концах – ДТК, если они отсутствуют. Ширина ребер принимается равной 2-3 мм, длина определяется из формы колебаний, а максимальная высота ($H_{\max}$) через дополнительную массу. Далее рассчитывается первая СЧК полученной ячейки при высоте ребра $3 \leq H \leq H_{\max}$ с шагом 1 мм. Если ни одно значение не удовлетворяет условию $f_1 \geq 1,25 f_v$, то применяются следующие способы частотной отстройки.

600027, г. Владимир, Суздальский проспект, д. 31, кв. 54, e-mail: ental@vpti.vladimir.ru

УДК 519.688

ЭЛЕКТРОПРИВОД С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ МЕХАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.С. Тарасов, Л.Я. Теличко

Международный институт компьютерных технологий, г. Липецк

Представлены результаты исследования элементов с распределенными параметрами ленточного конвейера. Предложена расчетная схема замещения упругого элемента

конвейерной ленты для последующего расчета и определения системы управления электроприводом конвейера.

Конвейерные линии являются функциональной основной компонентой большинства современных технологических процессов дискретного типа, обеспечивая синхронизацию разнородного технологического оборудования. Это предъявляет повышенные требования как к энергетическим параметрам конвейерных систем, так и характеристикам надежности. Эффективность работы конвейерных систем существенно повышается при применении регулируемого асинхронного электропривода (ЭП) в условиях улучшения энергетических показателей. Разработка способов и систем высоконадежного управления многодвигательным ЭП с учетом особенностей конвейерных линий, таких как наличие механических колебаний, обусловленных упругостью ленты, дает возможность обеспечить высокий уровень качества и надежности всей конвейерной системы путем улучшения энергетики исполнительных элементов, синхронизации их работы, демпфирования колебаний и возможности сепаратного управления отдельным АД [1].

В этой связи проблема разработки математических средств анализа, синтеза и управления многодвигательными электромеханическими системами на базе асинхронного электропривода, ориентированными на реализацию в рамках конвейерных линий как элементов сложного технологического оборудования АСУТП, является актуальной.

Основными характеристиками механических элементов с распределенными массой и упругостью являются собственные частоты (собственные значения) и собственные формы (собственные функции). Вычисление собственных частот необходимо производить, в частности, при исследовании устойчивости электропривода с распределенно-упругими механическими элементами. Для однородных одномерных механических элементов определение собственных частот и собственных форм является несложной задачей. При неоднородных граничных условиях либо при высоком порядке дифференциального уравнения системы эта задача существенно усложняется и часто вообще не может быть разрешена без применения вычислительных машин.

Представлена кинематическая схема механической системы с распределенными параметрами – наклонный ленточный конвейер (рис. 1).

Будем считать, что сопротивление движению ленты по роликам на единицу длины постоянное и не зависит от скорости движения и натяжения ленты.

Будем также полагать, что агрегатная жесткость конвейерной ленты E_0 есть величина постоянная, не зависящая от ее натяжения.

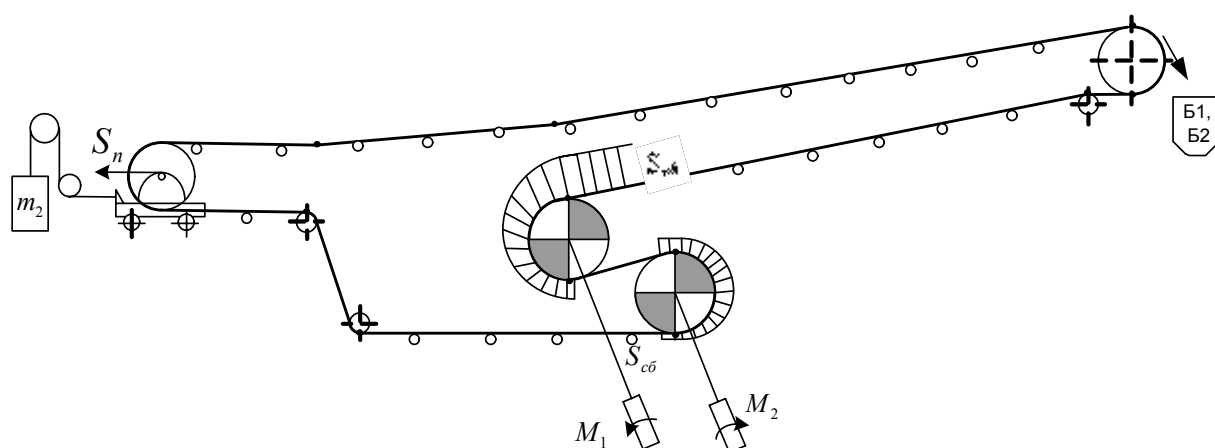


Рис. 1. Кинематическая схема ленточного конвейера

В качестве расчетной примем схему замещения (рис. 2). Упругий элемент, эквивалентный конвейерной ленте длиной l (длина контура ленты), соединен на одном конце с массой m_d двигателей, на другом – с массой натяжного устройства m_2 . Элемент подвергается внешнему пусковому воздействию F_d и распределенному возмущающему воздействию

$$W_p = \rho q f_p dx,$$

где ρ – плотность элемента; q – ускорение свободного падения; f_p – коэффициент сопротивления движению ленты по роликам.

Для составления дифференциального уравнения данного элемента с распределенными параметрами выделим его элементарный участок (рис. 3).

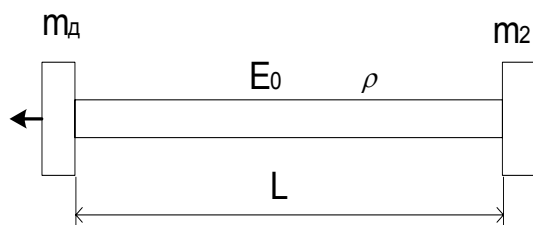


Рис. 2. Схема замещения

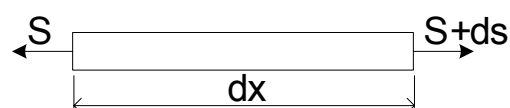


Рис. 3. Элементарный участок

На этот участок действуют силы S и $S + ds$ натяжения ленты, инерции $S_{ин}$ и распределенного сопротивления W_p .

Уравнение равновесия сил на участке: $ds - S_{ин} - W_p = 0$.

Заметим, что $ds = \frac{ds}{dx} dx$; $S_{ин} = \rho \frac{dv}{dt} dx$,

где $v = \frac{du}{dt}$ – скорость деформации ленты; u – упругая деформации ленты.

Тогда $\frac{ds}{dx} = \rho \frac{dv}{dt} + \rho q f_p$.

Вторым уравнением, описывающим этот элемент, является закон Гука

$$S = E_0 \frac{du}{dx}.$$

Кроме этих двух основных уравнений, необходимо составить уравнение граничных условий. Для конца элемента с распределенными параметрами, соединенного с электродвигателем, имеем $m_d \frac{dv_d}{dt} + S_{нб} - S_{сб} = F_d$, где первый член суммы есть приведенная сила инерции двигателя; $S_{нб}$ и $S_{сб}$ — усилия в элементах в точках набегания и сбегания с барабана; F_d — управляющие воздействие двигателя.

При этом $S_{нб} = S \Big|_{x=l}$; $S_{сб} = S \Big|_{x=0}$. В общем случае получаем

$$v_0 \neq v = \frac{du}{dt}.$$

В большинстве случаев при исследовании пуска конвейера пренебрегают разницей между v и v_d , так как считают, что сила сцепления ленты с барабаном настолько велика, что $v_d \approx v$ — это ошибочно.

Динамические процессы в ленточных конвейерах (пуск и торможение) характеризуются появлением динамических натяжений, которые, алгебраически суммируясь со статическими, изменяют результирующие натяжения в конвейерной ленте и усилия в элементах конвейера. При пуске эти изменения могут привести к неустойчивой работе приводного барабана, например, частичной или полной пробуксовке [1].

Наконец, уравнение граничного условия на втором конце элемента,

$$\frac{m_d}{2} \frac{dv}{dt} \Big|_{x=0} + \frac{m_2 q}{2} = S \Big|_{x=0},$$

где v — скорость ленты в точке приложения массы натяжного устройства.

До сих пор не учитывалось рассеяние энергии при колебаниях элементов за счет сил трения. Реально колебания механических систем с распределенными параметрами происходят с затуханием [2]. В этом случае динамика элемента с продольными колебаниями будет описываться не уравнением,

$$\frac{d^2 u(x,t)}{dt^2} - a^2 \frac{d^2 u(x,t)}{dx^2} = 0, \text{ а уравнением } \frac{d^2 u}{dt^2} - 2\beta \frac{du}{dt} - a^2 \frac{d^2 u}{dx^2} = 0,$$

где β — декремент затухания.

Второй член в последнем уравнении характеризует случай линейного затухания, когда тормозящая сила пропорциональна скорости смещения сечения x .

Хотя это уравнение не позволяет получить непосредственно действительное дисперсионное соотношение, оно с помощью преобразования $u = \exp(-\beta t) \cup (x, t)$ приводится к виду

$$\frac{d^2 u}{dt^2} - \beta^2 u - a^2 \frac{d^2 u}{dx^2}.$$

Из этого уравнения определяется действительное дисперсное соотношение $w^2 = a^2 k^2 - \beta^2$.

Для реальных механических элементов выполняется условие $\beta \ll ak$.

Это означает, что затухание мало и членами β^2 можно пренебречь. У таких слабо диссипативных элементов свойства распространяемых колебаний, в сущности, те же, что и у недиссипативного элемента

$$\frac{d^2 u(x, t)}{dt^2} - a^2 \frac{d^2 u(x, t)}{dx^2} = 0,$$

за исключением экспоненциального затухания.

В этом случае частота w очень близка к w_0 , а затухание для зависимой переменной $u(x, t)$ определится множителем $\exp(-\beta t)$.

Поэтому в электроприводах с распределенными параметрами механических элементов устранение колебаний исполнительных органов осуществляется за счет электрической части системы путем введения определенных корректирующих сигналов.

Литература

1. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1987. – 394 с.
2. Рассудов Л.Н., Мязель В.Н. Электроприводы с распределенными параметрами механических систем. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1987 – 144 с.

398046, г. Липецк, ул. Смургиса, д. 6, кв. 69, т. 35-49-63,

e-mail: [<tarasoandrei@yandex.ru>](mailto:tarasoandrei@yandex.ru)

УДК 62.758.2

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ПРЕПОСТПРОЦЕССОРА ПРОГРАММЫ ANSYS ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

В.В. Евграфов, Е.Н. Талицкий, С.В. Шумарин

Владимирский государственный университет

Рассмотрена возможность применения программы ANSYS (ANSYS Inc.) для оптимизации по уровню допустимого виброускорения конструкций электронных средств, эксплуатирующихся в условиях интенсивных внешних механических воздействий.

В статье [1] обоснована возможность применения программы ANSYS для оптимизации конструкций электронных средств (ЭС) на основе специально разработанного пользовательского препостпроцессора, который многократно формирует исходные файлы для расчета процессорами ANSYS в пакетном режиме (Batch Mode), а затем анализирует результаты. Препостпроцессор [1] обеспечивает оптимизацию конструкций по критерию превышения собственной частоты колебаний (СЧК) ячейки частоты внешнего воздействия. Недостаток – применение только частотной отстройки как способа виброзащиты ЭС. Для использования других способов необходимо знать СЧК и поле распределения виброускорений.

Нахождение амплитуд виброускорений может производиться средствами ANSYS [2] на основе модального и гармонического анализов. На каждой итерации цикла оптимизации конструкции выполняются последовательно оба анализа. Их алгоритмы отличаются блоками: «внешних воздействий» или «ввода крепления». В алгоритме (рис. 1) применен только блок внешних воздействий, так как силы в модальном анализе не оказывают влияния на результат расчета СЧК конструкции.

В рамках гармонического анализа производится расчет демпфирующих характеристик конструкции средствами ANSYS в частотном диапазоне СЧК, сохраненных из модального анализа.

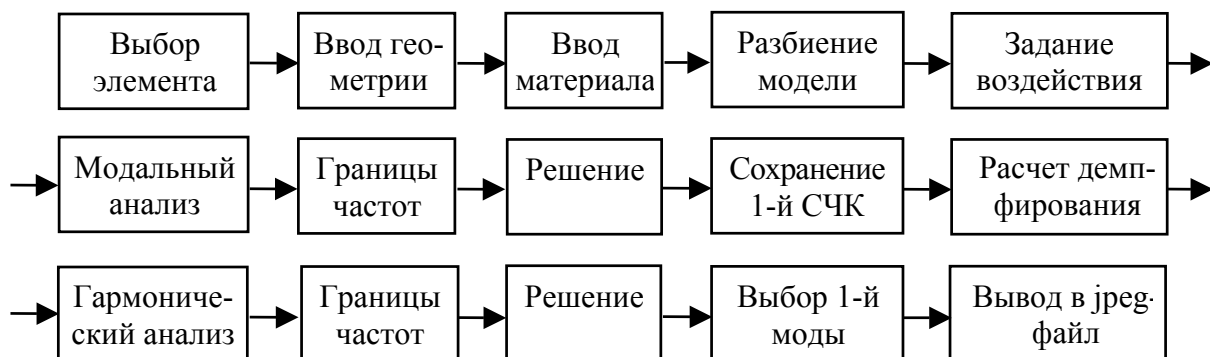


Рис. 1. Алгоритм формирования входного файла ANSYS

Использовать программный комплекс ANSYS для моделирования и оптимизации конструкций ЭС можно в автоматическом или автоматизированном режимах. В автоматическом режиме конструктор должен задать допустимые значения виброускорений в контрольных точках ячейки ЭС. Далее в цикле выполняется оптимизация конструкции: на каждой итерации – анализ и сравнение полученных параметров с допустимыми. Недостаток данного метода в сложности создания такого препостпроцессора ANSYS и значительном времени обработки. Поэтому целесообразно использовать препостпроцессор в автоматизированном режиме, т.е. конструктор задает направление поиска оптимума на каждой итерации на основе результатов анализа

конструкции в пакетном режиме ANSYS. Данный подход является более простым при создании препостпроцессора.

Разработанный пользовательский препостпроцессор для программы ANSYS позволил значительно снизить трудоемкость конструирования ЭС.

Литература

1. Евграфов В.В., Шумарин С.В., Ярмоленко А.В. Применение программного комплекса ANSYS для оптимизации конструкций электронных средств // Проектирование и технология электронных средств. – 2005. – № 4. – С. 2-6.
2. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / Под общ. ред. Д.Г. Красковского. – М.: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.

600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ, ФРЭМТ, КТРЭС, т. 279-979,
e-mail: golf@vpti.vladimir.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Басан С.Н., Мякинченко М.А. Эквивалентные преобразования в схемах замещения с управляемыми источниками	4
Сибатов Р.Т., Бурмистрова В.Г. Численное решение обобщенного уравнения диффузии при дисперсионном переносе	8
Лачин В.И., Соломенцев К.Ю. Моделирование процессов в электрических сетях двойного рода тока при измерении сопротивления изоляции	11
Тарасов А.С., Теличко Л.Я. Обобщенная электрическая модель асинхронного двигателя для моделирования процессов пуска и торможения средствами Matlab 6.5 Simulink	15
Савин М.М., Рубан Д.Е. Построение математической модели преобразователя напряжения постоянного тока	19
Константинов А.М., Светлаков Д.П., Климаш В.С., Власьевский С.В. Моделирование систем управления вентильными преобразователями в среде Matlab	23
Старостин А.Г. Учет вихревых токов при решении обратной задачи расчета динамических характеристик электромагнитных механизмов	25
Абдрахманов Е.А. Математическое моделирование магнитогидродинамических явлений в руднотермической печи для выплавки оксидных огнеупорных материалов	27
Васильева М.Е., Шаповаленко М.В., Шаповаленко А.В. Оптимизационная модель структуры и функционирования большой электроэнергетической системы	32
Мокеев А.В. Математические модели сигналов и частотных фильтров устройств релейной защиты и автоматики энергосистем	35
Жарков Ю.И., Колосов Д.В. Математическое моделирование режимов нарушения токосъема в электротяговых сетях переменного тока	40
Сидоров О.А., Ступаков С.А., Кутькин А.Н., Жданов В.А. Система токосъема с жестким токопроводом с позиций трибофатики	43
Сидоров О.А., Смердин А.Н., Голубков А.С., Томилов В.В. Моделирование взаимодействия контактных подвесок и токоприемников электроподвижного состава с использованием средств трехмерной визуализации	46
Сидоров О.А., Саля И.Л., Тарабин И.В. Моделирование взаимодействия токоприемника с цепной контактной подвеской	50

Крыгин А.Н. Математическая модель оптимального регулирования мощности электровоза в тяговом режиме	52
Шкарупин А.Я., Дегтярев А.А. Программа автоматизированного проектирования преобразователей постоянного напряжения	54
Бабкин В.А. Применение аналитической модели аккумуляторной батареи для расчета сложного режима разряда в составе агрегатов бесперебойного питания	57
Ухин В.А. Оптимизация виброзащиты электронной аппаратуры методом частотной отстройки	61
Тарасов А.С., Теличко Л.Я. Электропривод с распределенными параметрами механических элементов	61
Евграфов В.В., Талицкий Е.Н., Шумарин С.В. Применение пользовательского препостпроцессора программы ANSYS для моделирования конструкций	65

Научное издание

Моделирование. Теория, методы и средства

Материалы VI Международной научно-практической конференции
Часть 2

Редактор А.С. Лобова
Компьютерная верстка М.К. Востокова

Подписано в печать 15.05.2006 г.
Формат 60х84 1/16. Усл. печ. л. 4,38. Тираж 100 экз. Заказ 47-3894.

Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)
Центр оперативной полиграфии ЮРГТУ (НПИ)

Адрес университета и центра оперативной полиграфии:
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел. 55-222

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ. ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

*Материалы
VI Международной научно-практической
конференции*

*7 апреля 2006 года
г. Новочеркасск*

Часть 3

Новочеркасск
ЮРГТУ
2006

УДК 519.688
ББК 22.18 в6
М 74

Организаторы конференции:

Федеральное агентство по образованию;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет.

Оргкомитет конференции:

Н.И. Горбатенко (РФ), профессор – председатель;
Ю.А. Бахвалов (РФ), профессор;
Г. Вурмус (ФРГ), профессор;
Г. Йегер (ФРГ), профессор;
Е. Калленбах (ФРГ), профессор;
М.В. Ланкин (РФ), доцент – зам. председателя;
Н.Ф. Никитенко (РФ), профессор;
А.В. Павленко (РФ), профессор;
В.А. Плаксин (РФ), доцент;
В.Н. Чернов (РФ), профессор.

Редакционная коллегия:

Н.И. Горбатенко, д-р техн. наук, профессор – ответственный редактор;
М.В. Ланкин, канд. техн. наук, доцент – зам. ответственного редактора;
В.А. Плаксин, канд. техн. наук, доцент

М 74 Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы VI Международ. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 7 апр. 2006 г.: В 5 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. – Ч. 3. – 73 с.

ISBN 5-88998-671-6

Сборник содержит материалы по нескольким научным направлениям. В третью часть вошли доклады о математическом моделировании социальных и экономических процессов; математических моделях в строительстве; математических моделях в химии и металлургии.

УДК 519.688
ББК 22.18 В6

ISBN 5-88998-671-6

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2006
© Авторы, 2006

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) – крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные научно-технические контакты, – выступил инициатором проведения ряда Международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе Internet.

В апреле 2006 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила VI Международная научно-практическая конференция «Моделирование. Теория, методы и средства». В работе конференции приняли участие ученые и специалисты – представители высших учебных заведений, НИИ, научно-производственных предприятий Москвы, Липецка, Алматы (Казахстан), Архангельска, Санкт-Петербурга, Смоленска, Орла, Краснодар, Ростова-на-Дону, Таганрога, Ставрополя, Тамбова, Воронежа, Волгограда, Астрахани, Казани, Йошкар-Олы, Ульяновска, Самары, Челябинска, Владимира, Муром, Перми, Томска, Северска, Кургана, Омска, Иркутска, Хабаровска, Новочеркаска, Шахты.

На конференцию представлено 102 доклада, которые вошли в сборник, состоящий из пяти частей, в соответствии с научными направлениями.

В первой части рассматриваются общие вопросы моделирования процессов, устройств и явлений; математические модели в теплотехнике и гидравлике.

Во второй части рассмотрены вопросы математических моделей в электротехнике и магнитной гидродинамике; математических моделей в энергетике и электромашиностроении.

В третью часть вошли доклады о математическом моделировании социальных и экономических процессов; математических моделях в строительстве; математических моделях в химии и металлургии.

В четвертую часть вошли публикации о математических моделях в медицине, биологии и экологии; математических моделях в геологоразведочной и горнодобывающей отраслях; математическом моделировании технологических процессов; а также освещены учебно-методические вопросы преподавания основ моделирования в учебном процессе.

Пятая часть включает материалы, посвященные математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем; физическому моделированию в науке и технике.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ПОСТРОЕНИЮ АДАПТИВНО-РАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОГНОЗНОЙ ТРАЕКТОРИИ

В.И. Тинякова

Воронежский государственный университет

Обсуждаются вопросы, связанные с комбинированием экстраполяционных и экспертных оценок на основе адаптивно-имитационной модели.

Так как по нашему замыслу [1], адаптивно-рациональный прогноз есть траектория, построенная на основе комбинирования экстраполяционных и субъективных оценок, то, естественно, возникает вопрос о механизме такого комбинирования. Разнохарактерность комбинируемых данных порождает, по крайней мере, две проблемы. Первая связана с количественным представлением субъективных мнений, а вторая – с уровнем доверия в зависимости от глубины упреждения.

Очевидно, что для моментов времени, близлежащих к текущему, прогнозные оценки, полученные с помощью экстраполяции, пользуются большим доверием по сравнению с данными субъективного характера. И наоборот. Оценки отдаленного будущего, основанные на рациональных ожиданиях экспертов, как правило, обладают большей степенью доверия, чем данные экстраполяционных прогнозов. По сути, мы имеем дело с ситуацией, когда с течением времени один набор данных как бы теряет свою информационную ценность, а другой – ее повышает. Поэтому в основу построения комбинированной траектории должен быть положен принцип распределенного доверия к данным разной природы.

Реализовать этот принцип удобно в рамках адаптивной регрессионной модели, которая в нашем случае записывается следующим образом:

$$\hat{y}_{t+1} = \mathbf{x}_{t+1} \hat{\mathbf{b}}_t, \quad (1)$$

$$\hat{\mathbf{b}}_{t+1} = \hat{\mathbf{b}}_t + \frac{\mathbf{C}_t^{-1} \mathbf{x}'_{t+1}}{\mathbf{x}_{t+1} \mathbf{C}_t^{-1} \mathbf{x}'_{t+1} + \alpha} \left\{ \left[\lambda^{t+1} y_{t+1} + (1 - \lambda^{t+1}) \tilde{y}_{t+1} \right] - \mathbf{x}_{t+1} \hat{\mathbf{b}}_t \right\}, \quad (2)$$

$$\mathbf{C}_{t+1}^{-1} = \frac{1}{\alpha} \left[\mathbf{C}_t^{-1} - \frac{\mathbf{C}_t^{-1} \mathbf{x}'_{t+1} \mathbf{x}_{t+1} \mathbf{C}_t^{-1}}{\mathbf{x}_{t+1} \mathbf{C}_t^{-1} \mathbf{x}'_{t+1} + \alpha} \right], \quad (3)$$

где $\hat{y}_{t+1}$ – комбинированная прогнозная оценка моделируемого показателя; y_{t+1} – экстраполяционная прогнозная оценка моделируемого показателя; $\tilde{y}_{t+1}$ – прогнозная оценка моделируемого показателя, сформированная с учетом рациональных ожиданий; $\mathbf{x}_{t+1}$ – вектор-строка значений факторов для упреждающего момента времени; $\hat{\mathbf{b}}_{t+1}$ – вектор-столбец оценок коэффициентов

модели; λ – параметр, регулирующий степень доверия комбинированному прогнозу в зависимости от глубины упреждения ($0 \leq \lambda \leq 1$); α – параметр экспоненциального сглаживания ($0 < \alpha < 1$); C_{t+1}^{-1} – матрица, обратная к матрице системы нормальных уравнений экспоненциально взвешенного МНК.

Модель (1)-(3) используется для расчета адаптивно-рациональной прогнозной траектории в тех случаях, когда в качестве рациональных ожиданий непосредственно рассматриваются экспертные оценки в виде числовых значений. Но возникает закономерный вопрос: «Как получить эти оценки?» Одним из наиболее приемлемых, на наш взгляд, способов является подход, в основу которого положены принципы имитационного моделирования с экспертным уточнением полученных результатов.

В настоящее время с помощью аппарата имитационного моделирования решается достаточно много прикладных задач. При этом в основном используется примитивное имитирование, предусматривающее наложение случайной составляющей на расчетные значения, что является упрощенным подражанием реальным процессам. Поэтому мы предлагаем подход, в котором имитационные эксперименты проводятся с адаптивной моделью.

В практической плоскости реализация этого подхода должна пониматься как замена наиболее вероятных прогнозных вариантов на весь спектр возможных траекторий развития. Из всего многообразия результатов, которые могут быть получены с помощью адаптивно-имитационной модели, нас будет интересовать размах, характеризующий потенциально возможный разброс ожидаемых вариантов развития, а также отдельные варианты, равномерно распределенные между его границами. Причем правдоподобность каждого варианта оценивается эмпирической вероятностью, рассчитываемой в процессе имитационного моделирования как разность $\hat{P}_{tk} - \hat{P}_{tk-1}$ при $\bar{y}_{tk-1} < \bar{y}_{tk}$, где

$$\hat{P}_{tk} = N^{-1} \sum_{i=1}^N \left[\text{sign} \left(1 - \text{sign} \left(\hat{y}_{tk}^{(i)} - \bar{y}_{tk} \right) \right) \right]. \quad (4)$$

В итоге удастся получить достаточно полное представление обо всем многообразии будущего. У каждого эксперта об этом многообразии есть свое собственное представление, поэтому после того, как получены эмпирические вероятности достижения альтернативных вариантов, начинается следующий шаг формирования рациональной составляющей. На этом шаге применяется процедура независимого экспертного оценивания, состоящая, по сути, в уточнении эмпирических вероятностей. В компьютерном варианте адаптивно-рациональной модели предусмотрен интерактивный режим экспертного оценивания.

В результате обработки данных, полученных от каждого эксперта, мы имеем субъективные вероятностные оценки возможной реализации каждого из ожидаемых вариантов для рассматриваемых упреждающих моментов времени. Если мнения экспертов оказались согласованными, то получают усредненный вариант субъективных вероятностей, по которому и рассчитывается траектория рациональных ожиданий.

В случае несогласованности мнений возможны следующие альтернативы:

- 1) переопрос данной группы экспертов;
- 2) формирование новой группы экспертов и проведение опроса заново;
- 3) выделение экспертов в группы с высокой согласованностью мнений.

Последний вариант вызывает особый интерес, так как он предусматривает, во-первых, анализ причин несогласованности (разное представление о достоверности сценарных условий, преследование лоббистских интересов и др.) экспертных оценок, а во-вторых, проведение многовариантных прогнозных расчетов в рамках вычислительной схемы адаптивно-рационального моделирования.

Литература

1. Тинякова В.И. Адаптивно-рациональное моделирование в задачах прогнозирования социально-экономических процессов: Автореф. дис. ... канд. экон. наук. – Воронеж, 2003. – 22 с.

394068, г. Воронеж, ул. Хользунова, д. 40а, к. 210, т. (4732) 13-17-54 (добавочный 210), e-mail: tviktoria@yandex.ru

УДК 005.52

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ СТРАТЕГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

О.В. Стоянова, В.Г. Горбунов

Филиал Московского энергетического института (Технического университета),
г. Смоленск

Рассматриваются причины, затрудняющие использование известных моделей стратегического анализа, таких как GE/McKinsey, Shell/DPM и др., и определяется один из вариантов решения существующих проблем. Предлагается экономико-математический метод стратегического анализа, основанный на использовании аппарата нечеткой логики и искусственных нейронных сетей.

В настоящее время уже мало у кого вызывает сомнение необходимость внедрения в практику управления стратегического подхода, однако, на большинстве российских предприятий, особенно среднего и малого бизнеса, еще не сформирована единая система, позволяющая эффективно реализовать

все функции стратегического управления, начиная с формулировки целей и заканчивая реализацией стратегии. Причины сложившейся ситуации различны, одной из них является отсутствие эффективных инструментов, содействующих эффективному принятию решений.

Одним из этапов стратегического управления является анализ стратегического положения фирмы. Цель стратегического анализа заключается в определении стратегической позиции фирмы в пространстве «привлекательность внешней среды – потенциал организации». На основании результатов такого анализа принимаются стратегические решения, затрагивающие различные аспекты деятельности фирмы.

Набор инструментов для стратегического анализа весьма обширен, это модели GE/McKinsey, Shell/DPM, Хофера-Шенделя, Ефремова и ряд других, однако при попытке их практического применения менеджеры сталкиваются с рядом трудностей. Указанные модели, в основе которых лежат методы экспертного оценивания, разрабатывались с ориентацией на крупные компании, имеющие в своих штатах специалистов-экспертов в разных областях, для менеджмента большинства средних и мелких предприятий использование этих моделей вызывает множество трудностей. Перечислим проблемы, затрудняющие использование перечисленных моделей на практике:

- сложность выбора переменных для анализа;
- отсутствие критерия, позволяющего определить число требуемых переменных;
- проблема выбора наиболее значимых переменных;
- трудность оценивания параметров, имеющих качественный характер.

Выходом из сложившейся ситуации может стать использование для целей стратегического анализа современных экономико-математических методов, в частности, методов интеллектуального анализа данных, к которым относятся методы нечеткой логики и искусственных нейронных сетей.

Рассмотрим один из возможных методов, основанный на использовании аппарата нейро-нечетких сетей [1].

Пусть x_i ($i = 1, 2, \dots, n_1$) – параметры, на основании которых оценивается внутренний потенциал организации, y_j ($j = 1, 2, \dots, n_2$) – параметры, характеризующие внешнюю среду. Процесс анализа стратегического положения компании может быть описан с помощью совокупности нечетких правил вида:

П_g: если x_1 есть A_{g1} и x_2 есть A_{g2} и . . . и x_n есть A_{gn} , тогда $x = C_g$,

П_h: если y_1 есть B_{h1} и y_2 есть B_{h2} и . . . и y_n есть B_{hn} , тогда $y = D_h$,

П_r: если x есть C_g и y есть D_h , тогда $z = F_r$,

где A_{gi} , B_{hj} , C_g , D_h , F_r – нечеткие множества, заданные своими функциями принадлежности; x , y – комплексные оценки потенциала организации и внешней среды соответственно; z – оценка стратегического положения; $g = 1, 2, \dots, m_1$; $h = 1, 2, \dots, m_2$; $r = 1, 2, \dots, m$.

Нечеткие множества F_r задают области стратегических позиций, число таких областей $m = m_1 \cdot m_2$ определяется типом используемой модели: для GE/McKinsey $m = 9$, для модели Хофера-Шенделя $m = 15$.

На основе сформулированных нечетких правил строится система нечеткого вывода, по структуре и принципам функционирования аналогичная многослойной нейронной сети. Первый слой, содержащий $n = n_1 + n_2$ нейронов, вычисляет значения функций принадлежности входов. Выходами нейронов второго слоя являются степени истинности предпосылок нечетких правил Π_g и Π_h . В третьем слое вычисленные значения предпосылок применяются к заключениям каждого правила, нейроны четвертого слоя выполняют операцию композиции, формируя нечеткие множества для переменных вывода x и y . Композиция данных подмножеств определяет одну из областей стратегических позиций, которая при необходимости может быть охарактеризована некоторым четким числом в результате выполнения операции приведения к четкости.

Для любой из перечисленных ранее моделей стратегического анализа можно построить подобную систему извлечения знаний. Совокупность таких систем представляет собой базу знаний, являющуюся ядром интеллектуальных систем стратегического анализа. Используя подобную систему, менеджер может на основе имеющихся у него конкретных показателей, характеризующих внутреннюю и внешнюю среду, оценить стратегическую позицию фирмы в соответствии с выбранной для анализа моделью.

Литература

1. Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. – М.: Физматлит, 2002.

214013, г. Смоленск, Энергетический пр., д. 1, к. 210, т. 35-49-91,
e-mail: feu@sci.smolensk.ru

УДК 519.866

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

В.С. Кедрин, М.К. Сальникова
Братский государственный университет

Рассматриваются основные проблемы, возникающие при моделировании движения макроэкономических показателей, и раскрываются причины их возникновения. Предлагается новый метод решения поставленной задачи моделирования.

Моделирование движения макроэкономических показателей является важнейшей задачей в экономике. При этом наиболее остро стоит вопрос о

необходимости на основе прогнозных оценок отбирать наиболее реалистичные варианты развития экономики в целом и устанавливать плановые значения конечных и промежуточных целевых результатов [1]. В связи с этим разработка методов эффективного исследования экономических выборок и получение наиболее достоверной модели прогноза приобретает все большую актуальность в современных исследованиях.

В этой связи важное значение приобретают методы анализа процессов в структурно неустойчивых системах. Так, эффективным инструментом экономического анализа является процедура адекватного выделения периодической составляющей динамики временных рядов. Выбор методов анализа временных рядов экономических показателей и порядок выделения отдельных составляющих ряда само по себе тесно связано с динамикой экономической системы. *Во-первых*, необходимо использовать методы, которые работают на временных интервалах, соответствующих собственным (внутренним) динамическим свойствам. *Во-вторых*, следует использовать методы, обладающие, при прочих равных условиях, наименьшей инерционностью с тем, чтобы не пропустить «смену тенденций» изменения показателя. *В-третьих*, это должны быть непараметрические методы – наименее зависимые от экспертных оценок, основанных на предыдущем опыте.

При выборе методов исследования рядов макроэкономических показателей необходимо иметь в виду, что экономическая система обладает некой внутренней периодической динамикой в силу того, что на рынке существует два противоположных движения, определяемых спросом и предложением и определяющих непрерывный процесс увеличения одной составляющей и соответственно уменьшения другой и наоборот. В такой постановке, на первоначальном этапе моделирования макроэкономических систем, ставится задача выявления внутренних динамических свойств макроэкономических показателей. Для ее решения возможно применение различных методов определения детерминированной составляющей сигнала, например, с помощью линейной фильтрации данных экономического ряда для исключения влияния случайной составляющей (слухи, новости). Также используются различные методы сглаживания ряда показателя, например, с помощью взвешенного скользящего полинома, в результате чего результат сглаживания вычитается из исходной реализации, а из полученной разности выделяется «периодическая» составляющая [2].

Проведенный анализ существующих методов показал, что движение макроэкономической системы в общем случае определяется тремя составляющими:

- трендовой, характеризующей направление развития макроэкономической величины;
- внутренней периодической составляющей, определяемой публикацией периодических новостей о главных индикаторах мировой экономики и

определяющей колебание цены на рынке в силу существующих противоположных моментов спроса и предложения;

– случайной составляющей процесса, возникающей из-за различных непредвиденных ситуаций на рынке:

$$Y_{\text{м.п}} = Y_{\text{Т}} + Y_{\text{П}} + X_{\text{С}},$$

где $Y_{\text{м.п}}$ – исходные значения временного ряда макроэкономического показателя; $Y_{\text{Т}}$ – трендовая составляющая; $Y_{\text{П}}$ – внутренняя периодическая динамика процесса; $X_{\text{С}}$ – случайный процесс, характеризующий влияние случайных новостей.

При этом каждая из трех составляющих, в силу большой сложности макроэкономической системы, может содержать в себе совокупность из различных составляющих, которые, накладываясь друг на друга, дают в целом нелинейную картину изменения макроэкономического показателя.

Одним из способов, реализующих разложение временного ряда на простейшие составляющие, может являться метод, основанный на сингулярном разложении [3] матрицы развертки (СРМР). Предлагаемый в данной работе метод СРМР позволяет исследовать структуры временных рядов и вмещает в себе достоинства многих других методов, в частности, анализа Фурье и регрессионного анализа. Суть метода заключается в преобразовании одномерного ряда в матрицу развертки с помощью однопараметрической сдвиговой процедуры и сингулярного разложения этой матрицы. Из полученного набора главных компонент по условию значимости (по убыванию модуля) выбираются те, по которым с допустимой ошибкой может быть восстановлена одна из аддитивных составляющих исходного ряда. Результатом применения метода является разложение временного ряда на компоненты, которые могут быть интерпретированы как медленные тренды, циклические составляющие и шум, сумма которых определяет исходный ряд.

На рис. 1 изображено изменение макроэкономического показателя, характеризующего отношения курса валют за определенный период.



Рис. 1. Макроэкономический показатель курса валют

На рис. 2 представлены первые девять компонент разложения исходного ряда (по убыванию модуля). Из представленного графика видно, что первая тройка компонент характеризует трендовую составляющую ряда. Вторая тройка характеризует циклическую составляющую ряда. Последняя тройка компонент в большой степени отражает описание случайной составляющей. При этом нельзя говорить о том, что полученные компоненты идеально показывают отдельные составляющие динамического движения. Так, тренд не окончательно разделен с высокочастотными составляющими ряда. Анализ показывает, что произошло незначительное перемешивание тренда с некоторой гармонической компонентой ряда. Гармонические составляющие имеют меняющуюся амплитуду.

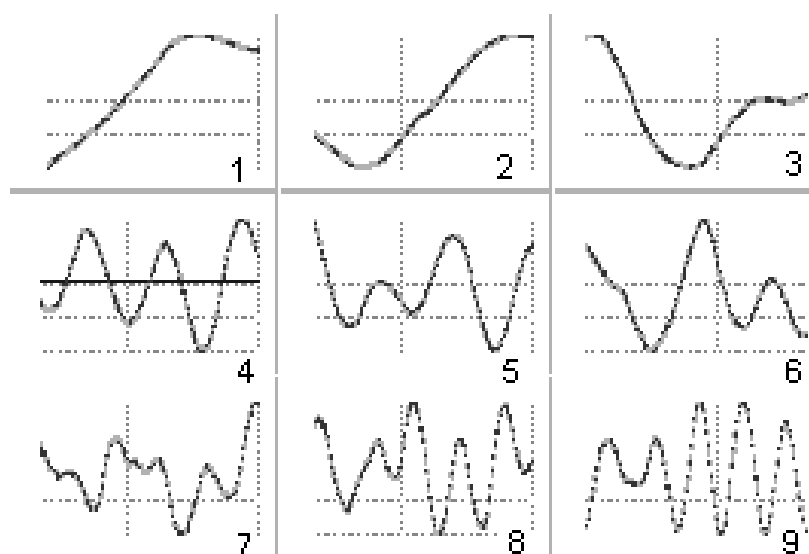


Рис. 2. Компоненты разложения исходного ряда

На следующем этапе разделения исходного временного ряда необходимо проводить рекурсивную процедуру анализа получившихся компонент до тех пор, пока не будут получены элементарные составляющие процесса. При этом возможна комбинация представленного метода и других методов разложения, которые могут оказаться более эффективными на позднем этапе анализа, к примеру, методы, основанные на дискретном преобразовании Фурье для гармонической составляющей.

Таким образом, предлагаемый метод СРМР позволяет получить отдельные элементарные составляющие, как показано на рис. 3, каждая из которых характеризует долю процесса изменения макроэкономического показателя.

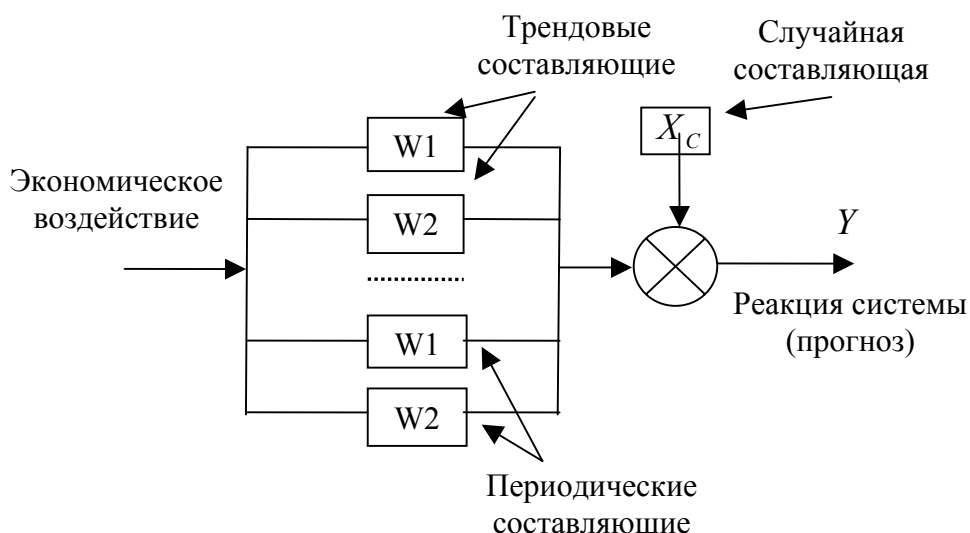


Рис. 3. Разложение макроэкономической величины на отдельные составляющие и построение на базе их математической модели

При этом суть моделирования макроэкономических величин заключается в том, чтобы разбить один сложный объект на множество элементарных объектов, которые достаточно легко могут быть описаны математическими моделями. Полученные на основе исходного ряда элементарные составляющие могут быть использованы для точного прогнозирования и, в соответствии с принципом суперпозиции, объединив влияния отдельных составляющих, возможна оценка реакции макроэкономической величины на какое-либо воздействие, вызванное политическими или экономическими новостями. В итоге прогнозируемое значение исходного ряда вычисляется как сумма прогнозов отдельных составляющих.

Литература

1. Платонова И.Н. Валютный рынок и валютное регулирование. – М.: БЕК, 1996.
2. Губанов В.А. Непараметрическое выделение динамических сезонных циклов: Препринт WP2/2002/01. – М.: ГУ ВШЭ, 2002.
3. Elsner J.B. and Tsonis A.A. Singular Spectrum Analysis. A New Tool in Time Series Analysis. New York and London: Plenum Press, 1996.

665709, Иркутская обл., г. Братск, а/я 2121, т. (83953)366154, e-mail: kedrin@nsplus.ru

УДК 338.27

ПРОГНОЗНАЯ МОДЕЛЬ С ДВУХУРОВНЕВОЙ СТРУКТУРОЙ АДАПТИВНОГО МЕХАНИЗМА И СЕНСОРНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ

А.А. Нагин

Воронежский государственный университет

Для прогнозирования стоимости финансовых активов предлагается модель с двухуровневым адаптивным механизмом, в структуре которого предусмотрен сенсорный

регулятор. Его действие основано на предсказаниях модели бинарного выбора, формируемых с учетом субъективных ожиданий.

Известно, что краткосрочные прогнозы финансовых активов в наибольшей степени зависят от тенденций, которые проявляются в последние моменты времени. В силу этого наиболее предпочтительными для получения краткосрочных прогнозов считаются адаптивные модели, в которых этому обстоятельству придается существенное значение. Однако адаптивный механизм этих моделей, построенный на основе контура обратной связи, обеспечивает реакцию модели с запаздыванием на один период. В тех случаях, когда траектория тренда не делает резких изменений, модель обеспечивает получение хороших результатов, но разворот тренда улавливается адаптивным механизмом с единичным запаздыванием, что приводит к снижению точности прогнозных оценок. Это снижает эффективность адаптивного подхода и поэтому требует разработки специальных методов и процедур, позволяющих с высокой вероятностью осуществлять упреждающую идентификацию ожидаемых изменений в поведении тренда.

Информацией об ожидаемых изменениях, как правило, владеют эксперты. Уверенность в этом объясняется тем, что разворот тренда зачастую происходит под влиянием факторов, формирование которых происходит вне рынка, и которые в силу этого не оказывают систематическое влияние на тренд. Исследование факторов подобного рода и оценка степени их возможного воздействия на динамику рынка является прерогативой фундаментального анализа. Эксперты вполне могут использовать в оценках собственных ожиданий упреждающие выводы из результатов фундаментального анализа.

Выяснив, что для идентификации разворотов тренда целесообразно использовать экспертные оценки, и переходя к построению модели, мы должны провести еще одно необходимое для этого уточнение. Известно, что трейдеры принимают решения, ориентируясь как на краткосрочный тренд, так и на долгосрочный. Однако наиболее чувствительным к разворотам является краткосрочный тренд. Это замечание позволяет сделать вывод о том, что разворот тренда следует идентифицировать при моделировании краткосрочных тенденций.

И наконец, последнее. При наличии долгосрочных и краткосрочных тенденций возникают альтернативные варианты построения модели. Можно ориентироваться только на адаптивные принципы и моделировать каждую вновь нарождающуюся тенденцию как продолжение предыдущей краткосрочной закономерности. Расчеты по модели, построенной на этих принципах, будут описывать траекторию, склеенную из краткосрочных тенденций, по которым трудно сформировать полное представление о динамике стоимости активов. А можно краткосрочную тенденцию представить как временное отклонение от долгосрочной, и тогда строится комбинированная модель, в

которой одновременно идентифицируются долгосрочные и краткосрочные закономерности изменения стоимости активов.

В случае, когда прогнозируется стоимость актива y и для этого используется авторегрессия с двухуровневой структурой адаптивного механизма, комплексная модель имеет вид:

$$\hat{y}_{t+1} = \tilde{y}_t \hat{\mathbf{b}}_t, \quad (1)$$

$$\hat{\mathbf{b}}_{t+1} = \hat{\mathbf{b}}_t + \frac{\mathbf{C}_t^{-1} \tilde{y}_t'}{\tilde{y}_t \mathbf{C}_t^{-1} \tilde{y}_t' + 1} [y_{t+1} - \hat{y}_{t+1}], \quad (2)$$

$$\mathbf{C}_{t+1}^{-1} = \left[\mathbf{C}_t^{-1} - \frac{\mathbf{C}_t^{-1} \tilde{y}_t' y_t \mathbf{C}_t^{-1}}{\tilde{y}_t \mathbf{C}_t^{-1} \tilde{y}_t' + 1} \right], \quad (3)$$

$$\hat{\dot{y}}_{t+1} = \tilde{y}_t \hat{\mathbf{b}}_{t+1},$$

$$p = \frac{1}{1 + e^{-\mathbf{x}\mathbf{d}}}, \quad \gamma = v \left(\frac{p}{0,5} - 1 \right),$$

$$\hat{\dot{\mathbf{b}}}_{t+1} = \hat{\mathbf{b}}_{t+1} + \gamma \frac{\mathbf{C}_{t+1}^{-1} \tilde{y}_t'}{\tilde{y}_t \mathbf{C}_{t+1}^{-1} \tilde{y}_t' + \alpha} [y_{t+1} - \hat{\dot{y}}_{t+1}],$$

$$\hat{\dot{\dot{y}}}_{t+1} = \tilde{y}_t \hat{\dot{\mathbf{b}}}_{t+1}.$$

В модели использованы следующие обозначения: $\tilde{y}_t = (1, y_t, \dots, y_{t-l+1})$ – расширенная вектор-строка из l лаговых переменных (l – порядок авторегрессионной модели); y_{t+1} – фактическое значение моделируемого показателя; $\hat{y}_{t+1}$ – прогнозная оценка долгосрочного тренда; $\hat{\dot{y}}_{t+1}$ – расчетное значение долгосрочного тренда; $\hat{\dot{\dot{y}}}_{t+1}$ – прогнозная оценка краткосрочного тренда; $\hat{\mathbf{b}}_t$ – вектор оценок долгосрочной модели; $\hat{\dot{\mathbf{b}}}_{t+1}$ – вектор оценок краткосрочной модели; $\mathbf{C}_t^{-1}$ – матрица, обратная к матрице системы нормальных уравнений МНК; α – параметр адаптации краткосрочной модели; γ – сенсорный регулятор; v – параметр усиления действия сенсорного регулятора; p – вероятность, рассчитываемая с помощью модели бинарного выбора; $\mathbf{x}$ – вектор-строка факторов бинарной модели; $\mathbf{d}$ – вектор-столбец параметров бинарной модели.

Логика расчетов по комплексной модели предусматривает вначале построение обычной авторегрессионной модели для получения прогнозных оценок долгосрочной тенденции. Текущая адекватность модели (1)–(3) поддерживается пересчетом ее коэффициентов с помощью рекуррентного МНК. В отличие от долгосрочной модели, краткосрочная имеет регулятор разворота

тренда. С его помощью может быть изменено направление корректировки коэффициентов краткосрочной модели. Это происходит в зависимости от вероятности, расчет которой осуществляется с помощью модели бинарного выбора. Модель бинарного выбора строится на основе фундаментальных факторов, включающих, в том числе, и экспертные оценки. Причем для получения экспертных оценок с помощью модели бинарного выбора строится специальная шкала, в соответствии с которой эксперты дают оценку ожидаемых изменений.

Комплексная модель позволяет получить две оценки. И хотя, как отмечалось выше, в подавляющем большинстве случаев следует использовать оценки краткосрочной модели как более точные, однако перспективный анализ будет неполным без оценок долгосрочной модели.

394068, г. Воронеж, ул. Хользунова, 40а, к. 210, т. (4732) 13-17-54 (добавочный 210),
e-mail: tv01@mail.ru

УДК 004.9:378.1:65.01

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Р.Г. Зайцев, Ю.В. Агаев

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Приводится постановка задачи построения моделей системной динамики в системах поддержки принятия решений с использованием статистических моделей.

Неотъемлемым элементом современной системы управления является корпоративная информационная система, обеспечивающая инфраструктуру для реализации бизнес-процессов. При этом важной составной частью информационной системы является информационно-аналитическая подсистема, решающая задачи поддержки принятия решений. В общем виде технология функционирования корпоративной информационно-аналитической подсистемы состоит в следующем. Данные поступают из различных внутренних транзакционных систем, от подчиненных структур, от внешних организаций в соответствии с установленным регламентом, формами и макетами отчетности. Вся эта информация проверяется, согласуется, преобразуется и помещается в хранилище и витрины данных. После этого пользователи с помощью специализированных инструментальных средств получают необходимую им информацию для построения различных табличных и графических представлений, прогнозирования, моделирования и выполнения других аналитических

задач. Таким образом, характер использования собираемой информации определяется выбором инструментальных средств, реализующих аналитическую обработку данных.

Одним из мощнейших средств анализа и прогнозирования поведения сложных систем является разработанная Дж. Форрестером методология системной динамики, представляющая собой совокупность принципов и методов анализа динамических управляемых систем с обратной связью и их применения для решения производственных, организационных и социально-экономических задач. В системах поддержки принятия решений применение системной динамики позволяет объединить несколько функциональных пространств организации в одно целое и обеспечить организационный и количественный базис для выработки более эффективной управленческой политики [1].

Одним из факторов, осложняющих использование системно-динамических моделей, является необходимость выбора набора связываемых характеристик из всей совокупности показателей деятельности организации. При этом исследователь, по сути дела, интуитивно определяет виды зависимостей, полагаясь в основном на собственный здравый смысл, что приводит к привнесению элементов субъективизма в строгий аппарат моделирования.

Для решения данной проблемы могут использоваться модели многомерного корреляционного анализа. В частности, обобщенная совокупность показателей деятельности организации (соотнесенная с рядом однородных в некотором смысле организаций) может быть исследована на предмет определения т.н. множественного коэффициента корреляции (МКК)

$$R_{y.X} = r(y; f(X)),$$

где $f(X) = E(y|X) = \theta_0 + \theta_1 x^{(1)} + \theta_2 x^{(2)} + \dots + \theta_p x^{(p)}$ – линейная функция регрессии y по X ; X – набор объясняющих переменных.

Вводимый таким образом показатель корреляции позволяет количественно оценить степень связи между исследуемыми переменными для задания взаимосвязей в модели системной динамики.

Следует отметить, что при статистической обработке выборок, извлеченных из нормально распределенных генеральных совокупностей, МКК обладает рядом свойств, значимо определяющих его использование при моделировании [2]:

МКК $R_{y.X}$ может быть вычислен по частным коэффициентам корреляции

$$R_{y.X}^2 = 1 - (1 - r_{01}^2)(1 - r_{02(1)}^2)(1 - r_{03(12)}^2) \dots (1 - r_{0p(12\dots p-1)}^2).$$

Присоединение каждой новой объясняющей переменной не может уменьшить величины МКК $R_{y.X}$

$$R_{y.x^{(1)}} \leq R_{y.(x^{(1)}, x^{(2)})} \leq R_{y.(x^{(1)}, x^{(2)}, x^{(3)})} \leq \dots \leq R_{y.(x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(p)})}.$$

Условная дисперсия результирующего показателя $D(y|X)$ не зависит от объясняющих переменных и связана со значением МКК $R_{y.X}$ соотношением

$$D(y|X) = (1 - R_{y.X}^2)D(y).$$

Последнее свойство позволяет связать между собой две характеристики степени тесноты статистической связи и тем самым детально исследовать выборку показателей.

Литература

1. Форрестер Дж. Мировая динамика. – М.: АСТ, 2004. – 384 с.
2. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Теория вероятностей и прикладная статистика. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 656 с.

346429, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. ПОВТ,
т. 55182, 55295, e-mail: rzaitsev@npi-tu.ru

УДК 681.25

АНАЛИЗ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ИССЛЕДОВАНИЮ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

К.В. Портнов

Самарский государственный технический университет

Рассматривается задача управления портфелем инвестиционных активов с позиции системного анализа. Выделены основные характеристики, классифицированы воздействия на систему, рассмотрены основные особенности взаимодействия с внешними объектами.

Исключительное разнообразие экономических и технических задач и особенно проблем, связанных с необходимостью включения в круг решаемых задач вопросов управления сложными объектами, увязывания полученных решений с проблемами человека и окружающей среды, при необходимости сохранения целостности рассматриваемого объекта, привело к формированию предпосылок для рождения новой методологии научного познания. Необходимая методология была создана и получила название «системный подход». Данная методология ориентирует исследователя на рассмотрение объектов как целостных систем, состоящих из множества элементов и связей между ними. Ядро методологии составляет системный анализ, основной процедурой которого является моделирование, в результате этого в построенной модели наиболее полно и точно отображаются взаимосвязи реального объекта, явления, процесса [1].

Целью настоящей работы является анализ инвестиционного портфеля индивидуальных и институциональных инвесторов с позиции системного

анализа как системы и объекта управления, выделив при этом основные его характеристики, проблемную ситуацию и методы обеспечения заданных характеристик.

Задачи исследования сводятся к рассмотрению портфеля инвестиционных активов как модели черного ящика, к выделению статических и динамических характеристик, определению проблемной ситуации.

Объектом исследования выступают составляющие и структурные части портфеля инвестиционных активов.

В первую очередь для выполнения поставленной цели рассмотрим задачу распределения инвестиционных ресурсов как систему, выделив в этой связи ее основные свойства. Необходимо отметить, что система внутри неоднородна и немонолитна, а состоит из некоторого набора составных элементов. Каждая модель системы создается для определенной цели, поэтому в модель имеет смысл включать только те элементы и связи, которые существенны для достижения этой цели, таким образом, система распределения инвестиционных ресурсов представляется как структура, состоящая из некоторого количества инвестиционных инструментов, обладающих определенными характеристиками, в связи с накладываемыми на систему ограничениями и целями [2]. Части системы связаны между собой, что характеризует их целостность как системы. Некоторый набор инвестиционных инструментов, определяющих портфель как систему, исходя из целей функционирования, имеет ряд значимых для нас свойств. Это, в первую очередь, их стоимость, доля инструмента в портфеле, доходность, уровень риска, ликвидность.

Объединение частей в систему порождает у системы (портфеля) новые свойства, присущие только ей, не сводящиеся к свойствам ее элементов, и существующие только пока система составляет одно целое [1]. Качества системы, присущие только ей, называются эмерджентными. Эмерджентные свойства определяются структурой системы – в том смысле, что при разных структурах у систем, образуемых из одних и тех же элементов, возникают разные свойства. Проблемная ситуация в данном случае заключается в определении значений изменяемых характеристик для получения новых свойств системы, отличных от свойств ее элементов, таких как доходность и уровень риска. Портфель инвестиционных активов, как объект управления, схематично можно представить в виде системы «черного ящика», изображенного на рис. 1.

Множество входных воздействий – начальные характеристики портфеля X_i (средства инвестора, активы, пассивы). Возмущающими воздействиями B_j является множество изменений цен на сырье, экспертные данные по организациям и т.п. Выходами системы является множество показателей Y_n (доходность, риск, ликвидность). К управляющим воздействиям Z_k , опре-

деляющим внутреннее состояние объекта S_m , можно отнести расчетные значения долей активов в портфеле, полученные в результате решения задачи оптимизации.

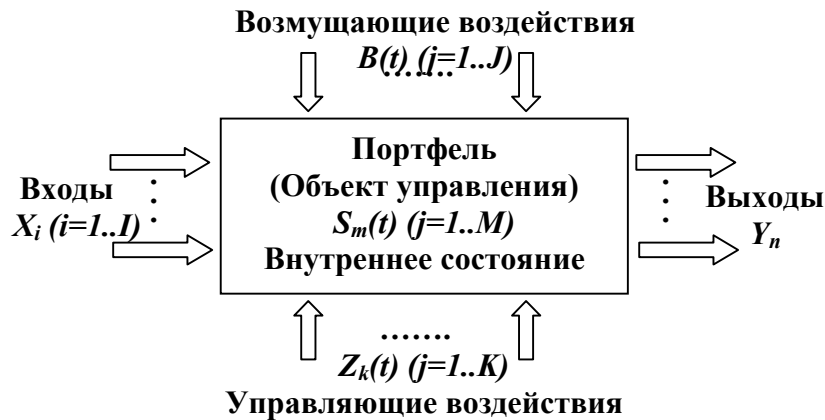


Рис. 1. Портфель как объект управления

Следует заметить, что характеристики элементов и системы в целом зависят и от воздействия на нее параметров внешней среды, изменяющихся с течением времени, чем определяется динамический характер поведения системы. Скорости этих изменений могут быть различными, в связи с чем возникает новая проблемная ситуация – необходимость воздействовать на систему с целью обеспечения поддержания требуемых инвестиционных качеств, т.е. обеспечить устойчивость системы. Обеспечение устойчивости особенно актуально, когда инвестиционный цикл превышает период, за который происходят значимые изменения. Устойчивость системы в данном случае можно определить как постоянство, неизменность определенного состояния системы, так и переход из любых других состояний в данное (статическая устойчивость) и пути развития системы (динамическая устойчивость). Статическая и динамическая устойчивость являются основными целями пассивного и активного портфельного менеджмента соответственно.

Разделение современного портфельного менеджмента на пассивный и активный берет свое начало с работ Марковица [3], Шарпа [4], Литнера, а также с работы Джеймса Тобина. Пассивный менеджмент базируется на идее, что рыночный портфель, возможно, является близким к эффективному. Данная стратегия означает, что инвестор при составлении портфеля для определения его ожидаемой доходности ориентируется целиком на рыночный портфель и мало занят изменением его состава, осуществляя периодическую реструктуризацию.

Основная задача активного менеджера заключается в получении доходности выше доходности эталонного портфеля. Эта задача оптимизационная по своему характеру, сводящаяся к нахождению максимальной ожидаемой дополнительной доходности.

На основе изложенного, можно сделать вывод, что портфель инвестиционных активов представляет собой разновидность кибернетической системы, состояния которой интерпретируются как результаты суперпозиции начальных условий (ограничений), финансовых решений (внутренних воздействий) и сигналов, поступающих извне (внешние воздействия, в т.ч. неблагоприятного свойства). Внешние воздействия не подлежат управлению и создают тем самым неустранимую неопределенность выходных свойств системы.

Литература

1. Перегудов Ф.И. Основы системного анализа. – Томск: НТЛ, 2001. – 396 с.
2. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ. Наука и искусство решения проблем. – Томск: Изд-во ТГУ, 2004. – 180 с.
3. Markovitz H.M. Portfolio selection. Journal of Finance, 1952. – vol. 7. – № 1.
4. Sharpe W.F. Simplified model for portfolio analysis // Management Sci. – 1963. – vol. 9. – № 2.

443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, т. (846) 337-12-62, e-mail: sk7@mail.ru

УДК 629.78

ОЦЕНКА МОМЕНТА РАЗЛАДКИ ЧАСТИЧНО-НАБЛЮДАЕМОГО ПРОЦЕССА

М.В. Зорин

Ульяновский государственный университет

Рассматривается задача поиска оптимального момента реструктуризации пакета активов. Задача решается при заданных уровнях межоперационных издержек в линеаризованном приближении. Оптимальное управление моментом реструктуризации пакета активов в условиях неопределенности найдено с помощью применения методов обобщенной фильтрации Калмана после приближения по первым двум моментам процессов.

Рассмотрим частично-наблюдаемую гауссовскую линейную схему с ненаблюдаемой компонентой $X = (X_t)_{t \geq 0}$ и наблюдением $Y = (Y_t)_{t \geq 0}$, определяемыми стохастическими дифференциальными уравнениями:

$$\begin{cases} dX_t = \alpha I(t \geq \theta) dt + dW_t, \\ dY = AX_t dt + \sigma d\bar{W}_t, \end{cases}$$

где α , A и σ – параметры; $W = (W_t)_{t \geq 0}$ и $\bar{W} = (\bar{W}_t)_{t \geq 0}$ – независимые стандартные винеровские процессы; θ – экспоненциально распределенная случайная величина: $P(\theta \leq t) = 1 - e^{-\lambda t}$ при $t > 0$; $\lambda > 0$.

Задача состоит в приближенном оценивании момента разладки θ по наблюдениям за процессом $Y = (Y_t)_{t \geq 0}$: $P(\theta \leq t | \mathfrak{F}_t^Y)$.

Предполагается, что данная система является математической моделью задачи об оптимальном управлении моментом реструктуризации пакета активов в условиях частичной наблюдаемости. При этом целевой функционал является квадратичным, что приводит к поиску оптимальных решений вида

$$\bar{\pi}_t = \bar{\pi}_t(Y) = \arg \min_{\pi_t(Y)} E\left((\theta - \pi_t(Y))^2 | \theta\right)$$

– по существу, минимизирующих потери

$$\phi = \beta_1 E(\theta - \pi_t(Y))^2 + \beta_2 E\theta^2 + \beta_3 EX_t^2$$

в квадратичной зависимости их значений.

При этом остается недоопределенным явный вид функционала потерь. Так, коэффициенты β_1 , β_2 и β_3 могут выбираться исходя из наблюдений за тактикой игроков рынка. В математических терминах это предполагает идентификацию (а точнее, «доопределение» целевого функционала по принципу

$$\phi(\lambda, \pi(Y), \beta_1, \beta_2, \beta_3) \rightarrow \min_{\beta_1, \beta_2, \beta_3}.$$

Таким образом, в терминах многомерной задачи о разладке осуществляется описание проблемы идентификации целевой функции при нахождении (точнее, оптимального оценивания) момента θ и способа оптимальной реструктуризации пакета активов с последующим оцениванием этого момента.

Заметим, что описание задачи идентификации целевой функции дано в линейном и в квадратичном приближениях. Последующее решение задачи оптимального управления моментом реструктуризации пакета активов в условиях наблюдаемости (при заданных целевых функциях и наблюдаемых значениях цен активов) реализовано приближенными методами на основе имитационного моделирования.

Здесь же рассматривается задача поиска оптимального момента реструктуризации пакета активов. Эта задача решается при заданных уровнях межоперационных издержек (в линеаризованном приближении). Оптимальное управление моментом реструктуризации пакета активов в условиях неопределенности (и решение задачи идентификации целевых функций) найдено с помощью применения методов обобщенной фильтрации Калмана после приближения по первым двум моментам процессов. То есть исходная система предполагается (или подменяется таковой), как это принято в схеме Калмана, что как наблюдаемый, так и ненаблюдаемый процессы лишь совпадают с реальными по первым двум моментам (по условным средним и ковариационным функциям). В функционале $\pi_t(Y)$ оценки в качестве аргумента используются реальные (а не линеаризованные по схеме Калмана) данные в их дискретном приближении. При этом полученные решения будут являться оптимальными в среднеквадратическом смысле в классе линейных функционалов наблюдаемых траекторий (с соответствующей ошибкой дискретизации).

В случае полной наблюдаемости апостериорная вероятность $\pi_t = P(\theta \leq t | \mathfrak{I}_t^X)$ удовлетворяет уравнению:

$$d\pi_t = \lambda(1 - \pi_t)dt + \alpha\pi_t(1 - \pi_t)(dX_t - \alpha\pi_t dt).$$

Линейное приближение для ненаблюдаемой компоненты $X = (X_t)_{t \geq 0}$ аппроксимировано процессом $x = (x_t)_{t \geq 0}$ (по совмещению первых двух моментов), заданным стохастическим дифференциальным уравнением:

$$dx_t = \alpha(1 - e^{-\lambda t})dt + d\tilde{W}_t,$$

где $\tilde{W}_t = (\tilde{W}_t)_{t \geq 0}$ – стандартный винеровский процесс.

В качестве приближенной оценки $P(\theta \leq t | \mathfrak{I}_t^Y)$ рассматривается в данной модели процесс $\bar{\pi} = (\bar{\pi}_t)_{t \geq 0}$:

$$d\bar{\pi}_t = \lambda(1 - \bar{\pi}_t)dt + \alpha\bar{\pi}_t(1 - \bar{\pi}_t)(dr_t - \alpha\bar{\pi}_t dt),$$

где $r_t = E(X_t | \mathfrak{I}_t^Y)$ – решение системы:

$$\begin{cases} dr_t = \alpha r_t dt + \frac{A\gamma_t}{\sigma^2}(dY_t - A r_t dt) \\ d\gamma_t = \left(2\alpha\gamma_t - \frac{A^2\gamma_t^2}{\sigma^2} + 1\right)dt. \end{cases}$$

Таким образом данная схема рассматривалась в качестве математической модели оценивания (предсказания) момента разладки в качестве момента оптимальной (в среднеквадратическом смысле) реструктуризации пакетов активов. При этом процессы реальной динамики цен активов предполагались частично наблюдаемыми, что характерно для непрозрачных рынков. Целевые функционалы доопределялись (в классе квадратичных) по наблюдениям за динамикой цен активов на рынке. При имитационном моделировании оказалось, что значения коэффициентов, исходя из экспериментальных данных, устанавливались равными: $\alpha = -0,15$, $A = 0,22$, $\sigma = 0,14$ и $\lambda = 0,1$. В результате имитационного моделирования оказалось, что для каждого $k = 0 \dots [NT]$ среднеквадратическая ошибка отклонения $\sigma_k < 0,05$, при $T > 400$ и шаге

дискретизации $\Delta = 1/N = 0,001$, где $\sigma_k = \sqrt{\sum_{i=0}^k \frac{(\pi_i - \bar{\pi}_i)^2}{k}}$, т.е. предлагаемая

приближенная оценка допустима для данной модели, как и для ряда иных экономических и технических приложений.

Алгоритмы реализованы программно (для задач имитационного моделирования) на языке C++. В ходе имитационного компьютерного моделирования определяется выигрыш при использовании предлагаемых алгоритмов.

При этом оценивается как точность численных стохастических методов, так и их адекватность при использовании предлагаемых алгоритмов.

Автор выражает благодарность профессору А.А. Бутову за внимание к работе.

432970, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, 42, механико-математический факультет,
т. (8422)32-92-25, e-mail: pm@ulsu.ru

УДК 658.512

СТРУКТУРИРОВАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ МАРКЕТИНГА И ИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НА САЙТЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Т.А. Васильева

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты

Описаны особенности организации маркетинга на предприятиях бытового обслуживания и предложена модель структуры распределения функций маркетинга между работниками.

В условиях изменчивого спроса на бытовые услуги эффективное функционирование предприятий можно обеспечить путем совершенствования организации маркетинга, повышающей гибкость и мобильность производства услуг и превентивно приспособляющей предприятие к спросу на услуги [1]. Но необходимость создания службы маркетинга находится в остром противоречии с малыми размерами предприятий бытового обслуживания [2-8]. По нашему мнению, это препятствие может быть преодолено путем отказа от специализированной службы маркетинга и перераспределения функций маркетинга между руководителем и работниками предприятия (таблица).

Таблица

Рекомендуемое распределение функций маркетинга между работниками предприятия бытового обслуживания

Работник	Частная функция маркетинга
Блок 1 Руководитель	Изучение структуры услуг* Изучение фирменной структуры* Анализ внутренней среды предприятия* Создание условий для творчества, предпринимательства и инновационного совершенствования услуг и предприятия Организация ассоциативных связей*

Работник	Частная функция маркетинга
Блок 2 Руководитель, экономист-плановик	Маркетинговый анализ* Целеполагание и формирование системы целей предприятия Сегментирование рынка, позиционирование услуг и выбор ниш* Формирование товарной политики и ассортимента услуг, диверсификация и поиск эффективного бизнес-набора* Формирование ценовой политики и управление ценностью услуг* Формирование стратегии и тактики предприятия Дифференциация стратегий, тактик и политик в каждом сегменте и нише* Организация производства услуг* Синхромаркетинг* Оперативное управление производством и реализацией услуг* Организация инноваций Управление жизненным циклом услуги Организация инвестиционного (финансового) обеспечения маркетинга* Организация маркетинга предприятия* Разработка программы маркетинга* Моделирование рыночных процессов и ситуаций* Маркетинговое прогнозирование * Маркетинговое планирование* Ситуационное планирование*
Блок 3 Руководитель, мастер	Управление качеством услуг*
Блок 4 Руководитель, специалист по персоналу	Организация маркетинга персонала
Блок 5 Руководитель, экономист-плановик, специалист по материально-техническому обеспечению	Стратегия партнерства* Организация материально-технического обеспечения* Организация маркетинга в системе вертикальной интеграции* Анализ производственно-сбытовых возможностей*
Блок 6 Руководитель, экономист-плановик, приемщик, бухгалтер	Контроллинг в маркетинге*
Блок 7 Руководитель, экономист-плановик, приемщик, мастер, диспетчер	Организация системы коммуникаций и коммуникационная политика* Изучение потребителей* Организация информирования клиентов*

Работник	Частная функция маркетинга
	Формирование культуры обслуживания и дионисиевой культуры предприятия* Брендинг и суббрендинг (по отношению к предприятию и отдельным услугам)* Мотивация потребителей* Управление эмпирическими переживаниями потребителя* Формирование лояльного потребителя* PR и создание общественной репутации*
Блок 8 Руководитель, экономист-плановик, приемщик, мастер, бухгалтер, специалист по материально-техническому обеспечению, специалист по персоналу	Управление конкурентоспособностью услуг и предприятия Организация сбыта услуг и стимулирование сбыта услуг* Информационное обеспечение управления маркетингом и маркетинговых исследований* Расширение границ обслуживания предприятием и доли рынка*
Блок 9 Руководитель, приемщик, мастер, делопроизводитель, специалист по персоналу, экономист-плановик, бухгалтер, специалист по материально-техническому обеспечению	Комплексное маркетинговое исследование рынка*
* – к выполнению функции может быть привлечен программист-диспетчер сайта	

Все функции разбиты на 9 блоков в зависимости от того, на каких работников возлагается выполнение новых дополнительных обязанностей. Единолично руководителем выполняется ограниченное число функций, но они относятся к наиболее сложным. Участником выполнения большинства функций и маркетинговых процессов является экономист-плановик. Это оправдано тем, что профессиональный экономист получает маркетинговые знания при обучении в высшем или среднем специальном учебном заведении и предприятию нет необходимости тратить слишком много времени и денежных средств для повышения его квалификации.

Приемщики и мастера бытового обслуживания также заняты в процессах выполнения достаточно большого числа частных функций, т.к. именно они чаще других контактируют с клиентами и через них предприятие может получать богатую маркетинговую информацию, а также налаживать

маркетинговые коммуникации и решать задачи по увеличению количества лояльных потребителей. Кроме того, они служат источником богатой информации о характере и частоте проблем, возникающих при эксплуатации бытовых товаров потребителем, для субъектов вертикальной интеграции. Так как получение этой информации другими способами весьма затруднительно, она может служить товаром и источником дополнительного дохода предприятия бытового обслуживания.

Для средних и малых предприятий вместе с «исчезновением» в их структуре управления отдельных работников соответствующие функции обычно переходят к руководителю. Для каждого предприятия и работника функции конкретизируются в зависимости от положения на рынке, бизнес-набора и размеров предприятия.

Специфика организации процессов маркетинга на предприятиях бытового обслуживания состоит в следующем:

- по причине отсутствия возможности применения дифференциации процесса на множество отдельных работ и их распределения между достаточным количеством сотрудников, работы, передаваемые каждому отдельному сотруднику, максимально укрупнены;

- нарушается принцип прямоотчности процессов, любой маркетинговый процесс превращается в обмен информацией между двумя или тремя работниками (включая руководителя) при соблюдении условия передачи информации без задержки (допустимая задержка информации устанавливается руководителем);

- укрупнение работ при выполнении маркетинговых процессов устраняет необходимость подробного описания и расчета таких процессов. Описание и расчет процесса заменяются перераспределением маркетинговых функций, которое сопровождается:

- 1) постановкой конкретных задач перед каждым сотрудником и обучением методикам и приемам их решения;

- 2) передачей дополнительных обязанностей и полномочий в решении поставленных задач;

- 3) обучением технологии решения задач и структурирования маркетинговой информации.

Таким образом, распределение функций, конкретизированное для каждого конкретного предприятия и сотрудника, является достаточным основанием для определения дополнительных обязанностей работника и того комплекса маркетинговых работ, который ему предстоит выполнять.

Модель структуры распределения функций маркетинга между работниками предприятия бытового обслуживания использована при разработке многофункционального сайта (рис. 1).

Сайт предприятия бытового обслуживания (портал)	
Продажи услуг	Маркетинг
Обслуживание клиентов	Визитка предприятия (информация общего характера, торговая марка, стиль, слоган)
Оперативная деятельность, планы, обеспечение системы «точно вовремя», контроллинг	Каталоги и прайсы услуг с подробным их описанием, сервисная политика
Учет продаж в ассортименте, в том числе качества услуг	Информационный блок сайта для информирования клиентов, в том числе с информацией для всех и персонифицированной информацией для отдельного клиента
Офисная деятельность, текущее делопроизводство	Коммуникационный блок: – базы о клиентах, партнерах, контрагентах, сотрудниках; – реклама; – PR, в том числе создание и поддержание имиджа, брендинг; – презентации; – стимулирование сбыта (гарантии, бонусы, подарки, премии, купоны, карточки клиента, льготы и др.); – фирменная упаковка, календари и т.п.; – права клиента и нормы культуры общения; – фокус-чат
Учет неисполненных заказов и причин неисполнения	
Электронные платежи (банковскими картами, электронными чеками, цифровыми деньгами)	
Блок маркетинговых исследований: – сбор информации, в том числе опросы on-line (включая режимы постоянной Интернет-выборки, чат, фокус-форум), глубинные интервью, Интернет-панели, опрос, экспертный опрос; – рыночный эксперимент; – моделирование, анализ и прогнозирование спроса и других параметров рынка; – экспертиза и моделирование процессов; – моделирование решений потребителей; – ассортиментная политика, стратегия и тактика; – инновационная политика; – политика качества; – конкурентоспособность услуг и предприятия	Ситуационный анализ и моделирование: – варианты развития ситуации на рынке; – анализ и ранжирование вариантов; – разработка мероприятий превентивной адаптации
	Вспомогательный аналитический блок: – анализ бухгалтерской отчетности, результатов контроллинга, фактов нарушения прав потребителей; – анализ динамики лояльных потребителей; – анализ ассоциативных связей и связей вертикальной интеграции

Рис. 1. Сайт в организации продаж и маркетинга

Применение многофункционального сайта и новейших информационных технологий способствует рационализации структуры управления и организации маркетинга [9-11], в том числе путем ее сжатия по вертикали, сокращения и объединения ряда функций, солидаризации ответственности руководства и персонала, а регламентированный информационный обмен, моделирование, анализ, более четкая постановка целей и их отражение в критериях управления обеспечивают выявление потерь времени и резервов роста эффективности производства.

Литература

1. Друкер П.Ф. Эффективное управление. Экономические задачи и оптимальные решения. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2001. – 288 с.
2. Березин И.С. Маркетинговый анализ. – М.: ООО «Журнал «Управление персоналом», 2004. – 352 с.
3. Голубков Е.П. Маркетинговые исследования: теория, методология и практика. – М.: Финпресс, 2003. – 496 с.
4. Долинская М.Т., Соловьев И.А. Маркетинг и конкурентоспособность промышленной продукции. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 128 с.
5. Ковалев А.И., Войленко В.В. Маркетинговый анализ. – М.: Центр экономики и маркетинга, 2002. – 256 с.
6. Токарев Б.Е. Методы сбора и использования маркетинговой информации: Учебно-практ. пособие. – М.: Юристъ, 2001. – 256 с.
7. Федько В.П. Маркетинг для студентов вузов. – Ростов-н/Д: Феникс, 2004. – 256 с.
8. Шмитт Б. Эмпирический маркетинг: Как заставить клиента чувствовать, думать, действовать, а также соотносить себя с вашей компанией / Пер. с англ. К. Ткаченко. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2001. – 400 с.
9. Дынько Т.П. Электронный маркетинг / Под ред. Т.П. Данько, Н.Б. Завьяловой, О.В. Сагиновой. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 377 с.
10. Информационные технологии в маркетинге / Г.А. Титаренко, Г.Л. Макарова, Д.М. Дайитбергов и др.; Под ред. проф. Г.А. Титаренко. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 335 с.
11. Маркетинг: Учебник, практикум и учебно-методический комплекс по маркетингу / Р.Б. Ноздрева, Г.Д. Крылова, М.И. Соколова, В.Ю. Гренков. – М.: Экономист», 2003. – 568 с.

УДК 681.3.06

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОРГОВО-СКЛАДСКОГО КОМПЛЕКСА В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

О.Ю. Башарина, А.В. Ларина, Н.Г. Суханова

Иркутский государственный университет,

А.Г. Феоктистов

Институт динамики систем и теории управления Сибирского отделения РАН, г. Иркутск

Рассматривается новый подход к автоматизации построения распределенной имитационной модели торгово-складского комплекса и ее выполнение на вычислительном кластере.

Введение

На сегодняшний день значение склада, как организационной единицы в рыночной экономике, неуклонно возрастает. Причем особое внимание привлекают региональные складские комплексы. Значительное число торговых сетей, иностранных ритейлеров, крупных российских производственных компаний основным направлением своего развития выбирают расширение сбыта в регионах. Одной из основных тенденций развития рынка логистических услуг в России является появление региональных логистических провайдеров и налаживание сквозных связей между расположенными в разных концах страны складами. Более того, современные складские комплексы превращаются в крупные распределительные товарные центры, обеспечивающие также функции транспортировки и продажи товаров. При передаче складских, торговых и транспортных функций в управление сторонней организации, предъявляются жесткие требования к качеству услуг.

Современные системы управления складами, например, системы класса WMS, включают средства моделирования складских процессов. Но такие средства имеют, как правило, узкую специализацию и не пригодны для моделирования дополнительных логистических процессов, возникающих при совместном осуществлении функций складирования, транспортировки и торговли.

В работе рассматривается инструментальный комплекс, предназначенный для автоматизированного построения распределенных имитационных моделей типового торгово-складского комплекса (ТСК), включающего функции складирования, транспортировки и торговли.

Математическая модель торгово-складского комплекса

Математическая модель типового ТСК, предназначенного для хранения и реализации продовольственных продуктов, может быть представлена в виде структуры:

$$M = \langle Z, W, G, F, Cl, T, V, Co \rangle,$$

где Z – множество товарных зон; W – множество помещений для хранения товаров; G – множество товарных групп; F – множество товаров; Cl – множество клиентов; T – множество температурных режимов; V – множество видов транспортных средств; Co – множество, включающее количественные ограничения на пропускную систему торгово-складского комплекса: K – количество кар; Lo – количество грузчиков; St – количество кладовщиков; Li – количество лифтов; Se – количество продавцов и др.

Элементы множеств Z, W, G, F, Cl, T и V наделены соответствующими наборами атрибутов. Значения элементов определяются значениями их атрибутов.

Множества Z , W , G , F , Cl , T и V связаны между собой следующими отношениями (в общем случае типа многие-ко-многим): $R1 \subset F \times Cl$ – разгружаемые товары; $R2 \subset F \times Cl$ – отгружаемые товары; $R3 \subset F \times Cl \times W$ – хранимые товары; $R4 \subset F \times T$ – температурный режим товаров; $R \subset W \times T$ – температурный режим помещений для хранения товаров; $R6 \subset F \times G$ – товары, составляющие товарные группы; $R7 \subset W \times G$ – помещения, соответствующие товарным группам; $R8 \subset W \times Z$ – размещение помещений для хранения товаров по товарным зонам; $R9 \subset V \times Cl$ – используемые клиентами транспортные средства.

Автоматизация имитационного моделирования

Если функционирование ТСК определяется большим количеством величин, зависящих от времени или случайностей, а взаимосвязи между отдельными компонентами комплекса не помещаются в рамки простых взаимодействий, аналитическое описание системы становится чрезмерно сложным, что затрудняет получение требуемых результатов, и следует переходить к использованию имитационных моделей [1].

Возрастающая сложность и размер моделей ТСК, а также особенности их организации требуют значительных вычислительных ресурсов при имитационном моделировании процессов функционирования подобных комплексов. Имитационное моделирование включает проведение на основе заданных критериев функционирования комплекса многократных экспериментов с различными вариантами модели ТСК с целью: исследования технических возможностей оборудования; исследования различных вариантов размещения оборудования, технических работников и товаров; количественной оценки влияния определенных параметров системы; лучшего понимания динамического поведения системы; разработки стратегии управления материальным потоком; определения воздействия стохастических величин; оптимизации используемых технических и человеческих ресурсов; разработки «запасных» стратегий; обеспечения надежной и эффективной работы ТСК.

С возрастанием сложности модели, расчетное время значительно увеличивается и может занимать от нескольких дней до нескольких месяцев. В связи с увеличением времени расчета моделей, становятся актуальными средства распределенного имитационного моделирования [2], позволяющие задействовать в расчетах модели несколько компьютеров, распределять вычислительную нагрузку среди узлов вычислительной среды и, тем самым, сократить время моделирования.

Таким образом, возникает необходимость, во-первых, в распределенном моделировании, когда отдельные сегменты имитационной модели выполняются в распределенной среде – на различных узлах вычислительной сети, во-вторых, в автоматизации процесса построения множества вариантов

имитационной модели с различной степенью детализации моделируемых процессов.

В качестве среды моделирования выбрана система GPSS World [3].

Имитационная модель ТСК конструируется (рис. 1) на основе математической модели ТСК, базового набора сегментов GPSS-модели, моделирующих основные процессы функционирования ТСК, и знаний разработчика модели о вероятностно-временных характеристиках моделируемых процессов.

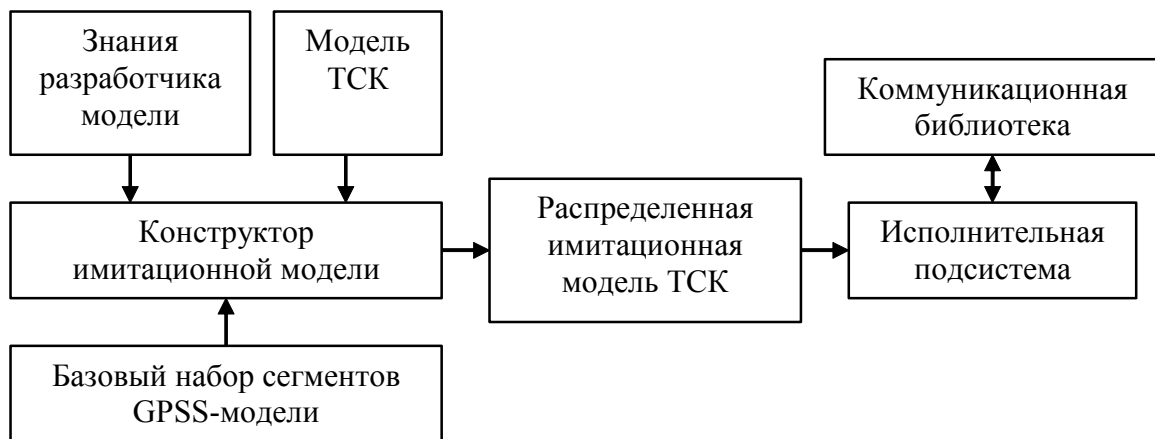


Рис. 1. Общая схема построения имитационной модели ТСК

Базовый набор включает сегменты, моделирующие основные процессы функционирования ТСК: поступление и обработку заявок клиентов; погрузочные и разгрузочные работы, складирование и перемещение товаров по товарным зонам; загрузку, интенсивность использования, возникновение сбоев/отказов и взаимодействие между собой различных технических средств и оборудования; поддержание необходимого товарного запаса в торговых залах ТСК и др.

Разработчик выбирает из базового набора необходимые сегменты. Конструктор имитационной модели автоматически осуществляет распределение имитационной GPSS-модели методом ее декомпозиции на слабо связанные подмодели, состоящие из выбранных сегментов.

Распределенная имитационная модель ТСК передается исполнительной подсистеме, осуществляющей размещение подмоделей в узлах вычислительного кластера выделенных (или невыделенных) рабочих станций и проведение расчетных экспериментов.

Коммуникационная библиотека обеспечивает взаимодействие распределенных подмоделей между собой посредством вызова Socket-соединений со специальным сервером. Средства организации распределенного имитационного моделирования на базе GPSS World и специализированная коммуникационная библиотека более детально представлены в работе [4].

Заключение

В заключение следует отметить, что при расширении базового набора сегментов GPSS-модели инструментальные средства автоматизированного конструирования имитационных моделей позволяют упростить и ускорить процесс создания распределенных моделей различных экономических объектов.

Литература

1. Дитрих М. Складская логистика. Новые пути системного планирования. – М.: КИА центр, 2004. – 136 с.
2. Fujimoto R. M. Parallel and Distributed Simulation Systems. – New York: John Wiley & Sons, USA, 2000.
3. Official Minuteman Software web site. GPSS World. - <http://www.minutemansoftware.com>.
4. Феоктистов А.Г., Александров А.А. Распределенное имитационное моделирование вычислений в САТУРН-среде на основе системы взаимодействующих агентов // Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы V Междунар. науч.-практ. конф.: В 5 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2005. – Ч. 3. – С. 28-32.

664082, Иркутск, Улан-Баторская, 6, а/я 153, т. (3952) 426316, e-mail: bashar@id.isu.ru

УДК 681.3.06

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В МЕТОДАХ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ТОРГОВЫХ ОПЕРАЦИЙ

К.Ю. Гуфан, М.П. Иванков

НИИ «Спецвузавтоматика», г. Ростов-на-Дону

Рассмотрены наиболее распространенные модели, используемые при защите электронных платежей, а также основные протоколы, используемые в целях сохранения конфиденциальности клиентов платежных систем.

Вместе с быстрым развитием Интернет-индустрии развивается и электронная торговля. Уже сейчас виртуальный рынок играет важную роль в мировой экономике, а темпы его роста дают основание предполагать, что эта роль будет только усиливаться в ближайшем будущем. В связи с этим, безопасность сетевой торговли – важная и актуальная тема. Основными этапами сделки, требующими защищенности, являются: этап подписания договора и этап перевода виртуальных денежных средств. Для защиты каждого из них применяются собственные, специализированные методы, такие как применение специальных защищенных протоколов обмена информации с использованием цифровых сертификатов и цифровой подписи, исключающие отказ от выполнения условий и подмену личности. Наиболее распространенным способом защиты электронных экономических операций являются реализации

протокола SSL (Secure Sockets Layer) и стандарта защищенных электронных транзакций SET (Secure Electronic Transaction).

Главным назначением SSL-протокола является обеспечение конфиденциального и надежного способа обмена информацией между двумя удаленно взаимодействующими приложениями. Вместе с протоколом транспортного уровня (TCP) SSL Record Protocol формируют своеобразное ядро SSL. В дальнейшем это ядро становится первичной герметизирующей оболочкой для всех последующих более сложных протокольных инфраструктур. В качестве одной из таких структур используется SSL Handshake Protocol, позволяющий серверу и клиенту идентифицировать друг друга и согласовывать криптографические алгоритмы и ключи. На практике процесс обмена ключами и сертификатами по SSL иногда может занимать относительно много времени.

Для операций с кредитными карточками обычно используется протокол SET (он был разработан компаниями VISA и MasterCard именно для обеспечения безопасности платежей с помощью банковских карт через Интернет). При передаче информации с использованием протокола SET сообщение шифруется с использованием симметричной криптосистемы и подписывается электронно-цифровой подписью продавца. Сообщение об оплате шифруется с привлечением банковского общедоступного ключа. Каждый шаг реализации протокола SET сопровождается аутентификацией. Это препятствует какому-то внешнему субъекту стать посредником и видоизменять сообщения. При этом предполагается, что все субъекты процедуры уже владеют соответствующими ключами. На практике до начала обмена все участники должны зарегистрироваться и обменяться общедоступными ключами. Общедоступный ключ сопровождается электронной подписью отправителя (по стандарту X.509). Протокол SET может работать в режиме, когда участники не имеют сертификатов и не прошли аутентификацию. Такой режим сопоставим с использованием SSL для пересылки номера карточки продавцу и не может рассматриваться как удовлетворительный.

Литература

1. Олифер В., Олифер Н. Новые технологии и оборудование IP-сетей. – СПб: БХВ, 2000. – 512 с.
2. Семенов Ю.А. Протоколы Интернет для электронной торговли. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003 – 740 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ БЕЗРАБОТНЫХ В МАЛЫХ ГОРОДАХ РОССИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА «CENSUS I»

А.Л. Жизнякова

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета

Приводится пример применения метода статистического анализа ряда динамики численности регистрируемых безработных. Этот метод сезонной декомпозиции является, в свою очередь, разновидностью адаптивной модели и обладает высокой гибкостью и точностью при моделировании социально-экономических процессов. Метод «CENSUS I» дает широкие возможности для исследования и прогнозирования с высокой точностью в любых регионах России.

При использовании традиционных моделей для анализа показателя численности безработных на микроуровне выдвигается гипотеза о том, что основные тенденции и факторы, выявленные на предыстории, сохранятся и в будущем, но в последнее время в процессе коренных социально-экономических преобразований подвижность этих систем возрастает.

В связи с этим, для анализа и декомпозиции этого сложного процесса требуется применить более гибкую, самокорректирующуюся модель, которая способна оперативно реагировать на изменение динамики и характера рынка труда округа Муром. В данном случае для анализа ряда численности безработных за период 1999 – 2005 гг. такой моделью может служить адаптивная модель «Census I» сезонной декомпозиции Бокса–Дженкинса.

Основная идея этой модели состоит в том, что трендовую и циклическую компоненту объединяют в одну тренд-циклическую компоненту (TC_t). Тогда после «фильтрации» исходного ряда остается сезонная компонента (S_t) и нерегулярные нормально-распределенные остатки (I_t). Также следует учесть при моделировании данного социально-экономического процесса, что циклическая компонента отличается от сезонной компоненты тем, что продолжительность цикла, как правило, больше, чем один сезонный период, и разные циклы могут иметь разную продолжительность.

Предполагается, что в округе Муром в период 1999-2005 гг. компоненты динамики численности регистрируемой безработицы взаимодействуют аддитивно, поэтому общий вид модели можно представить в виде:

$$M_t = TC_t + S_t + I_t,$$

где M_t – значение временного ряда в момент времени t .

Смоделировать объединенную тренд-циклическую компоненту можно с помощью 5-точечного (центрированного) взвешенного скользящего среднего

с весами 1, 2, 3, 2, 1 после процедуры сезонной корректировки. Результат сглаживания проиллюстрирован на рис. 1.

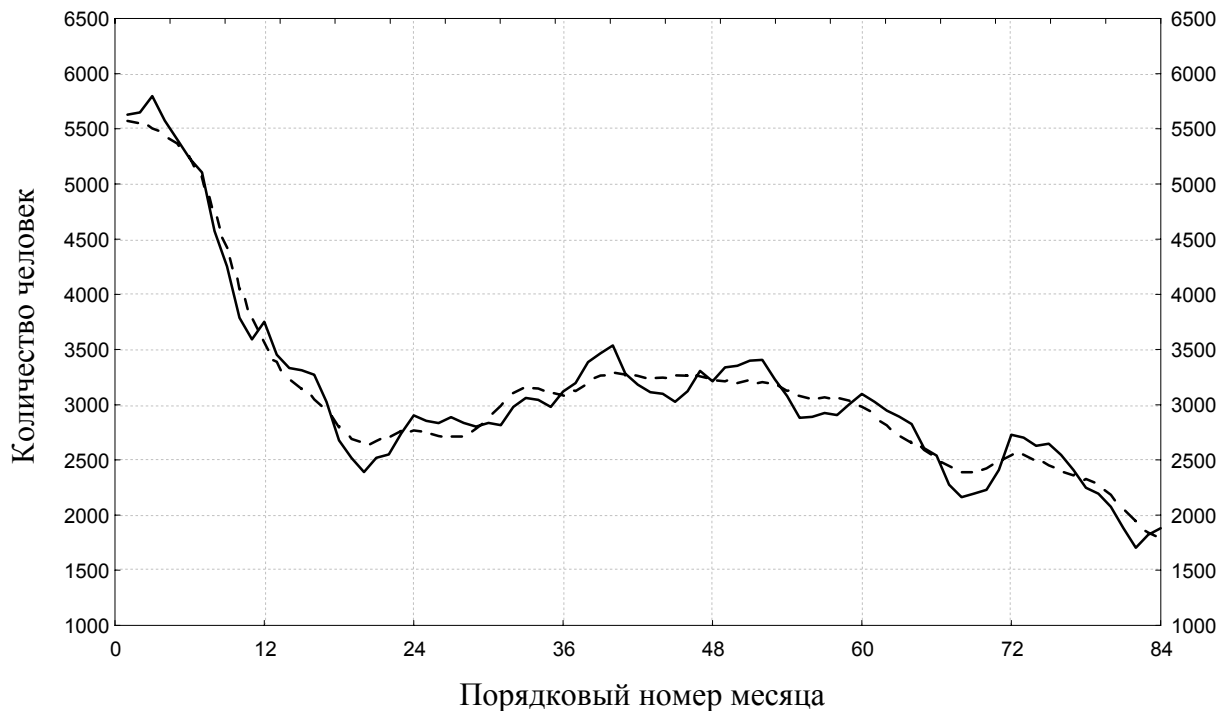


Рис. 1. Модель тренд-циклической компоненты динамики численности регистрируемой безработицы в округе Муром в период 1999-2005 гг.:

— — фактическая численность безработных;
 - - - - сглаженная тренд-циклическая компонента

Сезонная корректировка в данном случае производится методом удаления из исходного ряда динамики численности безработных значения сезонного эффекта.

На следующем шаге необходимо «очистить» исходный ряд от тренд-циклической компоненты и вычислить сезонную составляющую как среднее всех значений ряда, соответствующих данной точке сезонного интервала.

Результат сезонной декомпозиции показан на рис. 2.

На последнем шаге выделяется нерегулярная компонента динамики численности регистрируемой безработицы в округе Муром в период 1999 – 2005 гг. путем вычитания из ряда сезонной и тренд-циклической компонент. Диаграмма нерегулярной компоненты анализируемого ряда динамики показана на рис. 3.

Визуальный анализ диаграммы на рис. 3 указывает на отсутствие каких-либо систематических колебаний и устойчивого тренда. Стандартное отклонение нерегулярной компоненты составило 225 человек. Параметры распределения близки к нормальному распределению (асимметрия -0,1; эксцесс 1,9). Также для оценки моделирования случайного эффекта строится диаграмма соответствия исследуемой компоненты теоретическому распределению.

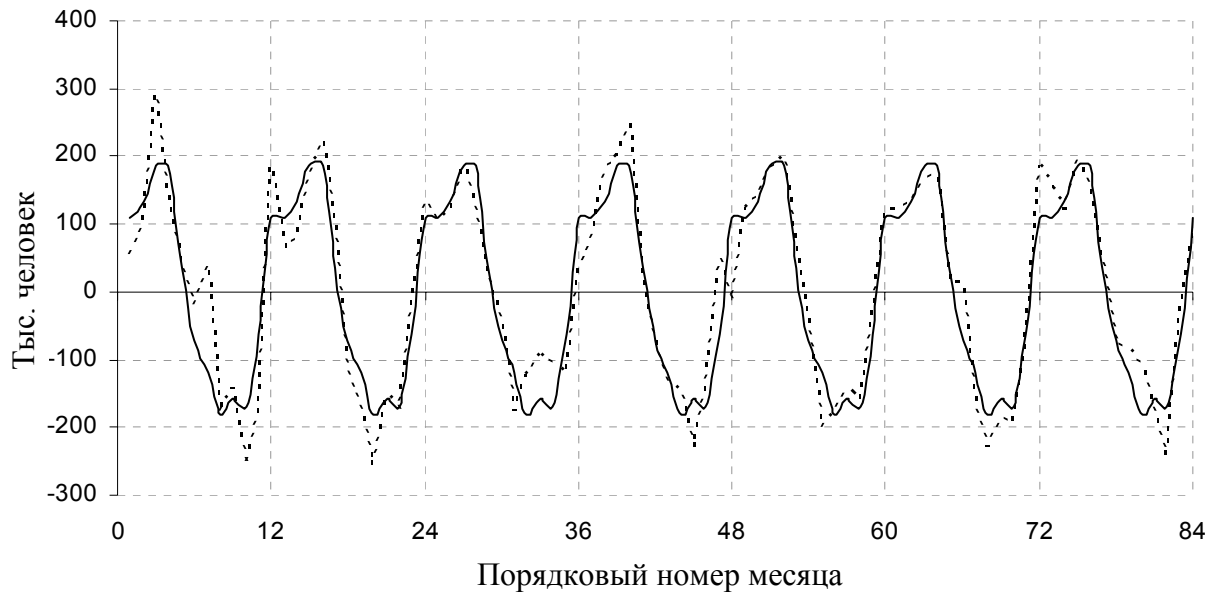


Рис. 2. Модель сезонной компоненты динамики численности регистрируемой безработицы в округе Муром в период 1999-2005 гг.:

— — теоретическая модель сезонного эффекта;
 - - - - - динамика численности безработных после удаления тренд-цикличности



Рис. 3. Нерегулярная составляющая динамики численности регистрируемых безработных с 1999 года и до 2005 года в округе Муром

Исходя из вышеизложенных утверждений, с высокой степенью точности можно сделать вывод о том, что аддитивная модель динамики численности регистрируемых безработных с 1999 года и до 2005 года в округе Муром является адекватной реальному исследуемому процессу.

При необходимости на основе сезонной декомпозиции исследуемого социально-экономического процесса, в данном случае численности регистрируемых безработных, модель дает возможность для достаточно точного краткосрочного и среднесрочного прогнозирования.

602263, Владимирская область, г. Муром, ул. Ленина, д. 125, кв. 16, т. (49234) 2-27-59,
e-mail: lvovich@newmail.ru

УДК 658.513: 629.11

МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ БИЗНЕС-ПЛАНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

Е.Н. Карасев

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты

Предложена математическая модель для выработки оптимальных бизнес-решений в сфере технического сервиса. Модель представляет собой естественное обобщение разработанного ранее частного случая.

В условиях рыночной неопределенности и сопряженного с ней предпринимательского риска, актуально принятие экономических решений на основе математических моделей проблемных ситуаций, возникающих в практике бизнес-планирования. Моделирование процесса принятия бизнес-решения предполагает формализацию экономической задачи и расчет оптимальной стратегии поведения тогда, когда интуиции и опыта уже недостаточно для предвидения всех возможных последствий.

Так, существенно, что потребительский спрос на услуги технического сервиса имеет вероятностный характер с выраженной сезонностью (например, на услуги автосервиса). Это осложняет оценивание и прогнозирование уровня спроса в месте предполагаемой дислокации сервисного предприятия. Разработке формализованных решающих процедур принятия оптимальных решений в этой ситуации посвящены работы [1] и [2]. В настоящей работе обобщаются и развиваются идеи автора, кратко изложенные в работе [3].

Уровень спроса на услуги технического сервиса в конкретном месте расположения сервисного предприятия принято обобщенно характеризовать величиной λ – параметром пуассоновского потока заявок, поступающих на обслуживание. Численное значение λ в принципе неизвестно и судить о нем возможно только на основе его выборочной оценки $\hat{\lambda}$. Как показано в [1], значение и свойства оценки $\hat{\lambda}$ существенно зависят от применяемой при этом статистической методологии (классической, байесовской). Как оказалось, в рамках байесовской методологии можно более полно учесть эконо-

мическую специфику задачи бизнес-планирования в смысле минимизации ущерба от последствий неточного оценивания.

Важно не просто оценить параметр λ «вообще», а оценить его по отношению к приемлемому уровню рентабельности будущего предприятия – λ_P с учетом принципиального различия экономических последствий завышения и занижения оценки $\hat{\lambda}$ относительно истинного значения параметра. В [3] приведена математическая модель такого оценивания относительно порога рентабельности сервисного предприятия – λ_0 , что является частным случаем общей ситуации. Естественное обобщение предложенной модели на случай λ_P , где $\lambda_P > \lambda_0$, приводит к следующей формализованной решающей процедуре.

Пусть по выборке необходимо проверить основную гипотезу $\lambda \geq \lambda_P$ против конкурирующей $\lambda < \lambda_P$ и, в случае принятия основной гипотезы, определить статистическую оценку $\hat{\lambda}$ параметра λ . Модель проблемной ситуации в байесовской интерпретации сводится к задаче математического (стохастического) программирования – найти значение статистической оценки $\hat{\lambda}$ параметра распределения Пуассона λ , при наложенном условии $\hat{\lambda} > 0$, минимизирующее на апостериорном вероятностном распределении параметра спроса $F(\lambda)$ целевой функционал риска:

$$\rho\left(\hat{\lambda}, F(\lambda)\right) = \begin{cases} (1+s) \int_0^{\hat{\lambda}} F(\lambda) d\lambda - s\left(\hat{\lambda} - \bar{\lambda}\right), & \text{при } \hat{\lambda} \geq \lambda_P; \\ s\left(\int_0^{\lambda_P} F(\lambda) d\lambda - (\lambda_P - \lambda_0) F(\lambda_P) - \lambda_0 + \bar{\lambda}\right), & \text{при } \hat{\lambda} < \lambda_P, \end{cases}$$

где $\bar{\lambda}$ – среднее значение параметра λ , исчисленное на вероятностном распределении $F(\lambda)$. Величина s назначается из интервала $s \in [0, 1]$ и представляет собой субъективную меру готовности рисковать в бизнесе для лица, принимающего решения (ЛПР), исходя из градации: $s = 0$ – не согласен рисковать (тривиальный случай), $s = 1$ – готов идти на максимальный предпринимательский риск. Равенство $s = 1$ означает, что субъективно ЛПР приравнивает упущенную выгоду к потере реальной денежной суммы, равной упущенной выгоде. Аналогично, $s = 0$ означает, что ЛПР не считает упущенную выгоду сколько-нибудь значимой потерей.

Для сравнения, функционал риска ранее исследованного частного случая [3] в принятых здесь обозначениях имеет вид:

$$\rho\left(\hat{\lambda}, F(\lambda)\right) = \begin{cases} (1+s) \int_0^{\hat{\lambda}} (\hat{\lambda} - \lambda) dF(\lambda) - s\left(\hat{\lambda} - \bar{\lambda}\right), & \text{при } \hat{\lambda} > \lambda_0; \\ s\left(\int_0^{\lambda_0} (\lambda_0 - \lambda) dF(\lambda) - \lambda_0 + \bar{\lambda}\right), & \text{при } \hat{\lambda} \leq \lambda_0. \end{cases}$$

Можно показать, что это предельный случай при $\lambda_P \rightarrow \lambda_0$ для общей постановки задачи при $\lambda_P > \lambda_0$.

Предложенная модель алгоритмически и программно реализуется стандартными средствами любого языка высокого уровня, в частности, нами использовалась среда Visual Basic.

Литература

1. Карасев Е.Н. Математические модели анализа и оценки характеристик потребительского спроса для бизнес-планирования малых предприятий (на примере малых предприятий автосервиса): Дис. ... канд. экон. наук. – Шахты: ЮРГУЭС, 2001. – 151 с.
2. Карасев Е.Н. Математические модели анализа и оценки характеристик потребительского спроса для бизнес-планирования (на примере малых предприятий автосервиса). – Шахты, 2001. – 66 с. – Деп. в ВИНТИ 16.10.01, № 2168-B2001.
3. Карасев Е.Н. Математическая модель для прогнозирования рентабельности малых предприятий автосервиса // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: Материалы III Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 17 янв. 2003 г. Ч. 3 / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2003. – С. 47-49.

346500, г. Шахты Ростовской обл., ул. Шевченко, 147, т. (8636) 22-20-37,
e-mail: asobd@sssu.ru

УДК 005.22

ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ КАК ОБЪЕКТА МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Ю.Г. Бояринов

Филиал Московского энергетического института (Технического университета),
г. Смоленск

Рассматриваются особенности современных промышленных предприятий с точки зрения автоматизации управления ими с использованием современных информационных систем. Выделены особенности задач математического моделирования на различных уровнях иерархии промышленного предприятия, проанализированы виды применяемых экономико-математических моделей и области их использования в процессе управления.

Современное промышленное предприятие, как система большого масштаба, состоит из взаимосвязанных подсистем, между которыми существуют отношения соподчиненности, и может быть представлено в виде иерархической структуры. Первый, низший уровень иерархической структуры промышленного предприятия образуют типовые технологические процессы в определенном аппаратурном оформлении. На данном уровне задачу управления в основном сводят к локальной стабилизации технологических параметров типовых процессов путем создания систем автоматического регулирования (САР).

Основу второго уровня иерархии промышленного предприятия составляют агрегаты, комплексы и т.д. Управление системой на этом уровне осуществляется оперативно-диспетчерским персоналом и автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУТП).

Третий уровень иерархической структуры промышленного предприятия – это системы оперативного управления совокупностью цехов, а также организации производства, планирования запасов сырья и реализации готовых продуктов, т.е. система управления производством.

И, наконец, четвертый, высший уровень – это система оперативного и стратегического управления предприятием, включающая, помимо системы управления производством, системы управления финансами, персоналом, сбытом, поставками и ряд других.

Следует отметить, что степень структурированности решаемых задач при переходе от нижнего к верхнему уровню иерархии промышленного предприятия, как объекта управления, постепенно снижается. Указанное обстоятельство приводит к тому, что возможности полной автоматизации управления от уровня к уровню уменьшаются, т.е. возрастает роль лица, принимающего управленческие решения. Так, на первых двух уровнях автоматическое управление уже давно стало реальностью, САР (САУ) и АСУТП (или SCADA-системы) внедрены и успешно используются на многих промышленных предприятиях. Что же касается третьего и особенно четвертого уровней, то здесь информационные системы служат лишь инструментами поддержки принятия решений, полная автоматизация управления на данных уровнях на современном этапе развития информационных технологий невозможна.

С точки зрения автоматизированных экономических информационных систем, наибольший интерес представляет верхний уровень иерархии промышленного предприятия. В качестве объекта управления его можно рассматривать как систему, выделенную из внешней среды и имеющую некоторые входы и выходы. Входные воздействия (входы) подразделяют на возмущающие и управляющие. Возмущающие воздействия (параметры экономической конъюнктуры), которые могут быть как контролируруемыми, так и неконтролируемыми, стремятся противодействовать целенаправленному протеканию бизнес-процессов, отклоняя их от заданного направления. Чтобы при функционировании системы выходные переменные соответствовали заданным (целевым) значениям (запланированный объем продаж, размер прибыли, доля рынка) и не отклонялись от них под влиянием возмущающих воздействий, на систему необходимо воздействовать с помощью управляющих переменных – количественных характеристик управляющих воздействий системы (например, изменение цены, стимулирование спроса и т.п.).

Поскольку промышленное предприятие, как объект управления, характеризуется значительной инерционностью, то для повышения эффективности управления им необходимо не только постоянно контролировать изменения контролируемых возмущающих воздействий и вырабатывать соответствующие им управляющие воздействия, но и прогнозировать данные изменения.

На основании краткосрочных прогнозов (от 1 до 3 месяцев) принимаются оперативные решения по управлению промышленным предприятием, например, решения о ценах на производимую продукцию; на основании среднесрочных (до 1 года) – разрабатываются планы работы предприятия на ближайшую перспективу. Долгосрочные прогнозы лежат в основе стратегических планов развития предприятия, затрагивающих в том числе вопросы расширения производственных мощностей, освоения новых видов продукции, модернизации производства и т.п.

Указанное обстоятельство подтверждает необходимость использования автоматизированных информационных систем, в состав которых входят инструменты прогнозирования, в управлении промышленным предприятием на высших уровнях иерархии, поскольку именно здесь чаще всего возникают задачи ситуационного анализа и прогнозирования показателей внешней среды, эффективное решение которых без использования соответствующих математических методов и инструментальных средств в большинстве случаев невозможно.

214013, г. Смоленск, Энергетический пр., д. 1, к. 210, т. 35-49-91,
e-mail: feu@sci.smolensk.ru

УДК 004.9:378.1:65.01

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Р.Г. Зайцев, И.В. Мальцев

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Рассматривается проблема сбора многомерных показателей деятельности подразделений. Описывается реализация автоматизированной информационной системы, обеспечивающей решение задачи ранжировки подразделений с помощью алгоритма Фрэнка-Вулфа.

Важной частью системы управления деятельностью сложной организации, такой как крупное образовательное учреждение, является система сбора и обработки показателей деятельности подразделений, являющаяся составной частью корпоративной информационно-аналитической системы.

В связи с широким распространением информационных технологий, особенно в области сетевых решений, возникла необходимость реализации распределённой системы, которая могла бы собирать и обрабатывать многомерные показатели качества. Система должна собирать данные из различных источников данных, независимо от их расположения, хранить и обрабатывать заданными методами.

Для решения поставленной задачи была разработана автоматизированная информационная система «Рейтинг». Система реализована на базе технологии ASP.NET, что позволяет зарегистрированным пользователям получить доступ к системе с любого компьютера, имеющего выход в Интернет. Данная система позволяет автоматизировать процесс сбора и обработки информации, а также решает задачу упорядочения многокритериальных альтернатив.

Сбор данных производится при помощи web-страницы, доступной экспертам. Из полученных от экспертов данных выводятся рейтинги альтернатив, для чего используется адаптивный алгоритм Фрэнка-Вулфа.

Рассмотрим человеко-машинную версию алгоритма Фрэнка-Вулфа [1]. Пусть существует неизвестная нам функция полезности $u[f_1(x), \dots, f_n(x)]$, заданная на множестве векторных оценок. Мы будем считать, что множество альтернатив X выпукло, все критерии вогнуты, а функция u согласована с упорядочением по Парето, т.е. возрастает в R^n . Для того чтобы можно было гарантировать сходимость алгоритма, предположим дополнительно, что функция u вогнута и непрерывно дифференцируема, а все критерии также являются непрерывно дифференцируемыми функциями.

Алгоритм Фрэнка-Вулфа имеет следующую структуру:

1. Выбираем начальную точку $x^1 \in X$. Полагаем $k = 1$.
2. Определяем направление наиболее сильного возрастания функции u как решение экстремальной задачи

$$\langle \nabla_x u[f_1(x), \dots, f_n(x)], y \rangle \rightarrow \max, y \in X.$$

Полагаем $d^k = y^k - x^k$, где y^k – решение задачи.

3. Определяем оптимальную величину шага t^k по этому направлению путем решения задачи на нахождение максимума функции полезности:

$$u[f_1(x^k + td^k), \dots, f_n(x^k + td^k)] \rightarrow \max, 0 \leq t \leq 1.$$

Полагаем $x^{k+1} = x^k + t^k d^k$, $k = k + 1$ и возвращаемся к шагу 2.

Недостатком данного алгоритма является возможность возникновения т.н. «реверсии рангов», т.е. ситуации изменения ранжировки альтернатив при изменении их состава.

В дальнейшем предполагается развитие системы с целью поддержки технологии обмена данными на основе формата XML и реализации методов

векторной оптимизации для ранжирования подразделений, исключаяющих реверсию.

Литература

1. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – М.: Физматлит, 2002. – 176 с.

346429, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГТУ (НПИ), каф. ПОВТ,
т. 55182, 55295, e-mail: rzajtsev@npi-tu.ru

УДК 330.4:378.142

ОБОБЩЕНИЕ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ РАСШИРЕНИЯ ПЛАТНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ ВУЗА

Н.И. Кравченко

Новочеркасская государственная мелиоративная академия

Предлагается экономико-математическая модель рыночной стратегии расширения платных образовательных услуг вуза с учетом прогнозируемого спроса. Находится оптимальное решение стратегической задачи расширения платных образовательных услуг вуза при условии дефицитности инвестиционных средств.

В работе [1] представлена модель оптимизации стратегии расширения платных образовательных услуг вуза по одной специальности с учетом прогнозируемого спроса на эти услуги на региональном рынке образовательных услуг. Здесь эта модель обобщается на случай, когда рассматриваются варианты специализации вуза по нескольким направлениям и учитываются ресурсные ограничения на расширение его образовательной деятельности.

Предполагаются известные функции спроса [2] на каждый вид образовательных услуг:

$$Y_i = \alpha_i + \beta_i P_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где Y_i – платежеспособный спрос; α_i и β_i – известные параметры, определяемые как параметры регрессионной модели для регионального рынка образовательных услуг и корректируемые с учетом привлекательности специальности, имиджа вуза и качества оказываемой ОУ [3]; P_i – цена на образовательную услугу за год обучения по i -й специальности.

Пусть, далее, b_i – годовые текущие издержки на производство и реализацию одной i -й образовательной услуги (на одного студента); $\bar{Y}_i$ – число уже обучающихся студентов в вузе по i -й специальности; z_i – искомая величина дополнительного приема на i -ю специальность в результате расширения сферы деятельности вуза; g_i – годовые единовременные приведенные затраты на одного студента дополнительного приема; a_{ki} – затраты k -го ресурса в расчете на одну образовательную услугу; d_k – количество k -го ресурса в вузе.

Из (1) получим: $P_i(Y_i) = \frac{Y_i - \alpha_i}{\beta_i}$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Тогда годовая прибыль вуза от i -й образовательной услуги будет равна $(P_i(Y_i) - b_i)Y_i$,

а с учетом приведенных единовременных затрат она составит $(P_i(Y_i) - b_i)Y_i - g_i z_i$.

Задача оптимизации рыночной стратегии вуза состоит в выборе такого варианта расширения деятельности вуза (выбор $\{z_i\}$) с учетом платежеспособного спроса на рынке образовательных услуг; в установлении таких уровней цен (выбор $\{P_i\}$) на каждую образовательную услугу, чтобы суммарная годовая прибыль вуза с учетом приведенных затрат на расширение его деятельности была максимальной. С учетом введенных обозначений эта задача запишется в следующем виде.

Найти максимум функции:

$$\Phi(\{Y_i\}) = \sum_{i=1}^n \left[Y_i \left(\frac{Y_i - \alpha_i}{\beta_i} - b_i \right) - g_i z_i \right]$$

при ограничениях

- 1) $Y_i = \bar{Y}_i + z_i$, $i = 1, 2, \dots, n$;
- 2) $\sum_{i=1}^n a_{ki} Y_i \leq d_k$, $k = 1, 2, \dots, K$;
- 3) $Y_i \geq \bar{Y}_i$, $z_i \geq 0$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Рассмотрим варианты модели (2) с одним ресурсом, ограничивающим развитие деятельности вуза, – ресурсом инвестиций в расширение сферы образовательных услуг. Обозначим объем выделенных инвестиционных средств через D . Тогда задача (2) при условии дефицитности инвестиционных средств примет вид:

Найти максимум функции

$$\Phi(\{Y_i\}) = \sum_{i=1}^n \left[Y_i \left(\frac{Y_i - \alpha_i}{\beta_i} - b_i \right) - g_i z_i \right]$$

при условиях

- 1) $Y_i = \bar{Y}_i + z_i$, $i = 1, 2, \dots, n$;
- 2) $\sum_{i=1}^n g_i (Y_i - \bar{Y}_i) = D$;
- 3) $Y_i \geq \bar{Y}_i$, $z_i \geq 0$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Составив соответствующую задаче (3) с единственным ограничением 2) в виде равенства функцию Лагранжа

$$L(\{Y_i\}, \lambda) = \Phi(\{Y_i\}) + \lambda \left(\sum_{i=1}^n g_i (Y_i - \bar{Y}_i) - \bar{D} \right),$$

получим следующую систему уравнений, выражающую необходимые условия, которым должно удовлетворять оптимальное решение задачи (3):

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial Y_i} = \frac{2Y_i}{\beta_i} - \frac{\alpha_i}{\beta_i} - b_i + \lambda g_i = 0, & i = 1, 2, \dots, n, \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = \sum_{i=1}^n g_i Y_i - \bar{D} = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где $\bar{D} = D + \sum_{i=1}^n g_i \bar{Y}_i$.

Решая систему уравнений (4), получим:

$$\lambda^* = \tilde{D} / \sum_{i=1}^n g_i^2 \beta_i; \quad (5)$$

$$Y_i^* = \frac{1}{2} (\alpha_i + (b_i + g_i) \beta_i) - \tilde{D} \frac{g_i \beta_i}{2 \sum_{i=1}^n g_i^2 \beta_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где $\tilde{D} = \sum_{i=1}^n g_i (\alpha_i + (b_i + g_i) \beta_i) - 2\bar{D}$.

Отсюда, учитывая, что $P_i(Y_i) = \frac{Y_i - \alpha_i}{\beta_i}$, найдем:

$$P_i^* = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_i}{\beta_i} + b_i + g_i \right) - \tilde{D} \frac{g_i}{2 \sum_{i=1}^n g_i^2 \beta_i} - \frac{\alpha_i}{\beta_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

Формулы (5) и (6) оптимального решения задачи (3) содержат богатую информацию для углубленного анализа ситуаций и факторов развития образовательной деятельности вуза с учетом рыночной среды.

Литература

1. Кравченко Н.И. Оптимизационные модели стратегического маркетинга ВУЗа на рынке образовательных услуг: Тезисы докладов V Всерос. симпозиума по прикладной и промышленной математике (весенняя сессия, г. Кисловодск). – М.: Редакция журнала «Обозрение прикладной и промышленной математики». – Т. 11. Вып. 3, 2004. – С. 652-654.
2. Кардаш В.А., Кравченко Н.И. Оптимизационный подход к маркетингу в сфере образовательных услуг // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. – Кисловодск, 2000. – Приложение № 3. – С. 46-51.
3. Кравченко Н.И. Методы прогнозирования спроса на платные образовательные услуги вуза // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2003. – Приложение № 3. – С. 232-235.

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ТРЕНИРОВОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНОМ И СОРЕВНОВАТЕЛЬНОМ ПЕРИОДАХ В ПАУЭРЛИФТИНГЕ

П.А. Балько

Дальневосточный государственный университет путей сообщений, г. Хабаровск

Предложен теоретико-методологический подход к моделированию механизма управления алгоритмом тренировочного процесса в пауэрлифтинге.

Недостаточный уровень разработки вопроса управления тренировочным процессом, а также отсутствие научно обоснованных исследований в избранном виде спорта определяют актуальнейшую проблему, которая привлекает внимание в силу тех причин, что необходимо разработать систему многолетней тренировки. Эта зависимость и дальнейший прогресс в пауэрлифтинге нуждается в постоянном изучении передового опыта и внедрении научного подхода к управлению тренировочным процессом.

Вместе с тем, управление есть переработка информации в сигналы, корректирующие деятельность машины и организма. Сам по себе сигнал характеризует физический процесс, несущий в себе информацию. Кибернетикой показано огромное значение информации в управлении, неразрывное единство процессов управления и информации. Абстрагируясь от содержания последней, ее ценности и значения, кибернетика раскрывает главным образом формально-логическую, структурную сторону информации, дает ее статистическую интерпретацию. Управление, наиболее эффективно ведущее к цели, с учетом всех требований и ограничений, принято понимать как оптимальное [1-5].

Факторами формирования (достижения) спортивного результата выступают задаваемые нагрузки и условия их выполнения, рассматриваемые в качестве причинных характеристик при системном представлении процесса становления спортивного мастерства [6].

Эта зависимость и истоки активности системы связаны с исходными элементами управляющего процесса – целевой функцией и отклонением, по сути являясь универсальным элементом взаимодействия, присущим любым системам. Без отклонения нет информации и процесса управления, нет развития. Система вне среды не может быть активной [7]. Само отклонение от нормы служит стимулом возвращения к норме [8-10].

Таким образом, воздействие внешней среды вызывает отклонение параметров объекта от исходного уровня. Возникает информация, обратная связь и, в конечном счете, возникают контуры и функциональные системы [7].

Совокупность исследования вопроса управления объективно характеризует два контура обратной связи в системе управления процессом тренировки в пауэрлифтинге.

В этом приближении тренировочный процесс – это параметры объема и интенсивности тренировочных и соревновательных воздействий, заключающих в себе динамику информационного изменения объекта во времени.

Данный процесс является динамической системой управляющих воздействий, идущих по каналу прямой связи от управляющего субъекта (тренер) к управляемому объекту (спортсмен). Последний, и это очевидно, передает по каналу обратной связи информацию о параметрах выполнения (или отклонения от нормы) данных воздействий во времени, образуя замкнутые контуры и функциональные системы. Система управления процессом включает:

1. Входные параметры (1-й контур ОС) – количественные характеристики тренировочного процесса за цикл подготовки;
2. Управляющее воздействие – тренировочный план;
3. Выходные параметры (2-й контур ОС) – параметры о выполнении или невыполнении тренировочной и соревновательной нагрузки;
4. Возмущающие воздействия – факторы окружающей среды (дождь, снег, температура воздуха, атмосферное давление и т.д.).

В этой связи первый (саморазвитие) и второй (саморегуляция) контуры обратной связи в механизме управления процессом объективно характеризуют системообразующие факторы (параметры тренировочного процесса) [11].

Необходимо отметить, что кибернетический системный подход получил в настоящее время широкое применение в технических науках и областях, где применяются разного рода электронные машины и приспособления [7, 8]. В этой связи принятию решения всегда предшествует обработка информации. Основу этой обработки составляют вычислительные операции. Скорость последних, как известно, принципиальным образом разрешают ЭВМ, позволяя многократно сократить сроки проведения циклов измерений [7].

Таким образом, совокупность вышеизложенного определяет решение, которое сводится к формированию и коррекции алгоритма управляющего процесса, а в частности, использованию информационных систем управления.

Вместе с тем, понятие спортивной формы – это состояние оптимальной (наилучшей) готовности спортсмена к достижению спортивного результата, которое приобретает при определенных условиях в каждом большом цикле тренировки (типа полугодового или годового). Однако данное понятие (оптимальной спортивной формы) относительно и справедливо лишь для каждого цикла ее развития. Основными целостными показателями спортивной формы являются результаты, демонстрируемые в реальных условиях спортивных состязаний. Вместе с тем, важное теоретическое и практическое значение имеет выбор ее количественных критериев. Подготовительный

период характеризуется становлением ее развития, а соревновательный период характеризует ее дальнейшее развитие и сохранение. В этой связи критерий прогрессирования определяет степень прироста и абсолютный уровень достижения спортсмена в конкретном большом цикле тренировки. Показателями здесь, в частности, являются:

1. Величина разности между лучшим индивидуальным достижением в предыдущем большом цикле тренировки и рассматриваемым результатом в текущем цикле. Чем больше последний превышает результат предыдущего, тем больше вероятность того, что спортсмен находится в форме, и наоборот.

2. Величина разности между рассматриваемым результатом контрольного соревнования и результатами первых стартов в данном большом цикле тренировки: чем значительнее степень превышения результатов первых стартов, тем больше вероятность того, что спортсмен приближается к состоянию спортивной формы. Критерием стабильности служит расчетная зона (скоростно-силовые виды спорта) не менее 95-97 % от личного рекорда [12].

В практике тяжелой атлетики и развития силовых способностей градуируют диапазоны применяемых весов штанги, используя десятипроцентный интервал, начиная с зоны мощности 50 % и выше [13, 14, 15].

Главная линия динамики процесса тренировки и общие методические основы воспитания силовых способностей заключаются в приближении к максимальному по ходу метода упражнения результату, но это не исключает и целесообразности некоторого варьирования величин отягощения. Один из распространенных способов варьирования – дозировка отягощения в серии подходов с «волнообразными» отклонениями от основного тренировочного веса на 5-10 % (например, 2-3 подхода к основному весу, 1-2 – к уменьшенному на 5-10 %, 2-3 – к основному и т.д.). Это позволяет уменьшить кумуляцию утомления, которая происходит по мере увеличения числа подходов с возрастающим отягощением [12].

Следовательно, управление процессом характеризует использование вышеизложенных критериев спортивной формы, а в частности, непосредственной коррекции алгоритма метода упражнения, градуируя в указанных зонах (ресурс ограничения 10 %) возникшее отклонение через количество подходов и повторений в 5-10 %-ом интервале их вариативности внутри каждой зоны мощности индивидуально у каждого из спортсменов. В этой зависимости полученные алгоритмы управления, апробированные в практике подготовки высококлассных спортсменов, и сочетание данных критериев позволят экспериментально выявить оптимальный 100 %-й результат относительно прошлого полугодичного цикла, к конкретному соревнованию в текущем подготовительном периоде, то есть к состоянию развития (становления) наилучшей (оптимальной) спортивной формы. В связи с тем, что соревновательный период характеризует ее дальнейшее развитие и сохранение, следовательно, за 100 % следует задавать результат предыдущего старта в конкретном

текущем соревновательном периоде и управлять алгоритмом развития (сохранения) наилучшей (оптимальной) спортивной формы.

Литература

1. Афанасьев В.Г. Научно-техническая революция, управление, образование. – М.: Политиздат, 1972. – 431 с.
2. Афанасьев В.Г. Общество: системность, познание и управление. – М.: Политиздат, 1981. – 432 с.
3. Афанасьев В.Г. Мир живого: системность, эволюция и управление. – М.: Политиздат, 1986. – 334 с.
4. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М.: Советское радио, 1968. – 326 с.
5. Винер Н. Кибернетика и общество. – М.: Тайдекс Ко, 2002. – 184 с.
6. Управление спортивной подготовкой: теоретико-методологические основания / В.В. Рыбаков, А.В. Уфимцев, А.И. Фёдоров, М.Н. Ахметзянов. – М.: Спорт Академ Пресс, 2003. – 480 с.
7. Абдеев Р.Ф. Философия информационной цивилизации: Диалектика прогрессивной линии развития как гуманная общечеловеческая философия для 21-го века. – М.: ВЛАДОС, 1994. – 336 с.
8. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. – М.: Наука, 1971. – 143 с.
9. Анохин П.К. Философские аспекты теории функциональных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
10. Анохин П.К. Избранные труды: Кибернетика функциональных систем. – М.: Медицина, 1998. – 400 с.
11. Балько П.А. Система управления тренировочным процессом в пауэрлифтинге: Материалы Всерос. науч. конф. – Хабаровск: ДВГАФК, 2006. – С. 14-19.
12. Матвеев Л.П. Основы спортивной тренировки. – М.: ФиС, 1977. – 271 с.
13. Медведев А.С. Многолетнее планирование. – М.: ФиС, 1971. – 112 с.
14. Медведев А.С. Система многолетней тренировки в тяжелой атлетике. – М.: ФиС, 1986. – 272 с.
15. Черняк А.В. Методика планирования тренировки тяжелоатлета. – М.: ФиС, 1978. – 135 с.

680021, г. Хабаровск, ул. Станционная, 20, ком. № 519 (общежитие 6/1), т. 89242038046, e-mail: bal78ko@mail.ru

УДК 796.88

ПАРАМЕТРЫ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА В ПАУЭРЛИФТИНГЕ

П.А. Балько

Дальневосточный государственный университет путей сообщений, г. Хабаровск

Предложены параметры и характеристика уровня развития вопроса моделирования и управления процессом тренировки в пауэрлифтинге.

Изучая параметры тренировочного процесса в пауэрлифтинге, мы использовали богатейший научно-исследовательский материал специалистов

тяжелой атлетики, являющийся достоянием спортивной науки, и экстраполировали методологические подходы определения средних величин веса штанги. Учитывая результаты анализа и обобщения специальной литературы, мы предложили следующие параметры:

1. Количество тренировок;
2. Количество тренировочных дней;
3. Количество упражнений за тренировку;
4. Количество выполненных упражнений из группы за период тренировок;
5. Количество подъемов и подходов по всем группам упражнений;
6. Количество подъемов и подходов в зонах мощности от 50 до 120 % в основной группе упражнений;
7. Объем тренировочной нагрузки в килограммах в основной группе упражнений;
8. Объем тренировочной нагрузки в процентах (У.О) в основной группе упражнений;
9. Средний вес штанги в килограммах в основной группе упражнений;
10. Средний вес штанги в процентах (О.И) в основной группе упражнений.

Для решения вопросов оптимизации процесса тренировки, а также для определения уровня использования данных параметров и их измерений в практике избранного вида спорта, нами было проведено исследование. В основу был положен метод анкетирования, который охватывает мнение тренеров сборных команд России, Заслуженных тренеров РФ, специалистов высшей и других категорий в количестве тридцати человек.

На вопрос, какие параметры, на ваш взгляд, необходимо использовать для моделирования и управления тренировочным процессом, респонденты ответили в следующих соотношениях:

1. Количество тренировок 50 %;
2. Количество тренировочных дней 41 %;
3. Количество упражнений за тренировку 46 %;
4. Количество выполненных упражнений из группы за период тренировок 25 %;
5. Количество подъемов и подходов по всем группам упражнений 29 %;
6. Количество подъемов и подходов в зонах мощности от 50 до 120 % в основной группе упражнений 83 %;
7. Объем тренировочной нагрузки в килограммах в основной группе упражнений 37 %;
8. Объем тренировочной нагрузки в процентах (У.О) в основной группе упражнений 45 %;

9. Средний вес штанги в килограммах в основной группе упражнений 33 %;

10. Средний вес штанги в процентах (О.И) в основной группе упражнений 46 %.

Таким образом, на основе проведенного исследования и полученных величин можно сделать следующий вывод, что большинство опрошенных респондентов используют шестой вариант контроля и управления процессом (83 %). Вместе с тем, к числу наиболее часто используемых параметров можно отнести первый (50 %), второй (41 %), третий (46 %), восьмой (45 %) и десятый (46 %) варианты. Совсем иначе используются в практике четвертый (25 %), пятый (29 %), седьмой (37 %) и девятый (33 %). Следовательно, уровень разработки вопроса контроля и оптимизации алгоритма управления процессом тренировки в пауэрлифтинге характеризует степень от 25 до 50 % опрошенных респондентов по каждому из поставленных вопросов. Хотя довольно интенсивно, как показывает следствие цифровых соотношений, используется шестой показатель, но этого недостаточно для того, чтобы сделать положительный вывод в силу комплексного использования данных параметров в исследованиях специалистами тяжелой атлетики, которыми, как известно, разработана система многолетней тренировки. Вместе с тем, параметры тренировочного процесса и состояние данного вопроса в пауэрлифтинге объективны.

680021, г. Хабаровск, ул. Станционная, 20, ком. № 519 (общежитие 6/1),
т. 89242038046, e-mail: bal78ko@mail.ru

УДК 681.3

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СПЕЦИАЛИСТА-ПРОЕКТИРОВЩИКА

Ю.М. Брумитейн, А.М. Сизов, А.С. Тюнина
Астраханский государственный университет

В рамках модели рассмотрена иерархическая схема информационных потоков, их матричное представление, взаимодействие с информационными архивами.

При анализе деятельности инженера-проектировщика (ИПр), работающего в проектной организации (ПрО), представляет интерес его информационная модель (ИнМ), которая должна включать информационные потоки (ИнП) и информацию, накопленную в информационных архивах (ИнА) – в т.ч. на бумаге, в компьютерах, на внешних носителях и др. Целесообразно выделять три иерархических *уровня хранения информации*: у отдельного

ИПр; в ПрО в целом; во внешней (для ПрО) среде (ВнС). Для ИПр, ПрО, ВнС в отношении обмена информацией можно выделить следующие **каналы**: личное общение (**Л**) ИПр с коллегами, руководством, заказчиками и пр.; Интернет (**И**); электронная почта (**П**) – через Интернет и корпоративные сети; прием-передача информации: по локальным компьютерным сетям (**С**); на бумажных носителях (**Б**); в электронной форме на внешних носителях (**Э**). В клетках нижеприводимой таблицы эти каналы ранжированы по частоте использования в порядке убывания.

Получатель		ИПр	ПрО	ВнС	<=Источник
ИПр			Л,С,Э,Б,П	Э,И,Б,Л	
ПрО		Л,С,Э,Б,П		П,И,Э,Б,Л	
ВнС		П,И,Л,Э,Б	П,И,Э,Б,Л		

Пары ИнП между «получателями-источниками» могут быть существенно неравномерными во времени (в т.ч. периодического и разового характера) и асимметричными по интенсивности. По своему характеру профессионально значимую информацию в ИнП можно категоризовать на:

- управляющую (приказы, распоряжения, указания руководства);
- оперативно-производственную по проектированию;
- регламентирующую (нормативные документы, инструкции и пр.);
- координирующую (связи с другими ИПр, заказчиками, контролирующими организациями и др.);
- фактографическую;
- отражающую профессиональные навыки и опыт проектирования, включая работу с САД-программами;
- связанную с программным обеспечением (ПО);
- относящуюся к обучению и повышению квалификации ИПр;
- информационно-рекламную (по оборудованию, материалам, ПО и пр.).

Для ИнП (особенно поступающих из ВнС) осуществляется: контроль и удаление компьютерных вирусов, спама, бесполезной и непрофильной для ПрО информации; контроль ошибочности, неточности, неполноты, противоречивости информации. Информация может храниться «в голове» у ИПр и в Ина. По принадлежности Ина могут быть: личными – ИПр или его коллег по ПрО; централизованные Ина в ПрО; Ина во ВнС, в т.ч. и доступные через Интернет. В отношении взаимодействия ИнП с Ина можно выделить: простое добавление информации в Ина; замещение информации, в т.ч. утратившей актуальность; вытеснение информации из Ина (из-за ограниченной емкости памяти людей, объемов Ина – личных, ПрО и во ВнС); переосмыс-

ление информации; ее реструктуризацию; копирование. Оперативность доступа к информации минимальна для личных ИНА.

В простейшем случае в рамках ИнМ процессы изменения состава/объема накопленной «к»-м ИПр информации ($\Theta_{\text{ИПр}}$), в т.ч. находящейся «в его голове» и личном ИНА, при переходе $t \rightarrow t + \Delta t$ представим

$$\Theta_{\text{ИПр}}^{(t+1)} = f_1(\Theta_{\text{ИПр}}^{(t)}; \{V_{\text{ИПр},(i,j)}^{(t)} \Delta t\}_{i=1 \dots I; j=1 \dots k-1, k+1 \dots J1}); \{W_{\text{ИПр},(i,j)}^{(t)} \Delta t\}_{i=1 \dots I; j=1 \dots J2}),$$

где Δt – шаг по времени; i – индекс канала поступления информации; j – индекс источника информации в ПрО или во ВнС; V, W – интенсивности ИнП внутри ПрО и из ВнС. Аналогично для централизованного ИНА ПрО

$$\Theta_{\text{ПрО}}^{(t+1)} = f_2(\Theta_{\text{ПрО}}^{(t)}; \{V_{\text{ПрО}(i,j)}^{(t)} \Delta t\}_{i=1 \dots I; j=1 \dots J1}); \{W_{\text{ПрО}(i,j)}^{(t)} \Delta t\}_{i=1 \dots I; j=1 \dots J2}).$$

414040, г. Астрахань, пл. К. Маркса, д. 21, кв. 34, т. 8-8512-257120,
e-mail: brum2003@mail.ru

УДК 624:004.896

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ДЕЙСТВИЮ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ И СЛУЧАЙНЫХ НАГРУЗОК

Г.В. Воронцов

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Предложена математическая геометрически линеаризованная модель нелинейно деформированных конструкций и метод управления (гашения) колебаниями наблюдаемых сооружений при действии детерминированных и случайных возмущений.

1. Уравнения колебаний конструкций относительно статического равновесного состояния

Рассмотрим геометрически и физически нелинейно деформируемые конструкции [1], подверженные детерминированным $\vec{F}(t)$ и случайным воздействиям, вызывающим малые отклонения $\delta \vec{X}(t)$, от статического состояния, характеризуемого обобщенными перемещениями $\vec{X}_{\text{ст}}$, напряжениями $\vec{\sigma}_{\text{ст}}(\vec{y})$ и деформациями $\vec{u}_{\text{ст}}(\vec{y})$. Здесь $\vec{y}$ – вектор координат точек конечно-элементной модели конструкции, выполненной из упругопластических материалов.

Уравнение колебаний

$$\mathbf{M} \delta \ddot{\vec{X}}(t) + \mathbf{K} \delta \vec{X}(t) + \mathbf{H}(\vec{X}_{\text{ст}}, \vec{\sigma}_{\text{ст}}, \vec{u}_{\text{ст}}) \delta \vec{X}(t) = \mathbf{B}_F \vec{F}(t) + \mathbf{B}_G \vec{G}(t) + \mathbf{B}_\xi \vec{\xi}(t) \quad (1)$$

представляем в виде

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \delta \vec{X} \\ \delta \vec{X} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{M}^{-1} \mathbf{K} & \vdots & \mathbf{M}^{-1} \mathbf{H} \\ \mathbf{E} & & \mathbf{0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{B}_F \vec{F} + \mathbf{B}_G \vec{G} + \mathbf{B}_\xi \vec{\xi} \\ \vec{0} \end{bmatrix} \quad (2)$$

или

$$\dot{\vec{\chi}}(t) = \mathbf{A} \vec{\chi}(t) + \mathbf{B}_1 \vec{F} + \mathbf{B}_2 \vec{G} + \vec{\xi}. \quad (3)$$

В выражениях (1)–(3) обозначено: $\mathbf{M}$ и $\mathbf{K}$ – инерционная и диссипативная матрицы; $\vec{G}(t)$ – вектор управляющих воздействий; $\mathbf{H}_0$ – матрица жесткости конструкции, определяемая формулой

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_0^{tn} + \mathbf{H}_\sigma^{tn} + \mathbf{H}_u^{ct} + (\mathbf{H}_u^{ct})^*,$$

в которой полагаем

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_0^{tn} &:= \sum_V \int \left((\mathbf{P}\Psi(\vec{y}))^* \mathbf{E}_0^{tn}(\vec{y}) \mathbf{P}\Psi(\vec{y}) \right) dV, \\ \mathbf{H}_\sigma^{ct} &= \sum_V \int \left((\mathbf{D}\Psi(\vec{y}))^* \mathbf{P}\{\vec{\sigma}_{ct}(\vec{y})\} \mathbf{D}\Psi(\vec{y}) \right) dV, \\ \mathbf{H}_u^{ct} &= \sum_V \int \mathbf{P}\Psi(\vec{y}) \mathbf{E}_{ct}^{tn}(\vec{y}) \mathbf{P}_1\{\vec{u}_{ct}(\vec{y})\} (\mathbf{D}\Psi(\vec{y})) dV. \end{aligned}$$

Линейные матричные операторы $\mathbf{P}$, $\mathbf{P}_1$ и $\mathbf{D}$ определяют вектор деформаций каждого конечного элемента

$$\delta \vec{\varepsilon} = [\mathbf{P} + \mathbf{P}_1\{\vec{u}\}\mathbf{D}] \delta \vec{u}, \quad \vec{u}_{ct}(\vec{y}) := \Psi(\vec{y}) \vec{X},$$

где $\Psi(\vec{y})$ – матрица функций формы, отвечающая вектору обобщенных координат $\vec{X}$; $\mathbf{E}_{ct}^{tn}(\vec{y})$ – тангенциальная жесткость материалов, такая что

$$\delta \vec{\sigma}(t) = \mathbf{E}_{ct}^{tn} \delta \vec{\varepsilon}(t).$$

Записи $\mathbf{P}\{\vec{\sigma}\}$, $\mathbf{P}_1\{\vec{u}\}$ соответствуют матрицам, в которых каждый элемент операторов «умножается» на определенный элемент векторов $\vec{\sigma}$ или $\vec{u}$ по типу $\partial \sigma_j / \partial x_i$, $\partial u^k / \partial u_k$. Заметим, что при этом удовлетворяется тождество

$$\mathbf{P}_1\{\vec{u}\}\vec{\sigma} = \mathbf{P}\{\vec{\sigma}\}\mathbf{D}\vec{u}, \quad \vec{u} := \Psi \delta \vec{X}.$$

Матрицу сил вязкого трения принимаем в виде [2]

$$\mathbf{K} = \alpha_1 \mathbf{M} + \alpha_2 \mathbf{H},$$

где коэффициенты α_1 и α_2 выбираем в соответствии со «Строительными нормами и правилами». При этом, составляя матрицу $\mathbf{V}$ собственных векторов матрицы $\mathbf{M}^{-1}\mathbf{H}$ и полагая $\delta \vec{X}(t) = \mathbf{V} \vec{x}(t)$, можем преобразовать матричное уравнение (1) к системе независимых скалярных уравнений относительно т.н. главных координат типа

$$\ddot{x}_j(t) + 2\kappa_j \dot{x}_j(t) + \omega_{oj}^2 x_j(t) = \sum f_j(t), \quad j = 1 \dots v,$$

в которой можно учитывать только те $\nu < n$ уравнения, которым соответствуют наименьшие частоты $\omega_{ок} (\kappa = 1 \dots \nu)$ свободных колебаний конструкции.

В заключение отметим, что выражения (1)–(3) есть геометрически линейные уравнения колебаний.

2. Оптимальные оценивания состояний и управление (гашение) колебаний конструкций, подверженных действию детерминированных и случайных воздействий

Введем математическую модель средств измерения обобщенных перемещений $\delta \vec{X}(t)$ в виде

$$\vec{Z}(t) = C\vec{\chi}(t) + \vec{\eta}(t) \quad (4)$$

и матрицы $Q_{\xi}(t)$, $Q_{\eta}(t)$, характеризующие корреляционные матрицы случайных процессов $\vec{\xi}(t)$ и $\vec{\eta}(t)$, см. формулу выражения (3)

$$K_{\xi\xi}(t, \tau) = \delta(t - \tau)Q_{\xi}(t), \quad K_{\eta\eta}(t, \tau) = \delta(t - \tau)Q_{\eta}(t).$$

Оценку переменных $\delta \vec{X}(t)$ определим из уравнений [3]:

$$\delta \vec{\chi}(T) = \int_0^T \left\{ R^*(t, T) \vec{Z}_D(t) + R^*(t, T) [B_1 \vec{F}(t) + B_2 \vec{G}(t)] \right\} dt; \quad (5)$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} L(t) \\ P_{пр}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & Q_x(t) \\ C^* Q_Z C & -A^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L(t) \\ P_{пр}(t) \end{bmatrix}; \quad (6)$$

$$P_{пр} = RW, P_{пр} = PW; R_{пр}(t) = Q_{\eta}^{-1}(t) \Lambda(t),$$

подробнее см. в [3]. Значение T в уравнениях опускаем. Отметим, что уравнения (6) обеспечивают минимизацию ошибок «фильтраций» $\delta \vec{X}(t) - \delta \tilde{X}(t)$; W – симметричная матрица весовых показателей оценок различных компонентов вектора $\delta \vec{X}(t)$; $\vec{Z}_D(t)$ – действительные показатели средств измерения. В уравнении (6) и краевых условиях вектор детерминированных воздействий отсутствует.

Введем функцию, отвечающую уравнению (6),

$$\delta \vec{\chi}(T) = \left\{ R^*(t, T) \vec{Z}_D(t) + R^*(t, T) [B_1 \vec{F}(t) + B_2 \vec{G}(t)] \right\} \quad (7)$$

и определим оптимальное уравнение $G(t)$ из условия

$$\Phi = \frac{1}{2} \int_0^T \left\{ \vec{G}^*(t) W_0 \vec{G}(t) + \delta \dot{X}^*(t) W_1 \delta \dot{X}(t) \right\} dt \rightarrow \min. \quad (8)$$

Подставляя в функционал (8) формулу (7) и дифференцируя по $\vec{G}(t)$ полученное обобщенное подынтегральное выражение, имеем:

$$W_0 \vec{G}(t) + B_2^* P(t) W_1 \left\{ R^*(t) \vec{Z}_D(t) + P^*(t) [B_1 \vec{F}(t) + B_2 \vec{G}(t)] \right\} = 0.$$

Вводя обозначения

$$\mathbf{D}(t) = \mathbf{W}_0 + \mathbf{B}_2^* \mathbf{P}(t) \mathbf{W}_1 \mathbf{P}^*(t) \mathbf{B}_2,$$

$$\vec{d}(t) = \mathbf{B}_2 \mathbf{P}(t) \mathbf{W}_1 \left\{ \mathbf{R}^*(t) \vec{Z}_D(t) + \mathbf{P}^*(t) \mathbf{B}_1 \vec{F}(t) \right\}$$

и замечая, что матрица $\mathbf{D}(t)$ является неособенной при всех $t \in [0, T]$, находим

$$\vec{G}(t) = \mathbf{D}^{-1}(t) \vec{d}(t).$$

Литература

1. Воронцов Г.В., Дыба В.П. Матрицы жесткости конечных элементов конструкций из упругопластических изотропных материалов при простом нагружении // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. Спецвып. Композиционные материалы, 2005. – С. 72-79.
2. Воронцов Г.В. Основы динамики сооружений: Учеб. пособие / Новочерк. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: НГТУ, 1993. – 136 с.
3. Воронцов Г.В., Федий В.С. Вариационные методы теории автоматического управления / Под общ. ред. Г.В. Воронцова; Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: Изв. вузов. Электромеханика, 2003. – 158 с.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т. 55-327,
e-mail: SerbinovskyMU@npi-tu.ru

УДК 517:531

ВЫВОД УРАВНЕНИЙ СТАТИКИ ПРЯМОГО КАНАТА С УЧЕТОМ РАЗЛИЧИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОВОЛОК МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ПРИРАЩЕНИЙ

С.В. Поляков

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Получены уравнения статики прямого каната с учетом различия геометрических параметров и механических свойств проволок. Нахождение уравнений статики для реального каната осуществлялось методом конечных приращений.

При рассмотрении грузоподъемного каната, положение оси винтового элемента [1] после окончания действия деформаций характеризуется параметрами:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{\beta} &= \beta + \Delta\beta; \\ \tilde{R} &= R + \Delta R; \\ \tilde{S} &= S + \Delta S. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Деформации кручения, кривизны и изгиба с учетом (1), а также с учетом уравнения кинематической аналогии [1] для реального каната примут вид:

$$\left. \begin{aligned}
\tilde{\tau} = \Delta\omega_t &= \Delta\beta \frac{\cos 2\beta}{R_k} - \Delta R \frac{\sin 2\beta}{2R_k^2} + \frac{\Delta S}{S} \frac{\sin 2\beta}{2R_k} + \\
&+ \left(\Delta\beta \frac{\cos 2\beta}{\rho} - \Delta R \frac{\sin 2\beta}{2\rho^2} + \frac{\Delta S}{S} \frac{\sin 2\beta}{2\rho} \right) \cos \varphi; \\
\tilde{b} = \Delta\omega_b &= \Delta\beta \frac{\sin 2\beta}{R_k} - \Delta R \frac{\sin^2 \beta}{R_k^2} + \frac{\Delta S}{S} \frac{\sin^2 \beta}{R_k} + \\
&+ \left(-\Delta\beta \frac{\cos 2\beta}{\rho} + \Delta R \frac{\cos^2 \beta}{\rho^2} + \frac{\Delta S}{S} \frac{\cos^2 \beta}{\rho} \right) \cos \varphi; \\
\tilde{n} = \Delta\omega_n &= -\Delta\beta \frac{\sin \beta}{\rho} \sin \varphi - \Delta R \frac{\cos \beta}{\rho^2} \sin \varphi + \frac{\Delta S}{S} \frac{\cos \beta}{\rho} \sin \varphi,
\end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $\frac{1}{\rho}$ – кривизна [1] винтовой линии S ; β, R_k – угол и радиус свивки винтовой оси; φ – полярный угол [2]; $\frac{\Delta S}{S} = \varepsilon_{\text{пр}}$ – влияние относительной деформации винтовой оси на изменение величин кривизны, кручения и изгиба.

Примем обозначение

$$\tilde{\beta} = \beta + \Delta\beta, \quad (3)$$

где $\tilde{\beta}$ – значение угла свивки, соответствующее моменту окончания деформации; β – начальное значение угла свивки каната; $\Delta\beta$ – изменение угла свивки каната за период деформации [2].

В результате подстановки (3) в уравнения равновесия внутренних силовых факторов, возникающих в винтовом элементе при действии на канат внешних нагрузок [3], получим уравнение равновесия внутренних силовых факторов с учетом различия длин его винтовых элементов, расположенных в одном слое:

$$\left. \begin{aligned}
\frac{\sin^2 \tilde{\beta}}{R} \Delta P_t - \frac{\sin \tilde{\beta} \cos \tilde{\beta}}{R} \Delta P_b &= \Delta f_n; \\
\frac{\sin^2 \tilde{\beta}}{R} \Delta L_t - \frac{\sin \tilde{\beta} \cos \tilde{\beta}}{R} \Delta L_b &= \Delta P_b.
\end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Уравнения, отражающие физические свойства винтового элемента с учетом различия геометрических параметров и механических свойств проволок [2, 4], имеют вид:

$$\left. \begin{aligned}
\Delta P_t &= a_0 \varepsilon_s + c_0 \tilde{\tau}; \\
\Delta L_t &= c_0 \varepsilon_s + b_0 \tilde{\tau}; \\
\Delta L_b &= g_0 \tilde{b}, \\
\Delta L_n &= g_0 \tilde{n}.
\end{aligned} \right\} \quad (5)$$

С целью определения неизвестных значений силовых факторов $\Delta P_t, \Delta P_b, \Delta L_t, \Delta L_b, \Delta L_n$ подставим в уравнения (4) и (5) значения (2) и определим усилия $\Delta P_{xi}, \Delta M_{xi}, M_Z + P_x R_b$ [5].

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{xi} &= (\Delta P_t \cos \tilde{\beta} + \Delta P_b \sin \tilde{\beta}) \cos \varphi; \\ \Delta M_{xi} &= (\Delta L_t \cos \tilde{\beta} + \Delta L_b \sin \tilde{\beta} + R(\Delta P_t \sin \tilde{\beta} - \Delta P_b \cos \tilde{\beta})) \cos \varphi; \\ M_Z + P_x R_b &= \Delta L_b \cos \tilde{\beta} \cos \varphi - \Delta L_t \sin \tilde{\beta} \cos \varphi - \Delta L_n \sin \varphi + R_k (\Delta P_b \sin \tilde{\beta} + \Delta P_t \cos \tilde{\beta}) \cos \varphi, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $\Delta P_{xi}, \Delta M_{xi}, M_Z$ – дополнительная растягивающая сила, крутящий и изгибающий моменты; R_b – радиус волнистости [2].

Значение поперечной деформации, ε_r , будет иметь вид [3]:

$$\varepsilon_r = -k_n \Delta f_n, \quad (7)$$

где k_n – опытный коэффициент; Δf_n – контактное давление, определяемое по 1-му уравнению (4).

В результате математических операций (5) и (6) уравнения статики примут вид:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_x &= L \varepsilon_{np} + N \Delta \beta + I \Delta R + B \varepsilon_{np} \cos \varphi + C \Delta \beta \cos \varphi + D \Delta R \cos \varphi; \\ \Delta M_x &= P \varepsilon_{np} + G \Delta \beta + K \Delta R + E \varepsilon_{np} \cos \varphi + F \Delta \beta \cos \varphi + H \Delta R \cos \varphi; \\ M_z + P_x R_b &= \frac{m}{2} A \varepsilon_{np} + \frac{m}{2} M \Delta \beta + \frac{m}{2} N \Delta R + \frac{m}{2} S \varepsilon_{np} + \frac{m}{2} Q \Delta \beta + \frac{m}{2} W \Delta R, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где

$$\left. \begin{aligned} L &= \sum_{i=1}^m \left\{ a_0 \cos \tilde{\beta} + \frac{c_0}{R_k} \left(\frac{\sin 2\beta \cos \tilde{\beta}}{2} + \sin^3 \tilde{\beta} \right) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{b_0 \sin 2\beta \sin^3 \tilde{\beta} - g_0 \sin^2 \beta \sin 2\tilde{\beta} \sin \tilde{\beta}}{R_k^2} \right\}; \\ N &= \sum_{i=1}^m \left[\frac{c_0}{R} \cos 2\beta \cos \tilde{\beta} + \frac{b_0 \cos 2\beta \sin^3 \tilde{\beta} - g_0 \sin 2\beta \sin^2 \tilde{\beta} \cos \tilde{\beta}}{R_k^2} \right]; \\ I &= \sum_{i=1}^m \left[-\frac{c_0}{2R_k^2} \sin 2\beta \cos \tilde{\beta} + \frac{g_0 \sin \tilde{\beta} \sin^2 \beta \sin 2\tilde{\beta} - b_0 \sin 2\beta \sin^3 \tilde{\beta}}{R_k^3} \right]; \\ B &= \sum_{i=1}^m \left[\frac{c_0}{2\rho} \sin 2\beta \cos \tilde{\beta} + \frac{b_0}{2\rho} \frac{\sin^3 \tilde{\beta} \sin 2\beta}{R_k} - \frac{g_0}{\rho} \frac{\sin^2 \tilde{\beta} \cos \tilde{\beta}}{R_k} \cos^2 \beta \right]; \\ C &= \sum_{i=1}^m \left[\frac{c_0}{\rho} \cos \tilde{\beta} \cos 2\beta + \frac{b_0}{\rho} \frac{\sin^3 \tilde{\beta} \cos 2\beta}{R_k} + \frac{g_0}{\rho} \frac{\sin^2 \tilde{\beta} \cos \tilde{\beta}}{R_k} \cos 2\beta \right]; \\ D &= \sum_{i=1}^m \left[-\frac{c_0}{2\rho^2} \cos \tilde{\beta} \sin 2\beta - \frac{b_0}{2\rho^2} \frac{\sin^3 \tilde{\beta} \sin 2\beta}{R_k} - \frac{g_0}{\rho^2} \frac{\sin^2 \tilde{\beta} \cos \tilde{\beta}}{R_k} \cos^2 \beta \right]; \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{aligned}
P &= \sum_{i=1}^m \left\{ a_0 R_k \sin \tilde{\beta} + c_0 \left[\cos \tilde{\beta} (1 - \sin^2 \tilde{\beta}) + \frac{\sin 2\beta \sin \tilde{\beta}}{2} \right] + \right. \\
&\quad \left. + \frac{b_0 \sin \beta \cos \tilde{\beta} \cos \beta (1 - \sin^2 \tilde{\beta}) + g_0 \sin^2 \beta \sin \tilde{\beta} (1 + \cos^2 \tilde{\beta})}{R_k} \right\}; \\
G &= \sum_{i=1}^m \left[c_0 \cos 2\beta \sin \tilde{\beta} + \frac{b_0 \cos 2\beta \cos \tilde{\beta} (1 - \sin^2 \tilde{\beta})}{R_k} + \right. \\
&\quad \left. + \frac{g_0 \sin 2\beta \sin \tilde{\beta} (1 + \cos^2 \tilde{\beta})}{R_k} \right]; \\
K &= \sum_{i=1}^m \left[-\frac{c_0}{2R_k} \sin 2\beta \sin \tilde{\beta} - \frac{b_0 \sin \beta \cos \beta \cos \tilde{\beta} (1 - \sin^2 \tilde{\beta})}{R_k^2} - \right. \\
&\quad \left. - \frac{g_0 \sin^2 \beta \sin \tilde{\beta} (1 + \cos^2 \tilde{\beta})}{R_k^2} \right]; \\
E &= \sum_{i=1}^m \left[\frac{c_0}{2\rho} R_k \sin \tilde{\beta} \sin 2\beta + \frac{b_0}{2\rho} \cos \tilde{\beta} \sin 2\beta (1 - \sin^2 \tilde{\beta}) + \right. \\
&\quad \left. + \frac{g_0}{\rho} \sin \tilde{\beta} \cos^2 \beta (1 + \cos^2 \tilde{\beta}) \right]; \\
F &= \sum_{i=1}^m \left[\frac{c_0}{\rho} R_k \sin \tilde{\beta} \cos 2\beta + \frac{b_0}{\rho} \cos \tilde{\beta} \cos 2\beta (1 - \sin^2 \tilde{\beta}) - \right. \\
&\quad \left. - \frac{g_0}{\rho} \sin \tilde{\beta} \cos 2\beta (1 + \cos^2 \tilde{\beta}) \right]; \\
H &= \sum_{i=1}^m \left[-\frac{c_0}{2\rho^2} R_k \sin \tilde{\beta} \sin 2\beta - \frac{b_0}{2\rho^2} \cos \tilde{\beta} \sin 2\beta (1 - \sin^2 \tilde{\beta}) + \right. \\
&\quad \left. + \frac{g_0}{\rho^2} \sin \tilde{\beta} \cos^2 \beta (1 + \cos^2 \tilde{\beta}) \right]; \\
A &= \sum_{i=1}^m \left\{ a_0 R \cos \tilde{\beta} - c_0 \left[\sin \tilde{\beta} - \left(\frac{\sin 2\beta \cos \tilde{\beta}}{2} + \sin^3 \tilde{\beta} \right) \right] - \right. \\
&\quad \left. - \frac{b_0 \sin \beta \cos \beta \sin \tilde{\beta} (1 - \sin^2 \tilde{\beta})}{R_k} + \frac{g_0 \sin^2 \beta \cos \tilde{\beta} (1 - \sin^2 \tilde{\beta})}{R_k} \right\}; \\
M &= \sum_{i=1}^m \left[c_0 \cos 2\beta \cos \tilde{\beta} - \frac{b_0 \cos 2\beta \sin \tilde{\beta} (1 - \sin^2 \tilde{\beta})}{R_k} + \right. \\
&\quad \left. + \frac{g_0 \sin 2\beta \cos \tilde{\beta} (1 - \sin^2 \tilde{\beta})}{R_k} \right];
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
N &= \sum_{i=1}^m \left[\begin{aligned} &-\frac{c_0}{2R_k} \sin 2\beta \cos \tilde{\beta} + \frac{b_0 \sin \beta \cos \beta \sin \tilde{\beta} (1 - \sin^2 \tilde{\beta})}{R_k^2} - \\ &-\frac{g_0 \sin^2 \beta \cos \tilde{\beta} (1 - \sin^2 \tilde{\beta})}{R_k^2} \end{aligned} \right] ; \\
S &= \sum_{i=1}^m \left[\begin{aligned} &\frac{c_0}{2\rho} R_k \cos \tilde{\beta} \sin 2\beta - \frac{b_0}{2\rho} \sin \tilde{\beta} \sin 2\beta (1 - \sin^2 \tilde{\beta}) - \\ &-\frac{g_0}{\rho} \cos \beta [1 - \cos \tilde{\beta} \cos \beta (1 - \sin^2 \tilde{\beta})] \end{aligned} \right] ; \\
Q &= \sum_{i=1}^m \left[\begin{aligned} &\frac{c_0}{\rho} R_k \cos \tilde{\beta} \cos 2\beta - \frac{b_0}{\rho} \cos 2\beta \sin \tilde{\beta} (1 - \sin^2 \tilde{\beta}) + \\ &+\frac{g_0}{\rho} [\sin \beta - \cos \tilde{\beta} \cos 2\beta (1 - \sin^2 \tilde{\beta})] \end{aligned} \right] ; \\
W &= \sum_{i=1}^m \left[\begin{aligned} &-\frac{c_0}{2\rho^2} R_k \cos \tilde{\beta} \sin 2\beta + \frac{b_0}{2\rho^2} \sin \tilde{\beta} \sin 2\beta (1 - \sin^2 \tilde{\beta}) + \\ &+\frac{g_0}{\rho^2} \cos \beta [1 + \cos \tilde{\beta} \cos \beta (1 - \sin^2 \tilde{\beta})] \end{aligned} \right] .
\end{aligned}$$

Система уравнений (8) является неопределенной относительно неизвестных $\varepsilon_{np}, \Delta\beta, \Delta R$. Для решения уравнения (8) воспользуемся 1-м уравнением (4), с учетом (7). После преобразований уравнение примет вид:

$$\frac{\Delta R}{Rk_n} = k' \varepsilon_{np} + l' \Delta\beta + z' \Delta R + t' \varepsilon_{np} \cos \varphi + v' \Delta\beta \cos \varphi + x' \Delta R \cos \varphi,$$

где

$$\begin{aligned}
k' &= \frac{a_0}{R_k} \sin^2 \tilde{\beta} - \frac{c_0}{2R_k^2} (\sin 2\beta \sin^2 \tilde{\beta} - \sin 2\tilde{\beta} \sin^2 \beta) - \\ &-\frac{b_0 \sin 2\beta \sin 2\tilde{\beta} - g_0 \sin^2 2\beta \sin^2 \tilde{\beta}}{4R_k^3}; \\
l' &= \frac{c_0}{2R_k^2} \cos 2\beta \sin^2 \tilde{\beta} - \frac{b_0 \cos 2\beta \sin 2\beta \sin^2 \tilde{\beta} - g_0 \sin 2\beta \sin^2 2\beta}{2R_k^3}; \\
z' &= \frac{c_0}{2R_k^3} \sin 2\beta \sin^2 \tilde{\beta} - \frac{b_0 \sin 2\beta \sin 2\tilde{\beta} \sin \tilde{\beta} - g_0 \sin^2 2\tilde{\beta} \sin^2 \beta}{4R_k^4};
\end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} t' &= \frac{c_0}{2\rho} \frac{\sin^2 \tilde{\beta} \cos^2 \tilde{\beta}}{R_k} - \frac{b_0}{2\rho} \frac{\sin^3 \tilde{\beta} \cos \tilde{\beta}}{R_k^2} \sin 2\beta + \frac{g_0}{\rho} \frac{\sin^2 \tilde{\beta} \cos^2 \tilde{\beta}}{R_k^2} \cos^2 \beta; \\ v' &= \frac{c_0}{\rho} \frac{\sin^2 \tilde{\beta} \cos 2\beta}{R_k} - \frac{b_0}{\rho} \frac{\sin^3 \tilde{\beta} \cos \tilde{\beta}}{R_k^2} \cos 2\beta - \frac{g_0}{\rho} \frac{\sin^2 \tilde{\beta} \cos^2 \tilde{\beta}}{R_k^2}; \\ x' &= -\frac{c_0}{2\rho^2} \frac{\sin^2 \tilde{\beta} \sin 2\beta}{R_k} + \frac{b_0}{2\rho^2} \frac{\sin^3 \tilde{\beta} \cos \tilde{\beta}}{R_k^2} \sin 2\beta + \frac{g_0}{\rho^2} \frac{\sin^2 \tilde{\beta} \cos^2 \tilde{\beta}}{R_k^2} \cos^2 \beta. \end{aligned} \right\}$$

Анализируя проделанную работу, можно уверенно сказать, что с помощью метода конечных приращений получены уравнения статики (8) для реального каната, с учетом различия геометрических параметров и механических свойств проволок. С помощью полученных уравнений статики решение задач по определению напряженно-деформированного состояния канатов с учетом различия геометрических параметров и механических свойств проволок, испытывающих при эксплуатации кручение и изгиб, сопровождающееся значительным изменением углов свивки винтовых элементов, значительно упростилось.

Литература

1. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. – Киев: Техника, 1966. – 327 с.
2. Хальфин М.Н. Расчет стальных канатов с целью различия геометрических параметров и механических свойств проволок // Изв.вузов. Сев.-Кавк. регион. Безопасность подъемно-транспортных и технологических машин, 2005. – С. 5-12.
3. Глушко М.Ф., Чиж А.А., Шигарина Л.И. Геометрические уравнения деформаций каната в нелинейной форме // Прочность и долговечность стальных канатов. – Одесса, 1977. – С. 38-43. – Деп. в ЦНИИЧермет 28.05.81, № 1215.
4. Хальфин М.Н., Сорокина Е.В., Иванов Б.Ф. Кручение и волнистость несущих канатов подвесных канатных дорог / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: УПУ «Набла» ЮРГТУ(НПИ), 2004. – 117 с.
5. Хальфин М.Н. Расчет шахтного подъемного каната с учетом неодинаковости физико-механических свойств его винтовых элементов // Очистные и проходческие машины и инструменты. – Новочеркасск, 1988. – С. 122-126.
6. Малиновский В.А., Шигарина Л.И. Расчет прямого каната с учетом нелинейности деформаций // Прочность и долговечность стальных канатов. – Одесса, 1977. – С. 31-37. – Деп. в ЦНИИЧермет 28.05.81, № 1214.

УДК 519.6

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О СИНГУЛЯРНОМ ТРОСЕ И ЕЕ ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Е.А. Проценко

Таганрогский государственный радиотехнический университет

Рассматривается обобщенная постановка стационарной задачи о деформации упругого троса с распределенными вдоль него внешними нагрузками, носящими сингуляр-

ный характер и находящегося в упругой сингулярной среде, также ее численная реализация методом конечных элементов.

В различных задачах строительной механики появляются механические системы из различных тросов с их точечным упругим закреплением и нагрузкой, распределенной вдоль их длины и имеющей сингулярный характер. Примерами таких механических систем могут служить электропровода между опорами линий электропередач, тросы канатных мостов. Весьма часто характер упругого закрепления, а также распределение сингулярной нагрузки, приводят к деформации (удлинению) тросов, превышающей критические значения, что в конечном итоге, может привести к обрыву троса. Катастрофы последних лет в России и за рубежом говорят об актуальности данной проблемы.

Автором рассматривается математическая модель упругого троса, который в точках $x_i^{(1)}, i = \overline{1, N}$ испытывает реакцию упругого закрепления (например, в местах соединения с балками), а в точках $x_j^{(2)}, j = \overline{1, M}$ располагается нагрузка, носящая в большинстве случаев сингулярный характер. В роли такой нагрузки могут выступать сосульки, некоторые посторонние предметы, располагающиеся, например на кровле, которую поддерживает система тросов.

Пусть $u(x)$ – финитная функция класса $W_1^2[0, l]$ [1], которая описывает смещение (деформацию) троса в поперечном направлении. Тогда имеет место интегральное тождество, являющееся обобщенной постановкой данной задачи:

$$\int_0^l k(x) \frac{du}{dx} \frac{dv}{dx} dx + \int_0^l \sum_{i=1}^N \delta(x - x_i^{(1)}) q(x) u(x) v(x) dx = \int_0^l \sum_{j=1}^M \delta(x - x_j^{(2)}) g_j v(x) dx, \quad (1)$$

где $v(x)$ – функция из пространства основных функций [2]; $k(x)$ – коэффициент упругости троса; $q(x)$ – функция, описывающая упругую реакцию среды, окружающей трос; $\sum_{j=1}^M g_j \delta(x - x_j^{(2)})$ – обобщенная функция, задающая сингулярную нагрузку на трос (g_j – числа, $j = 1, 2, \dots, M$). Заметим, что возможна вероятностная (стохастическая) постановка задачи, в которой функция $g_j(x)$ случайная величина.

Предполагается, что концы троса длиной l жестко закреплены:

$$u(0) = v(l) = 0. \quad (2)$$

Уравнение (1) эквивалентно следующему:

$$\int_0^l k(x) \frac{du}{dx} \frac{dv}{dx} dx + \sum_{i=1}^N q(x_i^{(1)}) u(x_i^{(1)}) v(x_i^{(1)}) = \sum_{j=1}^M f(x_j^{(2)}) v(x_j^{(2)}). \quad (3)$$

Условие безопасной эксплуатации троса можно сформулировать в виде неравенства: $\int_0^l \sqrt{1 + (U')^2} dx / l \leq p$, где параметр p определяется специалистами в области прочности стальных конструкций.

Численная реализация обобщенной постановки задачи (2) – (3) рассматривается методом конечных элементов [2].

Минимальное количество узлов сетки (расположение минимального возможного набора конечных элементов) определяется объединением множества узлов $\omega_h \equiv \{x_i^{(1)}\}_{i=1}^N \cup \{x_j^{(2)}\}_{j=1}^M$.

Доказывается сходимость метода конечных элементов со скоростью $O(h)$, где h – максимальное расстояние между соседними узлами сетки ω_h , при некоторых ограничениях на гладкость входных данных.

Литература

1. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1988. – 512 с.
2. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики, 2-е изд. – М.: Научный мир, 2003. – 316 с.

УДК 624.131

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ В КРАЕВОЙ ЗОНЕ НАГРУЗКИ

В.В. Ревенко, А.П. Савин

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Изложена практическая методика применения дискретно – континуальной модели грунтового основания. Рассмотрен пример эволюционной нелинейной задачи при разрушении основания в краевой зоне нагружения.

Для моделирования процесса разрушения грунтового основания применена дискретно-континуальная модель (ДКМ) [1, 2], в основу которой положено использование дискретной среды для воспроизведения реального процесса разрушения основания. Математическая сторона ДКМ основана на методе граничных элементов в форме разрывных смещений [3].

Построение разрезов (граничных элементов скольжения), имитирующих разрушение грунта, выполняется по ранее предложенной методике [1] со следующими практическими дополнениями:

1. Процесс разрушения грунта отслеживается с момента зарождения потенциальной области разрушения, что позволяет охватить весь диапазон нагружения;

2. Выставляемые разрезы должны быть эквивалентны площадкам скольжения в условиях предельного равновесия на изолинии $\Theta = \varphi$ (где Θ – угол отклонения огибающей кругов Мора, φ – угол внутреннего трения грунта). Этим сохраняется преемственность развития изолинии предельного равновесия;

3. Выставление разрезов на каждом шаге нагружения осуществляется в соответствии с конфигурацией изолинии $\Theta = \varphi$ и ее диапазона $\pm \Delta\varphi$. Этот прием отражает вероятностную природу возникновения скольжения гранул грунта;

4. Использование фиксированных величин шага нагружения и длин разрезов, что унифицирует процесс последовательного нагружения и выставления разрезов.

В качестве примера применения ДКМ рассмотрим нагружение песчаного основания равномерной полосовой нагрузкой шириной $b = 0,5$ м со следующими физико-механическими характеристиками: удельный вес грунта $\gamma = 17,2$ кН/м³, модуль деформации $E = 40000$ кПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,25$, угол внутреннего трения $\varphi = 38^\circ$, сцепление $c = 2$ кПа.

Задача моделируется погружением системы в неограниченное упругое пространство с представлением поверхности основания длиной 10,5 м граничными элементами разрывных смещений (рис. 1).

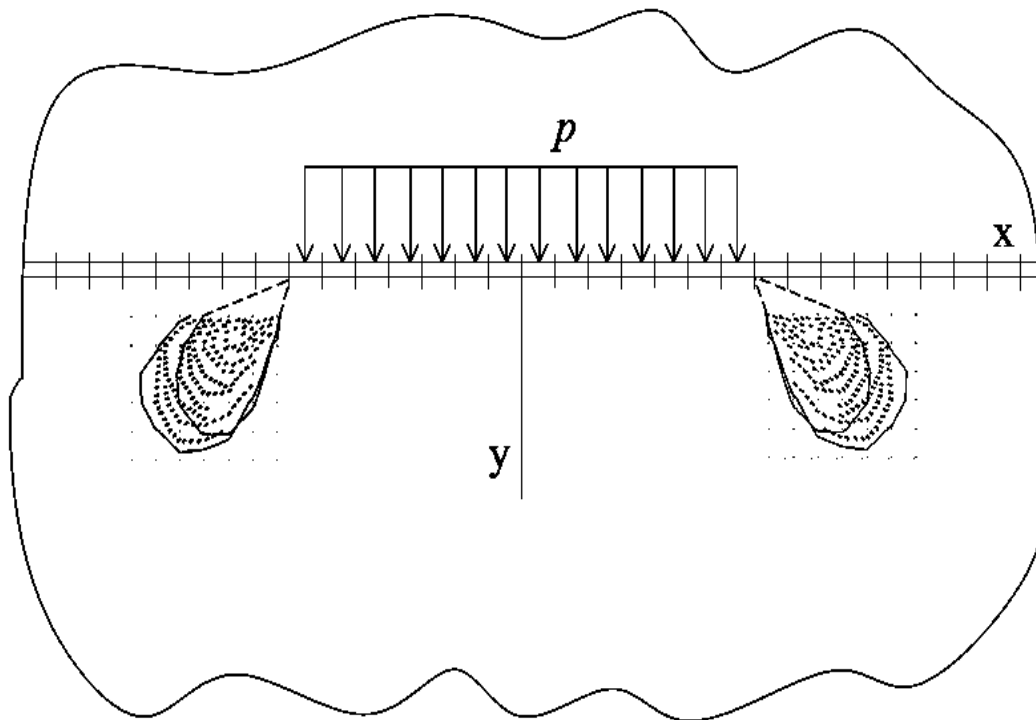


Рис. 1. Постановка задачи и области разрушения основания

Для данного вида нагружения определяем нагрузку p_0 начала зарождения предельного состояния по формуле Н.П. Пузыревского [4]

$$p = \frac{\pi(\gamma y + c \operatorname{ctg} \varphi)}{\operatorname{ctg} \varphi - \pi/2 + \varphi},$$

при $y = 0$: $p_0 = 21,5$ кПа.

В качестве границы диапазона изменения величины нагружения прием нагрузку, при которой область предельного равновесия достигает глубины $y = 0,25b = 0,125$ м.

При такой глубине, как следует из многочисленных наблюдений за осадками S построенных сооружений, зависимость $S = f(p)$ все еще оказывается достаточно близкой к линейной. Эта нагрузка по формуле Пузыревского составляет $p_{0,25b} = 39,6$ кПа.

Решение данной эволюционной задачи выполнялось пошагово по программе DCM [5]. Начало нагружения $p_1 = 23,6$ кПа, с шагом 1 кПа до $p_{17} = 39,6$ кПа при длине разрезов (граничных элементов скольжения) – 0,002 м, количество граничных элементов под нагрузкой – 10, вне нагрузки – 400. Параметры жесткости материала заполнителя разрезов – 10^8 кПа/м. По программе DCM выставлялись разрезы на каждом шаге нагружения в графическом виде с определением их ориентации и действующих на них предельных напряжений непосредственно в процессе вычисления. При достижении последнего шага нагружения общее количество граничных элементов (элементов разрывных смещений для поверхности основания и элементов скольжения для разрезов) составило 1658, что соответствует 3316 уравнениям.

На разрезах внутри области разрушения реализовывалось скольжение в соответствии с законом Кулона – Мора, что приводит к нелинейному решению задачи.

В качестве результатов расчета рассмотрим полученную реальную область разрушения и вертикальное перемещение (осадку) основания под центром нагрузки (рис. 2).

На рис. 2 показаны две области, ограниченные изолиниями $\Theta = \varphi$. Область для случая без разрезов указана внутренней изолинией, для случая с разрезами – внешней изолинией.

Из сравнения этих двух изолиний следует, что реальная область разрушения (с системой разрезов) смещена вниз – в сторону по отношению к потенциальной области разрушения (полученной аналитически по теории упругости).

Осадка основания по ДКМ под центром нагрузки при $p_{0,25b} = 39,6$ кПа составила $S = 0,0014$ м. По формуле же для осадки линейно деформируемого

полупространства [4] $S = \frac{pb\omega}{E}(1 - \mu^2)$ для прямоугольной формы загружен-

ной площади (при отношении сторон $\alpha = 10$, $\omega = 2,53$) для нагрузки 39,6 кПа имеем $S = 0,0012$ м. Таким образом, сравниваемые осадки практически совпадают, что указывает на незначительное влияние наличия разрезов на осадку при нагрузке $p_{0,25b}$.

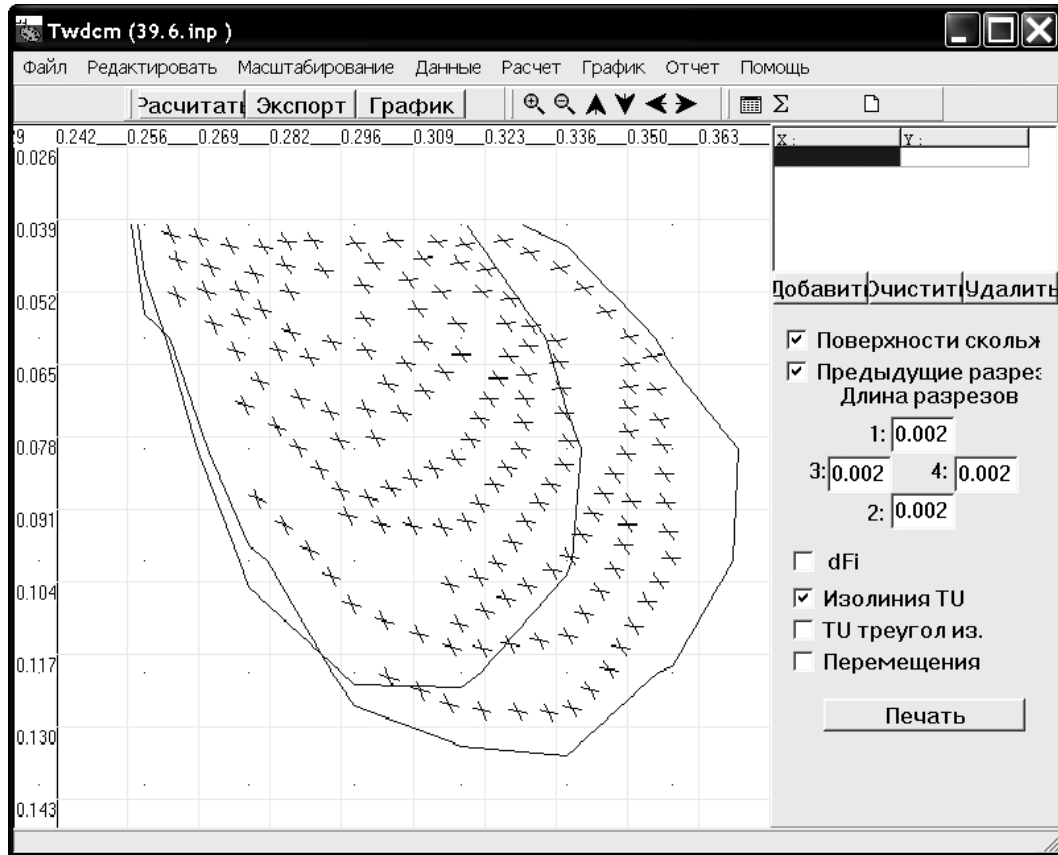


Рис. 2. Потенциальная (внутренняя) и реальная (внешняя) области разрушения под краем нагрузки с экрана монитора

Полученные результаты в целом соответствуют опытным данным о достаточно линейном характере зависимости $S = f(p)$ при развитии реальных областей разрушения до глубины $0,25b$. Наличие системы скользящих разрезов оказывает влияние, главным образом, на напряженное состояние – смещение областей разрушения в сторону от нагрузки. При последующем нагружении основания эффективность использования дискретно-континуальной модели будет возрастать ввиду большего развития реальных областей разрушения и их влияния на напряженно-деформированное состояние основания.

Литература

1. Ревенко В.В. Методика формирования эволюционной системы разрезов для дискретно – континуальной модели грунтового основания // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Спец. вып. «Математическое моделирование и компьютерные технологии». Техн. науки., 2004. – С. 112-114.

2. Ревенко В. В. Принципы моделирования грунтового основания в виде дискретно-континуальной среды с применением МГЭ: Тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. «Строительство 97» / РГСУ. – Ростов-н/Д, 1997. – С. 65.
3. Крауч С., Старфилд А. Методы граничных элементов в механике твердого тела. – М.: Мир, 1987. – 328 с.
4. Березанцев В.Г. Расчет оснований сооружений. СИ. – Ленинград, 1970. – 208 с.
5. Ревенко В.В., Савин А.П. Разработка программы ПЭВМ расчета грунтового основания по дискретно – континуальной модели // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Спец. вып. «Актуальные проблемы строительства и архитектуры». Техн. науки, 2005. – С. 118-123.

346430, г. Новочеркасск Ростовской области, ул. Пушкинская, 68, кв. 21,
т. 4-18-05, Ревенко В.В.,

346800, г. Каменск – Шахтинский Ростовской области, ул. Щаденко, 80 кв.,
т. 7-28-20, Савин А. П.
e-mail: ArtemPetrovi4@mail.ru

УДК 669:541.123.2

СИСТЕМА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ СИСТЕМЫ «ШЛАКОВЫЕ РАСПЛАВЫ»

С.А. Тетерин, В.И. Воронов

Курганский государственный университет,

Л.И. Воронова

Российский государственный гуманитарный университет, Москва

Описана система математических моделей, реализованных в программном комплексе «Шлаковые расплавы». Комплекс разработан для прогнозирования свойств многокомпонентных оксидных расплавов в режиме удаленного доступа.

Одним из приоритетных направлений в физической химии и технологии неорганических материалов является создание новых металлических материалов с заранее заданными свойствами. В рамках этого направления широкое развитие получил компьютерный эксперимент.

Для математического моделирования свойств и структуры сильно-взаимодействующих оксидных расплавов большой размерности (10^5 частиц) разработана информационно-исследовательская система (ИИС) «Шлаковые расплавы» с удаленным доступом [1], которая позволяет определить целый комплекс свойств многокомпонентного оксидного расплава. Это энергетические, структурные, термодинамические, спектральные, транспортные характеристики, взаимные корреляции свойств, при варьировании условий (состав, давление, температура, внешние силы).

Система классов математических моделей ИИС «Шлаковые расплавы» представлена ниже:

1. Модели межчастичного взаимодействия в оксидном расплаве.
2. Молекулярно-динамическая модель.
3. Модели структуры расплава.
4. Модели физико-химических свойств.

Модели межчастичного взаимодействия представляют собой математическое описание взаимодействия частиц в расплаве. В этот класс входят: квантово-химическая модель, ионная модель, ионно-ковалентная модель элементарного структурного комплекса, ионно-ковалентная модель с учетом ближайшего окружения. Для описания взаимодействия между частицами используется суперпозиционная потенциальная функция, которая строится с разными уровнями детализации.

Кластерная квантово-химическая модель (КХМ) – обеспечивает расчет базовых данных для построения потенциальных функций, с помощью полуэмпирического квантово-химического метода MNDO (Modified Neglect of Diatomic Differential Overlap). Описание потенциальных функций основано на использовании двухцентровых энергий, предварительно рассчитанных методом MNDO для атомов, входящих в представительные кластеры (полианионные комплексы, правильно передающие свойства, характерные для изучаемой системы в целом), с учетом разнообразных пространственных расположений атомов в кластере, в которых разорванные граничные связи замыкают «псевдоатомы» или атомы водорода [2].

Ионная модель (ИМ) позволяет строить потенциальные функции для системы ионов. Включает модель ближкодействующего отталкивания и модель дальнодействия, которая описывает дальнодействующий ионный вклад, вычисляемый с помощью метода Эвальда или быстрого мультипольного метода.

Ионно-ковалентная модель – расширение ионной модели на основе полимерной теории шлаков. Данная модель применима для систем, характеризующихся наличием устойчивых элементарных структурных группировок (ЭСГ), существующих в расплаве за счет связей с высокой долей ковалентности и имеющих большое время жизни. Элементарными структурными единицами оксидных расплавов являются анионы SiO_4^{4-} , VO_3^{3-} , AlO_3^{3-} . При температурах стеклования из них формируется сетка. При повышении температуры и/или добавлении оксида-модификатора, например оксида кальция, происходит разрушение сетки и образуются анионные группировки разной степени сложности, связанные друг с другом через атомы кислорода. Это ведет к изменению степени полимеризации системы, что радикально сказывается на ее физико-химических свойствах. В данной модели учитывается влияние элементарных структурных группировок на свойства системы путем расчета двух- и трехчастичного ковалентного взаимодействия в ЭСГ, трехчастичного ковалентного взаимодействия мостиковой связи.

Ионно-ковалентная модель с учетом окружения – добавляет в ионно-ковалентную модель учет влияния окружения на потенциальную функцию в элементарных структурных группировках со стороны ближайших соседей за пределами ЭСГ.

Молекулярно-динамическая модель – объединяет комплекс моделей, описывает динамику системы частиц. Базируется на численном интегрировании уравнений движения Ньютона для системы N частиц, описываемых с помощью ряда атрибутов. Макроскопические свойства системы рассчитываются усреднением соответствующих траекторий динамических переменных вдоль отрезков фазовых траекторий, полученных с помощью численного интегрирования. Содержит модели начальных и периодических граничных условий, дискретизации дифференциальных уравнений движения, фаз эксперимента.

Модель структуры расплава – позволяет проводить исследование оксидных расплавов с точки зрения корреляций структура – свойство: определять параметры структурообразования, особенности ближней и протяженной структуры, выделять характерные структурные элементы, изучать процессы полимеризации/деполимеризации при смешении атомов-сеткообразователей и атомов – модификаторов.

Модели физико-химических свойств – этот класс моделей описывает разнообразные макроскопические характеристики системы путем статистической обработки микрохарактеристик системы. Позволяют рассчитывать энергетику системы, термодинамические и транспортные свойства, спектральные характеристики, процессы полимеризации/ деполимеризации в системе, при изменении температуры и состава.

Модель энергетических параметров – описывает энергетические характеристики частиц, объединений частиц, системы в целом.

Модель термодинамических свойств расплава – использует несколько методов для расчета термодинамических свойств: флуктуации энергетических параметров, метод микроканонического ансамбля, подход полимерной теории.

Модель транспортных свойств – позволяет получить ряд кинетических коэффициентов переноса частиц, на основе метода автокорреляционных функций (АКФ).

Модель спектральных характеристик – позволяет определить плотность распределения колебательных состояний и инфракрасные спектры поглощения, на основе метода Фурье-преобразований АКФ.

Модель процесса полимеризации – использует аппарат функций распределения полианионных комплексов по ряду характеристических параметров (ФРК). Позволяет оценить зависимость полимеризованности системы от температуры.

Описанные выше модели, реализованные в ИИС «Шлаковые расплавы», обеспечивают комплексное моделирование практически важных

свойств и расширяют возможности компьютерного эксперимента в физической химии.

Литература

1. Воронова Л.И., Воронов В.И., Рыжов Н.А. Информационно-исследовательская система «SLAG MELT»: Сб. трудов IV Междунар. конф. «Компьютерное моделирование–2003». – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – С. 264-267.
2. Воронова Л.И., Трофимова Л.А. О возможностях параметризации потенциальных функций на основе MNDO-данных // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. – 2004. – № 4. – С. 55-65. http://www.sci.urf.ac.ru/news/2004_4.

УДК 546.64

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКВАИОНА $Y(3+)$ МЕТОДАМИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ

И.В. Сухно, В.Ю. Бузько, Д.В. Кашаев, Е.А. Куцова, С.А. Агаджанова

Кубанский государственный университет

Методом DFT (Gaussian-03) рассчитаны структурные характеристики акваиона иттрия $Y(H_2O)_8^{3+}$. Отмечено, что гибридные нелокальные GGA-функционалы обладают меньшей предсказательностью при расчете структурных характеристик акваиона $Y(H_2O)_8^{3+}$ по сравнению с функционалом BHandH и простейшим функционалом SVWN5 теории LSDA.

С использованием функционалов плотности SVWN5, B3LYP, B3P86, O3LYP, B3PW91, B1LYP, B971, MPW1PW9, PBE1PBE, BHandH и BHandHLYP рассчитаны структурные характеристики акваиона иттрия $Y(H_2O)_8^{3+}$: общая энергия связывания молекул воды, длина связи Y-O, среднее расстояние O-H и угол HOH для молекул воды в первой координационной сфере акваиона. Для атома иттрия был использован дубль-зета базисный набор в эффективном остоном потенциале LANL2DZ, состоящем из двух наборов 5s-, 5p-, и 4d-функций, одного набора 4s- и 4p-функций для валентных электронов и релятивистского псевдопотенциала для остовных электронов. Для атомов O и H был использован дубль-зета базисный набор D95** с двумя поляризационными экспонентами для p- и d-орбиталей.

Анализ результатов расчетов позволил сделать вывод, что функционалы SVWN5, BHandH, B3P86 и PBE1PBE дают наиболее близкие к экспериментальным расстояния Y-O. Функционалы SVWN5 и BHandH дают лучшие структурные характеристики для акваиона $Y(H_2O)_8^{3+}$, чем функционалы первого (B3LYP, B3PW91) и второго (O3LYP, B971, MPW1PW91, PBE1PBE) поколения.

350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, т. (861) 219-95-74,

e-mail: sukhno@chem.kubsu.ru, Internet: <http://public.kubsu.ru/sukhno>

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Тинякова В.И. Об одном подходе к построению адаптивно-рациональной прогнозной траектории	4
Стоянова О.В., Горбунов В.Г. Экономико-математическое моделирование как инструмент стратегического анализа	6
Кедрин В.С., Сальникова М.К. Моделирование движения временных рядов для прогнозирования макроэкономических показателей	8
Нагин А.А. Прогнозная модель с двухуровневой структурой адаптивного механизма и сенсорным регулятором	12
Зайцев Р.Г., Агаев Ю.В. Математические модели систем поддержки принятия решений на основе методов многомерного статистического анализа	15
Портнов К.В. Анализ системного подхода к исследованию задачи распределения инвестиционных ресурсов	17
Зорин М.В. Оценка момента разладки частично-наблюдаемого процесса	20
Васильева Т.А. Структурирование и распределение функций маркетинга и их представление на сайте предприятия	23
Башарина О.Ю., Ларина А.В., Суханова Н.Г., Феоктистов А.Г. Моделирование торгово-складского комплекса в распределенной вычислительной среде	28
Гуфан К.Ю., Иванов М.П. Математические модели в методах защиты электронных торговых операций	32
Жизнякова А.Л. Моделирование и анализ динамики численности безработных в малых городах России с применением метода «CENSUS I»	34
Карасев Е.Н. Модель принятия оптимальных решений для бизнес-планирования предприятий технического сервиса	37
Бояринов Ю.Г. Особенности промышленного предприятия как объекта моделирования и управления	39
Зайцев Р.Г., Мальцев И.В. Распределенная система сбора и обработки показателей деятельности подразделений образовательных учреждений	41
Кравченко Н.И. Обобщение модели оптимизации стратегии расширения платных образовательных услуг вуза	43
Балько П.А. Оптимизация алгоритма управления тренировочным процессом в подготовительном и соревновательном периодах в пауэрлифтинге	46
Балько П.А. Параметры тренировочного процесса в пауэрлифтинге	49
Брумштейн Ю.М., Сизов А.М., Тюнина А.С. Об одном подходе к информационной модели специалиста-проектировщика	51

Воронцов Г.В. Математическое моделирование нелинейно деформируемых конструкций, подверженных действию детерминированных и случайных нагрузок	53
Поляков С.В. Вывод уравнений статики прямого каната с учетом различия геометрических параметров и механических свойств проволок методом конечных приращений	56
Проценко Е.А. Постановка задачи о сингулярном тросе и ее численная реализация методом конечных элементов	61
Ревенко В.В., Савин А.П. Моделирование процесса разрушения грунтового основания в краевой зоне нагрузки	63
Тетерин С.А., Воронов В.И., Воронова Л.И. Система математических моделей информационно-исследовательской системы «Шлаковые расплавы»	67
Сухно И.В., Бузько В.Ю., Кашаев Д.В., Куцова Е.А., Агаджанова С.А. Моделирование структурных характеристик акваиона Y(3+) методами функционала плотности	70

Научное издание

Моделирование. Теория, методы и средства

Материалы VI Международной научно-практической конференции
Часть 3

Редактор А.С. Лобова
Компьютерная верстка М.К. Востокова

Подписано в печать 15.05.2006 г.
Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. 4,56. Тираж 100 экз. Заказ 47-3894.

Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)
Центр оперативной полиграфии ЮРГТУ (НПИ)

Адрес университета и центра оперативной полиграфии:
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел. 55-222

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ. ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

*Материалы
VI Международной научно-практической
конференции*

*7 апреля 2006 года
г. Новочеркасск*

Часть 4

Новочеркасск
ЮРГТУ
2006

УДК 519.688
ББК 22.18 в6
М 74

Организаторы конференции:

Федеральное агентство по образованию;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет.

Оргкомитет конференции:

Н.И. Горбатенко (РФ), профессор – председатель;
Ю.А. Бахвалов (РФ), профессор;
Г. Вурмус (ФРГ), профессор;
Г. Йегер (ФРГ), профессор;
Е. Калленбах (ФРГ), профессор;
М.В. Ланкин (РФ), доцент – зам. председателя;
Н.Ф. Никитенко (РФ), профессор;
А.В. Павленко (РФ), профессор;
В.А. Плаксин (РФ), доцент;
В.Н. Чернов (РФ), профессор.

Редакционная коллегия:

Н.И. Горбатенко, д-р техн. наук, профессор – ответственный редактор;
М.В. Ланкин, канд. техн. наук, доцент – зам. ответственного редактора;
В.А. Плаксин, канд. техн. наук, доцент

М 74 Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы VI Международ. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 7 апр. 2006 г.: В 5 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. – Ч. 4. – 78 с.

ISBN 5-88998-671-6

Сборник содержит материалы по нескольким научным направлениям. В четвертую часть вошли публикации о математических моделях в медицине, биологии и экологии; математических моделях в геологоразведочной и горнодобывающей отраслях; математическом моделировании технологических процессов; а также освещены учебно-методические вопросы преподавания основ моделирования в учебном процессе.

УДК 519.688
ББК 22.18 В6

ISBN 5-88998-671-6

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2006
© Авторы, 2006

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) – крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные научно-технические контакты, – выступил инициатором проведения ряда Международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе Internet.

В апреле 2006 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила VI Международная научно-практическая конференция «Моделирование. Теория, методы и средства». В работе конференции приняли участие ученые и специалисты – представители высших учебных заведений, НИИ, научно-производственных предприятий Москвы, Липецка, Алматы (Казахстан), Архангельска, Санкт-Петербурга, Смоленска, Орла, Краснодара, Ростова-на-Дону, Таганрога, Ставрополя, Тамбова, Воронежа, Волгограда, Астрахани, Казани, Йошкар-Олы, Ульяновска, Самары, Челябинска, Владимира, Муром, Перми, Томска, Северска, Кургана, Омска, Иркутска, Хабаровска, Новочеркаска, Шахты.

На конференцию представлено 102 доклада, которые вошли в сборник, состоящий из пяти частей, в соответствии с научными направлениями.

В первой части рассматриваются общие вопросы моделирования процессов, устройств и явлений; математические модели в теплотехнике и гидравлике.

Во второй части рассмотрены вопросы математических моделей в электротехнике и магнитной гидродинамике; математических моделей в энергетике и электромашиностроении.

В третью часть вошли доклады о математическом моделировании социальных и экономических процессов; математических моделях в строительстве; математических моделях в химии и металлургии.

В четвертую часть вошли публикации о математических моделях в медицине, биологии и экологии; математических моделях в геологоразведочной и горнодобывающей отраслях; математическом моделировании технологических процессов; а также освещены учебно-методические вопросы преподавания основ моделирования в учебном процессе.

Пятая часть включает материалы, посвященные математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем; физическому моделированию в науке и технике.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

РАЗЛИЧНЫЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ДИНАМИКИ ВЕСА И МЕТАБОЛИЗМА НАСЕКОМЫХ

Ю.Ж. Мусина

Ульяновский государственный университет

Виды корреляционных связей процессов изменения веса и уровня метаболизма. Линейная, семимартингальная стохастическая и несемимартингальная модели взаимодействия процессов динамики веса и метаболизма высокогорных и низкогорных кузнечиков.

В данной работе представлены различные модели взаимодействия процессов изменения веса и уровня метаболизма насекомых, построенные на основе анализа возможных зависимостей между процессами. В качестве экспериментальных данных используются еженедельные показатели веса и уровня метаболизма каждой отдельно взятой особи в двух различных группах кузнечиков – в группе низкогорных особей «Sacramento» и высокогорных «Leek». Методы анализа данных основаны на рассмотрении квадратичных вариаций.

На основе предложенных моделей были построены имитационные компьютерные модели. Имитационное моделирование позволяет исследовать вероятностные характеристики случайных величин и случайных процессов в случаях, когда аналитический вывод их невозможен. Для биологов имитационное моделирование также предполагает возможность проследить индивидуальные и усредненные онтогенетические явления, изменения и взаимные влияния физиологических и биохимических процессов, динамику развития патологий. Здесь отсутствуют ограничения по диапазонам изменяемых характеристик и уровней воздействий, режимам эксперимента, что дает возможность выбора наиболее интересных условий для последующих реальных экспериментов.

Предложенные модели и построенные на их основе компьютерные имитационные модели соответствуют экспериментальным данным по показателям веса, уровня метаболизма и кривым дожития, квадратичным вариациям, коэффициентам корреляции в обеих экспериментальных группах.

Пусть показатели веса V и уровня метаболизма M представляют собой значения процессов $V = (V_t)_{0 \leq t \leq T}$ и $M = (M_t)_{0 \leq t \leq T}$ соответственно, где T – время наблюдения. Пусть $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_N = T$ – дискретные моменты времени, в которые производятся измерения показателей V_{t_i} , M_{t_i} , $\Delta_i = t_i - t_{i-1}$, где $i = 1, \dots, N$. Вводим $x_i = V_{t_i} - V_{t_{i-1}}$ и $y_i = M_{t_i} - M_{t_{i-1}}$, где $i = 1, \dots, N$ – приращения процессов, которые рассматриваются на каждом временном

интервале Δ_i . Для получения более точных расчетов для траекторий изменения показателей веса и метаболизма каждой k -й особи строятся линейные тренды $u_k^{(V)}(z_k^{(V)}) = a_k^{(V)} - z_k^{(V)}b_k^{(V)}$ и $u_k^{(M)}(z_k^{(M)}) = a_k^{(M)} - z_k^{(M)}b_k^{(M)}$ для показателей веса и метаболизма соответственно, где $a_k^{(V)}$ и $a_k^{(M)}$ – коэффициенты смещения прямой тренда относительно оси абсцисс, а $b_k^{(V)}$ и $b_k^{(M)}$ – коэффициенты угла наклона прямой тренда. Далее вместо приращений x_i и y_i рассматриваем величины: $\tilde{x}_i = x_i - b_k^{(V)}$ и $\tilde{y}_i = y_i - b_k^{(M)}$, где $i = 1, \dots, N$. Степень согласованности поведения рассматриваемых процессов можно определить коэффициентом

$$\rho(\tilde{x}, \tilde{y}) = \sum_{i=1}^N \tilde{x}_i \tilde{y}_i / \sqrt{\sum_{i=1}^N (\tilde{x}_i)^2 \sum_{i=1}^N (\tilde{y}_i)^2},$$

который не является коэффициентом корреляции в обычном понимании, но близок к нему по смыслу и конструкции. Было получено, что в группе «Leek» $\rho(\tilde{x}, \tilde{y}) \approx 0,365$ и в группе «Sacramento» $\rho(\tilde{x}, \tilde{y}) \approx 0,275$.

Основываясь на эмпирических данных и результатах, полученных при статистической обработке данных, предлагаем три различных математических модели взаимодействия процессов динамики веса и уровня метаболизма живых организмов.

1. Простая линейная модель

$$X_t = X_0 + \alpha t + \sigma_1 W_t^1 + \sigma_2 W_t^2, \quad Y_t = Y_0 + \beta t + \zeta_1 W_t^1 + \zeta_2 W_t^3,$$

где W_t^1, W_t^2, W_t^3 – независимые стандартные винеровские процессы. Тогда $\sigma_1 \zeta_1 t \approx \sum_i (\Delta \bar{x}_i - \alpha \Delta)(\Delta \bar{y}_i - \beta \Delta)$, $[X, X] \approx \sigma_1^2 t + \sigma_2^2 t$ и $[Y, Y] \approx \zeta_1^2 t + \zeta_2^2 t$.

Пусть ψ и θ независимые нормально распределенные случайные величины, тогда $X = \sigma_1 \psi + \sigma_2 \theta$ и $Y = \zeta_1 \psi + \zeta_2 \theta$. Кроме этого, $DX = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$, $DY = \zeta_1^2 + \zeta_2^2$, и $\text{cov}(X, Y) = \sigma_1 \zeta_1 + \sigma_2 \zeta_2$. Используя полученные при обработке статистических данных результаты, значения коэффициентов корреляции, дисперсий и квадратичных вариаций, находим значения коэффициентов $\sigma_1, \sigma_2, \zeta_1, \zeta_2$. Полагаем $\sigma_2 = 0$, тогда для группы «Leek» получаем:

$$X_t = X_0 + \alpha t + 0,12 \cdot W_t^1, \quad Y_t = Y_0 + \beta t - 0,2 \cdot W_t^1 + 0,7 \cdot W_t^3.$$

Аналогично для группы «Sacramento»:

$$X_t = X_0 + \alpha t + 0,15 W_t^1, \quad Y_t = Y_0 + \beta t - 0,29 \cdot W_t^1 + 0,75 W_t^3.$$

2. Семимартингальная стохастическая модель

Вес каждой особи изменяется в соответствии со следующим стохастическим уравнением:

$$dG_t = (\delta - G_t) \{ \kappa dt + \alpha dW_t^{(1)} \},$$

с начальным весом особи (весом при рождении) $G_0 = (\bar{G}_0 + g\xi)^+$.

Пусть μ_t – метаболически обусловленный уровень мощности, которую организм способен производить в момент времени t , с $\mu_0 = (\bar{\mu}_0 + m\eta)^+$ и $d\mu_t = \mu_t \{ -\rho \cdot p_t dt + \beta dW_t^{(2)} \}$.

Мощность (уровень метаболизма), которую организму необходимо затратить в момент времени t для обеспечения жизнедеятельности, обозначим p_t : $dp_t = \lambda(\bar{p} - p_t)dt + \gamma dW_t^{(3)}$, с $p_0 = (\bar{p}_0 + p\psi)^+$.

Здесь ξ, η, ψ – независимые стандартные нормально распределенные случайные величины; $\bar{G}_0, \bar{\mu}_0, \bar{p}_0$ – средние начальные значения. Величины $g \cdot \xi, m \cdot \eta$ и $p \cdot \psi$ определяют разброс относительно средних начальных значений; $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \rho, \lambda$ – константы.

Момент гибели организма определяется как $\tau = \min(\tau_1, \tau_2)$. Здесь

$$\tau_1 = \inf(t : t > 0, p_t \geq v_t),$$

где $v_t = G_t \mu_t$ – момент гибели, когда необходимая затрата энергии превышает возможную. А $\tau_2 = -T \ln(\theta)$ момент смерти организма спровоцированная давлением внешней среды, где θ равномерно распределенная на интервале $(0,1)$ случайная величина.

3. Несемимартингальная модель

В случае несемимартингальной модели для группы «Leek» получили в качестве приближенной модели $x_t = W_t - 0,28 \cdot W_{t-1}$. Заметим, что по определению семимартингала процесс x_t не является семимартингалом (т.к. при вычитании из x_t мартингала всегда будет оставаться неограниченная вариация $(-0,28 \cdot W_{t-1})$). Следует отметить, что несемимартингальная модель более точно описывает процессы изменения веса и уровня метаболизма. Описывать рассматриваемые биологические процессы возможно только выходя за рамки дискретности, не используя семимартингальные модели.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 06-01-00338. Автор выражает благодарность проф. А.А. Бутову за внимание к работе.

432970, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, 42, механико-математический факультет, т. (8422) 32-92-25, 89278153803, e-mail: musina@yandex.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМПРОМИССА МЕЖДУ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬЮ ЖИЗНИ И ВРЕМЕНЕМ СПАРЕННОГО СОСТОЯНИЯ ФРУКТОВЫХ МУХ

В.Г. Бурмистрова, А.А. Бутов, М.А. Волков

Ульяновский государственный университет

Рассматривается анализ изменений в кривых дожития при различных режимах спаривания мушек, самцов с самками (Restriction in mating). Исследование подтверждает компромисс между средней продолжительностью жизни и средним временем проведения самцов с самками.

Анализ изменений в кривых дожития проводился во многих работах. Данная работа основана на экспериментальных данных J. Carey, которые отражают следующие режимы спаривания мушек: virgin males; самцов спаривают с самками с периода полового созревания (females kept with one male from the beginning of adulthood (early mated)); самцов спаривают с самками в моменты, когда им 20 дней отроду и 40 дней (females mated when they were 20-d old and 40-d old, held either with the male with which they had been mated). Изучение мушек проводилось в лаборатории при $25 \pm 2^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\%$ R.H и 14:10 (L:D), с питанием standard mixture of yeast hydrolysate, сахар и вода. Первые мушки собирались на фруктовых полях. Мушки из группы virgin females держались в индивидуальных ячейках. Эти эксперименты детально описаны Carey et al., 1998.

Средняя продолжительность жизни в группах virgin males и самцов, спаренных с самками с периода полового созревания, выше, чем в двух других группах. Не в лабораторных условиях выбор между продолжительностью жизни и наибольшим промежутком времени в спаренном состоянии может быть вызван эволюционным отбором. Предполагается, что существует компромисс между продолжительностью жизни и промежутком времени спаривания. На основе этой гипотезы была построена математическая модель с целевой функцией.

Предполагается, что τ – продолжительность жизни; T – индивидуальное время в спаренном состоянии. Величины τ и T – случайные, поэтому вводится $\bar{\tau} = E\tau$ и $\bar{T} = ET$ (здесь и далее символ E означает математическое ожидание).

Для эксперимента, рассматриваемого в этой работе, прослеживается функциональная зависимость между $\bar{\tau}$ и $\bar{T}$. График зависимости $\bar{\tau}$ от $\bar{T}$ приведен на рис. 1.

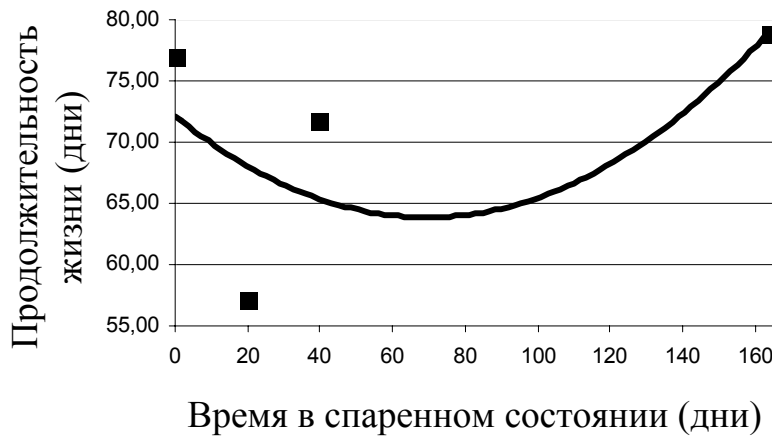


Рис. 1. Функциональная зависимость $\bar{\tau}$ от $\bar{T}$

Пусть $Z=Z(\Phi;\tau)$ – целевая функция, тогда задачей оптимального управления будет: $E Z(\Phi;\tau) \rightarrow \max_U$, где U – некоторое управление. Предполагается, что $U=U(E\Phi;E\tau)$. В связи с выявленной функциональной зависимостью между $\bar{\tau}$ и $\bar{T}$, управление может быть построено в форме $U=U(\bar{T})$, и задача оптимизации принимает вид:

$$E Z(T;\tau) \rightarrow \max_{\bar{T}}.$$

В работе предполагается, что целевая функция имеет вид

$$z(\bar{T}) = \bar{z} + a \bar{T} + b \bar{\tau}(\bar{T}),$$

где a и b – весовые коэффициенты; $\bar{z}$ – некоторая константа, не влияющая на решение задачи оптимизации, не равная нулю и возникающая при нахождении линейного приближения относительно $\bar{T}$ и $\bar{\tau}$.

Предполагается, что «выбор» целевой функции (выбор коэффициентов a и b) осуществляется Природой либо в экспериментах – Экспериментатором. Кривая дожития популяции особей $G(t)$ сформирована из кривых дожития $G^{\bar{T}}(t)$ для каждого отдельного значения $\bar{T}$. Модельная кривая, построенная по такому принципу, будет соответствовать кривой дожития в естественных условиях:

$$G(t) = G(t; a, b) = \int_0^{T^{\max}} G^{\bar{T}}(t) \cdot z(\bar{T}) d\bar{T}$$

с выполненным условием нормировки

$$\int_0^{T^{\max}} z(\bar{T}) d\bar{T} = 1. \quad (1)$$

При выполнении условия (1), получаем:

$$\begin{aligned}
G(t; a, b) = & \frac{1}{T^{\max}} \int_0^{T^{\max}} G^{\bar{T}}(t) d\bar{T} + \\
& + a \left(\int_0^{T^{\max}} G^{\bar{T}}(t) \bar{T} d\bar{T} - \frac{1}{T^{\max}} \int_0^{T^{\max}} G^{\bar{T}}(t) d\bar{T} \int_0^{T^{\max}} \bar{T} d\bar{T} \right) + \\
& + b \left(\int_0^{T^{\max}} G^{\bar{T}}(t) \tau(\bar{T}) d\bar{T} - \frac{1}{T^{\max}} \int_0^{T^{\max}} G^{\bar{T}}(t) d\bar{T} \int_0^{T^{\max}} \tau(\bar{T}) d\bar{T} \right).
\end{aligned}$$

Для идентификации целевой функции необходимо найти только коэффициенты a и b , значение $\bar{z}$ однозначно определяется из условия нормировки. При выборе коэффициентов a и b модельная кривая дожития должна быть близка к кривой дожития контрольной группы. Значения коэффициентов a и b оцениваются методом наименьших квадратов, который реализуется как решение задачи минимизации:

$$\begin{aligned}
\sum_{i \geq 1} \left(G(\tau_i; a, b) - G^{\text{cont}}(\tau_i) \right)^2 & \rightarrow \min_{a, b} \\
\min_{0 \leq \bar{T} \leq T^{\max}} z(\bar{T}) & \geq 0,
\end{aligned}$$

где суммирование производится по всем номерам i -х особей с их экспериментальными продолжительностями жизни τ_i . Контрольной группой в эксперименте является группа, где самки и самцы мушек спаренны с периода полового созревания (females kept with one male from the beginning of adulthood (early mated)), эти условия близки к естественным.

В случае, если одновременно $a > 0$ и $b > 0$, то в ходе эволюционного отбора выигрывают те особи, которые проводят больше времени в спаренном состоянии (слагаемое $\bar{T}$) в течение жизни τ (слагаемое $\bar{\tau}$). Если же $a > 0$ и $b < 0$, то предполагается, что предпочтительнее те особи, которые проводят большее время в спаренном состоянии (слагаемое $\bar{T}$), но меньше живут. Если $a > 0$, а $b = 0$, то предполагается, что в ходе отбора выигрывают те особи, которые проводят больше времени в спаренном состоянии (слагаемое $\bar{T}$), а продолжительность жизни τ (и ее среднее $\bar{\tau}$) для эволюционного отбора безразличны. Если $a < 0$, а $b > 0$, то экспериментально более предпочтительны особи с большей продолжительностью жизни, и, одновременно, с меньшим временем в спаренном состоянии. Если и $a < 0$, и $b < 0$, то Экспериментатор заинтересован в формировании условий спаривания особей, приводящих как к более короткой жизни, так и к меньшему времени спаривания. Когда рассматривается случай $a < 0$, но $b = 0$, то Экспериментатора интересует режим спаривания, приводящий к уменьшению времени спаривания, а

продолжительность жизни безразлична. Случай $a=0$ и $b=0$ представляется для эксперимента вырожденным, а в случае Природы – означает наличие иных факторов, определяющих эволюционный отбор рассматриваемой популяции существеннее, чем средняя продолжительность жизни или время спаривания. По итогам идентификации целевой функции оказалось, что $a=0,3 \cdot 10^{-5}$, $b=0,07 \cdot 10^{-5}$, модельная функция дожития $G(t;a,b)$ (в сравнении с функцией дожития контрольной группы $G^{\text{cont}}(t)$) показана на рис. 2, а целевая функция $z(\bar{T})$ – на рис. 3.

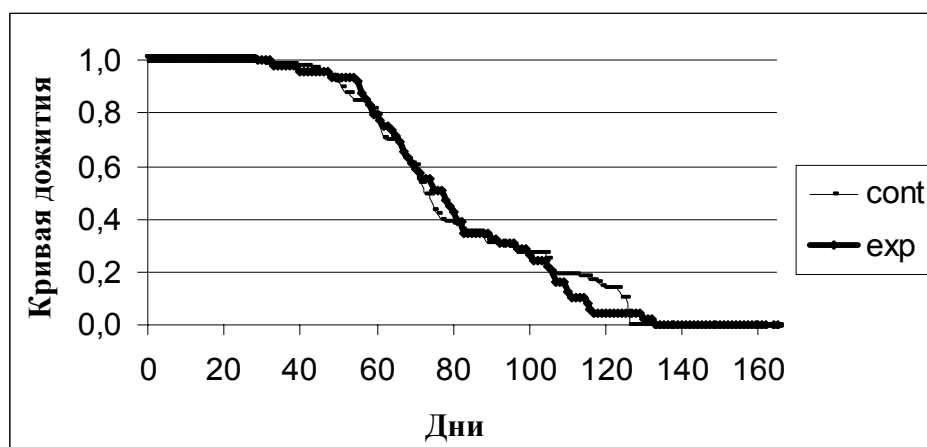


Рис. 2. Модельная $G(t;a,b)$ и контрольная $G^{\text{cont}}(t)$ функции дожития

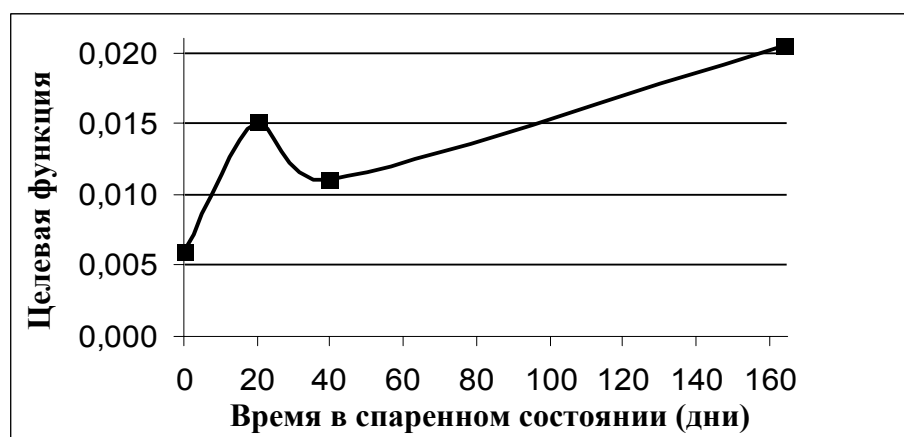


Рис. 3. Целевая функция $z(\bar{T})$

В рассматриваемом эксперименте оказалось, что $a>0$ и $b>0$, это означает, что отбор направлен как на повышение репродукции, так и на увеличение продолжительности жизни.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 06-01-00338-а.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ОДНОРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ДИНАМИКИ ОДНОВИДОВОЙ ПОПУЛЯЦИИ ПЛАНКТОНА

А.Б. Щёкина

Таганрогский государственный радиотехнический университет

Исследуется модель динамики фитопланктонной популяции в однородной среде. Показана возможность существования двух нетривиальных особых точек. Найдены условия, определяющие критические значения параметров. Показана возможность возникновения в системе устойчивого предельного цикла. Проведено численное моделирование.

Введение

Фитопланктон лежит в основании трофической пирамиды водной экосистемы и играет в ней существенную роль. В данной модели учитываются рост, отмирание и размножение клеток фитопланктона. Предполагается, что действует механизм наружно-гормонального регулирования, т.е. в процессе жизнедеятельности популяции выделяется биологически активный метаболит, стимулирующий рост числа особей. Также учитывается влияние солей азота и фосфора на численность популяции и их поступление извне.

Модель динамики фитопланктона в однородной среде получена из пространственной модели, учитывающей, помимо указанных выше факторов, процессы конвекции и микротурбулентной диффузии. Цель данного исследования – обнаружить особые точки и характер фазовых траекторий для модели фитопланктона в однородной среде. Эта информация упростит дальнейшую работу по исследованию динамики фитопланктона, в частности, обнаружение диссипативных структур в пространственной модели.

1. Модель и стационарные точки

Исследуется следующая модель:

$$\dot{X} = (\alpha_0 + \gamma M) S X - \delta X, \quad (1)$$

$$\dot{S} = -(\alpha_0 + \gamma M) S X + \beta(S' - S) + f, \quad (2)$$

$$\dot{M} = k_3 X - \varepsilon M, \quad (3)$$

где $X = X(t)$, $S = S(t)$, $M = M(t)$ – концентрация фитопланктона, биогенного вещества (азот и фосфор), метаболита соответственно; $\alpha = (\alpha_0 + \gamma M)$ – коэффициент роста фитопланктона; α_0 – скорость роста фитопланктона в отсутствие метаболита; γ – параметр воздействия; δ – коэффициент убыли фитопланктона за счет отмирания (удельная смертность); β – удельная скорость поступления питательных веществ; S' – предельно возможная концентрация питательных веществ; f – функция источника загрязнения; k_3 – коэффициент экскреции; ε – коэффициент разложения метаболита.

Тривиальная стационарная точка будет соответствовать вымиранию популяции: $X_0 = 0$, $S_0 = f/\beta + S'$, $M_0 = 0$.

Рассматривается случай $\gamma > 0$, то есть метаболит оказывает стимулирующее воздействие. В этом случае помимо тривиальной будут существовать две стационарные точки.

$$X_1 = (-(a-d) + F)\beta/\delta, \quad S_1 = a-d, \quad M_1 = (-(a-d) + F)/(K\gamma), \quad (4)$$

$$X_2 = (-(a+d) + F)\beta/\delta, \quad S_2 = a+d, \quad M_2 = (-(a+d) + F)/(K\gamma), \quad (5)$$

где $a = 0,5(\alpha_0 K + F)$, $d = 0,5\left|\sqrt{(\alpha_0 K + F)^2 - 4\delta K}\right|$, $K = \varepsilon\delta/(\beta k_3\gamma)$, $F = S' + f/\beta$.

Значения концентраций не могут быть отрицательными. Следовательно, для физической реализуемости точки (4) должно выполняться условие $-(a-d) + F > 0$. Оно выполняется в двух случаях:

$$1) \alpha_0 K - F < 0; \quad (6)$$

$$2) \alpha_0 K - F > 0 \text{ и } \alpha_0 F - \delta > 0. \quad (7)$$

Для стационарной точки (5) должно выполняться условие $-(a+d) + F > 0$. Следовательно

$$\alpha_0 K - F < 0 \text{ и } \alpha_0 F - \delta < 0. \quad (8)$$

При $\gamma > 0$ и $\beta \neq 0$ в первом октанте пространства (X, S, M) могут существовать:

- а) две особые точки (4) и (5), если выполняется условие (8);
- б) одна особая точка (5), если выполняется условие (7) или если выполняется условие (6) при невыполнении (8);
- в) ни одной особой точки – в противном случае.

2. Фазовый портрет вблизи особых точек

Для исследования фазового портрета системы вблизи особых точек использован первый метод Ляпунова. Для этого составлены линейные приближения относительно собственных движений системы (1)-(3) в особых точках (4) и (5). И с помощью критерия Рауса найдены неравенства, из которых можно определить критические значения параметра $\mu = 1/(a \mp d)$.

$$\begin{aligned} &\mu^4 \beta^2 F^2 (\delta + \varepsilon) + \mu^3 F \beta (\varepsilon^2 - \delta \beta) - \mu^2 F^2 \beta \varepsilon / K + \\ &+ \mu F \varepsilon (2\beta - \varepsilon) / K + \varepsilon (\varepsilon - \beta) / K > 0, \end{aligned} \quad (9)$$

$$(\mu - 1/\sqrt{\delta K}) (\mu + 1/\sqrt{\delta K}) (\mu - 1/F) > 0. \quad (10)$$

С учетом введенных обозначений, условия физической реализуемости (6)-(8) стационарных точек (4), (5) принимают вид: $\mu > 1/F$. Неравенство (10) с учетом последнего неравенства выполняется тогда и только тогда, когда $\mu > 1/\sqrt{\delta K}$.

Таким образом, в окрестности стационарной точки (4) могут наблюдаться следующие типы фазовых портретов:

1. Устойчивый узел с тремя действительными отрицательными собственными числами. Неравенство (9) выполняется.
2. Устойчивый фокус с одним отрицательным действительным собственным числом и комплексно-сопряженными собственными числами с отрицательными действительными частями. Неравенство (9) выполняется.
3. Седло-фокус второго рода с отрицательным действительным и комплексно-сопряженными собственными числами с положительными правыми частями. Условие (9) не выполняется.

Если особая точка (5) находится в первом октанте, то в ее окрестности могут наблюдаться два типа фазового портрета при невыполнении неравенств (9) и (10), либо только (10):

- 1) седло-фокус с одним положительным действительным собственным числом и комплексно-сопряженными числами с отрицательной действительной частью;
- 2) неустойчивый узел с одним положительным и двумя отрицательными собственными числами.

3. Результаты численного моделирования

Было проведено численное моделирование системы (1)-(3), которое подтвердило вышеизложенные качественные выводы. Кроме того, численное моделирование показало, что в системе возможно возникновение устойчивого предельного цикла. В частности, при $\alpha_0 = 0,1$, $\gamma = 3$, $\delta = 1$, $\beta = 1/15$, $F = 15$, $k_3 = 0,1$, $\varepsilon = 1$ стационарная точка (5) представляет собой устойчивый фокус и находится вне области физической реализуемости, а стационарная точка (4) (седло-фокус) окружена устойчивым предельным циклом. На рис. 1-4 приведены результаты моделирования системы с указанными значениями параметров.

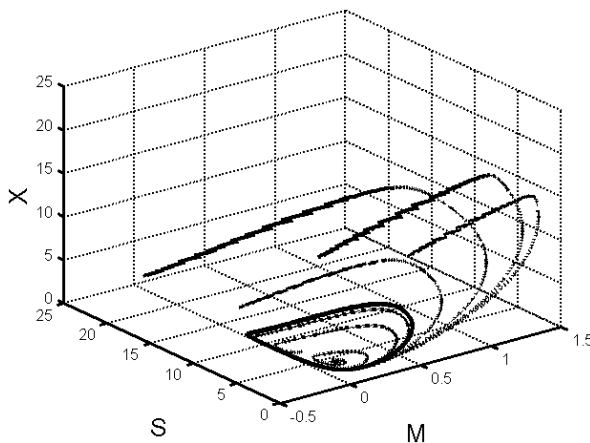


Рис. 1. Фазовые траектории модели

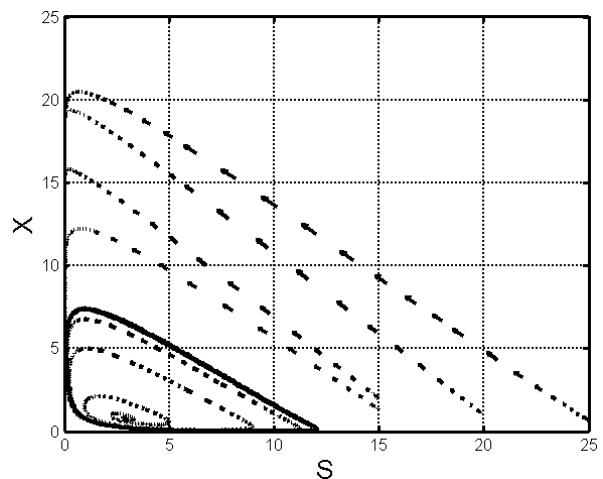


Рис. 2. Проекция фазовых траекторий на плоскость $S-X$

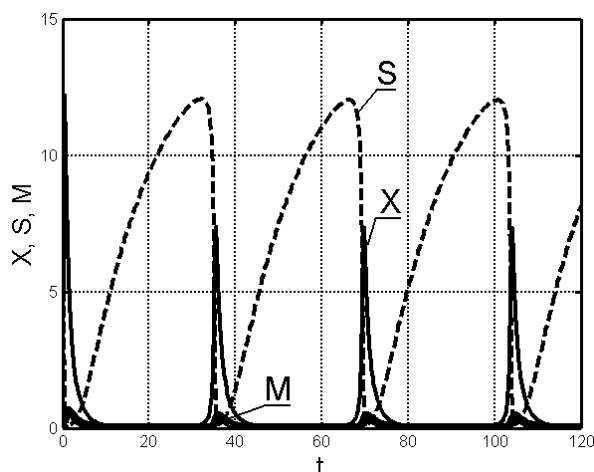


Рис. 3. График траекторий во времени с начальными условиями $X(0)=4/3$, $S(0)=15$, $M(0)=4/30$. Траектория «наматывается» на предельный цикл «снаружи»

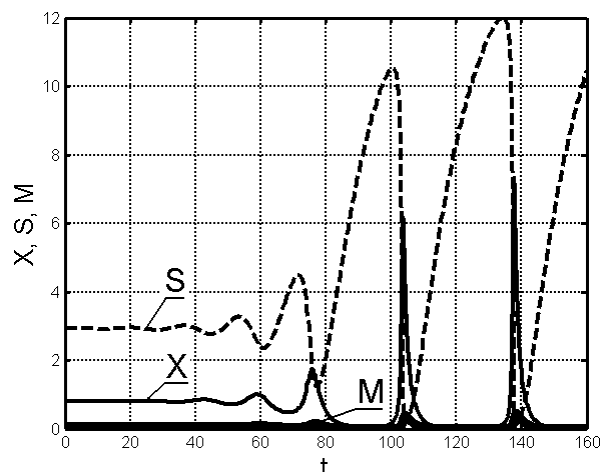


Рис. 4. График траекторий во времени с начальными условиями $X(0)=0,805$, $S(0)=2,93$, $M(0)=0,08$. Траектория «наматывается» на предельный цикл «изнутри»

Выводы

Анализ модели динамики фитопланктонной популяции в однородной среде показал, что в системе помимо тривиальной (вымирание популяции) могут существовать еще две особые точки. Одна из них, если существует, то всегда неустойчива; другая, в зависимости от соотношений параметров, может быть устойчива или терять устойчивость. Было проведено численное моделирование, которое продемонстрировало, что в системе возможно возникновение устойчивого предельного цикла. Такое поведение модели неподвижной среды позволяет предположить наличие диссипативных структур в пространственной модели фитопланктона. При этом особое внимание следует уделить значениям параметров, близким к критическим, для неподвижной среды.

347930, г. Таганрог, Большой проспект, д. 40, кв. 33,
т. +7-918-508-05-21, e-mail: shchkina@rambler.ru

УДК 519.711.3: [639.2.061: 621.65]

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЛОВА РЫБОНАСОСНЫМИ УСТАНОВКАМИ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В.И. Кантемиров, С.В. Сысоев

Астраханский государственный технический университет

Рассматривается математическая модель технологического процесса лова рыбонасосными установками для целей управления. Для нахождения переменных управления, доставляющих максимум целевой функции, в математической модели проведен анализ алгоритмов управления. На основании анализа выяснено, что наиболее эффективным при

решении поставленной задачи поиска экстремума является алгоритм сопряженных градиентов Полака-Рибьера.

Оптимизация и качественное управление технологическим процессом возможно, если известно его математическое описание. Математическое моделирование позволяет не только исследовать влияние различных параметров на процесс или объект, находить оптимальные режимы работы, не затрагивая физический процесс, но и использовать модели в качестве алгоритмов управления при решении задач оптимального управления процессом.

Рассмотрим математическую модель технологического процесса лова рыбонасосными установками каспийской кильки. При разработке модели за основу принят лов рыбонасосными установками каспийской кильки с изменением положения залавливающего устройства. Лов начинают на некотором верхнем горизонте, где рыбу предварительно концентрируют с помощью дополнительных источников света – манилок. Периодически залавливающее устройство опускают до нижнего горизонта лова (обычно до грунта). Затем залавливающее устройство без остановок поднимают на верхний горизонт лова и начинают новый цикл лова [1].

В качестве модели лова рыбонасосными установками рассмотрим промыслово–экономическую модель, которая является разновидностью производственных экономических моделей. Выбор такого типа модели во многом обусловлен особенностями самого технологического процесса лова. Производственные математические модели предназначены для оптимизации прибыли на протяжении коротких периодов времени. Разработка этих моделей проще, так как в них можно не учитывать постоянные затраты и капиталовложения. В качестве целевой функции целесообразно использовать прибыль от продажи продукции.

Таким образом, при оптимизации управления процессом лова рыбонасосными установками в качестве функции качества берется прибыль, получаемая в процессе лова:

$$\text{Пр} = \text{Д} - \text{З} \rightarrow \max ,$$

где Пр – прибыль в процессе лова, руб./с; Д – доход в процессе лова, руб./с; З – затраты в процессе лова, руб./с;

Доход, получаемый в процессе лова, найдем по следующей формуле:

$$\text{Д} = g_{\text{лова } i} \cdot \text{Ц},$$

где $g_{\text{лова } i}$ – количество рыбы, пойманной залавливающим устройством, кг/с; Ц – стоимость 1 килограмма рыбы, руб./кг.

Производительность лова рыбонасосной установкой определяется по следующей формуле:

$$g_{\text{лова } i} = (1 - p_1)(1 - p_2) \left(\begin{aligned} & \left(1 + r(t)_{\text{з.у. } i} \right)^{-0,5} \rho_{\text{смеси } i} q_0 \overline{r(t)_{\text{з.у. } j}} + k_g v_{\text{теч}} \times \\ & \times S_{\text{сеч}} r_{\text{перем } i} + k_{\text{перем}} V_{\text{перем } j} r_{\text{перем}} \exp(-l_{\text{ед. } j} k_l r_{\text{перем}}) \end{aligned} \right),$$

где p_1 – вероятность ухода рыбы из светового поля при ее перемещении из дальних областей этого поля к залавливающему устройству; p_2 – вероятность ухода рыбы из зоны действия всасывающих потоков залавливающего устройства; $r(t)_{з.у.i}$ – расходная концентрация рыбы непосредственно у залавливающего устройства; $\rho_{смеси i}$ – плотность смеси непосредственно у залавливающего устройства с концентрацией $r(t)_{з.у.i}$, кг/м³; q_0 – производительность рыбонасосной установки по воде, м³/с; $\overline{r(t)_{з.у.j}}$ – массовая концентрация рыбы непосредственно у залавливающего устройства; $r_{перем i}$ – концентрация рыбы в дополнительном объеме, кг/м³; $v_{теч}$ – скорость пассивных миграций рыбы, с достаточной степенью точности можно считать, что скорость, с которой дрейфует рыба в ночное время суток, равна скорости течения, м/с; $S_{сеч}$ – площадь поперечного сечения, через которое рыба с водой поступает в освещенный объем, м²; k_l , $k_{перем}$ – коэффициенты, учитывающие время световой адаптации, снос течением, неравномерность распределения кильки в объеме $V_{перем i}$ и т.д.

Теоретический подход к оценке роли течения практически невозможен, поэтому, принимая во внимание общий подход к разработке таких моделей, зависимость вероятности p_1 от скорости течения будет иметь вид [1]:

$$p_1 = 1 - \exp(-k_T v_{теч}),$$

где k_T – коэффициент; $v_{теч}$ – скорость течения, м/с.

При определении вероятности p_2 за основу принимаем полуэмпирическую зависимость производительности рыбонасосной установки по рыбе в зависимости от ее производительности по воде:

$$p_2 = 1 - k_l \left(1 - \exp \left(-k_q \frac{q_B - q_{BO}}{q_{BM}} \right) \right),$$

где k_l и k_q – эмпирические коэффициенты; q_{BM} – производительность рыбонасосной установки по воде, при которой производительность по рыбе в данных условиях близка к максимальной, м³/с; q_B – заданная производительность рыбонасосной установки по воде, м³/с; q_{BO} – производительность рыбонасосной установки по воде, при которой улов равен 0, м³/с.

Объем $V_{перем i}$ можно определить по приближенной формуле:

$$V_{перем j} = 4l_{ед j}^2 (2R_{ист} + l_{ед j}),$$

где $l_{ед j}$ – величина единичного перемещения на новый горизонт лова, м.

Площадь поперечного сечения $S_{сеч}$ равна площади поверхности полусферы радиуса $R_{ист}$, образованной источниками света у залавливающего устройства:

$$S_{сеч} = 2\pi R_{ист}^2.$$

Радиус действия источников света $R_{ист}$ при применении ламп накаливания или немонахроматических источников света $R_{ист}$ чаще всего определяют по неспектральной формуле [1, 2]:

$$R_{\text{ист}} = \sqrt[8]{\frac{I \cdot X_c^6}{E_{\text{п}}}},$$

где I – сила источников света у залавливающего устройства, кд; X_c – прозрачность воды по диску Секки, м; $E_{\text{п}}$ – порог обнаружения рыбой светового поля, лк.

В затратах будем учитывать только те величины, которые связаны непосредственно с процессом лова. Постоянные затраты, связанные с обслуживанием рыбонасосной установки, заморозкой рыбы и т.д., а также капиталовложения, рассматривать не будем.

Итак, определим затраты

$$З = \frac{(N_{\text{перем}} + N_{\text{ист.св.}} \cdot m + N_{\text{лова факт. 0}} + N_{\text{лова факт. i}}) \Pi_{\text{э}}}{3600},$$

где $N_{\text{перем}}$ – мощность, затрачиваемая на перемещение залавливающего устройства на новый горизонт лова, кВт; $N_{\text{ист.св.}}$ – мощность источника света, кВт; m – количество источников света с мощностью $N_{\text{ист.св.}}$, шт.; $N_{\text{лова факт. 0}}$ – мощность, затрачиваемая установкой при перемещении между горизонтами лова, кВт; $\Pi_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт выработанной дизель-генератором электроэнергии на судне, руб./кВт.

Фактически затрачиваемую мощность рыбонасосной установки определим [2]:

$$N_{\text{лова факт. i}} = \frac{q_{\text{лова факт. i}} h_{\text{лова факт. i}} \rho_{\text{смеси i}}}{1000 \eta_{\text{лова факт. i}}},$$

где $q_{\text{лова факт. i}}$ – производительность рыбонасосной установки по водорыбной смеси, м³/с; $h_{\text{лова факт. i}}$ – величина фактического напора, м; $\rho_{\text{смеси i}}$ – плотность

водорыбной смеси, кг/м³; $\eta_{\text{лова факт. i}}$ – фактическое значение КПД.

По приведенной выше математической модели процесса лова рыбонасосными установками для нормальных условий эксплуатации рыбонасосной установки и промысла, в математическом пакете MathCAD был построен график (рис. 1) модели процесса лова, как функции от двух

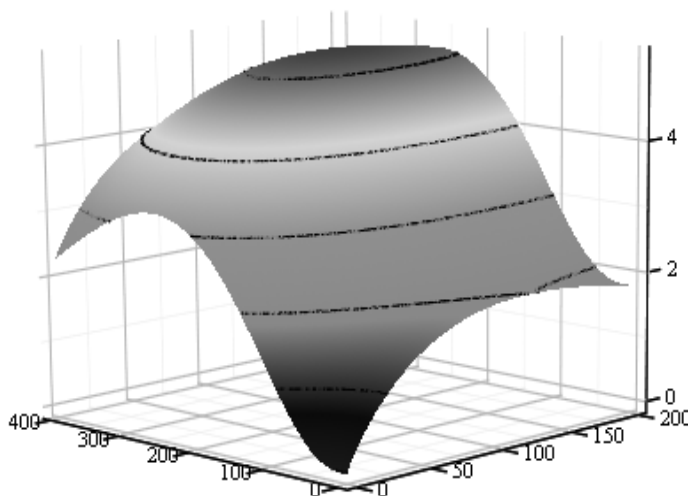


Рис. 1. График зависимости целевой функции от переменных управления

переменных управления $\text{Пр} = f(t; l_{\text{ед}j})$ – времени выдержки и величины единичного перемещения залавливающего устройства. Так как в процессе лова стоит задача получить максимальную прибыль, то в процессе управления целевую функцию необходимо максимизировать и отыскать такие значения управляющих величин, которые соответствуют максимуму критерия качества. Для этих целей можно воспользоваться алгоритмами поиска экстремума функции. Рассматривая данную задачу как часть более общей задачи управления процессом лова, можно считать алгоритм поиска экстремальных значений целевой функции частью алгоритма управления. Как известно, существует достаточно большое количество алгоритмов, которые можно условно разделить на аналитические, математического программирования, градиентные, по координатной оптимизации и безградиентные. Для решения нашей задачи было проведено исследование нескольких алгоритмов для определения максимума целевой функции [3]:

- 1) Алгоритм поочередного изменения переменных (Гаусса–Зейделя);
- 2) Алгоритм Марквардта;
- 3) Алгоритм наискорейшего подъема;
- 4) Алгоритм простого градиента;
- 5) Алгоритм сопряженных градиентов Полака–Рибьера.

Не останавливаясь на описании каждого из алгоритмов поиска, отметим то, что наибольшую эффективность при поиске максимума целевой функции в нашем случае показал алгоритм Полака–Рибьера. Остальные алгоритмы позволяли решать поставленную задачу либо за достаточно большое число итераций – алгоритмы наискорейшего подъема, Марквардта, либо недостаточно точно – алгоритмы Гаусса–Зейделя, простого градиента. Трудность определения максимума целевой функции в нашем случае, особенно для градиентных методов, объясняется видом поверхностей уровня, которые имеют вид эллипсов. Простые градиентные методы достаточно чувствительны к виду поверхностей уровня.

Алгоритм Полака–Рибьера является модификацией алгоритма сопряженных градиентов Флетчера–Ривса, но в отличие от него обладает преимуществами при решении задач с целевыми функциями общего вида и менее высокой чувствительностью к ошибкам округления при проведении одномерных поисков [3]. Кроме того, метод характеризуется простотой однопараметрической вычислительной схемы и небольшим объемом памяти ЭВМ, необходимым для проведения поиска. Таким образом, определение максимума целевой функции проводилось согласно следующей итерационной процедуре:

$$\begin{cases} x^{(k+1)} = x^{(k)} + \alpha^{(k)} s(x^{(k)}), \\ s(x^{(k)}) = \nabla \text{Пр}(x^{(k)}) + \gamma^{(k)} s(x^{(k-1)}), \\ \gamma^{(k)} = \frac{\Delta g(x^{(k)})^T \nabla \text{Пр}(x^{(k)})}{\|\nabla \text{Пр}(x^{(k-1)})\|^2} \\ \text{где } \Delta g(x^{(k)}) = \nabla \text{Пр}(x^{(k)}) - \nabla \text{Пр}(x^{(k-1)}). \end{cases} \quad (1)$$

Величина $\alpha^{(k)}$ в (1) определялась на каждом шаге таким образом [4], чтобы

$$\frac{d}{d\alpha^{(k)}} f(x^k(\alpha^{(k)})) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где k – текущая точка поиска; $x^{(k)}$ – вектор переменных управления, т.е. $x^{(k)} = \left(t^{(k)}; l_{\text{ед.}j}^{(k)} \right)^T$; $\nabla \text{Пр}(x^{(k)})$ – градиент целевой функции в k точке поиска.

Система уравнений (2) решалась с помощью метода золотого сечения. При ее решении $\alpha^{(k)}$ определялась с необходимой для процесса лова точностью за допустимое число итераций.

Следует отметить то, что реализация данного алгоритма управления в современных технических средствах автоматизации не вызывает затруднений вследствие их высокой функциональности, производительности и гибкости.

Литература

1. Мельников В.Н., Мельников А.В. Повышение эффективности лова рыбонасосными установками. – М.: Рыбное хозяйство. Сер. Промышленное рыболовство: Обзорная информация, 2000. – 60 с.
2. Никоноров И.В. Взаимодействие орудий лова со скоплениями рыб. – М.: Рыбное хозяйство, 1973. – 210 с.
3. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. В 2-х кн. / Перев. с англ. – М.: Мир, 1986. – 320 с.
4. Цирлин А.М. Оптимальное управление технологическими процессами. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 400 с.

e-mail: siw@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ

П.В. Овчинников

Северо-Кавказский государственный технический университет, г. Ставрополь

Представлена математическая модель изменения концентрации хлоридов в водоемах, учитывающая сезонные факторы, на основе данных Ставропольского центра мониторинга окружающей среды.

Загрязнение водной среды является одной из наиболее важных проблем, стоящих перед современным обществом. В результате поступления в водоемы неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод промышленных и коммунальных предприятий, а также сельского хозяйства, водоемы становятся непригодными для питьевого, а часто и для технического водоснабжения, теряют рыбо-хозяйственное значение и т.д. Поэтому особое значение имеет разработка математических моделей, позволяющих анализировать и прогнозировать изменения концентрации загрязняющих веществ в водоемах и водотоках.

В качестве исходной информации для анализа были использованы данные наблюдений на семи пунктах контроля качества воды на реках и водоемах Ставропольского края за период с 1992 по 2005 годы. В качестве исследуемых параметров были выбраны концентрации хлоридов, сульфитов, железа, магния, нитрита и нитрата азота, так как предварительный анализ данных показал наличие пропусков либо недостаточности последовательных наблюдений для других наблюдаемых параметров, хотя предлагаемая модель применима ко всем параметрам.

Наблюдения по исследуемым параметрам с 1992 по 1998 годы проводились с периодичностью два раза в год, а не поквартально. Следовательно, эти данные в указанный период наблюдений не несут достаточно полной информации о сезонном характере изменения концентрации в воде наблюдаемых параметров и не могут быть использованы для построения эколого-математической модели, учитывающей сезонный фактор.

На этапе предварительного анализа данных были построены графики изменения концентрации исследуемых параметров, и их анализ показал наличие не только тренда, но и периодических колебаний. В силу того, что промежуток с 1992 по 2005 гг. является достаточно длительным и в течение данного периода существенным образом изменилась экологическая обстановка (рис. 1), для моделирования с целью анализа и прогнозирования целесообразно рассмотреть промежуток времени с 2002 по 2005 гг. с достаточно устоявшейся динамикой изменения исследуемых параметров.

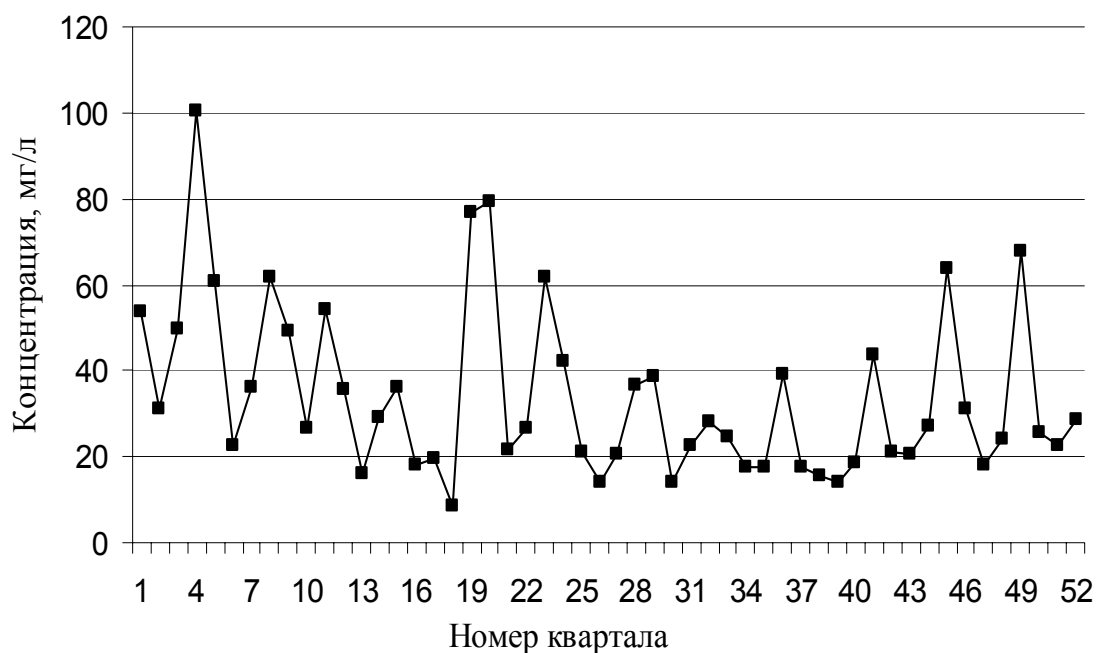


Рис. 1. Данные изменения концентрации хлоридов в р. Егорлык в 1992-2005 гг.

На этапе предварительного анализа в качестве исходных данных для построения эколого-математической модели были выбраны данные поквартальных наблюдений изменения концентрации хлоридов в 2002-2005 гг., общее количество наблюдений – 16 (таблица 1).

Таблица 1

Данные изменения концентрации хлоридов в 2002-2005 гг.

Номер измерения	Дата измерения	Значение, мг/л
1	26 марта 2002 г.	39
2	06 июня 2002 г.	17,7
3	27 августа 2002 г.	15,6
4	01 октября 2002 г.	18,4
5	26 марта 2003 г.	43,6
6	01 июля 2003 г.	21,3
7	02 сентября 2003 г.	20,6
8	18 ноября 2003 г.	27,2
9	08 апреля 2004 г.	63,8
10	16 июня 2004 г.	31,2
11	01 сентября 2004 г.	18,1
12	28 октября 2004 г.	24,1
13	17 мая 2005 г.	68
14	24 августа 2005 г.	25,5
15	06 октября 2005 г.	22,7
16	15 ноября 2005 г.	28,4

Линейный тренд изменения концентрации хлоридов имеет вид:

$$y = 0,5774 \cdot t + 25,33, \quad (1)$$

где $t = 1, 2, 3, \dots, 16$ – номера соответствующих кварталов.

Величина коэффициента детерминации $R = 0,0297$ указывает на то, что необходимым условием моделирования является учет сезонных колебаний, т.е. модель (1) нуждается в дополнении (рис. 2).

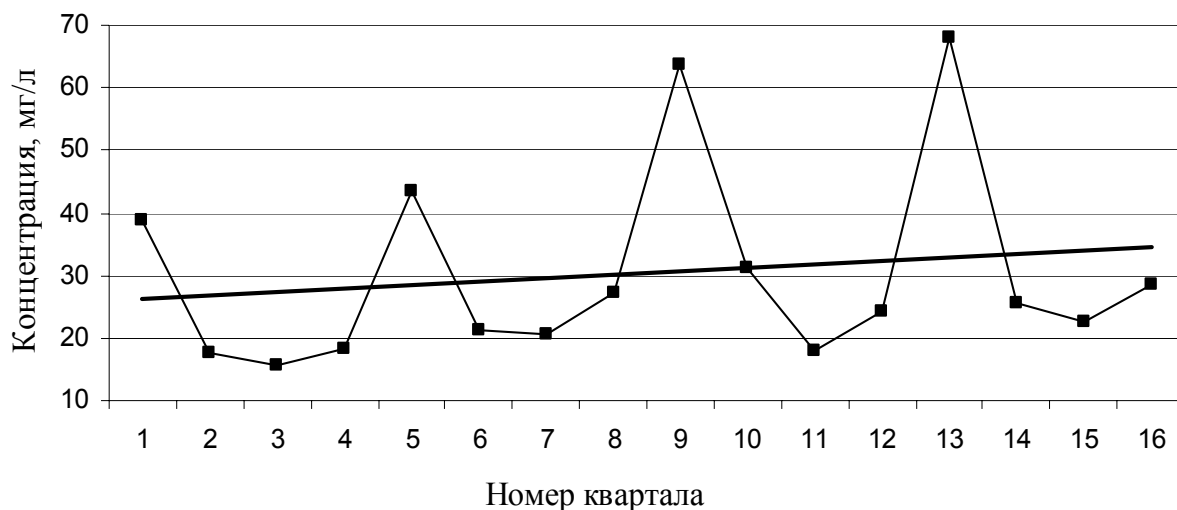


Рис. 2. Квартальные изменения концентрации хлоридов в 2002 – 2005 гг. и линейный тренд

На базе линейного тренда (1) были вычислены индексы сезонности по следующей формуле:

$$I_t = \frac{y_{\text{ф}t}}{y_{\text{р}t}},$$

где $y_{\text{ф}t}$ – фактическое значение концентрации хлоридов для квартала t ($t=1, 2, 3, \dots, 16$); $y_{\text{р}t}$ – расчетное значение концентрации хлоридов для квартала t , вычисленное по формуле (1). Индексы сезонности и их среднеквартальные значения представлены в таблице 2.

Таблица 2

Индексы сезонности и их среднеквартальные значения

t	1 квартал	2 квартал	3 квартал	4 квартал
2002 г.	1,505	0,668	0,524	0,665
2003 г.	1,545	0,739	0,701	0,908
2004 г.	2,090	1,003	0,571	0,747
2005 г.	2,070	0,763	0,667	0,821
$I_{\text{ср.}}$	1,802	0,793	0,616	0,785

Анализ полученных индексов показал явное наличие сезонных колебаний с максимумами, приходящимися на первый квартал каждого года, т.е. значениями $t = 1, 5, 9, 12$. Можно предположить, что основными источниками поступления хлоридов являются недостаточно очищенные промышленные

сточные воды, например, соляная кислота и ее производные, и бытовые стоки. Но так как максимумы концентрации хлоридов в воде приходится на первые кварталы каждого года, то был сделан вывод о том, что весеннее увеличение концентрации хлоридов в воде напрямую связано с поступлением снеготалых вод, содержащих большие количества растворенных солей хлористого натрия, калия, кальция и магния, относящихся к классу хлоридов. Хлориды имеют широкое распространение, их природные и промышленные ресурсы весьма велики, они являются относительно дешевым и доступным материалом, используемом в твердом и жидком виде в качестве противогололедного средства.

Следовательно, при построении эколого-математической модели необходимо учитывать индексы сезонности, и модель изменения квартальной концентрации хлоридов может быть представлена в виде:

$$y = (0,5773 \cdot t + 25,33)I_{tcr} . \quad (2)$$

Для оценки достоверности полученных данных были вычислены средняя ошибка аппроксимации $A = 12,1\%$ и коэффициент корреляции $r = 0,95$. Учитывая значение коэффициента корреляции, равное 0,95, а также значительные колебания исследуемой закономерности и конкретный характер проявления сезонных колебаний каждого года, среднюю ошибку аппроксимации можно признать удовлетворительной и использовать полученные данные для построения прогноза.

Для построения прогноза на 2006 г. были рассчитаны точечные значения квартальных изменений концентрации хлоридов y_{pt} путем подстановки значений $t = 17, 18, 19, 20$ в модель (2). Также для каждого значения $t = 17, 18, 19, 20$ были рассчитаны стандартные ошибки прогноза m , предельные ошибки Δ и доверительный интервал $y \pm \Delta$. Все полученные данные, необходимые для построения поквартального прогноза на 2006 г., представлены в таблице 3.

Таблица 3

Данные для построения прогноза

t	m	Δ	y_{pt}	$y_{pt} - \Delta$	$y_{pt} + \Delta$
17	5,857	10,422	63,36	52,50	73,34
18	5,975	10,631	28,34	17,52	38,78
19	6,103	10,859	22,37	11,82	33,54
20	6,241	11,105	28,97	17,67	39,88

Точечные прогнозы и доверительные интервалы (вероятность 0,9) изменения поквартальной концентрации хлоридов в р. Егорлык, а также поквартальный прогноз на 2006 г. представлены в графическом виде на рис. 3.

Полученный результат дает основание сделать вывод о том, что имеет место выраженная тенденция увеличения весенней концентрации хлоридов в воде р. Егорлык.

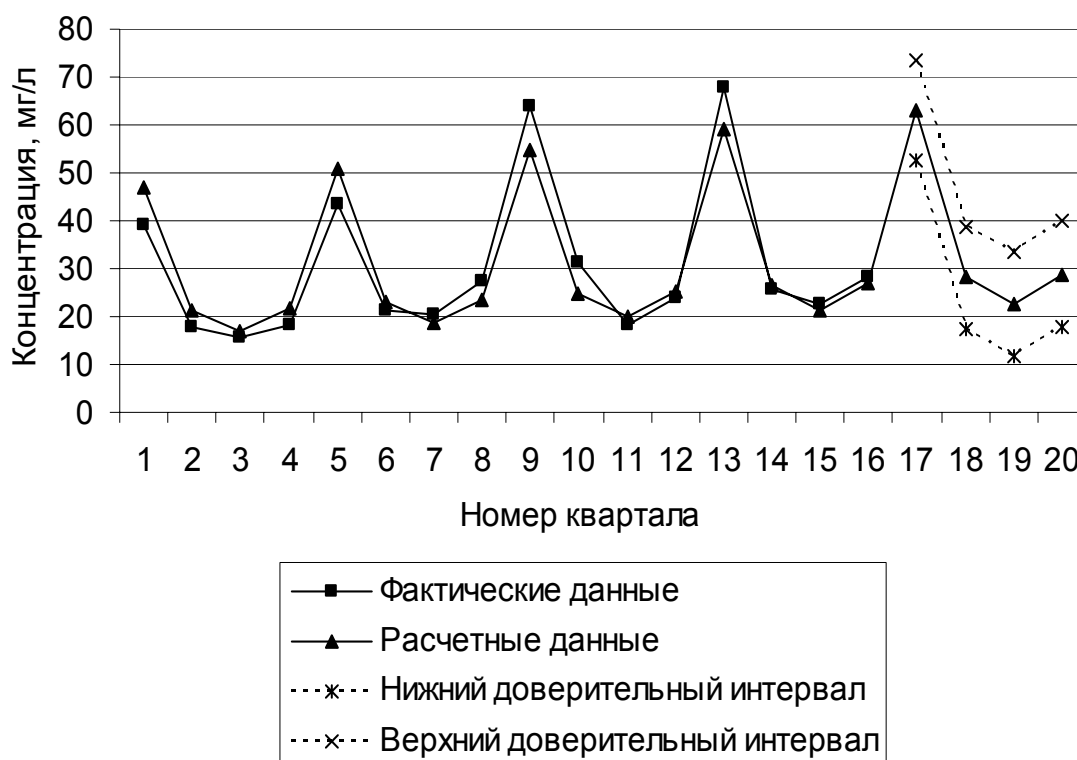


Рис. 3. Прогноз поквартального изменения концентрации хлоридов в 2006 г.

Таким образом, построенная математическая модель может с достаточной надежностью (доверительной вероятностью) прогнозировать годовую динамику изменения концентрации хлоридов. Это позволяет производить обусловленные планируемые мероприятия по очистке водоемов как во временном, так и в финансовом аспектах.

С появлением новых данных и/или с изменением экологической обстановки параметры модели должны быть актуализированы. Это можно отнести не только к соответствующим сезонным волнам, но и как трендовой составляющей. Среди возможных причин таких изменений можно указать: вариацию климатических условий; наращивание, либо снижение, промышленного производства; изменение водного режима и др.

Общий подход, которому отвечает модель (2), обладает большей устойчивостью к вариации условий, чем его любая конкретная реализация.

УДК 517.958:57

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ОПУХОЛЕЙ

Ю.Ж. Мусина

Ульяновский государственный университет

Модели индукции. Одностадийные и многостадийные модели возникновения и развития опухолей. Распределение Вейбулла. Функция распределения момента первого прохождения винеровским процессом границы.

Целью данной работы является разработка диффузионной модели и методов проверки ее адекватности для процессов многостадийного разрушения. Построение такой модели позволит проследить этот процесс на протяжении его действия.

1. Модели, основанные на распределении Вейбулла

Основой многих математических одностадийных и многостадийных моделей (касающихся описания времени возникновения, роста и развития опухолей) может служить уравнение распределения Вейбулла (и, соответственно, различные его вариации):

$$f(y) = 1 - e^{-vy^r},$$

где y – некоторая переменная.

Интерпретация переменной y может меняться. Чаше $f(y)$ описывает фрагмент поведения опухоли животных как функция времени.

Для моделей индукции опухоли рассматривается T – значение времени первого возникновения раковых клеток. Случайная величина T характеризуется ее кумулятивной функцией распределения $F_T(t) = p(T \leq t)$, т.е. сводится к предсказанию фрагмента поведения опухоли животных во время t . Тогда $G_T(t) = 1 - F_T(t) = p(T > t)$ означает вероятность того, что индивидуум не болен опухолью во время t . Пусть функция h_T – означает «риск», т.е. вероятность по времени того, что опухоль начала развиваться у индивидуума в возрасте t , но индивидуум все еще не болен. Математически функция риска h_T сводится к функции дожития следующим образом:

$$G_T(t) = \exp\left(-\int_0^t h_T(s) ds\right).$$

Для эмпирических моделей «time to tumor» распределение Вейбулла будет представлено следующим образом:

$$F_T(t) = 1 - \exp(-at^b),$$

где T – это «time to tumor». Время t – теперь зависимая переменная. Значения параметров a и b , которые были оценены подходящими экспериментальными данными, подразумеваются зависимыми от уровня зараженности.

Для «One-hit» и «Multi-hit» моделей одним из значений «hit» может быть любое из изменений (далее будем говорить «удар»). «Hit»-модели допускают, что группа животных является однородной относительно их восприимчивости к процессу генерации «ударов». Предполагается, что опухоль индивидуума развивается когда «удар» повторяется, и это повторение является случайным событием. Тогда $h_T = \mu$, $F_T(t) = 1 - e^{-\mu t}$, где T – означает уже время первого удара, а μ – «hit rate». Риск h_T и кумулятивная функция

распределения F_T взаимозависимы. Эта модель характеризуется константой «hit rate», т.е. μ , и подразумевает, что восприимчивость развития опухоли не увеличивается со временем (с возрастом). Заметим, однако, что шансы развития опухоли увеличиваются со временем (с возрастом). Однако вышепредставленная модель не дает представления об уровне заражения, который является важным, решающим фактором канцерогенного эффекта от химических продуктов.

Многостадийные модели предполагают, что k изменений необходимо для трансформации нормальной клетки в злокачественную. Это означает, что нормальная клетка (N) проходит сквозь $k - 1$ промежуточную стадию перед тем как стать опухолевой клеткой (M). Для всех $i < k$ клетка промежуточного типа i (Y_i) – это клетка, прошедшая i стадий. Время ожидания между двумя последовательными изменениями экспоненциально распределено с периодом p_i и некоторая клетка становится опухолевой за время t . Приближенное выражение для этой клетки задано следующим:

$$h_T(t) \approx \mu t^{k-1}, \quad F_T(t) \approx 1 - \exp\left(-\left(\frac{\mu}{k}\right)t^k\right),$$

где μ пропорциональна переходным периодам p_i и пропорциональна числу стволовых клеток.

2. Модель, основанная на функции распределения первого прохождения винеровским процессом некоторой границы

Предложенная ниже модель рассматривалась на примере многостадийного процесса развития канцерогенеза, разрушения ДНК в ходе трансформации. Многостадийность предполагает, что последующее разрушение не начинается, если предыдущее не достигло определенного уровня.

Пусть X_t – некоторый процесс (с $X_0 = 0$), состоящий из $X_t^{(i)}$ – «подпроцессов», каждый из которых «начинается» при достижении предыдущим «подпроцессом» определенного уровня и «заканчивается» при достижении самим «подпроцессом» обозначенного уровня (границы). Траектории X_t являются кусочно-непрерывными и совершают скачки в моменты $\tau^{(i)}$. При этом $X_{\tau^{(i)}}^{(i)} = 0$ для всех $i \geq 1$. Зафиксируем границу пересечения $V > 0$, тогда $X_t^{(1)} : \tau^{(1)} = \inf(X_t^{(1)} \geq V) \dots$

$$X_t^{(i)} : \tau^{(i)} = \inf(t > \tau^{(i-1)}, X_t^{(i)} \geq V),$$

где $\tau^{(i)}$ – первые моменты пересечения траекториями процесса X_t границы V .

Рассматривается случай диффузионных «подпроцессов» с $dX_t^{(i)} = a(X_t^{(i)})dt + \sigma(X_t^{(i)})dW_t$, $X_{\tau^{(i-1)}}^{(i)} = 0$, где W_t – стандартный винеровский

процесс, а $\alpha(X_t^{(i)})$ и $\sigma(X_t^{(i)})$ – некоторые функции, зависящие от $X_t^{(i)}$. Исследуются функции распределения моментов первого прохождения «подпроцессами» $X_t^{(i)}$ границы V . Функция распределения первого прохождения винеровским процессом $Y = (Y_t)_{t \geq 0}$ границы $V > 0$ в момент τ известна и записывается в виде:

$$F_\tau(t) = P(\tau \leq t) = P\left(\sup_{0 \leq s \leq t} Y_s \geq V\right) = \int_0^t \frac{V}{\sqrt{2\pi s^3}} \exp\left(-\frac{V^2}{2s}\right) ds.$$

Для того чтобы прийти к аналогичному выражению для «подпроцессов», используем преобразования методом натуральной шкалы и замены времени.

Для процесса $dX_t^{(i)} = a(X_t^{(i)})dt + \sigma(X_t^{(i)})dW_t$, $X_{\tau_{(i-1)}}^{(i)} = 0$, применяется следующая замена: $Z(t) = f(X_t^{(i)})$, $f(0) = 0$, тогда (используя формулы ИТО) получаем:

$$dZ(t) = f'(X_t^{(i)})a(X_t^{(i)})dt + f'(X_t^{(i)})\sigma(X_t^{(i)})dW_t - \frac{1}{2}f''(X_t^{(i)})\sigma^2(X_t^{(i)})dt.$$

Следует подобрать $f(x)$ таким образом, чтобы выражение $f'(x)a(x)dt - \frac{1}{2}f''(x)\sigma^2(x)dt$ тождественно равнялось нулю для любых $x \in R$. При выполнении этого $Z(t)$ оказывается локальным мартингалом.

Применение замены времени $t = \varphi^{(i)}(u)$ приводит к

$$y^{(i)}(u) = X_t^{(i)} = X_{\varphi^{(i)}(u)}^{(i)} = \int_0^{\varphi^{(i)}(u)} a_s(X_s^{(i)})ds + \int_0^{\varphi^{(i)}(u)} \sigma_s(X_s^{(i)})dW_s,$$

тогда $dZ(t) = f'(y^{(i)}(u))\sigma(y^{(i)}(u))dW_t$.

Причем

$$\begin{aligned} dy(u) &= a\left(X_{\varphi^{(i)}(u)}^{(i)}\right)\varphi^{(i)'}(u)du = dm_{\varphi^{(i)}(u)} = \\ &= a\left(y^{(i)}(u)\right)\varphi^{(i)'}(u)du + \sqrt{\varphi^{(i)}(u)}\sigma\left(y^{(i)}(u)\right)d\tilde{W}_u. \end{aligned}$$

$$\text{Здесь } (m_t)_{t \geq 0} = \int_0^t \sigma(X_s^{(i)})ds; \langle m \rangle_t = \int_0^t \sigma^2(X_s^{(i)})ds.$$

Совершая замену времени в процессе, являющимся мартингалом, и при рассмотрении его квадратичной вариации, можно прийти к выводу о том, что полученный процесс будет являться в минимальном представлении стандартным винеровским процессом.

Таким образом, задача сводится к решению уравнения

$$f'(x)a(x)dt = \frac{1}{2}f''(x)\sigma^2(x)dt, \text{ для любых } x \in R.$$

Одним из решений может быть выбрана монотонная функция $f(x)$:

$$f(x) = \int_0^x \exp \left\{ - \int_0^t \left(\alpha(s) / \sigma^2(s) \right) ds \right\} dt.$$

В качестве примера можно рассмотреть случай, когда $a(x) = \lambda x$, $\sigma(x) = \beta x$, где λ, β – константы. Подставив в исходное уравнение $f'(x)a(x)dt = \frac{1}{2}f''(x)\sigma^2(x)dt$ значения $a(x) = \lambda x$, $\sigma(x) = \beta x$, получим

$f'(x)\lambda x = \frac{1}{2}f''(x)\beta^2 x^2$. В этом случае получаем значение функции:

$$f(y) = C_1 \int_0^x \exp \left\{ - \frac{2\lambda}{\beta^2} s^{-1} \right\} ds.$$

Определенный выбор функций $a(x)$ и $\sigma(x)$ приводит к выражению, аналогичному функции распределения первого прохождения винеровским процессом границы $V > 0$. Обратная замена позволяет применять оценки, полученные для винеровского процесса к «подпроцессам» $X_t^{(i)}$ и к исходному процессу X_t . В связи с этим в работе также рассматриваются некоторые оценки для функции распределения первого прохождения винеровским процессом некоторой границы.

Описанные выше предварительные преобразования были использованы для анализа результатов имитационного моделирования процесса многостадийного разрушения ДНК в ходе трансформации при канцерогенезе (для ряда опухолевых процессов число стадий достигает 12). При этом удалось сопоставить эмпирические функции распределения моментов финального разрушения (описываемого ранее только в терминах распределения Вейбулла) с соответствующими моментами в данной модели.

Математическое моделирование патологических процессов позволяет устанавливать прогноз заболевания на основе количественных результатов клинико-физиологических исследований – величин параметров, характеризующих патологию. Вся область возможных параметров может быть разбита на зоны, каждая из которых соответствует определенному прогнозу течения заболевания: выздоровлению, переходу в хроническую стационарно текущую форму, периодическому рецидивированию, прогрессированию и т.д.

При имитационном моделировании учитываться тот факт, что в процессе деления на той или иной стадии принимает участие почти вся биохимическая система клетки. Однако ситуация упростится, если использовать основные положения теории управления. В частности, в сложных самоуправляемых системах всегда существует достаточно простой и автономный ведущий процесс, чувствительный к внешним воздействиям, и позволяющий генерировать сигналы. Ведомые процессы должны включаться и выключаться

по сигналам ведущего. По итогам имитационного моделирования оказалось, что подход, приведенный в разделе 2, вполне воспроизводит основные результаты, описанные в разделе 1. Кроме того, раздел 2 допускает новые постановки задач.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 06-01-00338. Автор выражает благодарность проф. А.А. Бутову за внимание к работе.

432970, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, 42, механико-математический факультет, т. (8422) 32-92-25, 89278153803, e-mail: musina@yandex.ru

УДК 517.958:57

МОДЕЛЬ ОПУХОЛЕВОГО РОСТА НА ОСНОВЕ СМО С РАЗМНОЖЕНИЕМ ЗАЯВОК В ОЧЕРЕДИ

Т.В. Бажанова, А.А. Бутов

Ульяновский государственный университет

Рассмотрено построение компьютерной имитационной модели на основе стохастического описания явлений иммунного ответа на появление трансформированных клеток. Математическая модель выполнена в терминах семимартингального описания системы массового обслуживания. Отличительной чертой данных систем является то, что очереди – процессы не только с обслуживанием, но и с размножением.

В модели латентные клетки трансформируются с интенсивностью λ , и следовательно, число трансформированных клеток – пуассоновский процесс: $A_t = \tilde{A}_t + \text{мартингал с компенсатором } \tilde{A}_t = \lambda t$. Число образовавшихся клеток обозначено q_t . Если механизм иммунного отклика элиминирует меньше чем m клеток, то каждая клетка подвергается обработке этим механизмом со средним временем $1/\mu$. Количество клеток, подвергшихся апоптозу (доиммунное устранение клеток с поврежденной ДНК), обозначено F_t с коэффициентом интенсивности $\nu > 0$: компенсатор считающего процесса апоптоза равен

$$\tilde{F}_t = \int_0^t \nu q_s ds.$$

Предполагается, что момент размножения уже трансформированной, но еще не подвергшейся ни апоптозу, ни «иммунной чистке» клетки наступит сразу по достижении ею стадии митоза. Процесс деления клеток обозначен

$$R_t = \sum_{s \leq t} \Delta R_s, \quad \Delta R_t = I(t = \tau_i + \text{фиксированное время задержки}),$$

где момент времени τ_i – момент образования i -й клетки.

Следовательно, общее число трансформированных клеток с опухолевым ростом, не подвергающихся ни апоптозу, ни «иммунной чистке», описывается как

$$q_t = q_0 + A_t + R_t - F_t - B_t,$$

где B_t – количество клеток, обрабатываемых иммунной системой. При этом в каждый момент механизм устранения воздействует на $g_t \leq m$ клеток с $g_t = g_0 + B_t - D_t$ трансформированных клеток, где количество уже элиминированных клеток обозначено D_t (компенсатор считающего процесса D_t равен $\tilde{D}_t = \int_0^t \mu g_s ds$), и

$$B_t = \int_0^t I(g_{s-} < m) dA_s + \int_0^t I(q_{s-} > 0) dD_s -$$

число поступающих к механизму элиминации.

Утверждение. Для процесса роста числа опухолевых клеток справедливо выражение

$$\begin{aligned} I(q_t = k) = & I(q_0 = k) + \int_0^t I(q_{s-} = k + 1) I(g_s < m) d(F_s + B_s) + \\ & + \int_0^t I(q_{s-} = k - 1) I(g_s = m) d(A_s + R_s) - \int_0^t I(q_{s-} = k) d(A_s + R_s + F_s + B_s). \end{aligned}$$

На основе данного утверждения было произведено имитационное стохастическое компьютерное моделирование, результаты которого соответствуют экспериментальным по ряду материалов.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта 06-01-00338-а.

432063, г. Ульяновск-63, а/я 1602, т. (842-2)32-97-79, e-mail: tata_bazh@mail.ru

УДК 622.272.001.57

РАСЧЕТ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В МУЛЬДЕ СДВИЖЕНИЯ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ НЕПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Д.Н. Шурыгин, И.Ю. Иванов

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)

Предложены формулы для расчета наклона, кривизны и горизонтальной деформации в заданной точке мульды сдвижения. Вычисление оседания точки земной поверхности производится на основе суммирования элементарных мульд с использованием единичной экспоненциальной функции распределения оседаний по площади мульды.

Если горная выработка имеет прямоугольную форму, можно применить метод расчета оседаний в точках мульды сдвижения, предложенный в работе [1]. В этом методе используется функция распределения оседаний по площади мульды [2]:

$$\eta_M = \eta_m S(x, y) = \eta_m \exp \left(-6,2 \left(\frac{\sqrt{x_M^2 + y_M^2}}{L_\phi} \right)^{2,5\sqrt[4]{n_\phi}} \right). \quad (1)$$

По построению следует, что длина полумульды по любому направлению ϕ от выработки прямоугольной формы не превышает длины полумульды по этому же направлению от прямоугольной выработки. Граница мульды сдвижения от прямоугольной выработки представляет собой некоторый неизвестный контур.

Длину полумульды, проходящей через заданную точку $M(x_M, y_M)$, можно выразить из формулы (1):

$$L_M = \sqrt{x_M^2 + y_M^2} \exp \left(-\frac{0,4 \ln(-0,161 \ln(\eta_M / \eta_m))}{\sqrt[4]{n_\phi}} \right), \quad (2)$$

где η_M – оседание в точке $M(x_M, y_M)$ от выработки прямоугольной формы; η_m – максимальное оседание земной поверхности в мульде выработки прямоугольной формы; n_ϕ – коэффициент подработанности по направлению ϕ .

$$\phi = \operatorname{arctg} \left| \frac{y_M}{x_M} \right|, \quad (3)$$

где (x_M, y_M) – координаты точки M .

Для определения наклона и кривизны в точке $M(x_M, y_M)$ в произвольном направлении λ можно использовать следующие формулы [2]:

$$i_\lambda = -\frac{15,5\eta_M \sqrt[4]{n_\phi}}{x_M^2 + y_M^2} z_M^{2,5\sqrt[4]{n_\phi}} (|x_M| \cos \lambda + |y_M| \sin \lambda). \quad (4)$$

$$K_\lambda = -\frac{7,75\eta_M \sqrt[4]{n_\phi}}{(x_M^2 + y_M^2)^2} \left\{ z_M^{2,5\sqrt[4]{n_\phi}} \cdot \left[\left(5\sqrt[4]{n_\phi} x_M^2 - 2x_M^2 + 2y_M^2 \right) \cos^2 \lambda + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(5\sqrt[4]{n_\phi} y_M^2 - 2y_M^2 + 2x_M^2 \right) \sin^2 \lambda + |x_M y_M| \left(5\sqrt[4]{n_\phi} - 4 \right) \sin 2\lambda \right] - \right. \\ \left. - 31\sqrt[4]{n_\phi} \cdot z_M^{5\sqrt[4]{n_\phi}} \cdot \left[x_M^2 \cos^2 \lambda + y_M^2 \sin^2 \lambda + |x_M y_M| \sin 2\lambda \right] \right\}, \quad (5)$$

$$\text{где } z_M = \frac{\sqrt{x_M^2 + y_M^2}}{L_M}.$$

Поверхности наклонов и кривизны в изолиниях для случая горизонтального залегания пласта представлены соответственно на рис. 1 и 2.

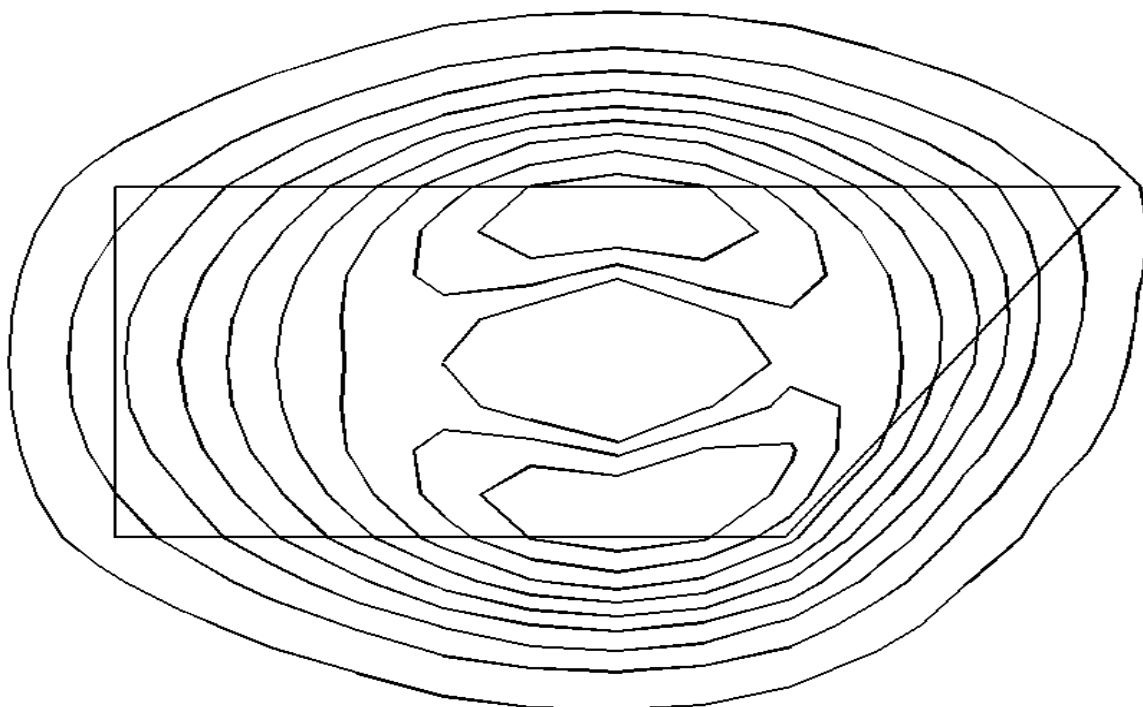


Рис. 1. Изолинии поверхности наклонов

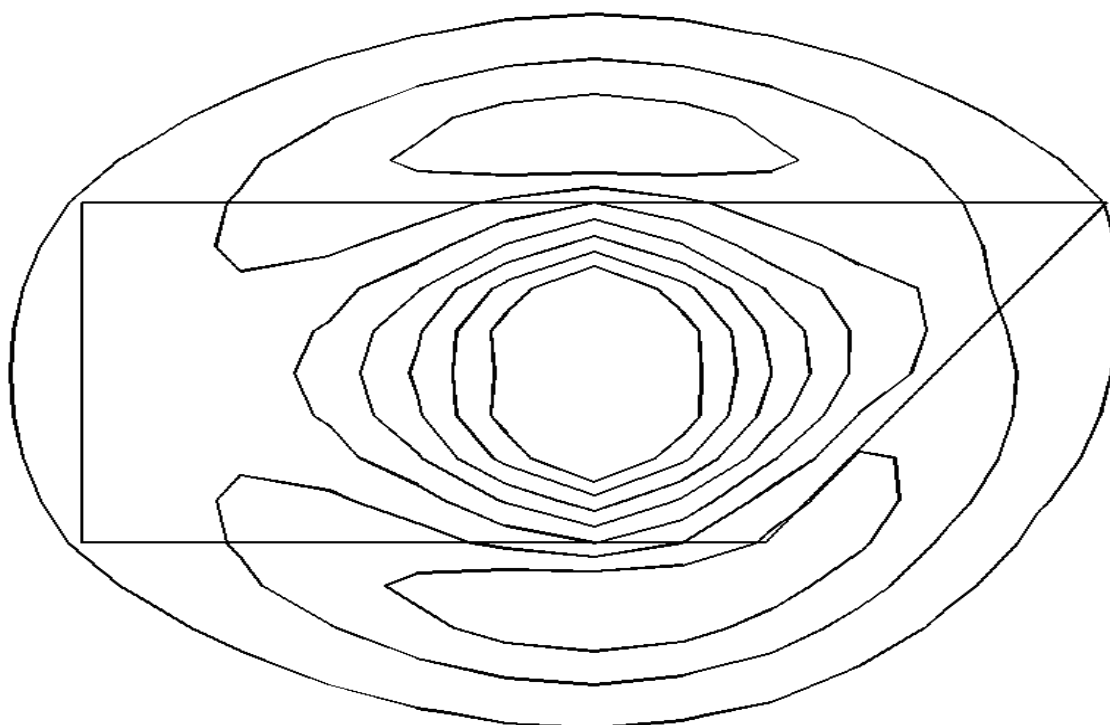


Рис. 2. Изолинии поверхности кривизны

Горизонтальное сдвижение в точке $M(x_M, y_M)$ определяется следующим образом с учетом составляющих от сдвига и прогиба:

$$\xi = \sqrt{(\xi_{\text{пр}} \cos \varphi)^2 + (\xi_{\text{сд}} \pm \xi_{\text{пр}} \sin \varphi)^2}. \quad (6)$$

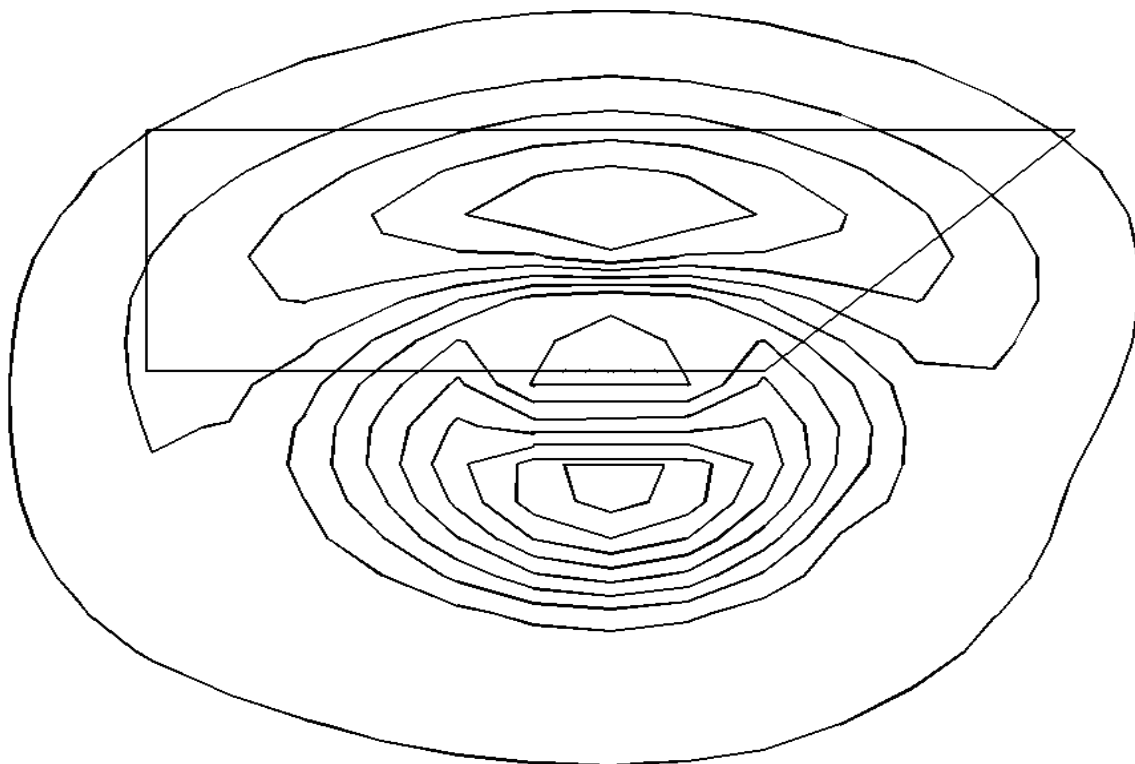


Рис. 3. Изолинии поверхности горизонтальных деформаций

Формула для определения горизонтальной деформации, как производной по направлению λ , из выражения (6) в точке $M(x_M, y_M)$ имеет следующий вид:

$$\varepsilon = \xi'_x(x_M, y_M) \cos \lambda + \xi'_y(x_M, y_M) \sin \lambda, \quad (7)$$

где $\lambda = \arctg \left| \frac{y_M - y_0}{x_M} \right|$, (x_M, y_M) – координаты точки M ; y_0 – ордината точки с нулевым горизонтальным сдвижением [3].

Поверхность горизонтальных деформаций в изолиниях для наклонного залегания пласта представлена на рис. 3.

Литература

1. Иванов И.Ю., Шурыгин Д.Н. Построение мульды сдвижения от выработки произвольной формы методом наименьших квадратов // Маркшейдерское обеспечение рационального использования и охраны недр: Сб. науч. тр. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2004. – С. 91-96.
2. Шурыгин Д.Н., Иванов И.Ю. Расчет сдвижений и деформаций по площади мульды сдвижения для условий Донбасса // Проблемы геологии, полезных ископаемых и рационального недропользования: Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 25 нояб. 2005. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2005. – С. 50-53.
3. Шурыгин Д.Н. Определение местоположения точки с нулевым горизонтальным сдвижением в мульде сдвижения для условий Донбасса // Студенческая научная весна-2005: Сб. науч. тр. аспирантов и студентов ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2005. – С. 69-71.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ШТАБЕЛЯ НА ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОГРУЗОЧНЫХ МАШИН

Е.А. Ревякина, В.И. Науменко

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты

Излагаются результаты оценки степени влияния формы и масштабного фактора на нагрузки в приводах исполнительных органов машины типа ПНБ, полученные при моделировании системы штабель – погрузочный орган в динамике.

Погрузка горной массы машиной с нагребными лапами – это процесс непрерывного взаимодействия рабочего органа со штабелем погружаемого материала. Для достижения максимально возможной технической производительности машины необходимо учитывать свойства материала, взаимодействующего с машиной.

Поисковые эксперименты, проведенные в лабораторных условиях [1], позволили выделить основные независимые факторы штабеля, оказывающие влияние на процесс погрузки: масштабный фактор K_l (относительный размер) и форма частиц K_ϕ . Из анализа имеющегося опыта в исследовании разрыхленных горных пород подготовительных забоев известно, что вышеперечисленные факторы оказывают значительное влияние на основные физико-механические свойства штабеля, такие как: плотность материала в разрыхленном состоянии и коэффициент разрыхления.

К основным зависимостям, характеризующим сопротивления при взаимодействии нагребных лап со штабелем материала, относятся средний $M_{ср}$ и суммарный $M_{сл}$ момент на валах ведущих дисков [2].

Оценить влияние неблагоприятного сочетания факторов за период эксплуатации машины можно посредством моделирования работы привода исполнительного органа с учетом проявления свойств горной массы. При моделировании динамических процессов системы штабель – погрузочный орган за основу принимается технологический процесс, который можно описать обобщенной моделью. Такая модель представляет собой многомерный объект, подвергающийся случайным воздействиям, со сложной взаимосвязью входных и выходных параметров, которые можно разделить на следующие группы:

– к группе входных параметров относятся: характеристика выработки и крепи, параметры машины, параметры штабеля, начальные значения переменных. Начальные условия для переменных определены для принятого эталонного положения машины относительно штабеля и состояния системы: машина со скоростью $ixч$ начинает движение вглубь штабеля, начальная

глубина внедрения лапы по плите питателя равна $Sл0$, откуда определяется начальная глубина внедрения питателя по почве $Lx0$. Для упрощения расчета принимается длина вылета лапы за носок питателя, равной нулю;

- к группе выходных параметров относятся: техническая производительность, мощность (момент), потребляемая двигателем;

- в качестве ограничения принимается глубина внедрения лапы $Sл$, которая принимается в пределах, определяемых условиями $0 \leq Sл \leq Lmp$ (Lmp – длина гребка). В этом случае обеспечивается минимальный объем сбрасывания материала, не происходит резкого возрастания нагрузок в приводе нагребающих лап. При превышении глубины внедрения лапы длины гребка возникают качественно новые явления, особенности расчета которых не рассматриваются в данной работе.

При моделировании погрузки полосы (заходки) использована методика пошагового расчета переменных на малом отрезке времени Δt . Предполагается, что за малый промежуток времени Δt происходит непрерывное изменение переменных: глубины внедрения лапы, технической производительности, моментов сопротивлений на валах ведущих дисков.

Разработка компьютерной модели динамического процесса рабочего органа погрузочной машины осуществлялась на основе двух принципиально разных подходах: детерминированном и стохастическом.

Первый подход основан на детерминированном описании входных параметров штабеля. Во втором подходе процесс изменения состава штабеля рассматривается как случайный.

Для установления функциональной зависимости $M = f(K_l, K_\phi)$, были проведены компьютерные эксперименты в среде *Visual Basic*. При выборе гранулометрического состава исходили из условий работы погрузочных машин типа ПНБ в подготовительных забоях $dcp = 0,2$ м. В процессе моделирования состав частиц по форме менялся путем добавления к объему, состоящему из частиц плитчатой и столбчатой формы в равных пропорциях частиц кубообразной формы. Для каждого сочетания факторов было смоделировано десять заходов длиной $L_{max} = 1,5$ м, при этом ошибка в определении среднего значения моментов не превышала 10 %. По результатам была проведена оценка математического ожидания дисперсии и найдена максимальная ошибка среднего значения $O_{ш}$ для заданного уровня надежности $\beta = 0,9$ (результаты моделирования приведены в таблице).

На рис. 1 показан график зависимости значений моментов от содержания в смеси частиц кубообразной формы $M = f(K_{\phi_{on}})$, построенный по результатам моделирования; рядом приведены прямые значений моментов без учета влияния формы частиц.

**Динамика изменения максимальных значений моментов
в зависимости от содержания в штабеле частиц кубообразной формы,
 $M=f(K_{\% \text{куб}})$ $K_l = 2,33$**

$K_{\% \text{куб}}$	Средний момент с учетом формы частиц		Средний момент без учета формы частиц		Максимальный момент с учетом формы частиц		Максимальный момент без учета формы частиц	
	Мср, Нм	Ош	Мср, Нм	Ош	Мсл, Нм	Ош	Мсл, Нм	Ош
0	3590,057	238,23	3449,68	219,44	5523,327	406,60	5307,36	377,64
10	3604,4	238,23	3449,68	219,44	5545,40	406,60	5307,36	377,64
20	3655,58	241,26	3449,68	219,44	5624,14	410,73	5307,36	377,64
40	3757,93	244,68	3449,68	219,44	5781,60	416,55	5307,36	377,64
60	3962,63	251,51	3449,68	219,44	5939,07	428,19	5307,36	377,64
80	3962,63	258,34	3449,68	219,44	6096,54	439,83	5307,36	377,64
100	4064,99	265,17	3449,68	219,44	6254,01	451,47	5307,36	377,64

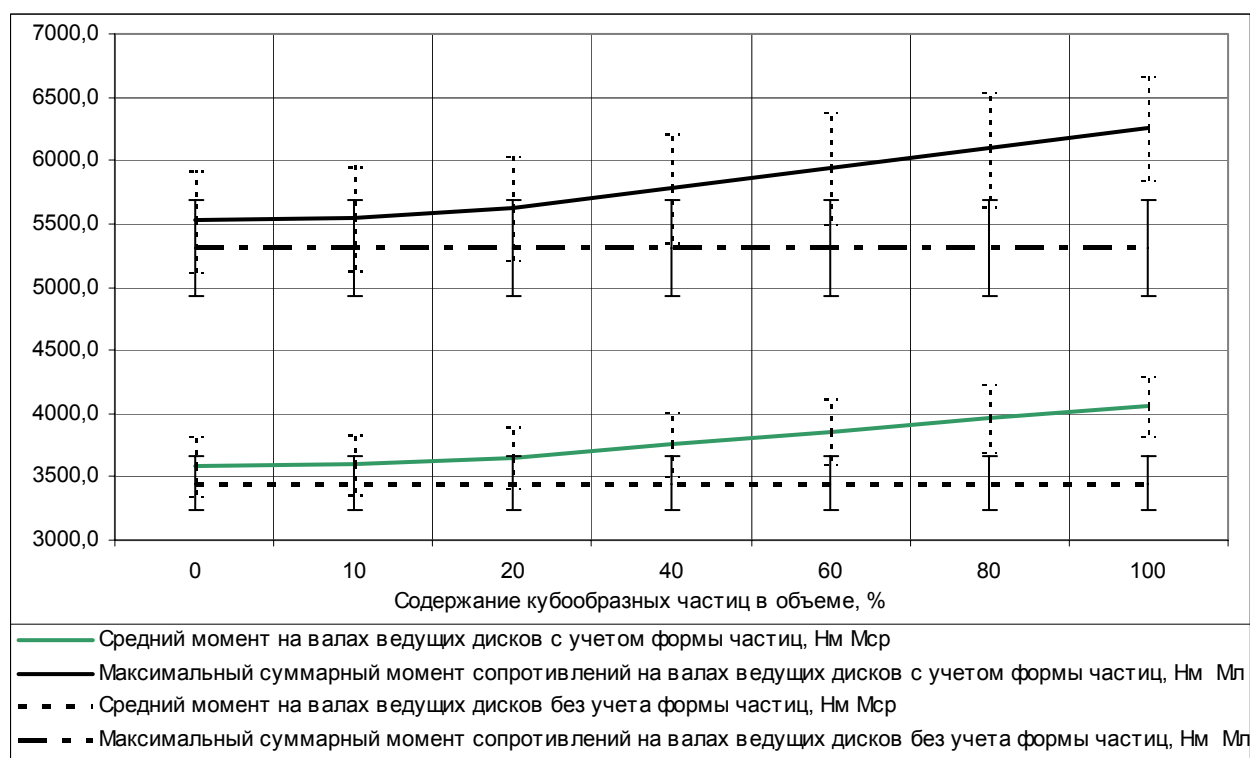


Рис. 1. График зависимости $M = f(K_{\% \text{куб}})$

На основании результатов анализа полученных данных было установлено, что значения моментов на двигателях рабочих органов машины, рассчитанных с учетом формы и масштабного фактора по отношению к моментам, полученным без учета свойств штабеля, превышают на 18 %.

Оценить частоту появления неблагоприятного сочетания факторов (гранулометрический состав, форма и характер укладки частиц в массиве)

за период эксплуатации машины позволит разработка имитационной модели работы привода машин типа ПНБ на основе вероятностных проявлений свойств разрушенных горных масс. Это позволит внести необходимые изменения в имеющиеся инженерные методики расчета технических показателей машин типа ПНБ и тем самым повысить техническую производительность машины.

Литература

1. Ревякина Е.А. Экспериментальное исследование физико-механических свойств кусковой горной массы как основных факторов, влияющих на процессы погрузки и транспортирования // Исследования в области инженерно-технических процессов: Сборник науч. статей студентов, аспирантов и молодых ученых / Юж.-Рос. гос. ун-т (НПИ) – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2004. – С. 193-198.
2. Основные положения методики расчета производительности, мощности двигателей и динамических нагрузок в трансмиссиях рабочих органов погрузочных машин с парными нагребающими лапами: Тр. Новочеркас. политехн. ин-та им. С. Орджоникидзе / Е.А. Крисаченко, В.А. Турушин и др. – Новочеркасск: Ред.-изд. отдел НПИ, 1970. Т. 214. – С. 127-134.

УДК 622.236.2:622.33.031

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРУЖЕННОСТИ РЕЗЦОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ГОРНЫХ МАШИН ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ

Н.И. Сысоев, Н.Н. Буренков, А.С. Фандеев

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Предлагается новая математическая модель, позволяющая рассчитывать силы, действующие со стороны забоя скважины на резцы, установленные на исполнительных органах буровых станков и установок для бурошнековой выемки угольных пластов. В ней учтены все возможные типы резцов и схемы резания, кривизна траектории и уступность забоя. Математическая модель предназначена для выбора и обоснования рациональных параметров коронок буровых станков и установок для бурошнековой выемки угольных пластов.

Анализ конструкций исполнительных органов горных машин, оснащенных резцами и предназначенных для бурения скважин в угольных пластах [1-4], показал, что на практике возможно применение следующих видов резания, представленных на рис. 1.

Обзор известных методов расчета нагрузок на резцах выявил отсутствие универсальной методики, которая учитывала бы все указанные на рис. 1 виды резания и которая могла быть использована в качестве математической модели.

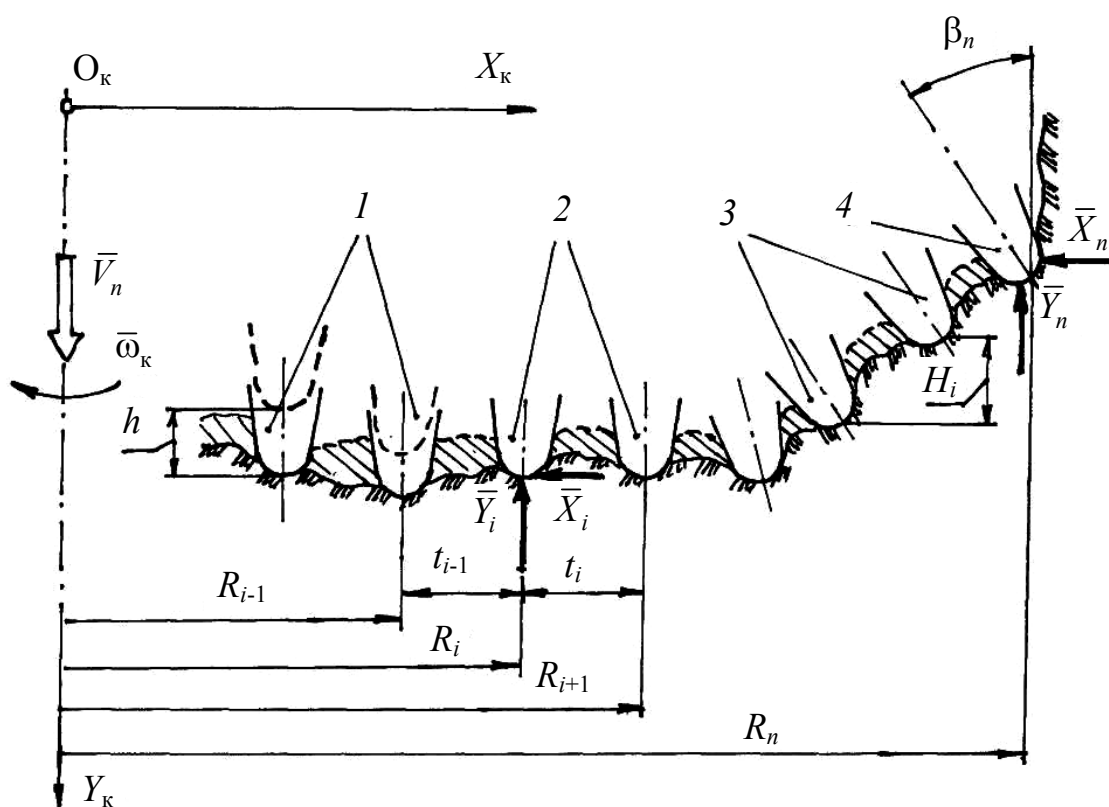


Рис. 1. Виды резания, возможные при бурении скважин:

1 – шахматный (сотовый); 2 – последовательный;
3 – подрезной; 4 – полублокированный

Методика [4] применима только для расчетов нагрузок на стержневых резцах коронок буровых станков, реализующих уступно-коническую форму забоя скважины, что соответствует подрезному виду резания. В ней учтены кривизна траектории резца и параметры кольцевого уступа.

Методика [2, 3] предназначена для расчетов нагрузок на любых типах резцов очистных комбайнов с барабанными (шнековыми), буровыми и цепными исполнительными органами, воспроизводящими вышеуказанные виды резания, кроме подрезного. Но в ее расчетных зависимостях не учитывается влияние кривизны траектории и параметров кольцевого уступа, характерных для конической формы забоя скважины. Учитывая, что эта методика более полная и широко апробирована на практике, она была принята нами за основу при разработке математической модели нагруженности резцов исполнительных органов горных машин для бурения скважин в угольных пластах.

В соответствии с [2, 3] сила резания на затупленном резце (рис. 2, 3):

$$Z = Z_o + f' (Y - Y_o), \text{ Н,}$$

где $f' = 0,38 \dots 0,42$ – коэффициент сопротивления пласта резанию.

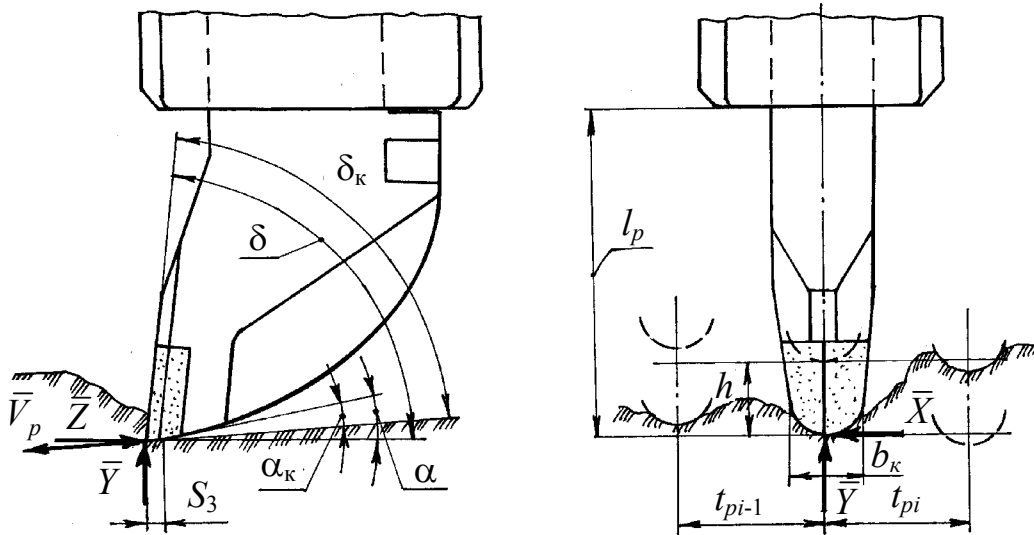


Рис. 2. Схема процесса резания угля стержневым резцом

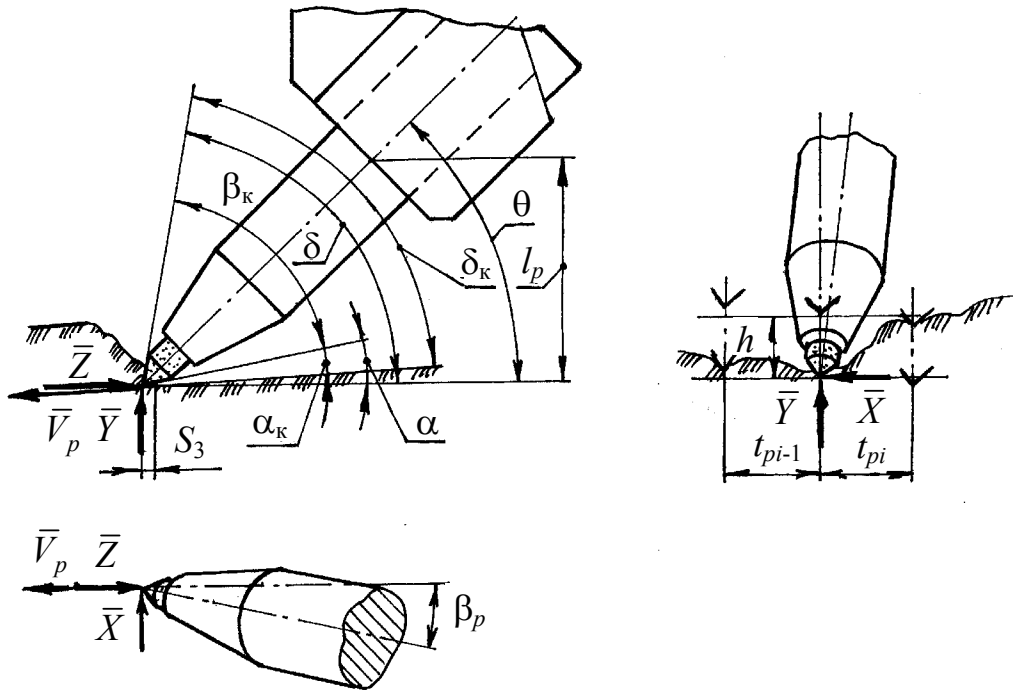


Рис. 3. Схема процесса резания угля поворотным резцом

Сила подачи на затупленном резце [2, 3]:

$$Y = Y_o + Y_{o\alpha} C_{\Pi} S_3, \text{ Н},$$

где C_{Π} – коэффициент пропорциональности между силами подачи на затупленном и остром резцах

$$C_{\Pi} = \frac{0,75(8S_3 + b_p + 3)}{\sqrt{h(b_p + 3)(S_3 + 0,1b_p)}},$$

где S_3 – проекция площадки затупления резца на плоскость резания, см^2 ;
 h – толщина стружки на i -ом резце, см ,

$$h = h_{об} \varphi_i / 360 ;$$

$h_{об}$ – подача коронки за один ее оборот, см,

$$h_{об} = \frac{V_{П}}{|n_{к}|} 100 ;$$

$V_{П}$ – скорость подачи коронки на забой (рис. 1), м/мин;

$n_{к}$ – частота вращения коронки, об/мин;

φ – угол между i -м и предыдущим резцами в одной линии резания, град;

b_P – расчетная ширина резца, см.

Для овальной формы с прямолинейными наклонными боковыми кромками (рис. 4,а):

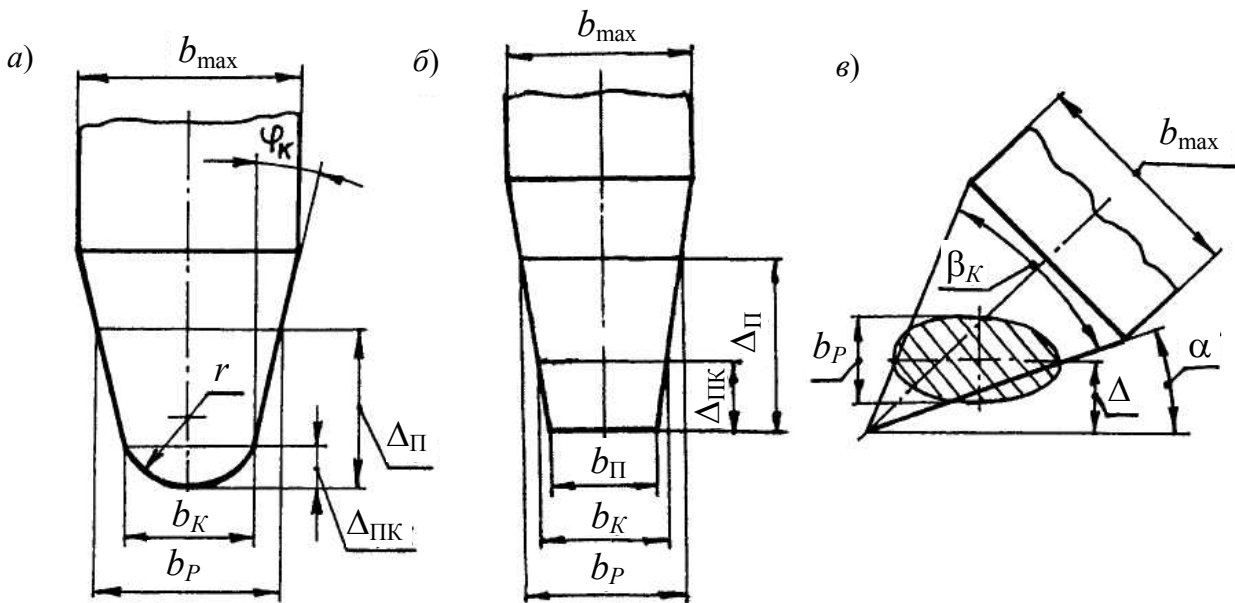


Рис. 4. Параметры режущей части стержневых резцов:

а – с овальной; б – многоугольной формами; в – поворотных резцов

$$b_P = 2\sqrt{\Delta_P (2r_K - \Delta_P)} \text{ при } \Delta_P < \Delta_{ПК};$$

$$b_P = b_K + 2\operatorname{tg}\varphi_K (\Delta_P - \Delta_{ПК}) \text{ при } \Delta_P \geq \Delta_{ПК};$$

$$b_P = b_K \text{ при } \varphi_K < 0 \text{ и } \Delta_P > \Delta_{ПК},$$

где b_K – конструктивная ширина режущей части резца, см;

$\Delta_{ПК}$ – высота контакта резца с массивом угля по передней поверхности, соответствующая его конструктивной ширине, см,

$$\Delta_{ПК} = r - 0,5\sqrt{4r_K^2 - b_K^2};$$

$\Delta_P = \Delta / \sin \delta$ – высота контакта резца с массивом угля по передней поверхности, см;

$$\Delta = 0,45\sqrt{h} \text{ – высота контакта резца с массивом угля, см;}$$

r_K – радиус закругления передней грани резца, см;

$b_{\max}$ – максимальная ширина режущей части резца, см;

φ_K – угол наклона боковой грани, град.

Для многоугольной формы с прямолинейными главной и боковыми режущими кромками (рис. 4,б):

$$b_p = b_n + 2\Delta_{\Pi} \operatorname{tg} \varphi_K \text{ при } \Delta_{\Pi} < \Delta_{\Pi K};$$

$$b_p = b_K + 2(\Delta_{\Pi} - \Delta_{\Pi K}) \operatorname{tg} \varphi_K \text{ при } \Delta_{\Pi} \geq \Delta_{\Pi K};$$

$$b_p = b_K \text{ при } \varphi_K < 0 \text{ и } \Delta_{\Pi} > \Delta_{\Pi K},$$

$$\Delta_{\Pi K} = 0,5(b_K - b_n) / \operatorname{tg} \varphi_K$$

Для конической формы (рис. 4,в)

$$b_p = \frac{2\Delta \sin \beta_K}{\sin \delta_K} \sqrt{\cos \beta_K + \sin \beta_K \operatorname{ctg} \alpha_K}, \text{ см,}$$

где β_K – угол заострения конуса армирующей вставки, град.

Сила резания на остром резце при кинематическом заднем угле $\alpha_K \neq 10^\circ$:

$$Z_o = Z_{o\alpha} + f'(Y_o - Y_{o\alpha}), \text{ Н.}$$

Сила подачи на остром резце при $\alpha_K \neq 10^\circ$:

$$Y_o = Y_{o\alpha} \left(\frac{9}{\alpha_k + 2} + 0,25 \right), \text{ Н,}$$

где $\alpha_K = \alpha - \operatorname{arctg} \left(\frac{h_{об}}{200\pi R} \right)$ – кинематический задний угол на i -ом резце, град.; R – радиус установки i -го резца, м.

Сила подачи на остром резце при $\alpha_K = 10^\circ$:

$$Y_{o\alpha} = Z_{o\alpha} \frac{0,45E}{E - 0,6},$$

где E – показатель степени хрупкости пласта.

Применительно к расчету нагрузок на исполнительном органе и энергоемкости процесса разрушения все углы по показателю степени хрупкости делятся на три группы: вязкие – при $E < 2,1$; хрупкие – при $2,1 \leq E \leq 3,5$; весьма хрупкие – при $E > 3,5$.

При проектировочных расчетах следует принимать для каждой из групп среднее значение: для вязких $E = 1,65$; для хрупких $E = 2,5$; для весьма хрупких $E = 4,2$.

Сила резания на остром резце при кинематическом заднем угле $\alpha_K = 10^\circ$:

$$Z_{o\alpha} = 10 \bar{A}_p \frac{0,35b_p + 0,3}{b_p + E\sqrt{h}} h t K_3 K_y K_\Phi K_C K_\varphi K_{\Pi P} K_R \frac{1}{\cos \beta},$$

где $\bar{A}_p$ – средняя сопротивляемость пласта резанию, измеренная в неотжатой зоне очистного забоя, Н/мм;

t – ширина стружки на i -ом резце, которая принимается для всех резцов, кроме крайних кутковых, как полусумма расстояний до соседних линий резания

$$t = (t_{pi} + t_{pi+1}) / 2, \text{ см};$$

$$\text{для крайних кутковых} \quad t = t_{pi} / 2 + b_p / 2 \cos \beta, \text{ см};$$

β – угол наклона резца к направлению подачи, град.;

K_3 – коэффициент обнажения забоя, учитывающий влияние вида резания для всех резцов, кроме крайних кутковых:

$$\text{при } t \leq t_{\text{опт}} \quad K_3 = \left[1 + 1,6(t/t_{\text{опт}} - 1)^2 \right] K_{3,\text{опт}};$$

$$\text{при } t > t_{\text{опт}} \quad K_3 = \left[1 + 0,21h(t/t_{\text{опт}} - 1) \right] K_{3,\text{опт}};$$

$t_{\text{опт}}^1$ – оптимальное значение ширины стружки, см:

$$\text{– при } h \geq 1 \text{ см} \quad t_{\text{опт}} = (1,25h + b_p + 1,25)k_{\text{ш}};$$

$$\text{– при } h < 1 \text{ см} \quad t_{\text{опт}} = \left(\frac{7,35h}{h + 1,3} + 0,4h + b_p - 1 \right) k_{\text{ш}};$$

$k_{\text{ш}}$ – коэффициент, учитывающий влияние степени хрупкости угля,

$$k_{\text{ш}} = \frac{1,47E}{E + 1,2};$$

$K_{3,\text{опт}}$ – коэффициент обнажения забоя при $t = t_{\text{опт}}$:

$$\text{– если } h \geq 1 \text{ см} \quad K_{3,\text{опт}} = 0,32 + \frac{0,2}{h};$$

$$\text{– если } h < 1 \text{ см} \quad K_{3,\text{опт}} = 0,25 + \frac{0,66}{h + 1,3}.$$

Для крайних кутковых резцов [2, 3] $K_3 = 1,1 \dots 1,25$, причем большие значения принимаются при малой степени хрупкости угля: если $E \leq 2,1$, то $K_3 = 1,25$; если $E \geq 3,5$, то $K_3 = 1,1$; если $2,1 < E < 3,5$, то $K_3 = 1,18$.

Для уступно-конической схемы обработки забоя [4]:

$$K_3 = 0,8\sqrt{h} + (0,23h + 0,09)\frac{H}{h},$$

где H – высота кольцевого уступа, см;

K_y – коэффициент, учитывающий влияние угла резания δ ,

¹ Согласно исследованиям Я.Л. Цыпина, при резании поворотными резцами имеет место уменьшение углов бокового развала. Вследствие этого при прочих равных условиях величина оптимальной ширины стружки должна приниматься меньшей на 15...20 %, чем для стержневых резцов.

$$K_y = 0,012\delta_K + \frac{0,42E}{E + 3,45},$$

где δ_K – кинематический угол резания на i -ом резце, град.;

$$\delta_K = \delta - \arctg\left(\frac{h_{об}}{200\pi R}\right).$$

K_Φ – коэффициент, учитывающий форму передней поверхности резца: плоская – 1; овальная и плоско-клиновидная – 0,92; клиновидная – 0,87; конические и поворотные резцы – 1,2. Этим коэффициентом идентифицируется тип резца ($K_\Phi < 1,2$ – радиальные резцы);

K_C – коэффициент, учитывающий влияние уступно-конической схемы резания:

$$\text{при } \frac{t}{H} < 1,4 \quad K_C = 1,5 - 0,72 \frac{t}{H} + 0,26 \left(\frac{t}{H}\right)^2;$$

$$\text{при } \frac{t}{H} \geq 1,4 \text{ и для остальных схем резания } K_C = 1;$$

K_φ – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона режущей кромки φ_K (рис. 4,а) на нагрузки из-за резания боковой кромкой в диапазоне изменения углов наклона резца к направлению подачи $\beta = 0 \dots 50^\circ$,

$$K_\varphi = 0,73(1 + \tg\varphi);$$

$K_{\Pi P}$ – коэффициент, учитывающий влияние на силу резания поворотного резца:

$$\text{– для шахматной схемы резания} \quad K_{\Pi P} = 1 + 0,02\beta_p;$$

$$\text{– для последовательной схемы резания} \quad K_{\Pi P} = 1,15 + 0,01\beta_p;$$

β_p – угол поворота резца (см. рис. 3), град., обычно $\beta_p \leq 15^\circ$ и принимается с учетом схемы расстановки поворотных резцов;

K_R – коэффициент, учитывающий влияние кривизны траектории: при $R < 0,11$ м $K_R = 2,32 - 12R$; при $R \geq 0,11$ м $K_R = 1$.

Боковая сила на резце, имеющем режущие кромки:

– для последовательной схемы резания

$$X = \pm Z \left(\frac{1}{h + 0,3} + 0,15 \right) \frac{h}{t} K_{\Phi X}, \text{ Н};$$

– для шахматной схемы резания

$$X = \pm Z \left(\frac{1}{h + 2,2} + 0,1 \right) \frac{h}{t} K_{\Phi X}, \text{ Н},$$

где $K_{\Phi X}$ – коэффициент влияния формы передней поверхности режущей части резца на боковую силу; для резцов с плоской поверхностью $K_{\Phi X} = 1$; с овальной и плоско-клиновидной – $K_{\Phi X} = 1,1 \dots 1,3$; с клиновидной – $K_{\Phi X} = 1,2 \dots 1,6$. Большие значения принимаются при большей выпуклости передней поверхности резца.

Боковая сила на коническом и поворотном резцах:

– для последовательной схемы резания

$$X = \pm Z \left(\frac{1,3}{\sqrt{\frac{t}{h}}} - 0,52 \right) (1 - 0,023\beta), \text{ Н};$$

– для шахматной схемы резания

$$X = \pm 0,02Z\beta, \text{ Н}.$$

Направление боковой силы принимается: при шахматной (без поворота резца) и при последовательной схемах резания – в сторону обнаженного пространства, образованного впереди идущим резцом в соседней линии резания; при шахматной схеме резания (при повороте резца) – в сторону поворота; на крайнем кутковом резце – в сторону от забоя [2, 3].

Полученная математическая модель основана на проверенных практикой методах и позволяет рассчитывать нагрузки на всех известных типах резцов, реализующих любые схемы обработки забоя исполнительными органами буровых станков и установок для бурошнековой выемки угольных пластов, с целью определения их рациональных параметров.

Литература

1. Машины и инструменты для бурения скважин на угольных шахтах / М.С. Сафохин, И.Д. Богомолов, Н.М. Скорняков, А.М. Цехин. – М.: Недра, 1985. – 213 с.
2. ОСТ 12.44.258.84. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах: Методика. – М.: Изд-во Стандартов. Введен в действие с 01.01.1986 г.
3. Позин Е.З., Меламед В.З., Тон В.В. Разрушение углей выемочными машинами / Под ред. Е.З. Позина. – М.: Недра, 1984. – 288 с.
4. Барановский М.С. Исследование режима работы и установление рациональных параметров коронок для бурения скважин по углю: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1985.

346430, г. Новочеркасск, пр. Платовский, 73, кв. 8, Буренков Н.Н., т.д. 53-613,

e-mail: nik-burenkov@yandex.ru

УДК 541.123.7:66.048

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ВЫДЕЛЕНИЯ ТОВАРНОГО ПРОПИЛЕНА

А.А. Ляпков, Ю.В. Шефер

Томский политехнический университет

Проведено компьютерное моделирование процесса непрерывной многокомпонентной ректификации в тарельчатой колонне и оптимизация параметров ее работы, обес-

печивающая выделение товарного пропилена требуемого качества. Проанализированы основные факторы, влияющие на качество товарного пропилена.

В течение последних 30 лет в сырьевой базе отечественной и мировой нефтехимии ведущая роль принадлежит низшим олефинам – этилену и пропилену. Основным источником их производства служит процесс термического пиролиза углеводородов с водяным паром. Именно на установках пиролиза получают сегодня первичные продукты, обеспечивающие сырьем производство пластических масс, синтетических смол, каучуков и волокон. Процесс пиролиза непрерывно совершенствуется, и в настоящее время эксплуатируются высокоэффективные этилен-пропиленовые установки производительностью 300...500 тысяч тонн в год и более. При выборе сырья пиролиза в нашей стране был взят курс преимущественно на использование прямогонного бензина. На современной отечественной крупнотоннажной этилен-пропиленовой установке типа ЭП-300, расположенной на территории северного промузла г. Томска, мощностью по этилену 300 тысяч тонн в год, работающей на прямогонном бензине, получают одновременно 139 тысяч тонн в год пропилена. Продукты, получаемые на установке ЭП-300, являются сырьем для крупных производств пластмасс – заводов «Полиэтилен» и «Полипропилен».

В последние годы, в связи с обостряющимся в стране дефицитом бензина, все более актуальным направлением становится использование широкой фракции легких углеводородов на установках пиролиза высокой мощности, запроектированных на бензиновое сырье. Наиболее перспективным на данный момент считается пиролиз прямогонного бензина с добавкой широкой фракции легких углеводородов. При использовании широкой фракции легких углеводородов в качестве добавки к сырью – бензину в количестве 20...25 % снижается себестоимость пропилена.

По проекту в составе сырья, идущего на газоразделение в пропиленовую колонну, должно быть 92 % пропилена, а по результатам анализа за 2004 год содержание пропилена колебалось в пределах 62...87 %. Снижение содержания пропилена привело к увеличению расхода питания с 21800 до 23100 кг/ч.

В связи с изменением состава сырья, назрела необходимость поиска оптимальных параметров проведения процесса ректификации и возможной реконструкции оборудования. Настроенное на разделение продуктов пиролиза прямогонного бензина, оно перестало обеспечивать необходимое качество выпускаемой продукции. На старой установке теперь невозможно получение товарного пропилена с содержанием последнего более 99,8 %.

Для обеспечения выпуска пропилена заданного качества при сохранении или даже некотором увеличении объема его выпуска мы проанализиро-

вали основные факторы, влияющие на работу установки выделения товарного пропилена, с помощью созданной математической модели.

На основании теоретических [1-4] и экспериментальных данных была построена математическая модель колонны выделения товарного пропилена, которая состоит из модели тарелки питания, модели контактных устройств, кипятильника и дефлегматора.

Созданная модель учитывает такие факторы, как тепло- и массоперенос в виде дифференциальных уравнений и гидродинамику в виде критериальных уравнений.

Настраиваемыми параметрами математической модели установки выделения товарного пропилена являются расход и состав питания, давление и температура в колонне, расход флегмы и тип контактных устройств.

Моделирование производилось с целью выявления параметров, наиболее влияющих на процесс ректификации и на качество получаемого пропилена.

Расчет основных физических параметров для пара и жидкости вели по общепринятым уравнениям, построенным на основе уравнений состояния идеального газа и критериальных параметров. Программа расчета функционально состоит из следующих расчетных блоков:

- блока расчета физических свойств веществ, таких как вязкость, плотность и др., описанных в форме полифункциональных аппроксимаций известного вида;
- блока описания математической модели тарелки питания;
- блока расчета контактного устройства с подбором температуры, при которой жидкость данного состава кипит на данном контактном устройстве, эффективности контактного устройства, расчета теплот фазового перехода при испарении жидкости и теплоемкости жидкости, стекающей с предыдущего контактного устройства;
- блока подбора расхода пара и флегмы;
- блока вывода данных.

В созданной программе рассчитывается реальное количество контактных устройств, необходимых для получения конечного продукта, с содержанием пропилена 99,8 %.

В ходе проведенных расчетов были получены следующие результаты:

- увеличение расхода флегмы практически не влияет на качество продукта;
- незначительное уменьшение расхода питания приводит к заметному увеличению эффективности тарелок;
- содержание пропилена в сырье сильно влияет на количество тарелок, необходимых для достижения нужной степени разделения;

- степень разделения зависит от давления, так что чем больше давление, тем меньше нужно тарелок и тем выше их эффективность.

Еще одним важным результатом является то, что созданная математическая модель дает представление о том, как движутся потоки пара и жидкости внутри колонны. С помощью модели проанализированы условия, приводящие к «зависанию» колонны.

Полученные в результате исследования модели данные позволили выдать следующие рекомендации:

- для достижения нужного качества пропилена можно изменять два параметра: если возможно, то необходимо снизить расход по питанию, если нет – то повышать давление в колонне, не меняя конструкцию и конфигурацию оборудования;

- замена применяемых тарелок на более эффективные, например на решетчатые, позволит получать продукт существенно лучшего качества;

- поскольку моделируемая колонна является разрезной, то, применив более эффективный тип тарелки и изменив обвязку колонн таким образом, чтобы сделать из них две самостоятельные колонны, можно существенно улучшить работу установки.

Литература

1. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. – М.: Химия, 1971. – 296 с.
2. Баготуров С.А. Теория и расчет перегонки и ректификации. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – 427 с.
3. Платонов В.М., Берго Б.Г. Разделение многокомпонентных смесей. Расчет и исследование ректификации на вычислительных машинах. – М.: Химия, 1965. – 368 с.
4. Анисимов И.В., Бодров В.И., Покровский В.Б. Математическое моделирование и оптимизация ректификационных установок. – М.: Химия, 1975. – 214 с.

УДК 66.023:541.124

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ИДЕАЛЬНЫХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТОРАХ

О.А. Якушина, В.В. Бочкарев, А.В. Трефилова

Томский политехнический университет

Разработана программа «РЕАКТОР» для моделирования, проектирования и расчета различных химико-технологических процессов в идеальных реакторах. Программа позволяет подобрать оптимальные условия проведения процесса при изменении следующих входных параметров: температуры проведения процесса, начальной концентрации ключевого реагента, соотношения исходных реагентов, типа реактора (РИС, РИВ, каскад РИС), а для каскада – и число реакторов в каскаде.

При проектировании нового химического производства любого органического продукта, а также при эксплуатации действующих производств, всегда встает задача выбора оптимальных условий проведения процесса.

Показателями эффективности работы отдельных аппаратов, узлов, отделений чаще всего являются технологические критерии. В данной работе в качестве выходных величин (критериев оптимизации), по которым можно судить об эффективности работы реакционного узла, были выбраны наиболее значимые для практической деятельности критерии – селективность и химический выход [1-3].

В программе «РЕАКТОР» смоделированы сложные параллельно-последовательные органические реакции, протекающие в идеальных химических реакторах (рис. 1).

Программное обеспечение состоит из нескольких модулей: выбор схем реакции, подходящей к данному химико-технологическому процессу; создание, редактирование исходных данных для выбранного процесса; расчет селективности и выхода для выбранного типа реактора; вывод результатов расчета в текстовом и графическом виде; отслеживание влияние управляющих параметров процесса на основные технологические показатели процесса – селективность, выход целевого продукта, а также интерфейсная часть.

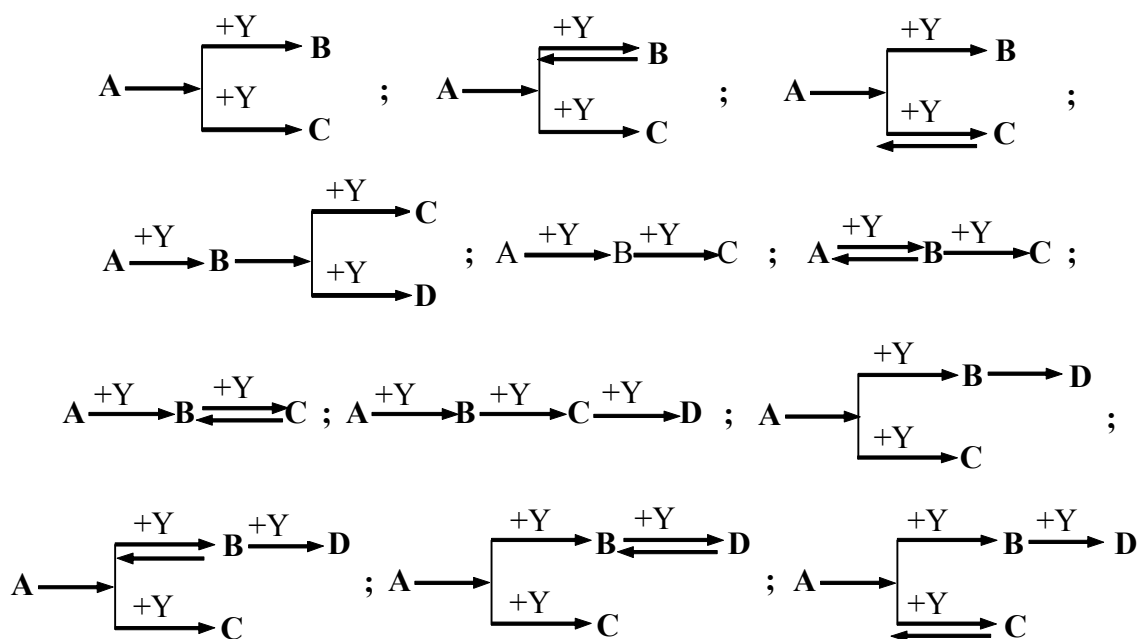


Рис. 1. Схемы реакций, смоделированные в программе «РЕАКТОР»

На этапе построения модели, на основе математического описания физико-химических закономерностей, учитывалось, что процесс и реактор, в котором он протекает, – сложные системы, имеющие несколько возможных уровней моделирования. Алгоритмы расчета реакторов отличаются в зависимости от типа реактора: идеального вытеснения, идеального смешения и каскада реакторов.

Алгоритм расчета реакторов идеального вытеснения:

- организуется цикл по степени конверсии;
- проводится расчет концентраций и скоростей реакций при данной степени конверсии;
- проводится расчет дифференциальной селективности при данной степени конверсии;
- проводится расчет интегральной селективности и выхода. Интегральная селективность процесса рассчитывается численным интегрированием по методу трапеций.

Алгоритм расчета реакторов идеального смешения следующий:

- задается степень конверсии исходного вещества;
- проводится расчет селективности и выхода при заданной степени конверсии.

Общим методом расчета каскада реакторов идеального смешения является поэлементный расчет каждого аппарата в каскаде. Причем исходные реагенты вводятся сразу в первый реактор; во всех аппаратах каскада поддерживается одинаковая температура; расчет каскада реакторов начинается с первого реактора.

- задается степень конверсии исходного вещества после первого реактора;
- проводится расчет селективности процесса в первом аппарате каскада;
- производится последовательный расчет степени конверсии и селективности после второго и последующих аппаратов в каскаде.

Выполненная работа позволила решить несколько важных задач:

- разработать общий алгоритм моделирования сложных химических реакций в идеальных реакторах;
- разработать удобный «дружеский» интерфейс общения с программой;
- непосредственно в процессе работы отслеживать, как изменения управляющих параметров процесса сказываются на технологических показателях химико-технологического процесса.

Результат работы – программа «РЕАКТОР» может использоваться при проведении проектных, научно-исследовательских работ по нахождению оптимальных условий осуществления химико-технологического процесса, реакции.

Литература

1. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия. 1982. – 288 с. (серия «Химическая кибернетика»).
2. Лебедев Н.Н., Манаков М.Н., Швец В.Ф. Теория химических процессов основного органического и нефтехимического синтеза. – 2-е изд. перераб.. – М.: Химия. 1984. – 376 с.
3. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. – М.: Химия. 1985. – 448 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМОВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С.Н. Шевцов

Южный научный центр РАН,

Ю.Б. Рубцов

ОАО «Роствертол», г. Ростов-на-Дону

Н.Г. Снежина, О.Д. Паханьян

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

При изготовлении крупногабаритных авиационных деталей из композиционных материалов необходимо корректно учитывать распределенные в пространстве и во времени теплофизические явления наряду с правильным выбором характеристик системы управления. Представлены результаты компьютерного моделирования системы распределенного управления нагревом прессформы для полимеризации лонжерона с помощью программного комплекса Femlab 3.1 – MATLAB, позволившие усовершенствовать конструкцию прессформы и систему управления процессом.

Технология изготовления крупногабаритных композитных деталей типа лонжерона лопасти вертолета включает приготовление препрега на основе ткани или стекловолоконной ленты, пропитанной эпоксидной смолой, намотку препрега на стальную оправку; полимеризацию в прессформе; последующую механическую обработку и контроль. Для достижения требуемой геометрической точности и отсутствия искажений формы, исключения дефектов (воздушные включения, расслоения, макроотклонения) необходимо выдержать заданные химический состав композиции и температурный режим отверждения как вдоль, так и по сечению изделия. Отклонения от заданной температуры не должны превосходить $\pm 5^\circ \text{C}$.

Подлежащая модернизации конструкция прессформы состоит из ряда последовательных секций (рис. 1), содержащих боковые, нижний нагреватели и термопары. Каждый нагреватель управляется одним каналом системы управления, получающей сигналы от соответствующих термопар.

Для обеспечения заданного температурного режима формования был выполнен комплекс работ по его моделированию: разработка моделей экзотермического эффекта полимеризации связующего, геометрии технологической системы, теплопередачи и модель автоматического распределенного управления нагревом.

При построении теплофизической модели материала лонжерона полагали, что экзотермический эффект определяется соотношением [1]

$$\frac{d\alpha(T, \alpha)}{dT} = \left[A_1 \exp(-E_1/RT) + A_2 \exp(-E_2/RT) \alpha^m \right] (1 - \alpha)^n,$$

где $\alpha \equiv Q(t)/Q_0$ – степень полимеризации ($\alpha \in [0;1]$); A_1, A_2 – масштабные множители, E_1, E_2 – величины энергии активации; R – газовая постоянная, m, n – константы реакции полимеризации; $Q(t), Q_0$ – выделившееся и полное количество тепла при полимеризации единицы массы.

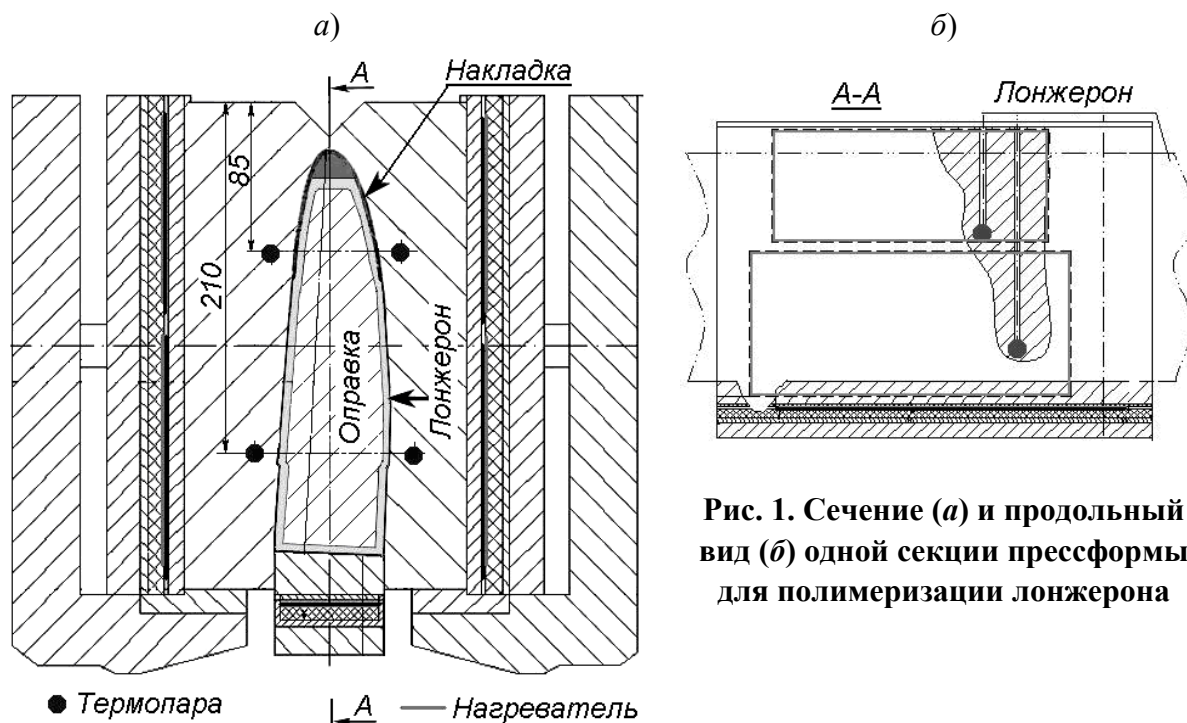


Рис. 1. Сечение (а) и продольный вид (б) одной секции прессформы для полимеризации лонжерона

Параметры модели были определены из экспериментов методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Коэффициент теплопроводности композита назначался в соответствии с соотношением [1]

$$k_c = k_r \frac{(1 + v_f)k_f + (1 - v_f)k_r}{(1 - v_f)k_f + (1 + v_f)k_r},$$

где v_f – удельный объем армирующих волокон; k_f – коэффициент их теплопроводности; k_r – коэффициент теплопроводности матрицы, линейно зависящий от степени полимеризации

$$k_r = (1 - \alpha)k_{r,\alpha=0} + \alpha k_{r,\alpha=1}.$$

Значения параметров материала формуемого изделия и всех материалов прессформы назначали по справочной документации. Характер намотки дал основание для пренебрежения анизотропией в поперечном сечении изделия. В связи с тем, что основными режимами работы прессформы являются длительные выдержки при постоянной температуре, было необходимо точно учесть в модели процесс передачи тепла через внешние поверхности прессформы окружающему воздуху. Лучистый и конвективный теплообмен был заменен фиктивным, параметры которого определяли из эксперимента и использовали при компьютерном моделировании.

Для изучения системы распределенного нагрева в динамике температура точек конечноэлементной модели (рис. 2), где в реальной прессформе установлены термодатчики, импортировалась в Simulink – модель системы управления, представляющую собой пропорционально-интегральную систему автоматического регулирования. Кроме этого, регистрировалась температура в нескольких точках сечения формируемого изделия. Simulink – модель подавала на вход Femlab – подсистемы значения мощностей нагревателей и температуру окружающего воздуха, которая испытывала случайные вариации, обусловленные перемещениями больших масс воздуха в производственном помещении.

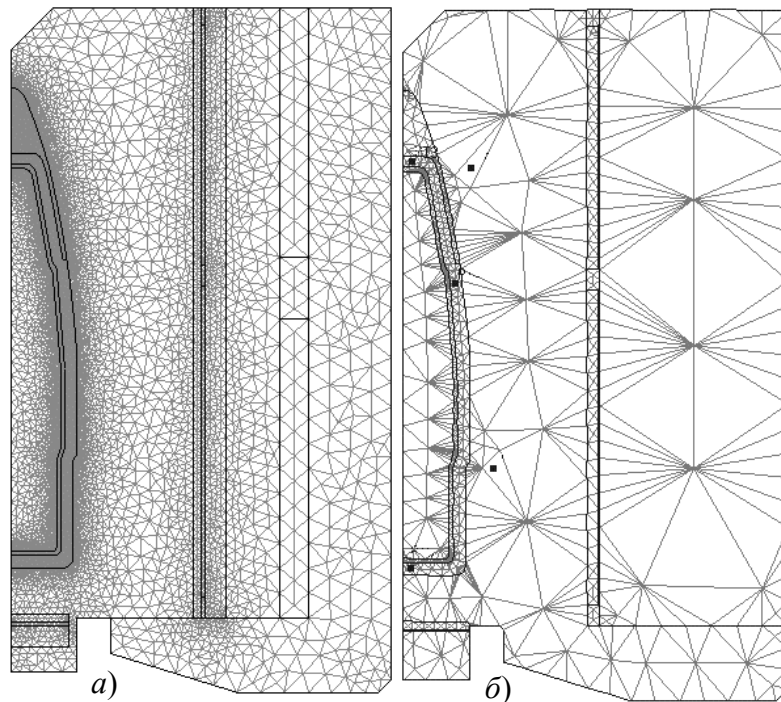


Рис. 2. Конечноэлементное разбиение поперечного сечения прессформы:
а – исходная сетка (26800 элементов); *б* – сетка (1720 элементов),
 адаптированная для работы в комплексе с Simulink-моделью САУ нагрева

В связи с тем, что работа динамической модели системы выполнялась весьма медленно, в исходной модели была существенно разрежена конечно-элементная сетка, объемные источники тепла заменены поверхностными с соответствующим пересчетом интенсивности, а сэндвичевая конструкция прессформы преобразована в монолитное тело с той же геометрией внешних границ и габаритными размерами. При этом было необходимо обеспечить выполнение подобия физических свойств, заключавшегося в том, чтобы в каждый момент времени распределение температур на поверхности упрощенной модели прессформы полностью соответствовало распределению температур на поверхности «точной» модели.

Полученная в результате решения смешанной краевой задачи о распространении тепла в двух одномерных стержнях равной длины (однородном и составленном из n разнородных участков), частично отдающих тепло через боковую поверхность, упрощенная модель поперечного сечения прессформы обеспечила в статике согласованное с экспериментом температурное поле на внешних поверхностях прессформы и в ее части, прилежащей к формуемому изделию. При линейном нарастании температуры нагревателей со скоростью $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ модель дала максимальное отклонение температур в изделии $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Учет тепловой инерционности прессформы, приводящей к запаздыванию реакции системы авторегулирования на колебания температуры окружающего воздуха, выполнялся с помощью модуля предикт-коррекции показаний термопар полиномами 2 порядка, включающегося после 180 мин предварительного прогрева прессформы. Моделирование полного цикла полимеризации занимало 60...180 мин, что позволило выполнить корректировки технологии и конструкции формообразующей оснастки.

Работа выполнялась в рамках проекта РФФИ № 05-01-00690 и госконтракта ФЦНТП 02.442.11.7240.

Литература

1. Aboulaich R., Boujena S., Pousin J. A numerical analysis of resin transfer molding // J. Condensed Matter (2004). – Vol. 5. – No. 1. – Pp. 5-9.

УДК 66.048.3.069.835:66.012

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ НА ГАЗОФРАКЦИОНИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ

М.Ю. Савельев

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск

Представлены результаты построения математической модели расхода энергоносителя в нормальном режиме эксплуатации газофракционирующей установки средней мощности. Дана оценка адекватности модели по дополнительным экспериментальным данным.

Актуальный в настоящее время вопрос эффективного использования природных энергетических ресурсов, повышение ресурсосберегающего потенциала в первую очередь связан с производствами, основанными на тепловых процессах. К числу таких производств относятся и газофракционирующие установки (ГФУ), которые предназначены для разделения газов на углеводородные фракции.

В качестве типовой рассматривалась установка средней мощности [1] из четырех ректификационных колонн (обозначение колонн – K1, K3, K5, K5A).

Для характеристики зависимости между расходом энергоносителя (водяной пар) и управляющими параметрами рассчитывались коэффициенты корреляции. Из всего числа переменных были выбраны те, которые определенным образом зависят с расходом пара при 5-процентном уровне значимости, остальные переменные не влияют на расход пара для этого уровня значимости и из рассмотрения были исключены. Таким образом, зависимыми с расходом пара явились параметры: F74 – расход сырья в колонне K1; F60 – расход орошения в колонне K1; T3 – температура низа колонны K1; T2 – температура сырья на входе в K1; L66 – уровень в колонне K1; F68 – расход продукта в колонне K3; F62 – расход орошения в колонне K3; T6 – температура низа колонны K3; T5 – температура продукта на входе в K3; L137 – уровень в колонне K3; F70 – расход продукта в колонне K5; T8 – температура низа колонны K5; L87 – уровень в колонне K5; L72 – уровень в колонне K5A.

Из совокупности статистических данных по технологическим параметрам, составу сырья, показателям качества продуктов и температуре окружающего воздуха выбирались наборы значений:

- соответствующие интервалам работы установки на сырье, близком к среднестатистическому и при температуре воздуха 0 ± 2 °C;
- соответствующие интервалам работы установки на легком сырье – максимальному количеству молей компонентов C₂H₆, C₃H₈ и C₄H₁₀ и при температуре воздуха -10 ± 2 °C;
- соответствующие интервалам работы установки на тяжелом сырье – минимальному количеству молей компонентов C₂H₆, C₃H₈ и C₄H₁₀ и при температуре воздуха $-6,5 \pm 2$ °C.

Проводился анализ полученных выборок для каждого типа сырья по всем управляющим параметрам. В результате получили набор параметров для включения в модель и определили диапазоны допустимых значений этих параметров при заданных условиях.

Для создания математического соотношения между расходом пара и управляющих параметров ГФУ в режиме нормальной эксплуатации установки использовали регрессионный анализ.

Процедура построения линейного регрессионного уравнения для расхода пара начинается с отбора главных независимых переменных из полного набора переменных. Для реализации такого выбора существует несколько статистических методов, однако, многие авторы [2] считают одним из лучших шаговый регрессионный метод. Этот метод наиболее экономичен при обработке данных на ЭВМ, позволяет избежать манипуляций с большим числом переменных, чем это необходимо.

Порядок включения определялся с помощью коэффициентов корреляции как мера важности переменных, еще не включенных в уравнение. На каждом шаге отмечалось улучшение величины коэффициента детерминации и исследовались частные F-критерии для обеих переменных, содержащихся в уравнении, а не только для той, которая только что была введена в уравнение. Наименьшая величина из этих двух частных F-критериев сравнивалась затем с подходящей процентной точкой F-распределения. Соответствующая переменная сохранялась в уравнении или исключалась из него в зависимости от результатов проверки. В соответствии с описанным методом подбирался наилучший набор переменных в регрессии. Построение зависимостей велось по порядку для каждого состава сырья: для основного (среднестатистического), легкого и тяжелого сырья. Все расчеты производились с использованием интегрированной системы для статистического анализа и обработки данных STATISTICA [3].

В результате был получен список переменных модели по шаговому методу: F74, T3, T2, L66, T6, T5, P25, L137, T64.

Правильность подобранной линейной модели можно оценить коэффициентом детерминации $R^2=0,5561$ и F-отношением $F=17,506$.

Далее оценивалось взаимное влияние полученных факторов на расход пара. Модель имеет вид:

$$\begin{aligned} FI83 = & b_0 + b_1 \cdot F74 + b_2 \cdot T3 + b_3 \cdot T2 + b_4 \cdot L66 + b_5 \cdot T6 + b_6 \cdot T5 + \\ & + b_7 \cdot P25 + b_8 \cdot L137 + b_9 \cdot T64 + b_{12} \cdot F74 \cdot T3 + b_{13} \cdot F74 \cdot T2 + \\ & + b_{14} \cdot F74 \cdot L66 + b_{15} \cdot F74 \cdot T6 + b_{16} \cdot F74 \cdot T5 + b_{17} \cdot F74 \cdot P25 + \\ & + b_{18} \cdot F74 \cdot L137 + b_{19} \cdot F74 \cdot T64 + b_{23} \cdot T3 \cdot T2 + b_{24} \cdot T3 \cdot L66 + \\ & + b_{25} \cdot T3 \cdot T6 + b_{26} \cdot T3 \cdot T5 + b_{27} \cdot T3 \cdot P25 + b_{28} \cdot T3 \cdot L137 + \\ & + b_{29} \cdot T3 \cdot T64 + b_{34} \cdot T2 \cdot L66 + b_{35} \cdot T2 \cdot T6 + b_{36} \cdot T2 \cdot T5 + \\ & + b_{37} \cdot T2 \cdot P25 + b_{38} \cdot T2 \cdot L137 + b_{39} \cdot T2 \cdot T64 + b_{45} \cdot L66 \cdot T6 + \\ & + b_{46} \cdot L66 \cdot T5 + b_{47} \cdot L66 \cdot P25 + b_{48} \cdot L66 \cdot L137 + b_{49} \cdot L66 \cdot T64 + \\ & + b_{56} \cdot T6 \cdot T5 + b_{57} \cdot T6 \cdot P25 + b_{58} \cdot T6 \cdot L137 + b_{59} \cdot T6 \cdot T64 + \\ & + b_{67} \cdot T5 \cdot P25 + b_{68} \cdot T5 \cdot L137 + b_{69} \cdot T5 \cdot T64 + b_{78} \cdot P25 \cdot L137 + \\ & + b_{79} \cdot P25 \cdot T64 + b_{89} \cdot L137 \cdot T64. \end{aligned} \quad (1)$$

В качестве метода оценивания неизвестных коэффициентов модели был выбран квазиньютоновский, как наиболее универсальный и дающий хорошую сходимость. При минимизации функционала использовалась квадратичная функция потерь. Для построения оценок коэффициентов модели для разного типа сырья вычислительные процедуры выполнялись с использованием пакета STATISTICA.

Коэффициенты (b) уравнения (1), значения функции потерь (Loss) и коэффициента детерминации (R^2) представлены в табл. 1-3 для легкого, среднего и тяжелого состава сырья соответственно.

Таблица 1

Параметры модели расхода пара для легкого состава сырья

b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b12	b13
100,47	-196,51	330,047	-110,82	-188,08	-352,25	-143,71	87,430	1,387	526,763	1,802	-1,136
b14	b15	b16	b17	b18	b19	b23	b24	b25	b26	b27	b28
0,247	0,321	-1,164	17,679	-0,002	-2,745	0,063	-2,219	1,846	-1,278	-18,058	0,045
b29	b34	b35	b36	b37	b38	b39	b45	b46	b47	b48	b49
-2,425	0,948	-0,211	-0,183	18,292	0,044	-2,484	2,237	0,121	5,819	-0,083	2,561
b56	b57	b58	b59	b67	b68	b69	b78	b79	b89	Loss	R²
2,420	-7,104	0,236	-2,002	9,951	0,101	-0,076	-2,606	2,446	-0,004	39,969	0,913

Таблица 2

Параметры модели расхода пара для среднего состава сырья

b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b12	b13
177,75	40,981	-115,96	114,76	-39,645	93,809	2,403	-6,139	-2,778	-30,115	0,185	0,438
b14	b15	b16	b17	b18	b19	b23	b24	b25	b26	b27	b28
0,145	-0,498	-0,040	-2,467	0,012	-0,381	-1,345	-0,087	0,914	-0,037	7,648	-0,007
b29	b34	b35	b36	b37	b38	b39	b45	b46	b47	b48	b49
0,331	-0,234	0,089	0,005	1,007	0,006	0,456	0,046	-0,015	3,622	-0,001	0,158
b56	b57	b58	b59	b67	b68	b69	b78	b79	b89	Loss	R²
0,089	-12,406	-0,029	-0,678	-0,674	-0,005	0,118	0,467	1,515	-0,014	47,237	0,945

Таблица 3

Параметры модели расхода пара для тяжелого состава сырья

b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	b9	b12	b13
1,497	85,653	-96,773	-201,29	-61,127	188,804	251,245	-159,58	-5,063	-203,52	-1,450	0,291
b14	b15	b16	b17	b18	b19	b23	b24	b25	b26	b27	b28
0,061	-0,086	-0,195	2,396	-0,052	1,385	1,051	0,910	1,163	-7,493	29,681	-0,269
b29	b34	b35	b36	b37	b38	b39	b45	b46	b47	b48	b49
-0,021	0,034	0,479	-0,002	3,983	-0,015	-0,812	-0,080	0,157	-1,006	-0,011	-0,878
b56	b57	b58	b59	b67	b68	b69	b78	b79	b89	Loss	R²
3,093	-40,104	0,546	0,011	7,934	-0,123	5,952	-0,819	-9,230	0,220	17,222	0,951

Высокие коэффициенты детерминации полученных уравнений, а также их многопараметричность дали основания для перехода к более детальному анализу – проверки на адекватность. Для проверки нормальности распределения остатков использовался график на нормальной вероятностной бумаге и зависимости остатков от прогнозируемых значений. Более обоснованное решение можно было принять, сравнив реальные значения (FI83) со значениями (Calc_FI83), полученными по регрессионной функции (рис. 1-3).

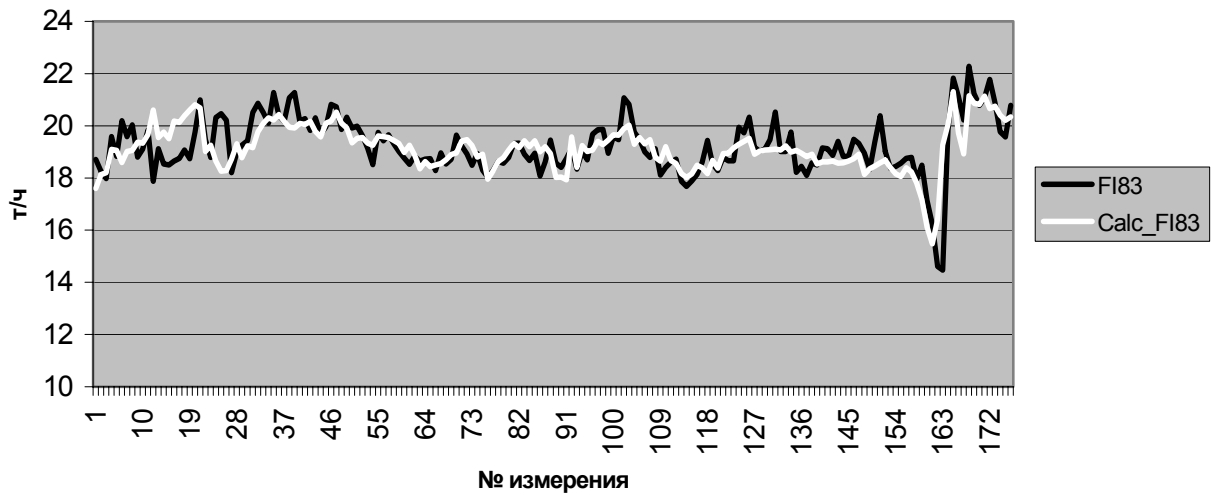


Рис. 1. Измеренные и рассчитанные значения расхода пара для среднего сыра

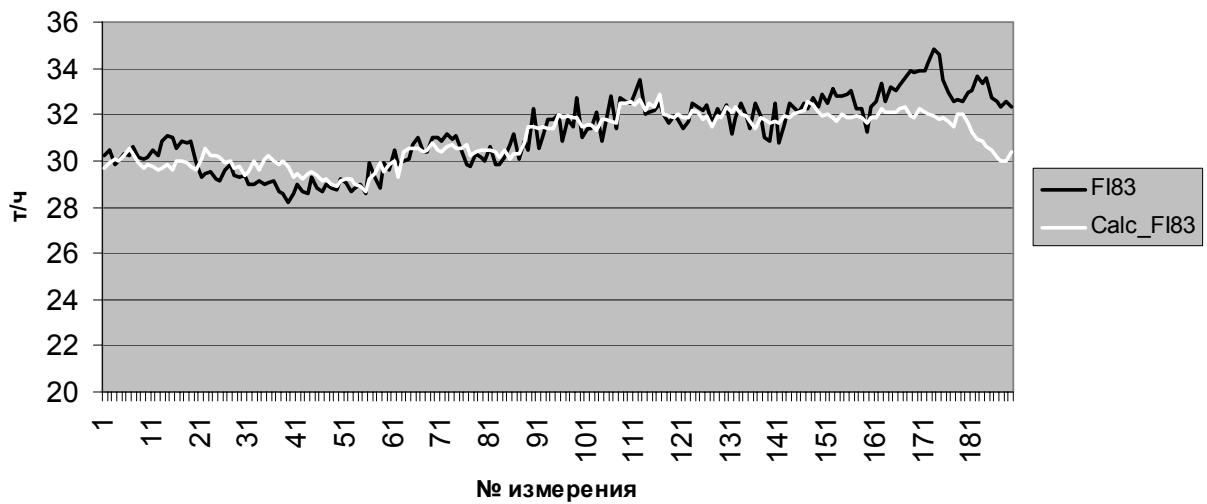


Рис. 2. Измеренные и рассчитанные значения расхода пара для легкого сыра

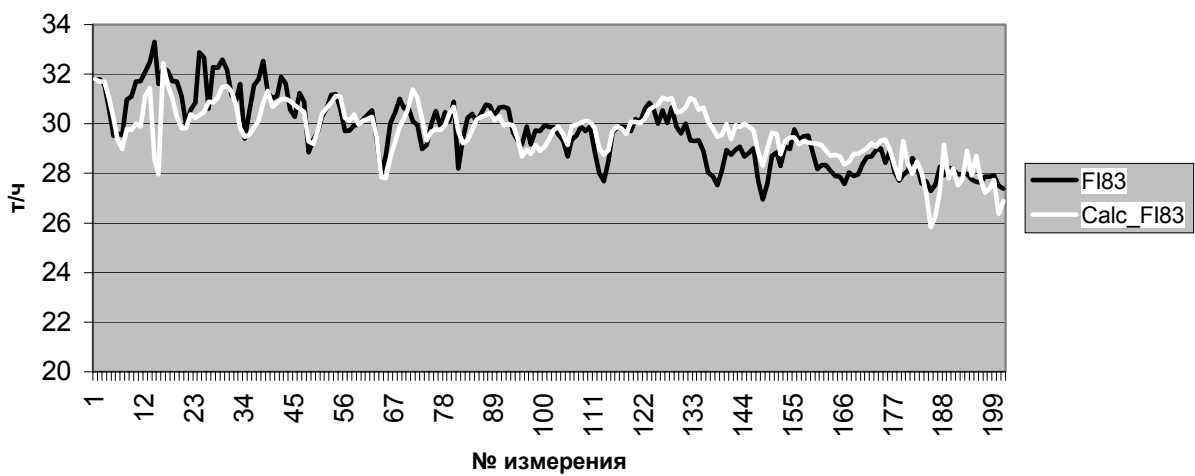


Рис. 3. Измеренные и рассчитанные значения расхода пара для тяжелого сыра

Математическая модель на основе метода регрессионного анализа соответствует условиям экспериментального исследования.

Таким образом, в зависимости от расхода пара и управляющих параметров значимыми являются следующие: F74, T3, T2, L66, T6, T5, P25, L137, T64. Дополнительная выборка вновь полученных экспериментальных данных и результаты использования модели для этих данных дали основания считать, что разработанная модель адекватна.

Литература

1. Демиденко Н.Д. Моделирование и оптимизация тепломассообменных процессов в химической технологии. – М.: Мир, 1991.
2. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. В 2-х кн. Кн. 2. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 351 с.
3. Боровиков В.П., Боровиков И.П. STATISTICA: Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. – М.: Информационно-издательский дом «Филинь», 1998. – 608 с.

644065, г. Омск, ул. 50 лет Профсоюзов, 65, 1, т. (3812) 67-30-62,
e-mail: saveljev@siboil.ru

УДК 621.867.4

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ШНЕКА

С.Н. Байбара, В.В. Ширяев, К.А. Адигамов

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты,
Донской государственный аграрный университет, п. Персиановский Ростовской области

Приводятся аналитические исследования влияния геометрических параметров вертикального шнека на критическую частоту вращения его вала согласно математической модели, полученной авторами.

Процесс транспортирования сыпучего материала вертикальным шнековым конвейером зависит от целого ряда геометрических и кинематических параметров. Одним из таких параметров является критическая частота вращения вертикального шнека.

Под критической частотой понимается такая частота вращения вертикального шнека, при которой перемещение материала вверх не происходит. Следовательно, для успешного транспортирования материала вертикальным шнеком необходимо, чтобы его частота вращения была больше критической. Известно несколько математических выражений для определения этого параметра. Одно из них приведено в работе [1]:

$$n_{\text{кр}} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g(\sin \alpha + f_{\text{ш}} \cos \alpha)}{R f_{\text{к}} (\cos \alpha - f_{\text{ш}} \sin \alpha)}}, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения; α – угол подъема спирали; $f_{\text{ш}}$, $f_{\text{к}}$ – коэффициенты трения материала о шнек и кожух; R – радиус шнека.

В работе [2] отмечалось, что численные значения $n_{кр}$, рассчитанные по выражению (1), завышены по сравнению с экспериментальными данными. Авторами была предложена уточненная зависимость с учетом сил, действующих на частицу материала поперек спирали:

$$n_{кр} \geq \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g[(\operatorname{tg}\alpha + f_{ш}) - f_k(\operatorname{tg}\beta - f_{ш})\cos\beta]}{Rf_k \cos\beta}}, \quad (2)$$

где β – угол наклона спирали к горизонту в поперечном сечении.

Теоретические исследования зависимости (2) выполнялись в следующей последовательности. Все параметры устанавливались на определенном уровне. Один из параметров изменялся в заданном диапазоне с нужным шагом. Для этого на языке Паскаль была составлена программа с циклом. Выходной функцией являлась критическая частота вращения шнека $n_{кр}$. В результате были установлены следующие закономерности.

В первом варианте переменным параметром считали угол подъема спирали шнека α . Остальные параметры были заданы следующими: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $f_k = 0,6$; $R = 0,1 \text{ м}$; $\beta = 15^\circ$; $f_{ш} = 0,1$. В результате были получены следующие значения, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

α , град	13	15	17	19	21
$n_{кр}$, мин ⁻¹	60,1	64,7	69,0	73,2	77,3

Из полученных данных следует, что с увеличением угла наклона спирали α критическая частота вращения шнека возрастает.

Во втором варианте переменной величиной являлся коэффициент трения $f_{ш}$ материала о шнек. Остальным параметрам были заданы следующие значения: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $f_k = 0,6$; $R = 0,1 \text{ м}$; $\beta = 15^\circ$; $\alpha = 17^\circ$.

Полученные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2

$f_{ш}$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
$n_{кр}$, мин ⁻¹	59,5	69,0	77,4	84,9	91,8	98,2

Из полученных данных следует, что с увеличением коэффициента трения материала о шнек критическая частота вращения шнека возрастает.

В третьем варианте переменной величиной являлся коэффициент трения материала о кожух f_k . Значения остальных параметров составляли: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $f_{ш} = 0,1$; $R = 0,1 \text{ м}$; $\beta = 15^\circ$; $\alpha = 17^\circ$.

Данные выполненных исследований приведены в таблице 3.

Таблица 3

f_k	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$n_{кр}, \text{мин}^{-1}$	190	131,5	105	88,9	77,6	69	62,2	56,5

Из приведенных данных следует, что с увеличением коэффициента трения о кожуш величина критической частоты вращения шнека уменьшается.

В четвертом варианте исследовали влияние радиуса шнека на величину критической скорости. Значения радиуса изменялись от 0,08 до 0,16 м с шагом 0,02 м. Остальные параметры составляли: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $f_{ш} = 0,1$; $f_k = 0,6$; $\beta = 15^\circ$; $\alpha = 17^\circ$. Результаты выполненных исследований приведены в таблице 4.

Таблица 4

$R, \text{м}$	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16
$n_{кр}, \text{мин}^{-1}$	77,2	69,0	63,0	58,3	54,6

Из полученных данных следует, что с увеличением радиуса шнека значение критической частоты вращения шнека уменьшается.

В пятом варианте переменной величиной являлся угол наклона β спирали к горизонту в поперечном сечении. Постоянные значения параметров принимались: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $f_{ш} = 0,1 \text{ м}$; $f_k = 0,6$; $R = 0,1 \text{ м}$; $\alpha = 17^\circ$. Результаты исследований приведены в таблице 5.

Таблица 5

$\beta, \text{град}$	10	15	20	25	30
$n_{кр}, \text{мин}^{-1}$	73,9	69,0	63,9	58,3	52,1

Из приведенных данных следует, что с увеличением угла β величина критической частоты вращения шнека уменьшается.

Проведенные исследования позволили выявить влияние различных параметров на критическую частоту вращения шнека.

Полученные данные позволяют теоретически определить степень влияния отдельных факторов на критическую частоту вращения шнека вертикального конвейера и выполнить процесс их оптимизации.

Литература

1. Башкатов Д.Н., Олоновский Ю.А. Вращательное шнековое бурение геологоразведочных скважин. – М.: Недра, 1968. – 192 с.
2. Адигамов К.А., Ширяев В.В., Байбара С.Н. Определение критической частоты вращения вертикального шнека // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. – 2004. – № 2. – С. 202-204.

ВЛИЯНИЕ МАССОВЫХ СИЛ НА ТЕЧЕНИЕ СРЕДЫ В КАНАЛАХ РОТОРНОГО АППАРАТА

В.М. Червяков, А.И. Четырин

Тамбовский государственный технический университет

На основании аналитического решения уравнения Навье-Стокса для течения среды в каналах роторного аппарата, рассмотрено влияние массовых сил на амплитуду «отрицательного» ускорения жидкости. Выделено три режима движения жидкости. Полученные результаты подтверждены экспериментально.

Предложена модель течения несжимаемой жидкости в каналах ротора роторного аппарата [1]. Модель получена на основании аналитического решения уравнений Навье-Стокса и неразрывности с соответствующими допущениями. Система цилиндрических координат связана с вращающимся каналом ротора. Для определения закономерностей течения жидкости в канале статора используется зонный подход, причем за функцию, связывающую выход из канала ротора со входом в канал статора, используется уравнение неразрывности, в виде постоянства объемного расхода среды через каналы модулятора роторного аппарата. Ввиду малости радиального зазора между наружной поверхностью ротора и внутренней поверхностью статора, расходом через него пренебрегаем. Изменение площади проходного сечения диафрагмы модулятора определяет закономерности течения жидкости в канале статора, при этом уравнение, описывающее течение в канале статора в безразмерной форме, примет вид:

$$v_C = v_P|_{r=1} S(t),$$

где $v_P|_{r=1}$ – функция, описывающая закономерности течения среды на выходе из канала ротора; $S(t)$ – функция, описывающая закономерность изменения площади проходного сечения диафрагмы модулятора.

На течение среды оказывает влияние поля массовых сил – центробежных и кориолисовых. Величина центробежной силы пропорциональна квадрату угловой скорости вращения ротора, а кориолисова – угловой скорости и радиальной составляющей скорости потока во вращающемся канале. При увеличении угловой скорости центробежная сила возрастает быстрее, чем кориолисова, в предположении постоянного объемного расхода через аппарат.

Таким образом, можно выделить три режима течения среды в зависимости от соотношения величин центробежной и кориолисовых сил, оцениваемого критерием K_K [2]

$$K_K = \omega R/V,$$

где ω – угловая скорость вращения ротора, с^{-1} ; R – наружный радиус ротора, м; V – масштаб радиальной составляющей скорости потока через канал ротора, м/с.

При небольшой угловой скорости преобладают кориолисовы силы, при этом граница возрастания ω оценивается K_{K1} .

На промежутке от K_{K1} до K_{K2} центробежная сила начинает оказывать возрастающее влияние на поток.

При превышении значения K_{K2} влияние кориолисовых сил незначительно.

Из работы [3] следует, что при преобладающем влиянии кориолисовых сил максимум профиля скорости радиального потока по ширине канала смещается в сторону действия этой массовой силы. В случае, когда центробежная сила превосходит кориолисову, профиль скорости по поперечному сечению канала имеет вид параболы, с максимумом практически на оси канала.

Таким образом, в процессе закрывания канала статора в зависимости от рассмотренных режимов течения характер изменения, т.е. уменьшение скорости и, соответственно, увеличение ускорения торможения среды, будет различным.

В первом режиме при увеличении ω амплитуда «отрицательного» ускорения, возникающего при закрывании канала статора, увеличивается до достижения границы второго режима, т.е. K_{K1} . Затем при увеличении ω , профиль скорости приближается к форме параболы, а «отрицательное» ускорение уменьшается. Однако при дальнейшем увеличении ω , т.е. критерий $K_K > K_{K2}$, возрастает сама величина радиальной составляющей скорости и, следовательно, растет амплитуда «отрицательного» ускорения.

Характерный график изменения модуля амплитуды «отрицательного» ускорения имеет вид, изображенный на рис. 1.

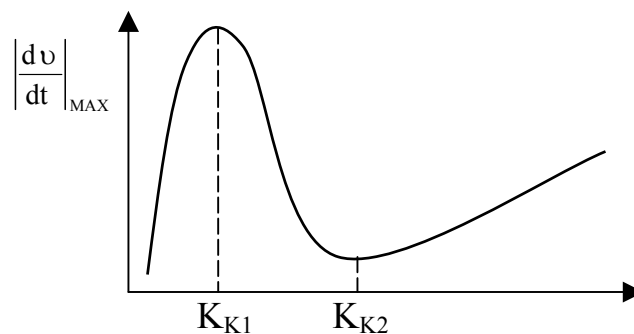


Рис. 1. Зависимость амплитуды «отрицательного» ускорения от критерия K_K

Полученная зависимость была подтверждена экспериментально. С помощью датчика из титаната бария определялась зависимость динамического давления, генерируемого модулятором. Динамическое давление пропорционально изменению dv/dt [1].

На основании проведенного теоретического и экспериментального исследования, можно получить границы течения среды в каналах роторного аппарата, определяемых критерием K_K , оценивающего соотношение центробежных и кориолисовых сил.

Литература

1. Червяков В.М., Воробьев Ю.В. Нестационарное течение идеальной сжимаемой среды в каналах роторного аппарата // ТОХТ. – 2005. – Т. 39. – № 1. – С. 65-71.
2. Червяков В.М., Воробьев Ю.В. Подобие процессов нестационарного течения жидкости в модуляторе роторного аппарата // Вестник ТГТУ, 2002. – Т. 8. – № 4. – С. 618-622.
3. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. – М.: Машиностроение, 1980. – С. 240.

УДК 51–7: 630*3

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ И ПОТРЕБЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩАЕМОГО ЗАПАСА

С.Б. Якимович, М.А. Тетерина

Марийский государственный технический университет, г. Йошкар-Ола

Изложен подход, развивающий теорию запасов в представлении их как перемещаемых, и дан пример моделирования смежных операций технологического процесса и оптимизации рейсовых нагрузок (грузоподъемности) транспортных машин.

Технологические процессы (ТП) различных сфер предметной деятельности предполагают обрабатывающие и транспортные операции с созданием управляемых запасов в целях обеспечения функционирования без простоев. Теория запасов моделирует межоперационные и иные виды запасов, которые могут быть классифицированы как перемещаемые. Иначе это запасы, накапливаемые и потребляемые во времени в неизменяемых, заранее заданных координатах пространства. Такие запасы минимизируют простои посредством буферизации детерминированных и стохастических неравномерностей или несоответствий интенсивностей накопления предмета труда (ПТ) после обрабатывающих машин и потребления ПТ транспортными машинами. Примерами подобных систем являются гибкие автоматизированные внутризаводские линии, сельскохозяйственные уборочные комплексы, лесозаготовительные и деревообрабатывающие комплексы типа «комбайн(харвестер) – транспортная машины(форвадер)» и иные складские комплексы, с присущими им логистическими процессами.

Перечисленные системы включают в себя перемещаемые транспортными машинами емкости с грузами. То есть транспортные машины обслуживают перемещаемые запасы. Под перемещаемым понимается такой запас,

который накапливается, перемещается и потребляется в изменяемых координатах пространства-времени по маршруту ТП. Подобные запасы также обеспечивают снижение простоев на смежных операциях ТП. Обусловлено это тем, что интенсивность поступления ПТ после обрабатывающих операций в виде ординарного потока существенно выше, чем интенсивность подобного же потока при транспортировке поштучно отдельными машинами. В этой связи, при транспортировке поштучно разность интенсивностей привела бы к непрерывному накоплению запаса на переходе от обрабатывающих к транспортным операциям. Для устранения подобного явления транспортные машины преобразуют индивидуальный поток в групповой посредством формирования и перемещения запаса определенного объема.

Оптимальные значения перемещаемых запасов зависят от стохастических и детерминированных факторов ТП. Результаты оптимизации могут быть использованы как технологические требования к проектируемым машинам или как основа для формирования комплектов серийных машин. Очевидно, что оптимальные перемещаемые запасы могут заменить в некоторой части традиционные неперемещаемые в различных сферах предметной деятельности.

Изложенные положения рассматриваются на примере моделирования и оптимизации рейсовой нагрузки форвадера с декомпозицией процесса работы комплекта «харвестер - форвадер». В соответствии с теорией запасов [1], обработка ПТ до конечного состояния и транспортировка полученных сортиментов могут быть представлены в виде графика накопления и потребления перемещаемого запаса (рис. 1).

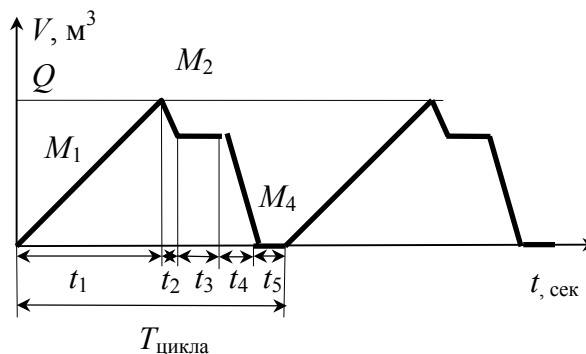


Рис. 1. Графическая интерпретация накопления и потребления перемещаемого запаса

Процесс обработки ПТ харвестером характеризуется интенсивностью получения сортиментов M_1 и продолжительностью t_1 формирования запаса объемом Q . Величина этого запаса определяет рейсовую нагрузку форвадера. Осуществляемый форвадером процесс складывается из следующих элементов: сбор пачки (характеризуется продолжительностью t_2 и интенсивностью M_2), транспортировка (характеризуется продолжительностью t_3), разгрузка

пачки (характеризуется продолжительностью t_4 и интенсивностью M_4), холостой ход (характеризуется продолжительностью t_5). Время сбора, транспортировки, разгрузки объема Q и холостого хода форвадера должно быть равно времени работы харвестера, необходимому для создания запаса такого же объема и определяется условием

$$t_1 = \sum_{i=2}^5 t_i. \quad (1)$$

В этом случае обеспечивается отсутствие простоев как харвестера, так и форвадера, а также отсутствие избыточных запасов (рис. 2,а).

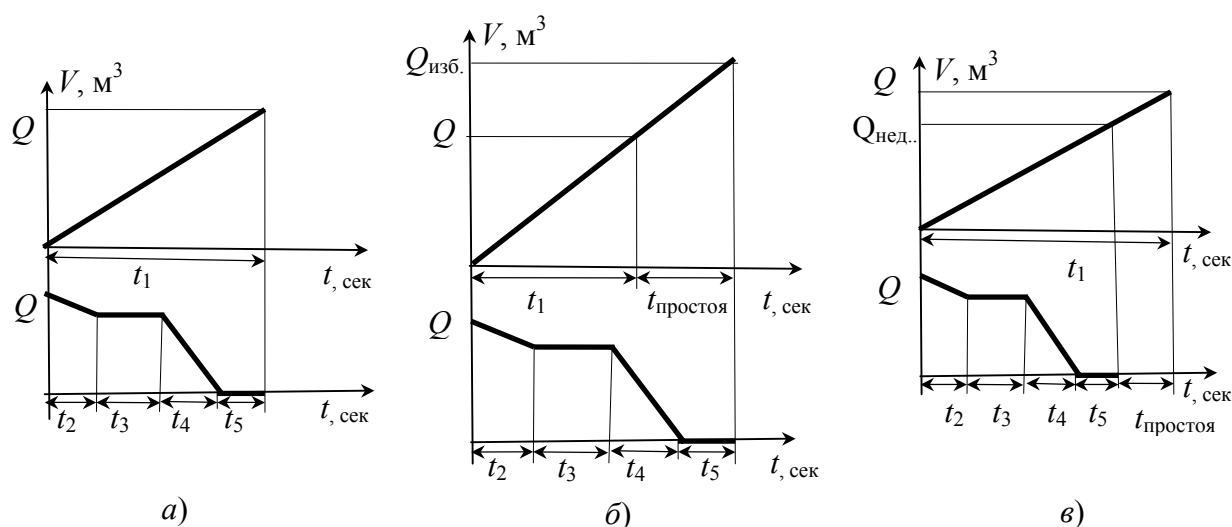


Рис. 2. Графическая интерпретация формирования и выработки перемещаемого запаса:

$$a - \text{при } t_1 = \sum_{i=2}^5 t_i; \quad б - \text{при } t_1 < \sum_{i=2}^5 t_i; \quad в - \text{при } t_1 > \sum_{i=2}^5 t_i$$

В противном случае возможны два варианта.

1. Время цикла, осуществляемого форвадером ТП, больше времени на создание запаса харвестером. При этом наблюдаются простои харвестера с накоплением избыточного межоперационного запаса (рис. 2,б).

2. Время цикла, осуществляемого форвадером ТП, меньше времени на создание запаса харвестером. Следовательно, возникают простои форвадера, или форвадер работает с рейсовыми нагрузками, которые меньше его нормативной грузоподъемности (рис. 2,в).

Задача оптимизации [4] по критерию времени простоев сводится к определению такой рейсовой нагрузки, при которой минимизируется критерий:

$$\rho = \left| t_1 - \sum_{i=2}^5 t_i \right|$$

и соблюдаются ограничения:

$$M_1 \geq \frac{Q}{\sum_{i=2}^5 t_i} \quad (2)$$

$Q > 0$, здесь $\left| t_1 - \sum_{i=2}^5 t_i \right|$ характеризует время простоев за цикл, включающий время создания харвестером запаса объемом Q и время сбора пачки, ее транспортировки и холостого хода форвадера.

В задаче оптимизации рейсовой нагрузки форвадера должно также соблюдаться условие (2). Это условие отражает необходимость того, чтобы интенсивность создания запаса харвестером была больше (или равна) интенсивности процесса, выполняемого форвадером. Для получения выражения оптимальных значений рейсовых нагрузок форвадера, запишем условие (1) на основе стандартных зависимостей для элементов времени $t_2 \dots t_5$

$$t_1 = \frac{t_{\text{зп}} Q}{0,785 l_c (0,04 d^2 l_x + 0,1)^2} + \frac{10^4 Q}{\Delta^\Phi q v_\Pi^\Phi} + \frac{10^4 t_{\text{рт}} Q}{a q \Delta^\Phi} + \frac{l}{v_{\text{гр}}} + \frac{l}{v_x} + \frac{t_p Q}{Q_0} + t_{\text{ман}}. \quad (3)$$

Представленная зависимость включает следующие элементы: скорость грузового и холостого хода $v_{\text{гр}}$ и v_x , м/с; скорость переезда между рабочими позициями v_Π^Φ , м/с; грузоподъемность манипулятора Q_0 , м³; ширина обрабатываемой форвадером ленты леса Δ^Φ , м; диаметр ствола в месте срезания d , м; длина хлыста l_x , м; длина сортимента l_c , м³; запас леса на 1 га q , м³; расстояние между рабочими позициями a , м; среднее расстояние транспортировки l , м; время маневров $t_{\text{ман}}$, с; время захвата сортимента и его погрузки $t_{\text{зп}}$, с; время на перевод оборудования из транспортного положения в рабочее и наоборот $t_{\text{рт}}$, с; время разгрузки группы сортиментов, захватываемой грейфером за один прием, t_p , с. Из рис. 1, 2 время t_1 определяется по выражению:

$$t_1 = \frac{Q}{M_1}. \quad (4)$$

Согласно (3), (4):

$$\frac{Q}{M_1} = \frac{t_{\text{зп}} Q}{0,785 l_c (0,04 d^2 l_x + 0,1)^2} + \frac{10^4 Q}{\Delta^\Phi q v_\Pi^\Phi} + \frac{10^4 t_{\text{рт}} Q}{a q \Delta^\Phi} + \frac{l}{v_{\text{гр}}} + \frac{l}{v_x} + \frac{t_p Q}{Q_0} + t_{\text{ман}}.$$

Выразив Q из полученного выражения, имеем зависимость для определения оптимальных значений рейсовых нагрузок форвадера:

$$Q_{\text{опт}} = \frac{\frac{l}{v_{\text{гр}}} + \frac{l}{v_x} + t_{\text{ман}}}{\frac{1}{M_1} - \frac{t_{\text{зп}}}{0,785 l_c (0,04 d^2 l_x + 0,1)^2} - \frac{10^4}{\Delta^\Phi q v_\Pi^\Phi} - \frac{10^4 t_{\text{рт}}}{a q \Delta^\Phi} - \frac{t_p}{Q_0}}.$$

Из изложенного следует вывод, что оптимальные рейсовые нагрузки (перемещаемые запасы) обеспечивают отсутствие простоев при работе комплекса обрабатывающих и транспортных машин и зависят от технологиче-

ских (расстояние транспортировки, интенсивности создания и потребления запасов) и природно-производственных факторов.

Литература

1. Вагнер Г. Основы исследования операций. Т. 1 – М.: Мир, 1973. – 335 с.
2. Редькин А.К., Якимович С.Б. Математическое моделирование и оптимизация технологических лесозаготовок: Учебник для вузов. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 504 с.

УДК 621 314

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ РАСЧЕТА И МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

А.Я. Шкарупин, А.А. Дегтярев

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Рассматриваются возможности системы программирования Delphi для создания программ автоматизированного проектирования устройств силовой электроники.

При анализе работы устройств силовой электроники находят широкое применение специализированные пакеты схемотехнического моделирования. Однако в большинстве случаев для расчета и моделирования устройств узкой специализации удобно применять программы, разработанные под конкретные схемы. Для создания таких узкоспециализированных программ удобно использовать систему программирования Delphi. Рассмотрим возможности, предоставляемые данной системой, при разработке программы расчета и моделирования устройств силовой электроники.

На рис. 1 показан вид окна программы автоматизированного расчета и моделирования преобразователя постоянного напряжения (ППН) на этапе разработки в среде Delphi.

Окно формы является заготовкой будущего окна разрабатываемой программы. Изначально это окно пустое, но по мере помещения на него различных элементов из палитры компонентов окно приобретает привычный вид Windows-окна.

Палитра компонентов содержит элементы, с помощью которых конструируется видимый каркас программы. К таким элементам относятся различные кнопки, списки выбора, поля ввода и вывода данных и т.д. Каждый компонент палитры обладает набором свойств, методов и событий, позволяющих управлять его внешним видом и настраивать его взаимодействие с другими элементами программы.

Отображение и изменение связей между компонентами активной формы осуществляется с помощью окна дерева объектов. Кроме того, дерево объектов позволяет активизировать любой компонент данной формы щелчком, при этом свойства этого компонента отображаются в инспекторе объектов.

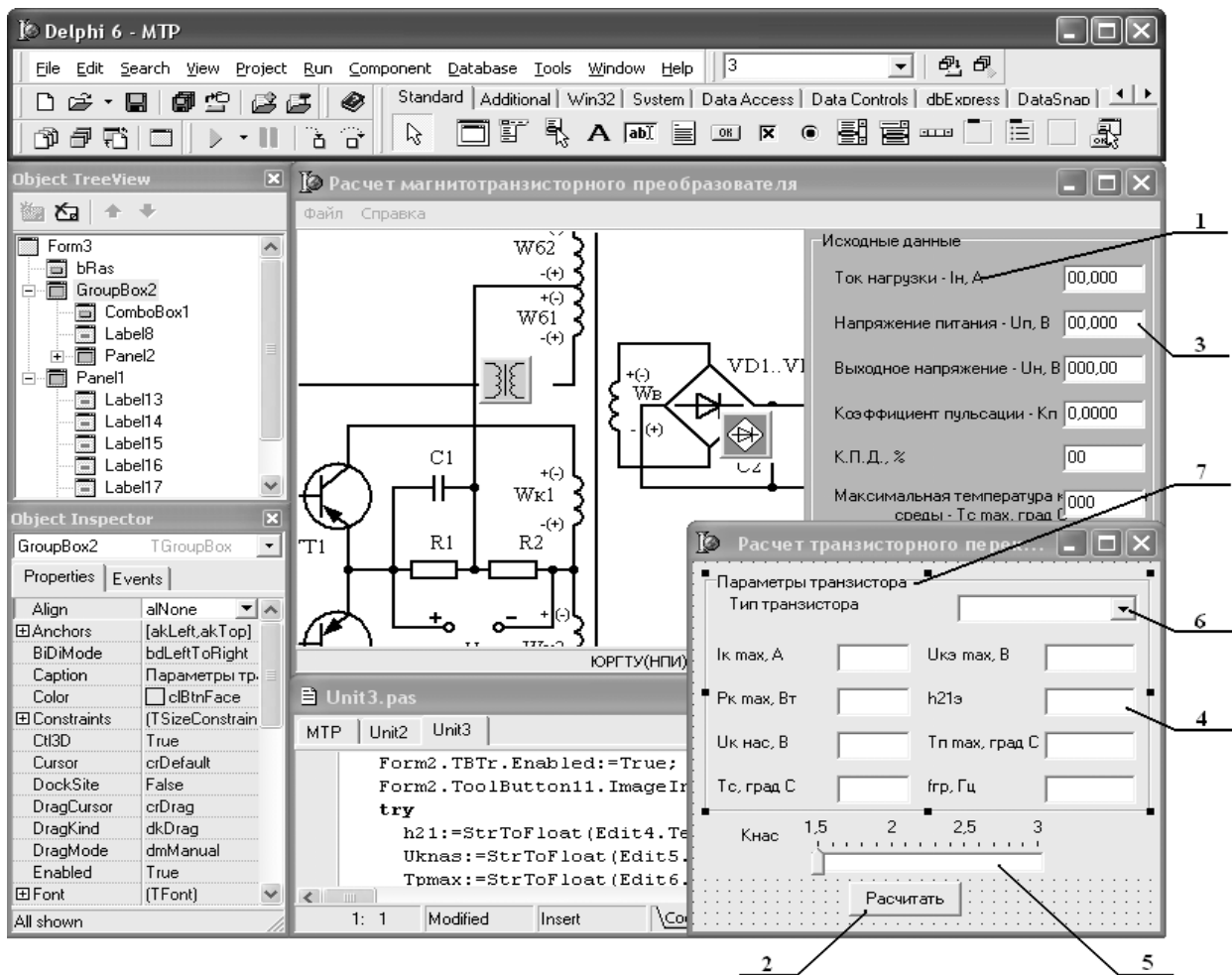


Рис. 1

Окно инспектора объектов содержит две вкладки – Properties (Свойства) и Events (События). Вкладка Properties служит для редактирования свойств компонента: размеры, цвет, надписи, положение относительно левого верхнего угла формы и т. п. Вкладка Events позволяет определить реакцию компонента на различные события: щелчок или перемещение мыши, изменение размера окна, нажатие клавиши и т. п.

На этапе компоновки к исполняемому файлу директивой {\$R *.res} присоединяется файл ресурсов, содержащий значок программы, номер версии и т.п.

Для организации поясняющих надписей и различных предписывающих сообщений применяется компонент TLabel (поз.1). Текст надписи присваивается свойству компонента Caption, это можно сделать как на этапе проектирования при помощи инспектора объектов, так и программной командой – Label2.Caption:='Текст надписи'.

Для подтверждения выбора, запуска расчета и т.п. используются различные виды кнопок, но наиболее распространены кнопки типа TButton (поз. 2). Надпись на кнопки можно задавать свойством Caption. Для того чтобы заста-

вить программу реагировать на нажатие кнопки, необходимо настроить ее событие OnClick. Например, для того чтобы по нажатию кнопки программа завершала работу, нужно написать следующий «обработчик события» (Form1 – главное окно проекта):

```
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  Form1.Close;
end.
```

Для ввода исходных данных нужно использовать различные компоненты, их выбор определяется типом вводимых данных. Например, для ввода числовой информации целесообразно использовать компонент TMaskEdit (поз. 3).

Компонент TMaskEdit позволяет в окне Input Mask Editor задать формат вводимого числа. Задавая формат, можно уменьшить вероятность некорректного ввода данных.

Если для ввода числовой информации используется компонент TEdit (поз. 4), который не может фильтровать вводимые данные, то необходимо применять защитные блоки. Например, чтобы предотвратить аварийное завершение программы в результате возникновения ошибки при считывании информации, следует использовать следующий фрагмент кода:

```
try
  n:=StrToInt(Edit1.Text);
except
  Form2.ShowModal;
end.
```

Если используется такой защитный блок, то при возникновении ошибки на экран будет выведено окно с соответствующим сообщением.

Для организации выбора числа из диапазона целесообразно использовать компонент TTrackBar (поз. 5). Для настройки компонента необходимо задать свойства Min и Max. Разность вида Max - Min определяет число дискретных значений диапазона. Для определения положения ползунка компонента используется свойство Position. Свойства Min, Max и Position являются целыми числами. Для считывания значений (в том числе и дробных) можно воспользоваться следующим выражением:

$$n = \min + \text{TrackBar.Position} \cdot \text{step},$$

где min – минимальное значение диапазона; step – шаг дискретизации.

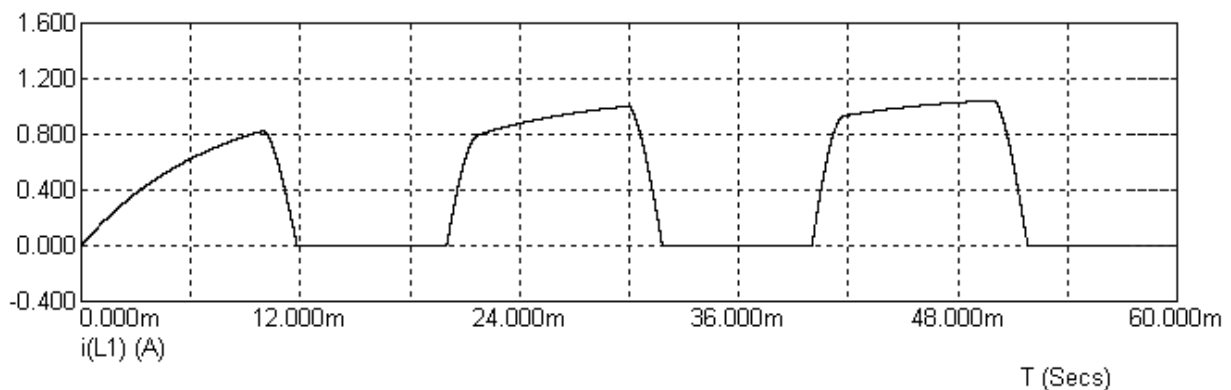
Для примера, показанного на рис. 1, значение можно определить по формуле:

$$n = 1,5 + \text{TrackBar.Position} \cdot 0,1.$$

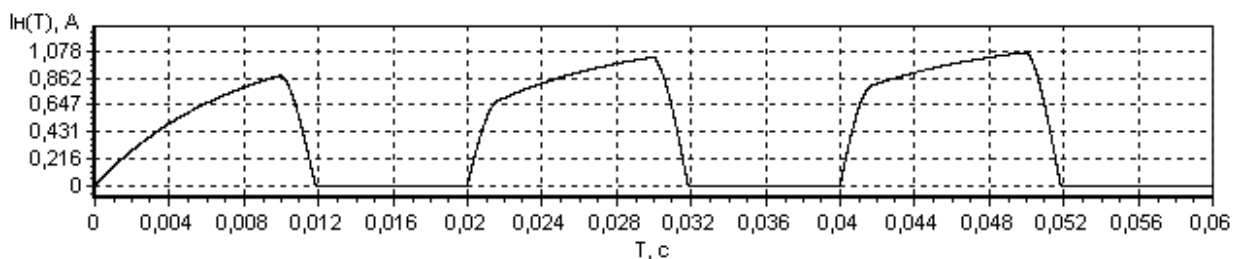
Для организации выбора значения из списка удобно применять компонент TComboBox (поз. 6). Все значения списка содержатся в свойстве Items. Обращение к элементу списка производится через индекс элемента. Индекс выбранного элемента хранится в свойстве ItemIndex.

Если необходимо одновременно работать с группой элементов (перемещать по рабочей зоне формы или управлять видимостью) или выделить их для большей наглядности, то целесообразно поместить эти элементы на компонент TGroupBox (поз. 7).

Для графического представления переходных процессов или других зависимостей необходимо использовать компонент Tchart, с помощью которого можно построить как простые двухмерные графики, так и трехмерные, а также круговые диаграммы. При помощи компонента TChart можно строить графики функций любой сложности. Для примера, на рис. 2 приведены диаграммы переходного режима ППН, построенные с помощью специализированного профессионального пакета (рис. 2,а) и с помощью программы, использующей компонент TChart (рис. 2,б).



а)



б)

Рис. 2

Как видно из представленных диаграмм, они идентичны.

Литература

1. Шкарупин А.Я., Резников Д.А. Программа автоматизированного проектирования импульсных источников питания // Компьютерные технологии в науке, производстве, социальных и экономических процессах: Сб. междунар. науч.-практ. конф. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2005. – Ч. 1. – С. 12-15.
2. Шкарупин А.Я., Резников Д.А. Программа автоматизированного проектирования управляемых выпрямителей // Компьютерные технологии в науке, производстве, социальных и экономических процессах: Сб. междунар. науч.-практ. конф. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2005. – Ч. 1. – С. 15-17.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ MICRO-CAP В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

П.А. Корчагин

Казанский государственный университет

Приводятся основные характеристики системы моделирования электронных устройств. Рассматриваются вопросы применения пакета Micro-Cap в преподавании дисциплин радиофизического профиля.

Средства компьютерного моделирования электронных устройств играют в последнее время все более значимую роль как в процессе разработки радиоэлектронной аппаратуры, так и при обучении на соответствующих специализациях профессиональной и высшей школы.

Среди многочисленных пакетов программ, предназначенных для автоматизации проектирования и моделирования, можно выделить семейство программ Micro-Cap (Microcomputer Circuit Analysis Program) фирмы Spectrum Software. К основным характеристикам данной системы можно отнести:

- поведенческое моделирование аналоговых и цифровых компонентов, возможность описания цифровых компонентов с помощью логических выражений. В сочетании с библиотекой графических символов типовых операций (суммирование, вычитание, умножение, интегрирование, преобразование по Лапласу и т.д.) это позволяет моделировать динамические системы, заданные не только принципиальными, но и функциональными схемами;
- библиотека цифровых и аналоговых компонентов;
- представление макромоделей компонентов в виде принципиальных электрических схем или в текстовой форме;
- многовариантный анализ при вариации параметров и статистический анализ методом Монте-Карло;
- программа MODEL для расчета параметров математических моделей аналоговых компонентов по справочным и экспериментальным данным [1].

Перечисленные возможности позволяют широко использовать математическое моделирование в проведении практических и лабораторных занятий по следующим курсам: «Твердотельная электроника», «Компьютерный анализ электронных схем», «Практикум по радиофизике и электронике».

Процесс выполнения лабораторного практикума разделяется на два этапа: выполнение моделирования исследуемых электронных схем и проведение аналогичных экспериментальных измерений на лабораторном макете [2]. Наличие в системе программы MODEL позволяет наращивать библиотеку компонент и дает возможность моделирования устройств, реализованных в экспериментальных установках.

При проведении практических занятий по курсу «Твердотельная электроника» студенты, наряду с традиционным решением задач, изучают математические модели полупроводниковых приборов и проводят исследование их свойств и характеристик, производят теоретически расчет электронных схем и выполняют моделирование в виртуальной лаборатории на базе системы Micro-Cap.

В результате прохождения обучения студенты более глубоко осваивают изучаемые дисциплины, а также получают навыки использования современных средств моделирования и проектирования радиоэлектронной аппаратуры.

Литература

1. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap 6. – М.: Горячая линия – Телеком; Радио и связь, 1984. – 344 с.
2. Корчагин П.А., Тюрин В.Ю. Система моделирования электронных устройств Micro-Cap. – Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2005. – 64 с.

420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, т. 843-531-51-74, e-mail: pkor@ksu.ru

УДК 681.3.06

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КЛАСТЕРЕ

О.Ю. Башарина, В.И. Дмитриев, Е.В. Елесин

Иркутский государственный университет,

А.Г. Феоктистов

Институт динамики систем и теории управления Сибирского отделения РАН, г. Иркутск

Рассматриваются вопросы внедрения в учебный процесс новых информационных технологий, связанных с созданием и применением средств высокопроизводительных вычислений для моделирования сложных экономических объектов.

Введение

В ближайшие годы в индустрии информационных технологий прогнозируется бурный рост и широкое распространение параллельных компьютерных технологий, вызванный, в частности, появлением на рынке суперкомпьютерных архитектур. Использование вычислительных возможностей высокопроизводительной вычислительной техники, разработка качественных параллельных приложений, инструментов и технологий требуют быстрой подготовки большого числа высококвалифицированных специалистов, способных применять перечисленные выше средства для решения сложных

прикладных задач, которые возникают в процессе их профессиональной деятельности – коммерческой, экономической или финансовой.

Решение данной задачи невозможно без новых образовательных курсов и исследовательских программ вузов и институтов в области вычислительных методов и программирования, без дополнения или изменения стандартных образовательных курсов. Для этого необходимо разработать поэтапную программу и учебно-методическое обеспечение по внедрению новых технологий, связанных с высокопроизводительными вычислениями. Подобный учебно-методический комплекс должен обеспечивать студентам, преподавателям и другим специалистам вуза следующие возможности:

- ознакомление студентов с существующими средствами и методами на младших курсах (информатика и информационные технологии);
- повышение квалификации преподавателей;
- решение студентами типовых задач в рамках специализированных дисциплин на старших курсах (маркетинг, логистика, коммерческая деятельность, финансовые вычисления и др.);
- решение студентами реальных практических задач в рамках выполнения курсовых и дипломных работ или при прохождении производственной практики;
- проведение научных исследований студентами, преподавателями и другими специалистами вуза.

Нужно создать программную базу для получения студентами и преподавателями практических навыков работы с вычислительным кластером – наборы примеров и задач по подготовке и выполнению заданий для вычислительного кластера, необходимую техническую и методическую документацию. Знание и умение использовать новые информационные технологии при решении конкретных практических задач должны повысить значимость студентов факультета на существующем рынке труда.

В работе рассматривается проект создания учебно-методического комплекса по моделированию экономических объектов на вычислительном кластере международного факультета ИГУ.

Математическое моделирование экономических объектов

Экономическую модель торгового, производственного или другого объекта можно определить как систему взаимосвязанных экономических явлений, выраженных в количественных характеристиках, представленную в системе уравнений, т.е. как систему формализованного математического описания. Для целенаправленного изучения экономических явлений и процессов и формулирования экономических выводов – как теоретических, так и практических целесообразно использовать метод математического моделирования. Важнейшим свойством математического моделирования является его универсальность. Этот метод позволяет на этапах проектирования и

разработки экономической системы формировать различные варианты ее модели, проводить многократные эксперименты с полученными вариантами модели с целью определения (на основе заданных критериев функционирования системы) параметров создаваемой системы, необходимых для обеспечения ее эффективности и надежности. При этом не требуются приобретения или производства какого-либо оборудования или аппаратных средств для выполнения очередного расчета: необходимо просто изменять числовые значения параметров, начальных условий и режимов работы исследуемых сложных экономических систем.

Состав учебно-методического комплекса

Учебно-методический комплекс должен включать следующие материалы: методические указания по организации расчетных работ на вычислительном кластере; рабочие программы дисциплин, конспекты лекций; методические указания по лабораторным работам; учебные пособия; демонстрационные стенды; электронные материалы – типовые задачи и примеры для решения на вычислительном кластере; прикладное программное обеспечение по моделированию экономических объектов.

Все учебно-методические материалы должны соответствовать государственным стандартам по специальностям и согласовываться с программами и тематическими планами соответствующих учебных курсов.

Программно-аппаратная платформа

На основе проведенных научных исследований, в работе [1] представлен системный подход к автоматизации учебной деятельности вуза. В частности, исследованы следующие основные вопросы, касающиеся внедрения новых информационных технологий: выбор необходимых критериев качества, предъявляемых к процессу функционирования информационно-вычислительных систем; определение показателей эффективности применения информационно-вычислительных систем; учет факторов, влияющих на выбор программно-аппаратной платформы для информационно-вычислительной системы; получение конкурентных преимуществ от внедрения новых информационных технологий.

В области исследования высокопроизводительных вычислительных систем проведены следующие работы [2]: исследованы методы и средства организации и управления распределенными вычислениями; разработана система управления вычислительным кластером; осуществлена программная реализация пользовательского Web-интерфейса, предназначенного для удаленного решения задач на кластере; создан экспериментальный вычислительный кластер в лаборатории «Методов автоматизации исследований управляемых систем» ИДСТУ СО РАН; проведена его опытная эксплуатация.

Вычислительный кластер международного факультета ИГУ планируется создать на базе учебного компьютерного класса – 15 однородных компьютеров класса AMD Athlon XP 2100 (1754 Mhz), с локальной вычислительной сетью Fast Ethernet. Таким образом, кластер будет включать 1 управляющий узел и 14 вычислительных узлов. Однородность вычислительных узлов является важным критерием эффективности работы кластера.

Для кластеров невыделенных рабочих станций организаций образовательного профиля, на наш взгляд, целесообразно использовать систему пакетной обработки, функционирующую под управлением как ОС Linux, так и ОС Windows. Такие возможности обеспечивают коммерческий продукт PBS/Pro (<http://www.openpbs.org/>) и свободно распространяемая система Condor (<http://www.cs.wisc.edu/condor/>). С точки зрения оптимизации затрат, при организации экспериментального кластера наш выбор был остановлен на системе Condor, обеспечивающей также возможность подключения к существующим грид-сетям, построенным на базе инструментария Globus Toolkit (<http://globus.org/toolkit/>). К недостаткам системы Condor можно отнести: необходимость установки на пользовательских компьютерах программных агентов (демонов) этой системы; возможность взаимодействия с ними только в режиме командной строки. Поэтому для более эффективного использования системы Condor требуется разработка и реализация управляющей надстройки. Для управления системой Condor будут разработаны следующие программные средства: формирования запросов пользователей с помощью специального Web-интерфейса; конвертирования запросов пользователей в формат, используемый системой Condor; передачи файлов программ и данных; управления демонами системы Condor; перехвата и трансляции сообщений системы Condor. Организация удаленного доступа к вычислительному кластеру открывает возможность его использования пользователями, имеющими доступ в Интернет, для решения своих вычислительных задач.

В качестве прикладного программного обеспечения предполагается использовать программный комплекс по моделированию торгово-складских систем.

Заключение

Реализация представленного проекта позволит создать программно-аппаратную базу для использования средств высокопроизводительных вычислений в учебном процессе и научно-исследовательской работе факультета.

Результаты работы будут использованы преподавателями и студентами в сложных ресурсоемких (по памяти и процессорному времени) расчетах при проведении научных исследований, при выполнении лабораторных, курсовых и дипломных работ.

Кроме того, использование вычислительного кластера на базе компьютеров учебного класса позволит значительно повысить коэффициент

полезного использования вычислительной техники, задействованной в учебном процессе.

Литература

1. Башарина О.Ю. Системный подход к автоматизации деятельности вуза // Россия и Монголия: современное состояние и перспективы сотрудничества: Материалы междунар. науч.-практ. конф. – Иркутск: ИГУ, 2005. – С. 291-299.
2. Корсуков А.С., Феоктистов А.Г. Методы и средства организации вычислений на кластерах для класса многократно используемых программ // Компьютерные технологии в науке, производстве, социальных и экономических процессах: Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. (г. Новочеркасск, 11 ноября 2005 г.): Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2005.

664082, Иркутск, Улан-Баторская, 6, а/я 153, т. (3952) 426316, e-mail: [**bashar@id.isu.ru**](mailto:bashar@id.isu.ru)

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Мусина Ю.Ж. Различные модели процессов динамики веса и метаболизма насекомых	4
Бурмистрова В.Г., Бутов А.А., Волков М.А. Математическая модель компромисса между продолжительностью жизни и временем спаренного состояния фруктовых мух	7
Щёкина А.Б. Исследование модели пространственно-однородных процессов динамики одновидовой популяции планктона.....	11
Кантемиров В.И., Сысоев С.В. Алгоритм управления процессом лова рыбонасосными установками на основе математической модели	14
Овчинников П.В. Математическое моделирование концентрации загрязняющих веществ в воде	20
Мусина Ю.Ж. Методы моделирования процессов образования и развития опухолей	24
Бажанова Т.В., Бутов А.А. Модель опухолевого роста на основе СМО с размножением заявок в очереди.....	29
Шурыгин Д.Н., Иванов И.Ю. Расчет вертикальных и горизонтальных деформаций в мульде сдвижения горной выработки прямоугольной формы	30
Ревякина Е.А., Науменко В.И. Оценка влияния физико-механических свойств штабеля на технические показатели погрузочных машин	34
Сысоев Н.И., Буренков Н.Н., Фандеев А.С. Математическая модель нагруженности резцов исполнительных органов горных машин для бурения скважин в угольных пластах	37
Ляпков А.А., Шефер Ю.В. Моделирование установки выделения товарного пропилена	44
Якушина О.А., Бочкарев В.В., Трефилова А.В. Моделирование сложных параллельно-последовательных органических реакций, протекающих в идеальных химических реакторах	47
Шевцов С.Н., Рубцов Ю.Б., Снежина Н.Г., Паханьян О.Д. Совершенствование технологии формования крупногабаритных композитных деталей с использованием компьютерного моделирования	50
Савельев М.Ю. Применение регрессионного анализа для моделирования расхода энергоносителя на газофракционирующих установках	53
Байбара С.Н., Ширяев В.В., Адигамов К.А. Аналитические исследования критической частоты вращения вертикального шнека	58
Червяков В.М., Четырин А.И. Влияние массовых сил на течение среды в каналах роторного аппарата.....	61
Якимович С.Б., Тетерина М.А. Моделирование и оптимизация процесса накопления и потребления перемещаемого запаса	63
Шкарупин А.Я., Дегтярев А.А. Применение компьютерных программ для расчета и моделирования устройств силовой электроники	67
Корчагин П.А. Использование системы моделирования электронных устройств Micro-Cap в учебном процессе	71
Башарина О.Ю., Дмитриев В.И., Елесин Е.В., Феоктистов А.Г. Учебно-методический комплекс по моделированию экономических объектов на вычислительном кластере	72

Научное издание

Моделирование. Теория, методы и средства

Материалы VI Международной научно-практической конференции
Часть 4

Редактор А.С. Лобова
Компьютерная верстка М.К. Востокова

Подписано в печать 15.05.2006 г.
Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. 4,80. Тираж 100 экз. Заказ 47-3894.

Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)
Центр оперативной полиграфии ЮРГТУ (НПИ)

Адрес университета и центра оперативной полиграфии:
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел. 55-222

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ЮЖНО-РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НОВОЧЕРКАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ. ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

*Материалы
VI Международной научно-практической
конференции*

*7 апреля 2006 года
г. Новочеркасск*

Часть 5

Новочеркасск
ЮРГТУ
2006

УДК 519.688
ББК 22.18 в6
М 74

Организаторы конференции:

Федеральное агентство по образованию;
Северо-Кавказский научный центр высшей школы;
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт);
Технический университет Ильменау (ФРГ);
Редакция журнала «Известия вузов. Электромеханика»;
Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион.
Технические науки»;
Ростовский государственный медицинский университет.

Оргкомитет конференции:

Н.И. Горбатенко (РФ), профессор – председатель;
Ю.А. Бахвалов (РФ), профессор;
Г. Вурмус (ФРГ), профессор;
Г. Йегер (ФРГ), профессор;
Е. Калленбах (ФРГ), профессор;
М.В. Ланкин (РФ), доцент – зам. председателя;
Н.Ф. Никитенко (РФ), профессор;
А.В. Павленко (РФ), профессор;
В.А. Плаксин (РФ), доцент;
В.Н. Чернов (РФ), профессор.

Редакционная коллегия:

Н.И. Горбатенко, д-р техн. наук, профессор – ответственный редактор;
М.В. Ланкин, канд. техн. наук, доцент – зам. ответственного редактора;
В.А. Плаксин, канд. техн. наук, доцент

М 74 Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы VI Международ. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 7 апр. 2006 г.: В 5 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. – Ч. 5. – 78 с.

ISBN 5-88998-671-6

Сборник содержит материалы по нескольким научным направлениям. Пятая часть включает материалы, посвященные математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем; физическому моделированию в науке и технике.

УДК 519.688

ISBN 5-88998-671-6

© Южно-Российский государственный
технический университет (НПИ), 2006
© Авторы, 2006

ПРЕДИСЛОВИЕ

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) – крупнейший вуз на юге России, имеющий вековой опыт исследований в различных отраслях науки и техники и обширные научно-технические контакты, – выступил инициатором проведения ряда Международных дистанционных научно-практических конференций. Такая форма проведения конференций стала возможной в результате широкого развития телекоммуникационных технологий, в том числе Internet.

В апреле 2006 года на базе ЮРГТУ (НПИ) проходила VI Международная научно-практическая конференция «Моделирование. Теория, методы и средства». В работе конференции приняли участие ученые и специалисты – представители высших учебных заведений, НИИ, научно-производственных предприятий Москвы, Липецка, Алматы (Казахстан), Архангельска, Санкт-Петербурга, Смоленска, Орла, Краснодар, Ростова-на-Дону, Таганрога, Ставрополя, Тамбова, Воронежа, Волгограда, Астрахани, Казани, Йошкар-Олы, Ульяновска, Самары, Челябинска, Владимира, Муром, Перми, Томска, Северска, Кургана, Омска, Иркутска, Хабаровска, Новочеркаска, Шахты.

На конференцию представлено 102 доклада, которые вошли в сборник, состоящий из пяти частей, в соответствии с научными направлениями.

В первой части рассматриваются общие вопросы моделирования процессов, устройств и явлений; математические модели в теплотехнике и гидравлике.

Во второй части рассмотрены вопросы математических моделей в электротехнике и магнитной гидродинамике; математических моделей в энергетике и электромашиностроении.

В третью часть вошли доклады о математическом моделировании социальных и экономических процессов; математических моделях в строительстве; математических моделях в химии и металлургии.

В четвертую часть вошли публикации о математических моделях в медицине, биологии и экологии; математических моделях в геологоразведочной и горнодобывающей отраслях; математическом моделировании технологических процессов; а также освещены учебно-методические вопросы преподавания основ моделирования в учебном процессе.

Пятая часть включает материалы, посвященные математическому моделированию информационно-измерительных и вычислительных систем; физическому моделированию в науке и технике.

Организаторы выражают уверенность, что конференция послужит обобщению и распространению научных результатов, оказанию методической помощи молодым ученым и аспирантам, а также стимулированию контактов между учеными России и зарубежья, с благодарностью примут замечания и пожелания.

Оргкомитет

МОДЕЛЬ ТОПОГРАФИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.Д. Наракидзе, М.В. Ланкин

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

С помощью нелинейного регрессионного анализа получена модель топографии магнитного поля в окрестностях изделий из ферромагнитных материалов при их испытании в полуразомкнутой магнитной системе.

В [1] с помощью нелинейного регрессионного анализа была получена модель топографии магнитного поля в окрестностях образца постоянного магнита (ПМ) при его испытании в полуразомкнутой магнитной системе.

Для разработки методики, позволяющей измерять напряженность магнитного поля на поверхности изделий из всех ферромагнитных материалов (ИФМ) при их испытаниях в полуразомкнутых магнитных системах (МС), необходимо дополнительно решить задачу построения математической модели изменения напряженности магнитного поля в окрестностях ИФМ из магнитомягких и высококоэрцитивных материалов.

Как отмечено в [1], такая математическая модель, в случае неизменности зазора δ между полюсами намагничивающей системы (НС) и ИФМ, параметра, характеризующего конфигурацию магнитной системы F и геометрические размеры ИФМ λ имеет вид:

$$H = f(x, I),$$

где x – расстояние от испытуемого образца; I – ток намагничивающей системы.

Для построения модели ИФМ при помощи пакета Femm 4.0 была рассчитана зависимость напряженности магнитного поля от тока НС и расстояния от ИФМ x при испытании образцов из магнитомягкого материала (МММ сталь Э330) (рис. 1, 2, 3) и магнитотвердого материала (МТМ ЮН14ДК24) (рис. 4, 5, 6) с размерами образцов $29 \times 15 \times 15$ мм и зазором между полюсами НС и ИФМ 3 мм ($\lambda = 2$; $\delta = 3$; $\lambda/2\delta = 0,33$).

Кроме того, экспериментально исследована зависимость напряженности магнитного поля от тока НС типа У5056 [2] и расстояния от ИФМ x при испытании образца из высококоэрцитивного материала (феррит 2БА с размерами $15 \times 12 \times 8$ мм) (рис. 7, 8, 9) и зазором между полюсами НС и испытуемым образцом 1,9 мм ($\lambda = 1,25$; $\delta = 1,9$; $\lambda/2\delta = 0,33$).

Зазор между ИФМ и полюсом НС во всех трех случаях выбирался таким образом, чтобы обеспечить постоянство отношения $\lambda/2\delta = \text{const}$ для возможности сопоставления полученных результатов измерения топографии магнитного поля ИФМ.

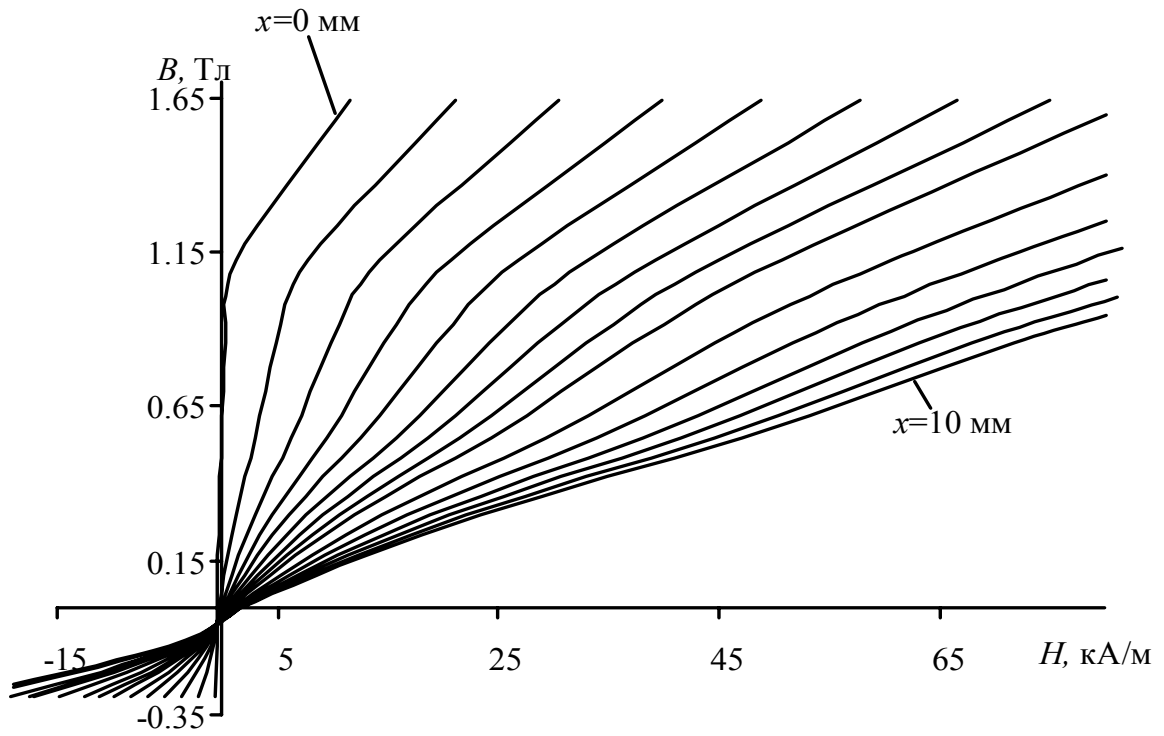


Рис. 1. Семейство предельных статических петель гистерезиса образца из стали Э330 при различных значениях расстояния x

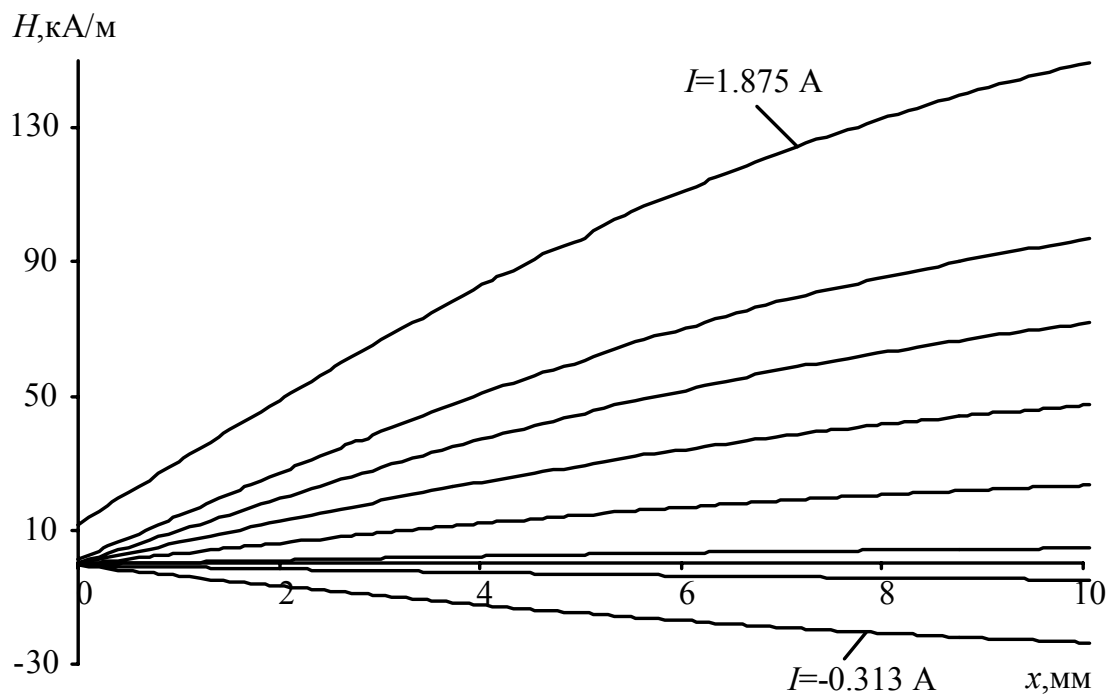


Рис. 2. Зависимость тангенциальной составляющей напряженности H_τ образца из стали Э330 при увеличении расстояния x и различных значениях тока I

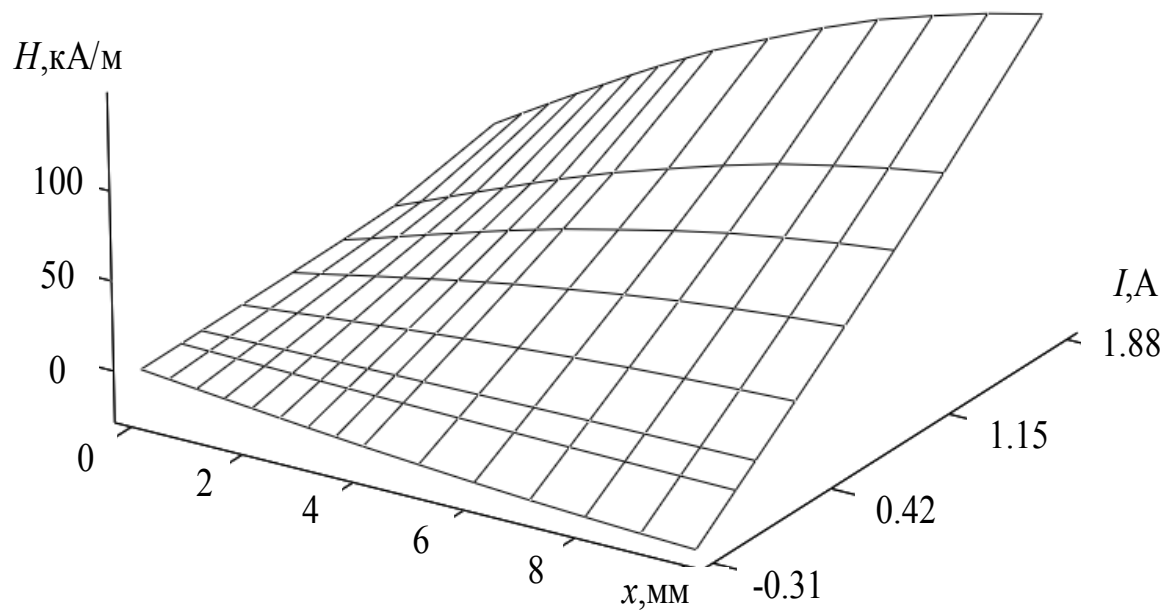


Рис. 3. Топография магнитного поля в окрестности образца из стали Э330 в I – III квадрантах

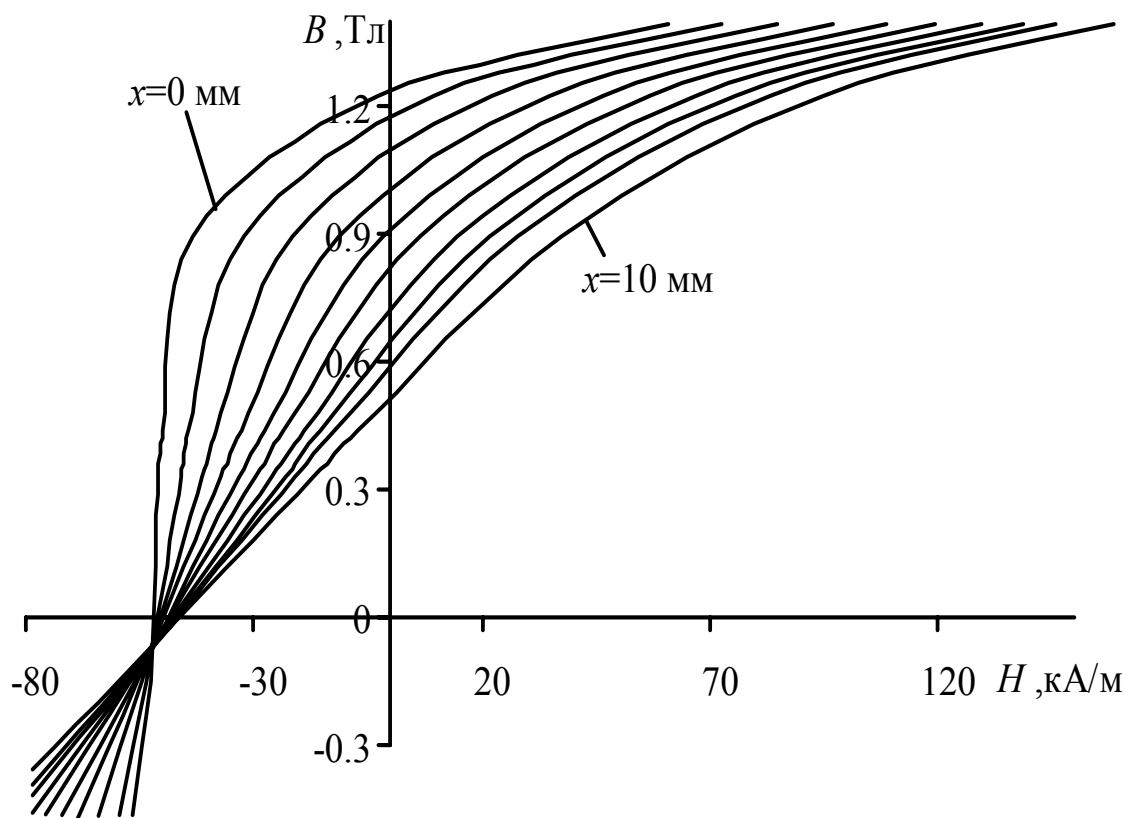


Рис. 4. Семейство предельных статических петель гистерезиса образца из ЮН14ДК24 при различных значениях расстояния x

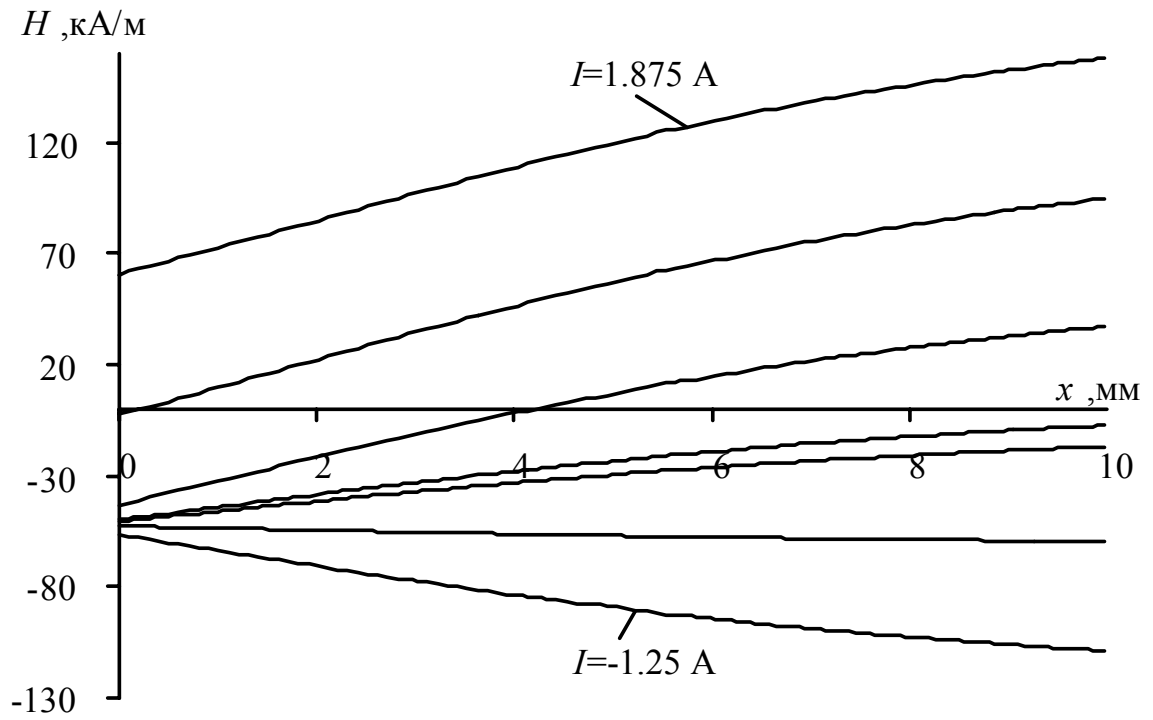


Рис. 5. Зависимость тангенциальной составляющей напряженности H_t образца из ЮН14ДК24 при увеличении расстояния x и различных значениях тока I

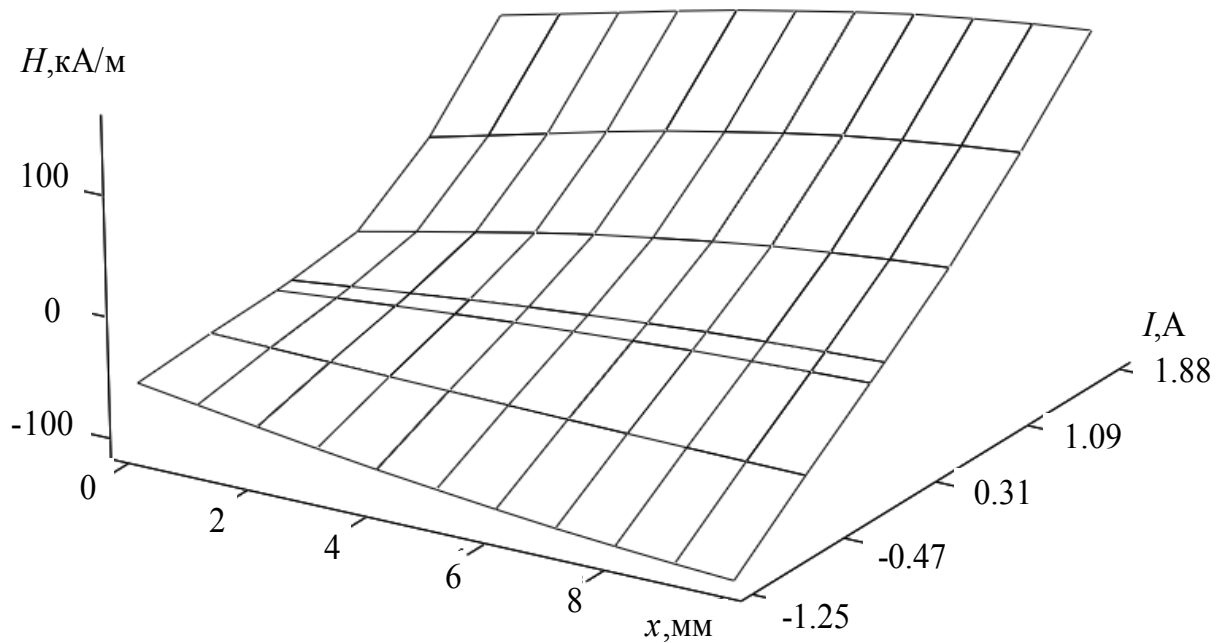


Рис. 6. Топография магнитного поля в окрестности образца из ЮН14ДК24 в I – III квадрантах

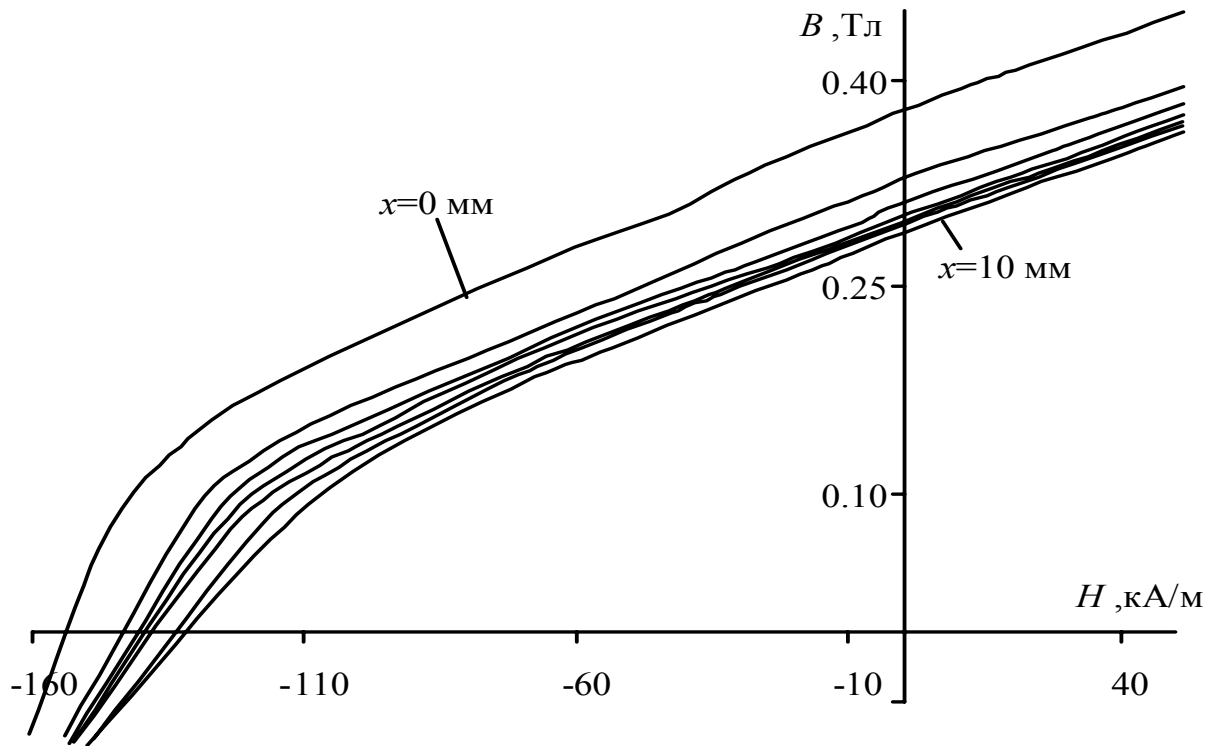


Рис. 7. Семейство предельных статических петель гистерезиса образца из феррита 2БА при различных значениях расстояния x

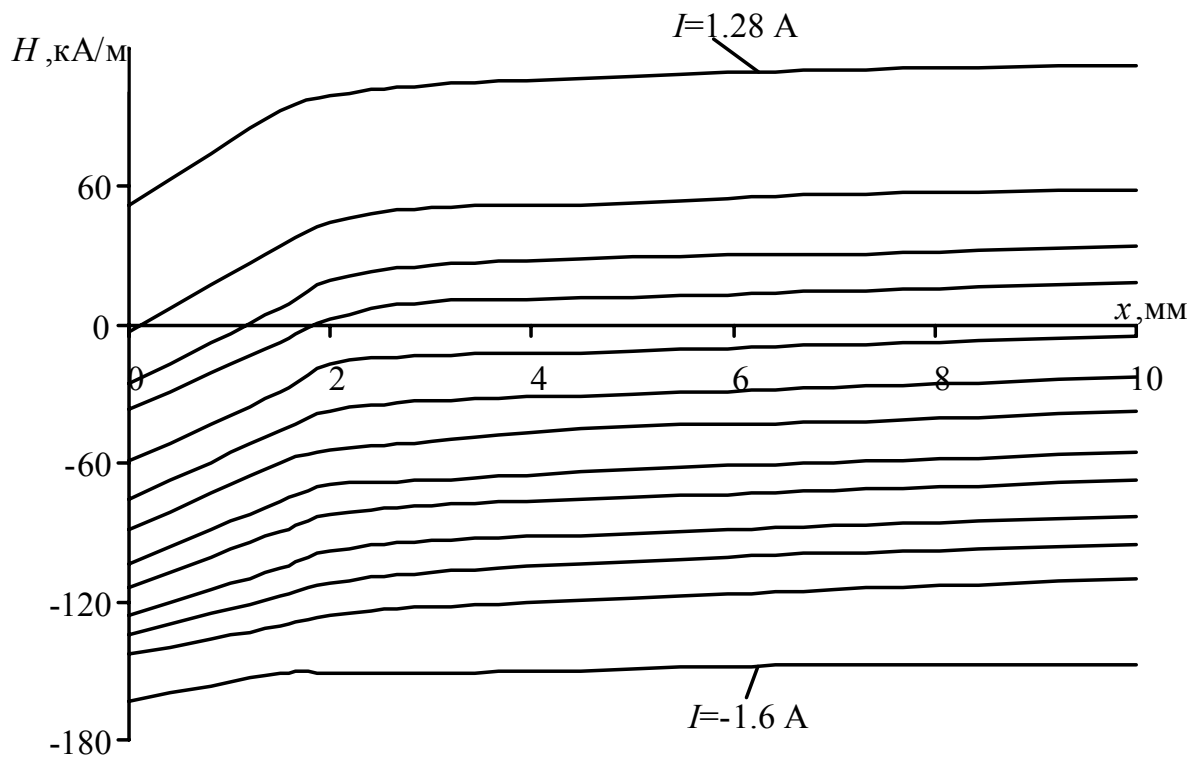


Рис. 8. Зависимость тангенциальной составляющей напряженности H_t образца из феррита 2БА при увеличении расстояния x и различных значениях тока I

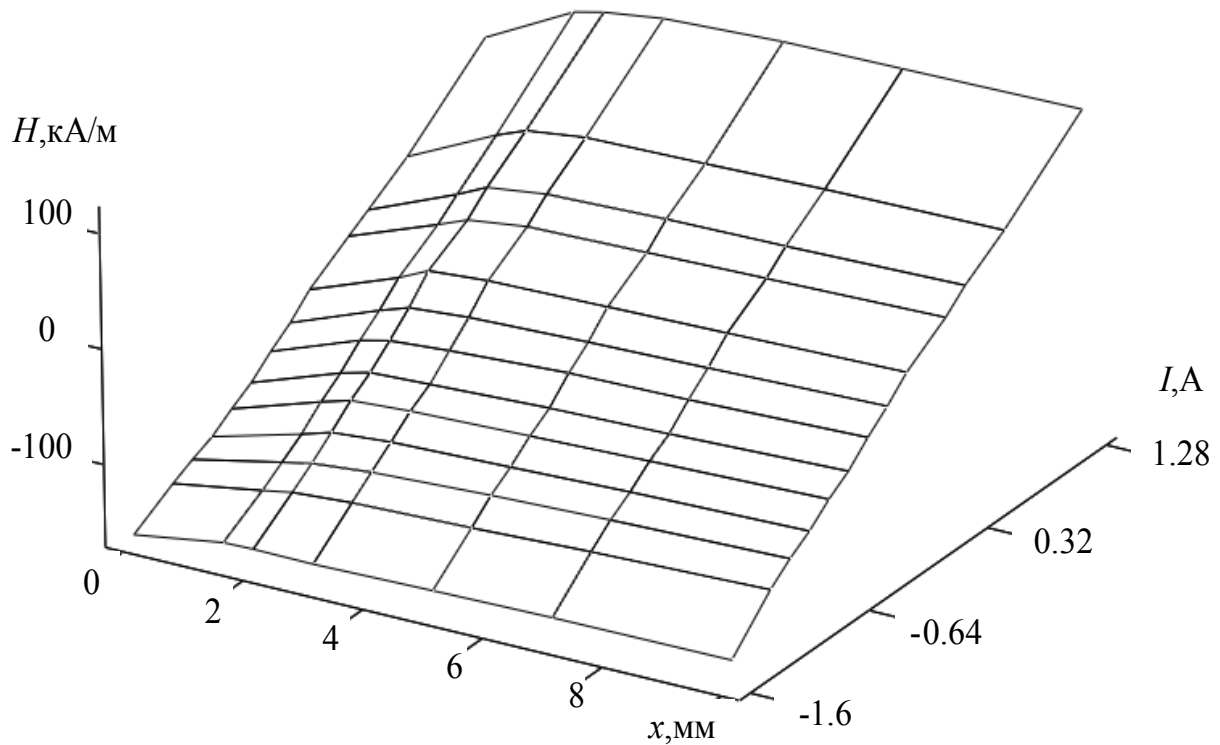


Рис. 9. Топография магнитного поля в окрестности образца из феррита 2БА в I–III квадрантах

Для построения модели используем множественный регрессионный анализ (МРА). Задача МРА состоит в построении уравнения такой поверхности $\hat{H} = f(x, I)$ в трехмерном пространстве, которая располагается на минимальном расстоянии от результатов наблюдений H_i . Для определения этого расстояния воспользуемся выражением остаточной дисперсии [3]:

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \hat{H}_i)^2}{m n - p - 1},$$

где $\hat{H}_i$ – расчетное значение напряженности магнитного поля, полученное из уравнения поверхности $\hat{H} = f(x, I)$; m – количество точек пространства, в которых измерялась напряженность магнитного поля; n – количество значений тока I , при которых измерялась напряженность магнитного поля H_i ; p – количество слагаемых в уравнении поверхности.

Для определения коэффициентов уравнения регрессии b_i как и в [1], использовалось выражение в матричном виде:

$$\mathbf{B} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y}. \quad (1)$$

где $\mathbf{B}$ – вектор-столбец коэффициентов уравнения регрессии b_i , $\mathbf{Y}$ – вектор-столбец результатов наблюдений H_i , $\mathbf{X}$ – матрица факторов, причем для опре-

деления нулевого коэффициента регрессии в нее добавляется столбец единичных значений, т.е.

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & I_1 \\ 1 & x_1 & I_2 \\ 1 & x_1 & I_3 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_1 & I_n \\ 1 & x_2 & I_1 \\ 1 & x_2 & I_2 \\ 1 & x_2 & I_3 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_2 & I_n \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_m & I_n \end{pmatrix},$$

где X^T – транспонированная матрица X , $(X^T X)^{-1}$ – матрица, обратная $X^T X$.

В общем виде нелинейное уравнение регрессии можно представить как:

$$\hat{H} = b_0 + b_1 x + b_2 I + b_{12} xI + b_{11} x^2 + b_{22} I^2 + \dots + b_{jj} x^j + b_{jj} I^j + \dots$$

Обычно задачу решают за несколько шагов путем повышения степени уравнения до тех пор, пока уменьшение остаточной дисперсии $S_{\text{ост}}^2$ остается значимым.

Для расчета коэффициентов b_i воспользуемся выражением (1), но начиная со второго шага перед повышением степени полинома будем производить замену переменных, линеаризирующих функции $x_{12} = x^2$, $x_{13} = x^3$, $I_{12} = I^2$, $I_{13} = I^3$ и так далее [3].

Момент прекращения наращивания степени полинома можно определить следующим образом. После каждой итерации проводится проверка гипотезы об отсутствии различия остаточных дисперсий $S_{\text{ост}(j)}^2$ и $S_{\text{ост}(j+1)}^2$. Для этого используется критерий Фишера:

$$F_p = \frac{S_{\text{ост}(j)}^2}{S_{\text{ост}(j+1)}^2} \leq F_{\text{кр}},$$

где $F_{\text{кр}}$ – критическое значение критерия Фишера, для числа степеней свободы $f_1 = (nm - 1)$, $f_2 = (nm - p - 1)$ и выбранного уровня значимости $\alpha = 5\%$ [3].

После проведения нескольких итераций $j = 5$ были построены модели напряженности магнитного поля вплоть до пятого порядка и подсчитаны

остаточные дисперсии для образцов из стали Э330, МТМ ЮН14ДК24 и феррита 2БА. Результаты вычислений сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты вычислений остаточной дисперсии

Образец из стали Э330						
j	$S_{\text{ост}}^2$	p	f_1	f_2	F_p	$F_{\text{кр}}$
1	276.93	2	119	117	52.85	1.356
2	5.24	5	119	114	116.44	1.359
3	0.045	15	119	104	3.66	1.371
4	0.0123	24	119	95	1.09	1.384
5	0.0113	35	119	84	—	—
Образец из ЮН14ДК24						
1	433.014	2	76	74	9.573	1.467
2	45.233	5	76	71	26.713	1.474
3	1.693	15	76	61	1.337	1.504
4	1.266	24	76	52	27.351	1.54
5	0.046	35	76	41	1.976	1.746
Образец из феррита 2БА						
1	114.2	2	83	81	2.363	1.442
2	48.3	5	83	78	5.324	1.448
3	9.1	15	83	68	1.474	1.473
4	6.2	24	83	59	1.269	1.502
5	4.9	35	83	48	-	-

Проведя анализ табл. 1, можно сделать следующие выводы:

1. Повышать степень полинома выше четвертой для образцов из стали Э330 и феррита 2БА не имеет смысла, так как различие остаточных дисперсий становится незначимым;

2. Аналогично, повышать степень полинома выше третьей для образца из ЮН14ДК24 не имеет смысла.

Графики зависимости остаточных дисперсий $S_{\text{ост}}^2$ от количества слагаемых в уравнении поверхности p для образцов из стали Э330, ЮН14ДК24 и феррита 2БА показаны на рис. 10, 11, 12 соответственно.

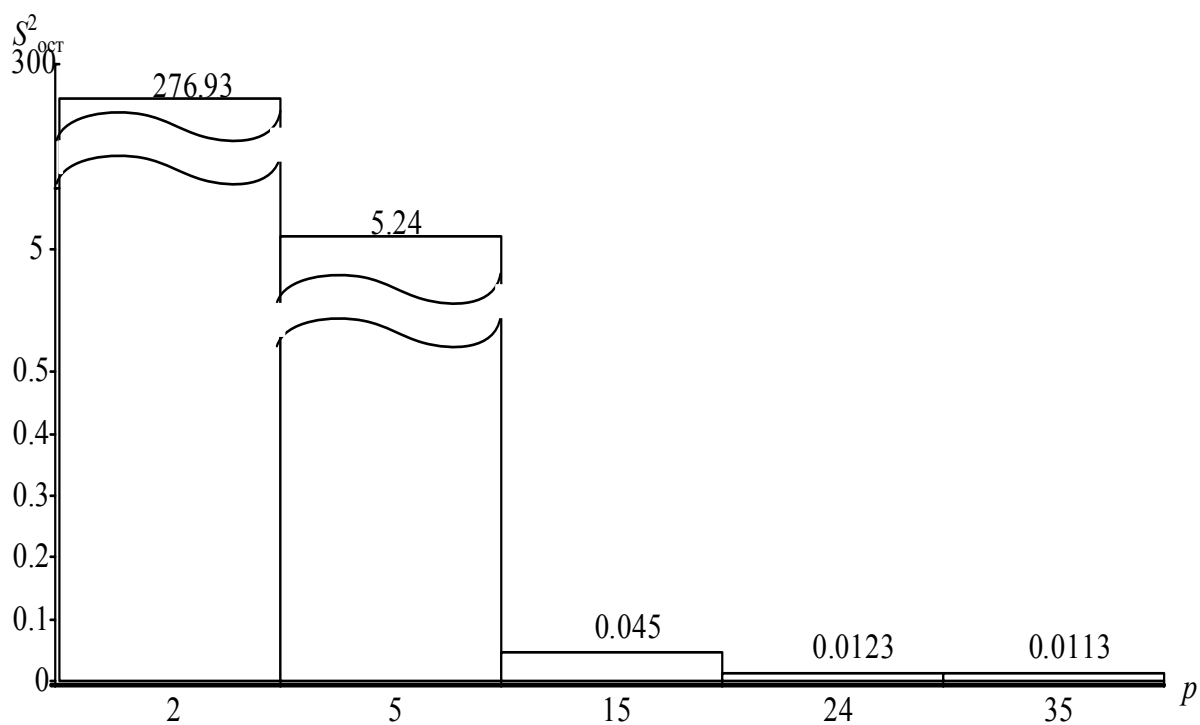


Рис. 10. Зависимость $S^2_{\text{ост}}$ от количества слагаемых в уравнении поверхности p для образца из стали Э330

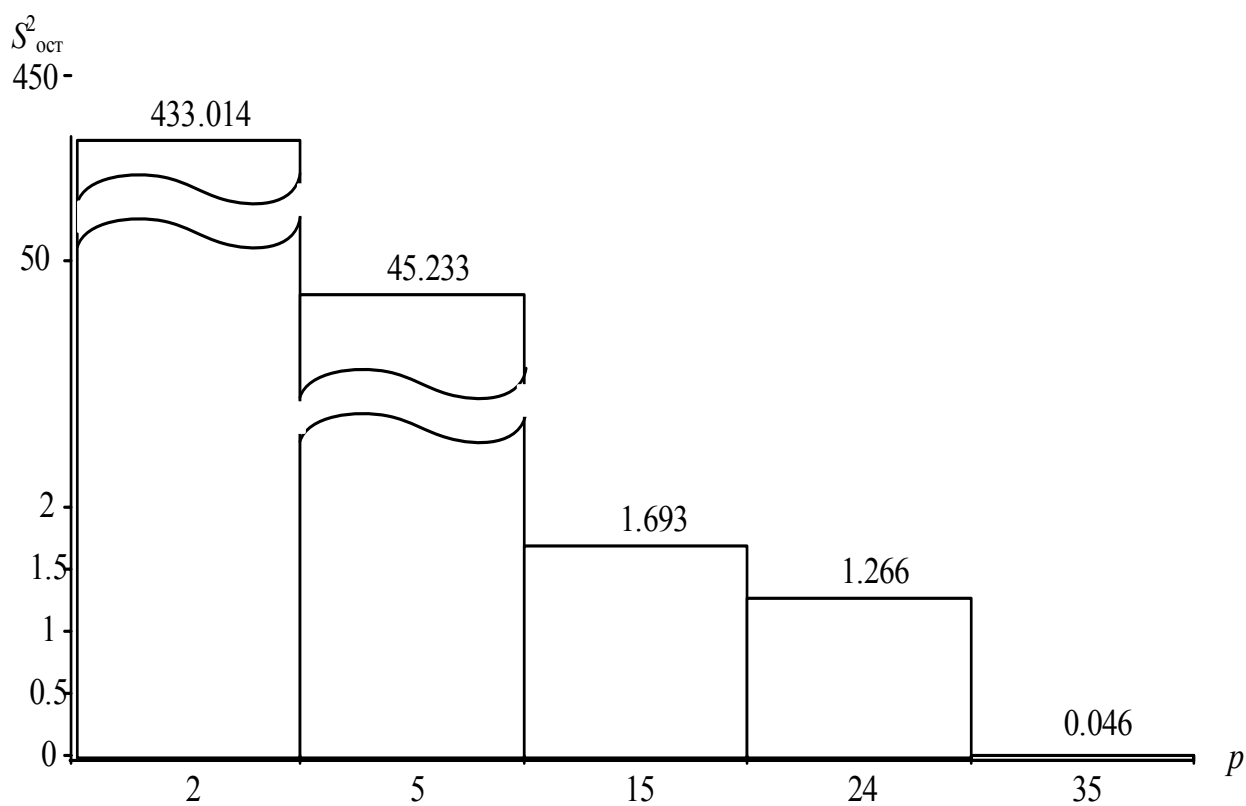


Рис. 11. Зависимость $S^2_{\text{ост}}$ от количества слагаемых в уравнении поверхности p для образца из ЮН14ДК24

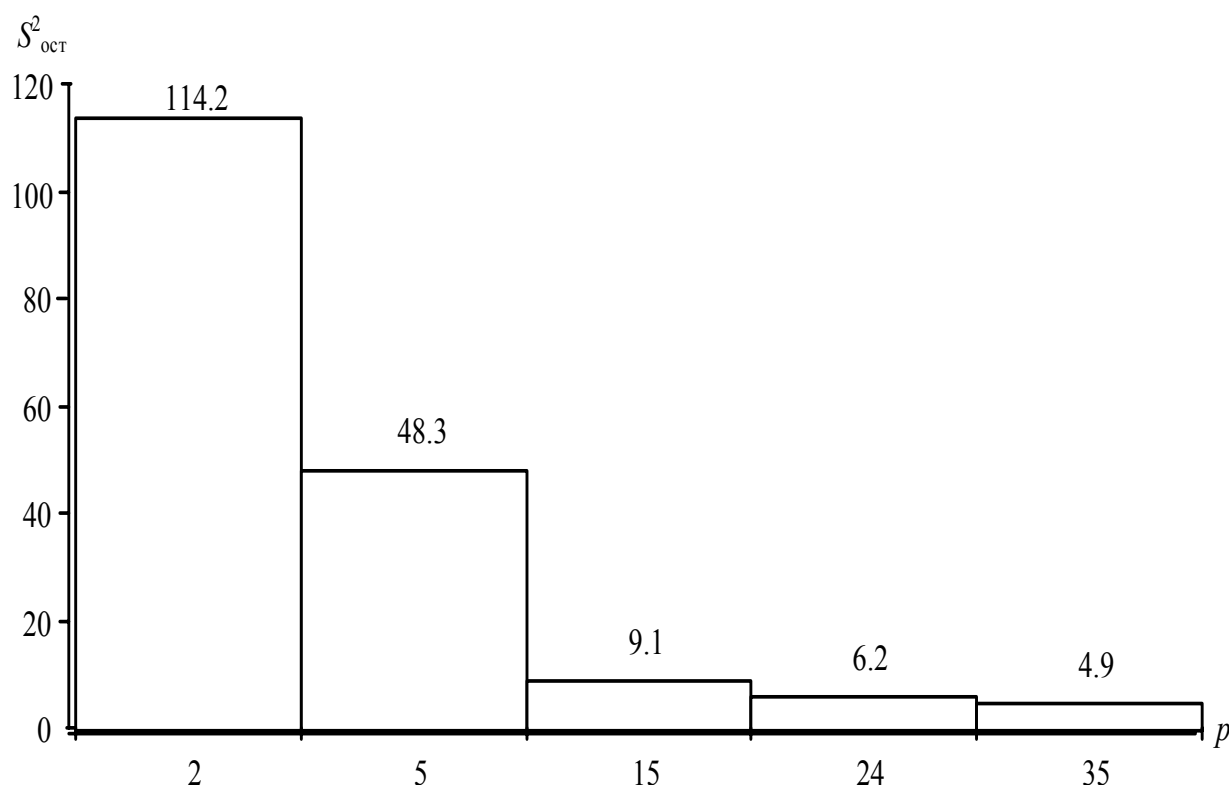


Рис. 12. Зависимость $S^2_{\text{ост}}$ от количества слагаемых в уравнении поверхности p для образца из феррита 2БА

Таким образом, в качестве модели изменения напряженности магнитного поля при перемагничивании образцов из стали Э330 и феррита 2БА по предельной петле гистерезиса в I – III квадранте может быть использовано уравнение регрессии четвертой степени:

$$\begin{aligned} \hat{H} = & b_0 + b_1x + b_2I + b_3xI + b_4x^2 + b_5I^2 + b_6x^2I + \\ & + b_7xI^2 + b_8x^2I^2 + b_9x^3 + b_{10}I^3 + b_{11}x^3I + b_{12}x^3I^2 + b_{13}x^3I^3 + \\ & + b_{14}x^2I^3 + b_{15}xI^3 + b_{16}x^4 + b_{17}I^4 + b_{18}x^4I + b_{19}x^4I^2 + \\ & + b_{20}x^4I^3 + b_{21}x^4I^4 + b_{22}x^3I^4 + b_{23}x^2I^4 + b_{24}xI^4. \end{aligned}$$

В качестве модели изменения напряженности магнитного поля при перемагничивании образца из ЮН14ДК24 по предельной петле гистерезиса в I – III квадранте может быть использовано уравнение регрессии третьей степени:

$$\begin{aligned} \hat{H} = & b_0 + b_1x + b_2I + b_3xI + b_4x^2 + b_5I^2 + \\ & + b_6x^2I + b_7xI^2 + b_8x^2I^2 + b_9x^3 + b_{10}I^3 + \\ & + b_{11}x^3I + b_{12}x^3I^2 + b_{13}x^3I^3 + b_{14}x^2I^3 + b_{15}xI^3. \end{aligned}$$

Результаты вычислений коэффициентов уравнений регрессии сведены в табл. 2-4.

Таблица 2

Результаты вычислений коэффициентов b_i (сталь Э330, $t_{кр} = 1,661$)

i	0	1	2	3	4
b_i	-0.472	0.050	0.827	10.141	0.00003
t_{bi}	-7.550	0.517	4.644	37.022	0.001
i	5	6	7	8	9
b_i	0.668	0.013	-0.409	0.131	-0.0002
t_{bi}	1.045	0.105	-0.416	0.301	-0.033
i	10	11	12	13	14
b_i	-3.043	-0.048	-0.017	0.016	-0.139
t_{bi}	-3.609	-2.530	-0.257	0.174	-0.242
i	15	16	17	18	19
b_i	1.094	0.00001	2.280	0.002	0.001
t_{bi}	0.844	0.026	8.036	2.032	0.231
i	20	21	22	23	24
b_i	-0.001	0.0001	-0.002	0.026	-0.457
t_{bi}	-0.160	0.057	-0.058	0.136	-1.047

Таблица 3

Результаты вычислений коэффициентов b_i (феррит 2БА, $t_{кр} = 1,671$)

i	0	1	2	3	4
b_i	-50.042	32.299	77.190	6.588	-7.722
t_{bi}	-41.578	15.833	29.690	1.495	-7.230
i	5	6	7	8	9
b_i	-3.559	-0.966	-5.488	2.089	0.802
t_{bi}	-0.983	-0.419	-0.894	0.650	4.375
i	10	11	12	13	14
b_i	0.165	0.029	-0.256	0.211	-1.285
t_{bi}	0.090	0.072	-0.464	0.754	-0.788
i	15	16	17	18	19
b_i	2.206	-0.030	3.293	0.001	0.010
t_{bi}	0.708	-3.093	1.803	0.058	0.356
i	20	21	22	23	24
b_i	-0.010	-0.009	0.191	-1.219	1.871
t_{bi}	-0.712	-0.626	0.685	-0.752	0.604

Результаты вычислений коэффициентов b_i (ЮН14ДК24, $t_{кр} = 1,67$)

i	0	1	2	3	4
b_i	-51.294	5.661	7.606	9.811	-0.129
t_{bi}	-34.012	4.122	2.965	4.199	-0.394
i	5	6	7	8	9
b_i	12.951	-0.166	-1.691	0.082	-0.004
t_{bi}	8.391	-0.296	-1.203	0.242	-0.206
i	10	11	12	13	14
b_i	8.010	-0.012	-0.001	0.001	0.022
t_{bi}	6.072	-0.314	-0.056	0.036	0.076
i	15				
b_i	-0.866				
t_{bi}	-0.720				

Проверку значимости полученных коэффициентов уравнения регрессии произведем, используя t -критерий Стьюдента [4]:

$$t_{b_i} = \frac{b_i}{S_{b_i}},$$

$$S_{b_i} = \sqrt{S_{ост}^2 c_{ii}},$$

где c_{ii} – диагональный элемент матрицы обратной к матрице нормальных уравнений $(X^T X)^{-1}$.

Результаты вычислений t_{b_i} – коэффициентов сведены в табл. 2-4. Из табл. 2 и 3 можно сделать вывод о незначимости восемнадцати коэффициентов полученного уравнения регрессии, для табл. 4 не значимы десять коэффициентов.

Поэтому, согласно [4], был произведен постепенный отсев не значащих коэффициентов, у которых $t_{b_i} < 0,5$, а затем $t_{b_i} < 1$ и, кроме того, по критерию Фишера проводилась оценка значимости отношений остаточных дисперсий. В результате такого отсева были получены уравнения модели поверхности в трехмерном пространстве для образцов из стали Э330, ЮН14ДК24 и феррита 2БА со всеми значащими коэффициентами и не значащим отношением остаточных дисперсий (табл. 5, 6, 7).

Таблица 5

Результаты вычислений коэффициентов b_i (сталь Э330, $t_{кр} = 1,659$)

i	0	1	2	3	4	$S^2_{ост}$
b_i	-0.422	0.034	0.791	10.196	-1.961	0.0139
t_{bi}	-17.098	7.226	8.045	411.583	-11.753	
i	5	6	7	8	9	
b_i	-0.047	0.483	1.893	0.002	-0.268	
t_{bi}	-64.270	15.050	24.561	30.452	-18.079	

Таблица 6

Результаты вычислений коэффициентов b_i (ЮН14ДК24, $t_{кр} = 1,668$)

i	0	1	2	3	4	$S^2_{ост}$
b_i	-51.641	6.042	8.754	8.811	-0.209	1.669
t_{bi}	-96.490	25.201	11.825	51.867	-9.094	
i	5	6	7	8	9	
b_i	13.289	-1.873	0.088	7.552	7.552	
t_{bi}	27.056	-10.152	5.179	21.064	5728.319	
i	10					
b_i	-0.584					
t_{bi}	-9.627					

Таблица 7

Результаты вычислений коэффициентов b_i (феррит 2БА, $t_{кр} = 1,667$)

i	0	1	2	3	4	$S^2_{ост}$
b_i	-48.325	29.608	77.222	4.371	-7.035	7.394
t_{bi}	-51.566	22.711	85.098	5.952	-10.518	
i	5	6	7	8	9	
b_i	-6.224	-0.365	0.759	0.054	-0.767	
t_{bi}	-4.423	-4.682	6.621	5.729	-5.823	
i	10	11	12	13	14	
b_i	2.531	-0.030	3.505	0.002	-0.022	
t_{bi}	4.877	-4.931	5.251	3.518	-3.884	

После исключения незначащих коэффициентов уравнение модели для образца из стали Э330 выглядит следующим образом:

$$\hat{H} = b_0 + b_1x + b_2I + b_3xI + b_4I^3 + b_5I + b_6xI^3 + b_7I^4 + b_8x^4I + b_9xI^4. \quad (2)$$

После исключения незначащих коэффициентов уравнение модели для образца из ЮН14ДК24 имеет вид:

$$\hat{H} = b_0 + b_1x + b_2I + b_3xI + b_4x^2 + b_5I^2 + b_6xI^2 + b_7x^2I^2 + b_8I^3 + b_9x^3I + b_{10}xI^3. \quad (3)$$

Аналогично, уравнение модели для образца из феррита 2БА:

$$\hat{H} = b_0 + b_1x + b_2I + b_3xI + b_4x^2 + b_5I^2 + b_6x^2I + b_7x^3 + b_8x^3I^3 + b_9x^2I^3 + b_{10}xI^3 + b_{11}x^4 + b_{12}I^4 + b_{13}x^4I^4 + b_{14}x^3I^4. \quad (4)$$

Все вычисления производились с помощью пакетов MatLab 6.5, MathCad 2001, MS Excel 2003. На рис. 13, 14, 15 показано распределение напряженности магнитного поля для образцов из стали Э330, ЮН14ДК24 и феррита 2БА в I – III квадрантах, построенное с помощью полученных уравнений регрессии (2)–(4), соответственно.

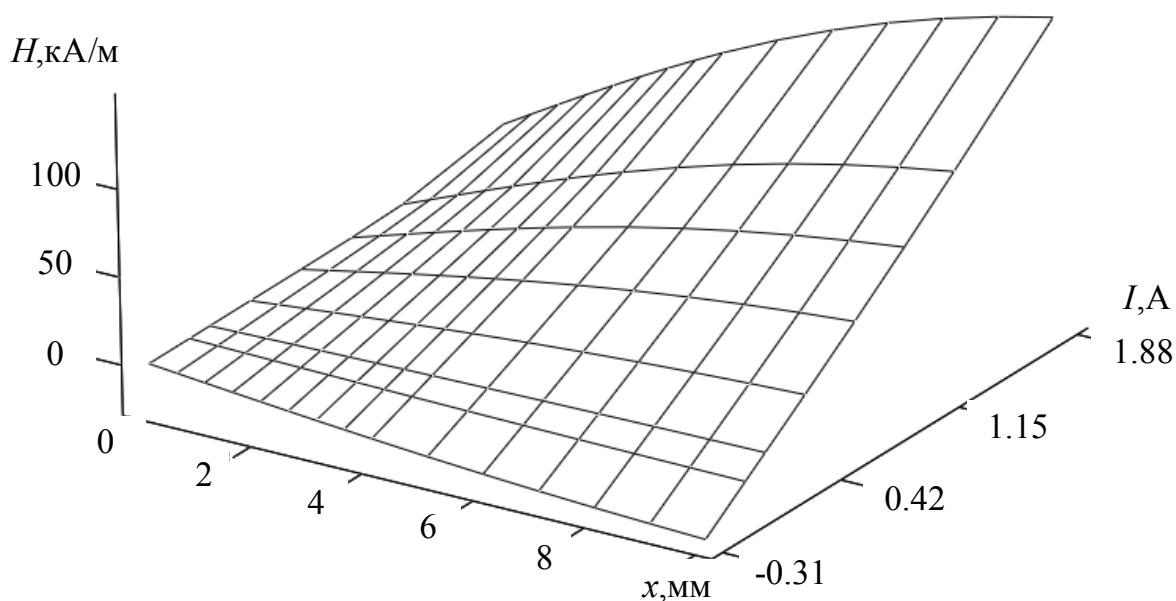


Рис. 13. Регрессионная модель распределения напряженности магнитного поля стали Э330 в I – III квадрантах

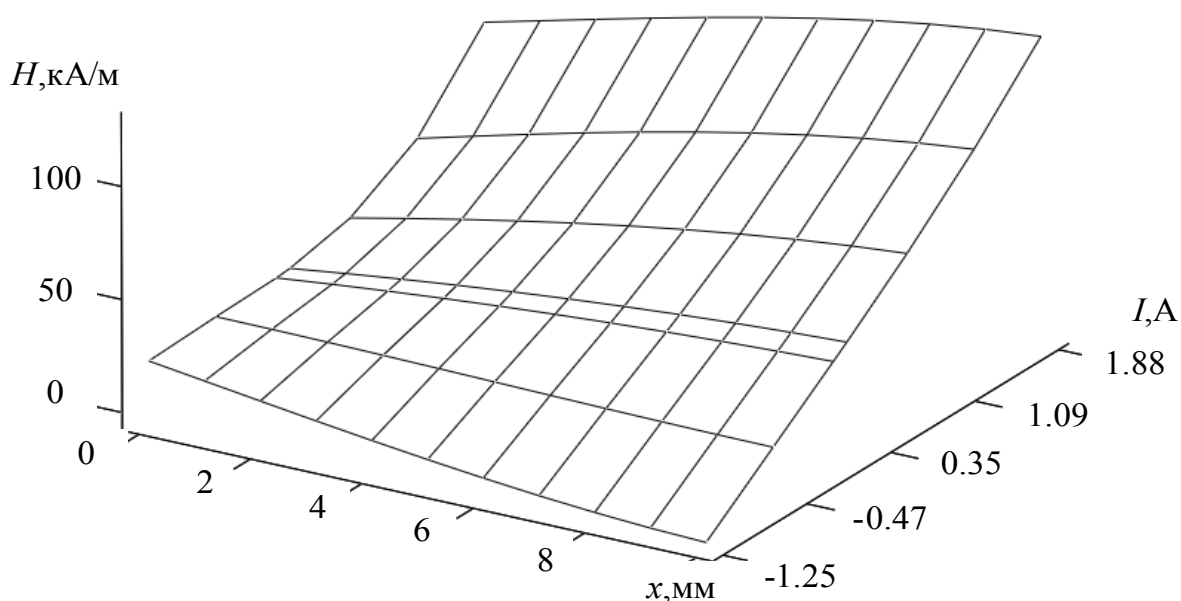


Рис. 14. Регрессионная модель распределения напряженности магнитного поля ПМ ЮН14ДК24 в I – III квадрантах

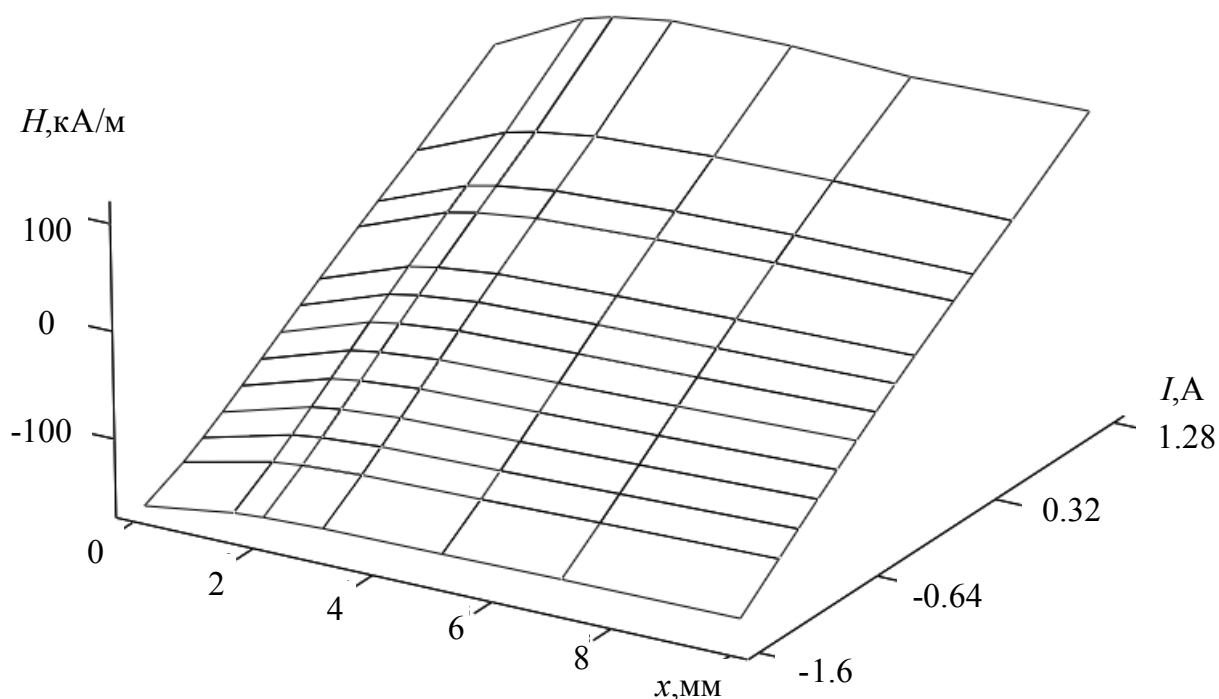


Рис. 15. Регрессионная модель распределения напряженности магнитного поля феррита 2БА в I – III квадрантах

Таким образом, проведенный эксперимент подтвердил, что изменение напряженности магнитного поля вдоль оси x от разных образцов ИФМ при их испытаниях в полуразомкнутых МС носит нелинейный характер. Поэтому можно сделать вывод, что для расчета напряженности магнитного поля на поверхности образцов ИФМ необходимо измерять значения напряженности в нескольких точках на некоторых расстояниях от образца и строить разные уравнения модели в зависимости от образца.

Литература

1. Ланкин М.В., Пжилуский А.А. Построение модели топографии магнитного поля в окрестностях постоянных магнитов при их испытаниях в полуразомкнутых магнитных системах // Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике: Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 23 янв. 2004 г.: В 4 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2004. – Ч. 3. – С. 4-11.
2. Горбатенко Н.И., Ланкин М.В. Информационно-измерительная система для испытания постоянных магнитов // Электротехника. – 2004. – № 8. – С. 55-58
3. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1988. – 239 с.
4. Львовский Е.Н. Пассивный и активный эксперимент при исследовании механических характеристик бетона. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1988. – 176 с.

МОДЕЛЬ ЦИФРОВОГО СЛЕДЯЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КОДА В ЧАСТОТУ УПРАВЛЯЕМОГО ГЕНЕРАТОРА СО СРАВНЕНИЕМ ЧИСЛО-ИМПУЛЬСНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В ЦЕПИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

В.Ф. Митина, В.А. Синецкая

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Рассмотрены принципы построения и укрупненный алгоритм модели цифрового следящего преобразователя кода в частоту управляемого генератора со сравнением число-импульсных последовательностей в цепи обратной связи.

Цель работы – рассмотрение принципов моделирования следящего преобразователя кода в частоту (СПКЧ), в цепи обратной связи которого производится сравнение и интегрирование результатов сравнения число-импульсных последовательностей, характеризующих входной код и код обратной связи, пропорциональный выходной частоте управляемого генератора.

Модель разработана для исследования работы СПКЧ управляемого генератора в динамическом режиме. Особенность указанной структуры – использование реверсивного счетчика (РС), выполняющего функции дискретного сравнивающего устройства и дискретного интегратора ошибки, совместно с устройством нелинейной логико-динамической коррекции (УНЛДК), что обеспечивает высокие статические и динамические характеристики рассмотренного класса СПКЧ [1, 2]. Динамические характеристики таких преобразователей во многом определяются алгоритмом функционирования УНЛДК. Модель позволяет производить анализ динамики работы СПКЧ при различных вариантах функционирования УНЛДК. УНЛДК учитывает следующие особенности исследуемой структуры: конечную емкость **K_{max}** РС, периодическую запись кода РС (КРС) на входы цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) через временной интервал **T_{ос}**, равный времени формирования кода обратной связи **K_{ос}**, пропорционального выходной частоте СПКЧ. УНЛДК выполняет следующие операции: анализ кода РС; запись кода **K_о** в РС при обнулении РС или при переполнении РС в режиме вычитания; синхронизацию начала формирования кодов **K_о** и **K_{ос}**; формирование временного интервала **T_{ос}**. Схема укрупненного алгоритма модели СПКЧ приведена на рис. 1.

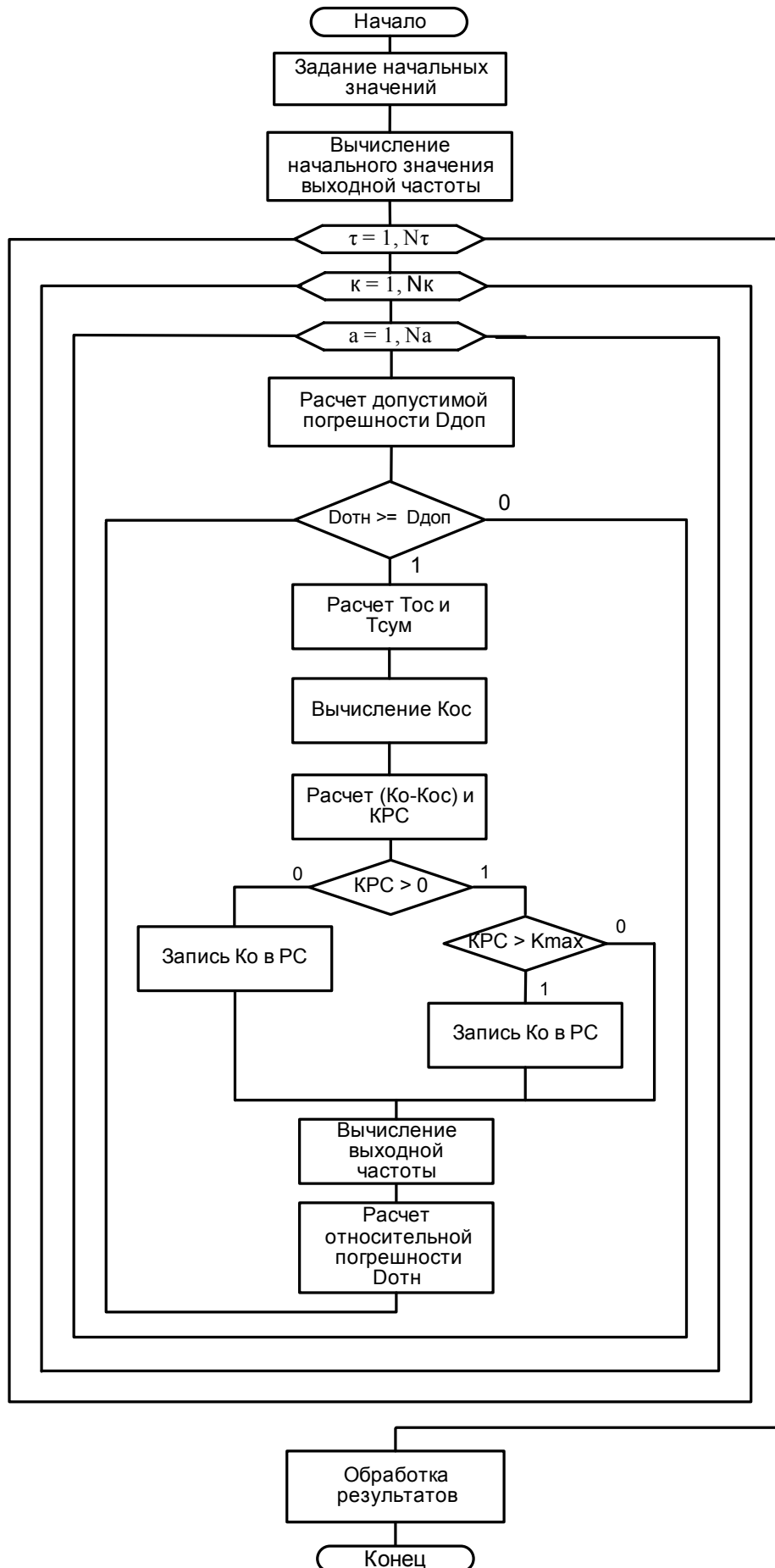


Рис. 1. Схема укрупненного алгоритма модели СПКЧ

Разработанная модель позволяет проводить вычислительный эксперимент по исследованию влияния на длительность и качество переходного процесса следующих параметров СПКЧ:

- коэффициента передачи A прямого канала преобразования (в прямом канале преобразователя последовательно включены цифро-аналоговый преобразователь и управляемый генератор выходной частоты);
- начального значения кода KPC реверсивного счетчика,
- постоянной времени τ управляемого генератора частоты.

По результатам моделирования строятся графики зависимостей времени установления $T_{сум}$ выходной частот СПКЧ от указанных параметров.

Литература

1. Митина В.Ф., Есаулова В.А. Имитационная модель цифровых следящих преобразователей код-частота с управляемым генератором в контуре регулирования («Модель СПКЧ»): Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004610113 РФ / Роспатент. – Заявка 2003612292; заявл. 6.11.2003; зарегистрир. В Реестре программ для ЭВМ 5.01.2004.
2. Митина В.Ф. Особенности имитационного моделирования следящих преобразователей код-частота // Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: Материалы междунар. науч.-практ. конф.: В 10 частях / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2000. – Ч. 8. – С. 9-10.

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, т. 55-214, e-mail: mitinairina@yandex.ru

УДК 6.321

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ КАНАЛА ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ СВЯЗИ

А.В. Балакин, С.А. Крассов, Н.Ю. Полушкин
НИИ «Спецвузавтоматика», г. Ростов-на-Дону

Описывается разработанная модель нелинейных искажений канала связи и длительных периодических импульсных помех, предназначенная для построения систем цифровой связи.

В последнее время происходит стремительное развитие технологий организации цифровой телефонной связи [1], которое приводит к совершенствованию существующей каналообразующей аппаратуры.

В частности, в системах междугородней и международной связи все чаще стали использоваться средства IP-телефонии, которые не вносят заметных искажений в речевой сигнал, но сильно затрудняют использование факсов и модемов.

Прежде всего, это происходит из-за нелинейных искажений, возникающих за счет различных алгоритмов сжатия с потерями, которые построены

в расчете на сжатие речи [1], а не сигналов модемов. Кроме того, в каналах IP-телефонии возможно выпадение пакетов данных, приводящее к возникновению импульсных помех на выходе декодера [2].

Таким образом, актуальной является задача адаптации методов цифровой связи, используемых в каналах телефонной связи, к каналам с нелинейными искажениями и длительными импульсными помехами.

Основной проблемой подобной задачи является изучение влияния нелинейных искажений и длительных импульсных помех на методы кодирования, синхронизации, модуляции и демодуляции. Для решения данной проблемы авторами была разработана модель нелинейных искажений канала связи и длительных периодических импульсных помех, предназначенная для моделирования прохождения сигнала через цепочку каналов IP-телефонии.

Данная модель может быть формально описана следующим выражением:

$$\tilde{s} = F_{c_1} \cdot F_{c_2} \cdot \dots \cdot F_{c_n}(s),$$

где $\tilde{s}$ – искаженный сигнал; F_{c_i} – преобразование, которое состоит в кодировании сигнала в соответствии с кодеком c_i , имитации передачи кодированной информации по IP сети и соответствующем декодировании; n – количество итераций перекодирования; s – исходный сигнал.

Разработанная модель реализована программно на основе существующих кодеков и особенностей передачи трафика в IP-сетях. Архитектура программной реализации показана на рис. 1.

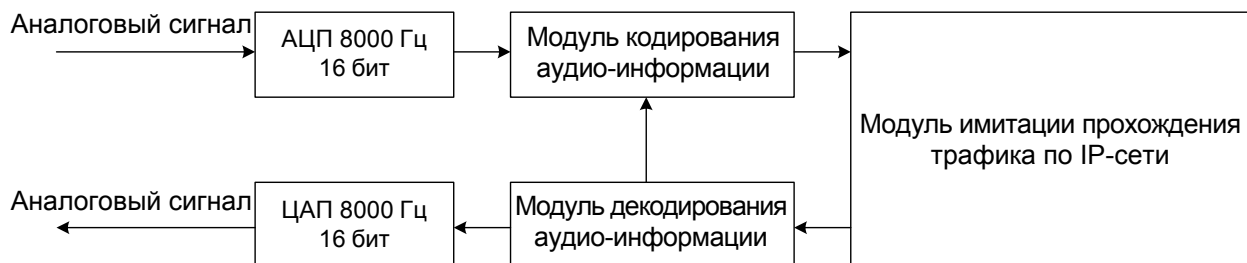


Рис. 1. Архитектура программной реализации модели нелинейных искажений канала

Данная модель используется в настоящее время для разработки модема, работающего с максимально возможной скоростью в каналах IP-телефонии. Ее использование позволило не только сократить затраты на разработку, но и ускорить ее за счет сокращения времени, необходимого для настройки требуемых для моделирования параметров канала.

Литература

1. Скляр, Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – 2-е изд., испр. / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 1104 с.
2. Шахтарин Б.И., Случайные процессы в радиотехнике. – 2-е изд., испр. и дополн. – Ч. 1. Линейные системы. – М.: Радио и связь, 2002. – 586 с.

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ, РЕШАЮЩЕЙ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

М.А. Хусаинова

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Рассматриваются принципы создания и реализации системы, способной решать задачи классификации и кластеризации текстовой информации. Автор предлагает и обосновывает собственную модель представления текстового документа, а также метод ее практической реализации. Кроме того, описан собственный способ решения задач кластеризации и классификации документов, на основании разработанной модели и алгоритмов.

На сегодняшний день вопросы информационного поиска являются принципиально важными для эффективного управления информационными потоками. Огромное значение приобретают системы и средства, способные производить такой поиск, осуществлять классификацию и кластеризацию информации, выявлять тематическую принадлежность текстов. Проблема многих задач информационного поиска заключается в сложности автоматического определения тематики документа, поэтому создание модели документа, позволяющей определять тематику документа, является одной из важных исследовательских задач.

Опишем основные положения, позволяющие создать и реализовать модель системы, решающей вопросы тематической кластеризации текстовых документов произвольного содержания. Будем исходить из того, что для обучения системы мы располагаем некоторым набором документов с уже определенными для них тематиками принадлежности к тому или иному классу. Тогда для каждого такого класса составляем агрегированный «образ класса», собранный на основе статистических данных по всем составляющим его документам. Основой статистики является общий словарь леммат – единых основ морфологически однородных слов. На основе этих данных для каждого слова из словаря леммат ставится в соответствие характеристика статистической частоты возникновения в разных тематиках. Таким образом строится исходный вектор всего класса – тематики.

На основании таких исходных данных, была предложена гипотеза о возможности группировки исходных леммат в некоторое количество групп – «словарей», на основании схожести их частотных характеристик появления в различных тематиках. Таким образом, осуществляется переход от классических векторных моделей документа, используемых во многих системах управления информацией, к новой векторной пословарной модели. Векторная словарная модель документа позволяет отразить содержание документа

в обобщенных терминах словарей, создавая таким образом характерный индивидуальный каркас каждого документа. Таким образом, общая структурная модель документа отражает степень использования того или иного специфического словаря. Преимуществами модели являются:

- усиление значения редко встречающихся, специфических, но тематически близких терминов;
- выделение характерных статистико-семантических особенностей текста, обусловленных его тематической принадлежностью;
- возможность приведения разнородных документов к единому информационно-семантическому полю.

Для реализации данной модели на практике был разработан метод кластеризации леммат на основе классификации тематик текстов обучения, – метод создания тематических словарей [1]. Данный метод определяет уровень специфичности использования конкретного слова (лемматы) в тематиках, группируя схожие по качеству использования слова. Результатом работы метода является переход от общего словаря леммат к строгой системе тематических словарей и, соответственно, возможность перехода от произвольного текста документа к строгой векторной пословарной модели.

На основе созданной векторной пословарной модели документа, был разработан алгоритм сопоставления документов и расчета тематической близости этих документов к образцу. Данный алгоритм позволяет получить количественную оценку близости текстов, тем самым проводить ранжирование и определять наиболее близкий к искомому документ. Сущность действия алгоритма базируется на количественной оценке субъективного показателя тематической близости.

Использование предложенных алгоритмов позволяет решать задачи поиска документа по образцу, а также задачи классификации и кластеризации текстовой информации. Действительно, обладая алгоритмом определения тематической близости, можно проводить сравнения тематической близости не только двух документов, но в том случае, если документом-образцом является не конкретный документ, а образ класса, то можно говорить о решении вопроса классификации документов. В таком случае, для каждого нового документа, чей класс нужно определить автоматически, необходимо просто оценить уровень тематической близости документа и каждого из образов класса. Наибольший показатель схожести определит тематическую – классовую принадлежность документа.

Практически интересным и ценным является решение вопроса кластеризации текстовой информации, на основе метода тематических словарей. В том случае, если в векторной пословарной модели перейти от связки леммат/тематика к терминам конкретных документов и созданных словарей, то воспользовавшись методом создания тематических словарей, мы фактически

способны провести кластерное разбиение имеющегося документного пространства. Таким образом, мы повторяем процедуру распределения документа в классы таким же образом, как и процедуру распределения слов в словари. В этом случае, мы получаем кластеризацию текстовых документов с любой размерностью деления на кластеры.

Литература

1. Хусаинова М.А. Поиск документа по образцу: вариант решения проблемы // Интеллектуальные технологии в образовании, экономике и управлении – 2005: Сб. статей II Междунар. конф. – Воронеж, 2005. – С. 415-420.

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 87 каф. «Информатика» (229/3Б),
т.р. (351) 267-95-22, e-mail: maria_inf@mail.ru

УДК 681.3.06

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.Г. Феоктистов, А.А. Александров

Институт динамики систем и теории управления СО РАН, г. Иркутск

Рассматриваются вопросы обеспечения надежности распределенной вычислительной среды имитационного моделирования за счет использования аппарата контрольных точек.

Введение

С возрастанием сложности модели исследуемой системы расчетное время значительно увеличивается. В связи с этим становится актуальным применение средств распределенного имитационного моделирования [1], позволяющих задействовать в расчетах модели несколько компьютеров, распределить вычислительную нагрузку среди узлов вычислительной среды и, тем самым, сократить время моделирования.

Основными проблемами при обеспечении надежной работы распределенной вычислительной среды являются сбои и отказы в работе программно-аппаратных средств узлов системы, недоступность ее узлов и ошибки средств коммуникации (задержки или потери данных). Существуют различные способы решения этих проблем, например, использование аппарата контрольных точек, горячего резерва, репликации, параллельных серверов баз данных, фирменных программных и аппаратных продуктов и др. [2].

Применение большинства из перечисленных выше способов обеспечения надежной работы распределенной вычислительной среды предполагает использование дополнительного аппаратного оборудования и программного обеспечения, зачастую достаточно дорогостоящего. Наиболее дешевым

и доступным способом, на наш взгляд, является применение аппарата контрольных точек. Однако при использовании программ без открытого исходного кода часто возникают проблемы с автоматическим формированием контрольных точек [2]. В этих случаях приходится применять средства системного программирования и использовать специальные возможности таких программ.

Авторами рассматривается новый подход к созданию аппарата контрольных точек в распределенной среде имитационного моделирования, использующей систему GPSS World [3].

Распределенная среда имитационного моделирования

Распределение имитационной GPSS-модели осуществляется методом ее декомпозиции на слабо связанные подмодели, сегменты которых моделируют основные процессы функционирования исследуемой системы. Подмодели размещаются в узлах распределенной вычислительной среды. Специализированная коммуникационная библиотека, разработанная авторами данной работы, обеспечивает взаимодействие между подмоделями посредством вызова Socket-соединений со специальным сервером. Средства организации распределенного имитационного моделирования на базе GPSS World и специализированная коммуникационная библиотека более детально представлены в работе [4].

При моделировании в такой распределенной вычислительной среде, относительно аппарата контрольных точек, возникают следующие основные задачи:

- восстановление с некоторой контрольной точки процесса моделирования после сбоя или отказа программных или аппаратных средств;
- остановка процесса моделирования на конкретном вычислительном узле и продолжение этого процесса на другом вычислительном узле;
- приостановка процесса моделирования, предоставление вычислительных ресурсов компьютера для заданий с более высоким приоритетом и дальнейшее восстановление приостановленного процесса;
- обеспечение согласованности системы контрольных точек.

Модуль создания контрольных точек

Модуль создания контрольных точек реализован в виде программной оболочки, представляющей собой надстройку над системой GPSS World. Данный модуль осуществляет управление объектом GPSS World «Процесс моделирования» [5]. Модуль реализован на языке программирования Microsoft Visual Basic 6.0, с поддержкой визуального пользовательского интерфейса и режима командной строки. На рис. 1 показан пример запуска процесса моделирования с использованием визуального интерфейса на период

50000 единиц модельного времени, с созданием контрольных точек через каждые 500 единиц модельного времени.

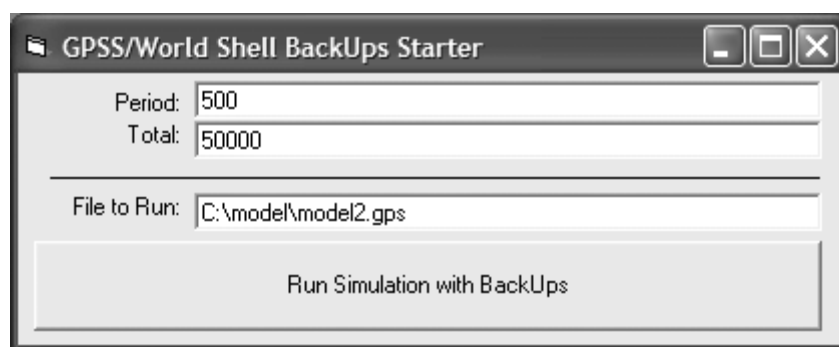


Рис. 1. Визуальный интерфейс модуля создания контрольных точек

Реализация аппарата контрольных точек основана на использовании команд GPSS World управления процессом моделирования. Использование команды

EXIT 1

приводит к немедленному завершению сеанса работы системы GPSS World на вычислительном узле с автоматическим сохранением всех ее объектов, в том числе и объекта «Процесс моделирования» в стандартном *.sim-файле. Для продолжения приостановленного процесса моделирования нужно открыть *.sim-файл и выполнить команду:

START A,

где операнд A является счетчиком модельного времени.

Таким образом, процесс создания контрольной точки в отдельном вычислительном узле включает следующие этапы:

- I. Запуск системы GPSS World.
- II. Открытие *.gps-файла модели.
- III. Трансляция *.gps-файла модели в *.sim-файл средствами системы GPSS World.
- IV. Выполнение процесса моделирования до момента обнуления счетчика модельного времени.
- V. Создание начальной контрольной точки – сохранение процесса моделирования в *.sim-файле.
- VI. Открытие *.sim-файла контрольной точки.
- VII. Запуск процесса моделирования путем трансляции специального сегмента, включающего следующие блоки и управляющие карты:

GENERATE	A
TERMINATE	1
START	1
EXIT	1.

В используемом на этапе VII блоке GENERATE операнд А задает требуемый период моделирования в единицах модельного времени до создания следующей контрольной точки. После выполнения этапа VII происходит повторение этапов V-VI до тех пор, пока не закончится общее время моделирования.

Для создания согласованной системы контрольных точек соответствующий модуль в заданные интервалы времени одновременно (синхронизация модельного времени в распределенной вычислительной среде имитационного моделирования реализована на основе консервативного способа с блокировками) запускает процесс создания контрольной точки на всех вычислительных узлах, в которых размещены распределенные подмодели. Согласованность системы контрольных точек исключает возможность множественных откатов в случае сбоя или отказа программных или аппаратных средств распределенной вычислительной среды.

Заключение

В заключение следует отметить, что применение аппарата контрольных точек в распределенной вычислительной среде имитационного моделирования предназначено для задач с длительным временем счета. В этом случае, временем создания согласованной системы контрольных точек, которое много меньше времени решения задачи, можно пренебречь.

Литература

1. Fujimoto R. M. Parallel and Distributed Simulation Systems. – New York: John Wiley & Sons, USA, 2000.
2. Корнеев В.В. Параллельные вычислительные системы. – М.: Нолидж, 1999. – 320 с.
3. Official Minuteman Software web site. GPSS World. – <http://www.minutemansoftware.com>.
4. Феоктистов А.Г., Александров А.А. Распределенное имитационное моделирование вычислений в САТУРН-среде на основе системы взаимодействующих агентов // Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы V Междунар. науч.-практ. конф.: В 5 ч. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2005. – Ч. 3. – С. 28-32.
5. Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 368 с.

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134, т.(3952) 511414, e-mail: agf@icc.ru

УДК 6.321

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ НА УРОВНЕ СТРОК ДЛЯ СУБД ТИПА MSSQL

Б.А. Телеснин, В.А. Аграновский

НИИ «Спецвузавтоматика», г. Ростов-на-Дону

Описывается система «безопасности на уровне строк» для СУБД типа MSSQL. Приведено описание дополнительных модулей, принципов их взаимодействия, предназначения и функций.

Смысл подхода «безопасности на уровне строк» (Row-Level Security) [1] состоит в том, что пользователь видит не всю таблицу, а только часть строк таблицы. Такая задача разграничения доступа возникает очень часто. Таким образом можно повысить безопасность использования СУБД MSSQL разделением прав пользователей на уровне процессов [2].

В работе для повышения безопасности СУБД типа MSSQL [3] были реализованы дополнительные модули:

- модуль ограничения доступа информации в разработанной системе,
- модуль организации сеансов связи между клиентом и СУБД,
- модуль тестирования работоспособности.

Модуль ограничения доступа обеспечивает контроль доступа к информации в разработанной системе. Он основан на понятии дескриптора доступа. Модуль ограничения доступа включает в себя:

- модуль обработки запроса,
- модуль проверки прав доступа,
- модуль аудита безопасности среды функционирования СУБД.

Основной задачей модуля организации сеансов связи является создание защищенного канала обмена данными между клиентом и СУБД. Функционально модуль организации сеансов связи состоит из двух частей: клиентской части, выполняющейся на компьютере клиента, и серверной, выполняющейся в виде сервиса на компьютере с СУБД. При входе в систему пользователь инициирует клиентскую часть модуля, которая делает попытку установки защищенного канала связи (например, с использованием алгоритма шифрования RC4) к серверной части. Серверная часть, в свою очередь, взаимодействует напрямую с локальной СУБД. Модуль тестирования предназначен для проверки работоспособности разработанных средств защиты распределенных баз и хранилищ данных от несанкционированного доступа и программно-математического воздействия.

В этом модуле проверяется взаимодействие дополнительных модулей с уже существующей системой. Взаимодействие происходит по следующему алгоритму: в разработанной схеме исключено прямое взаимодействие пользователя с СУБД, вместо чего весь обмен данными происходит через специализированный шлюз. Шлюз безопасности, регламентирующий доступ к СУБД, состоит из модуля ограничения доступа, включающего в себя модуль проверки прав доступа и модуль обработки запросов, модуля аудита безопасности среды функционирования СУБД и модуля организации сеансов связи.

В функции модуля ограничения доступа входит контроль доступа к данным, основанный на дескрипторах доступа, присваиваемых защищаемой информации. Доступ к информации реализуется посредством запросов, которые сначала разбираются и модифицируются модулем обработки запросов, далее модулем проверки прав доступа, согласно введенным правилам, прове-

ряются права доступа к данным, и только затем пользователю предоставляется доступ к разрешенным данным. Модулем аудита безопасности среды функционирования СУБД входит проверка целостности и контроль доступа к файлам СУБД. Модуль организации сеансов создает защищенный канал обмена данными между клиентом и СУБД.

Литература

1. Delaney, Kalen. Inside Microsoft SQL Server 2000. Microsoft Press. 2000.
2. Лукацкий А. Анализ защищенности баз данных // Открытые системы. – 1999. – № 5-6.
3. Шнайдер Д.Р. Microsoft SQL Server. Проектирование высокопроизводительных баз данных. – М.: Лори, 1998. – 366 с.

344002, г. Ростов-на-Дону, пер. Газетный 51, т. 297-50-84,
e-mail: sva@rsu.ru

УДК 519.872.6

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ КАК СПОСОБ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПОТОКОВ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Г.В. Щербаков

Волгоградский государственный технический университет

Рассмотрен один из алгоритмов маршрутизации, применяемый на стадии проектирования сети передачи данных, описана одна из математических моделей (альтернативная маршрутизация).

Под алгоритмом маршрутизации понимается правило, в соответствии с которым в каждом узле сети передачи данных осуществляется выбор линии связи для передачи блока данных (сообщения или пакета).

Под фиксированной (неразветвленной, однопутевой) маршрутизацией будем понимать такую процедуру выбора маршрутов, при которой для передачи данных от узла-источника узлу-адресату используется единственный маршрут. Если в процедуре выбора маршрутов разрешается использовать более одного пути, то это – альтернативная (разветвленная, многопутевая) маршрутизация [1-3].

На стадии проектирования сети передачи данных и в процессе ее развития очень важной является задача выбора алгоритма маршрутизации. Для этой цели могут быть использованы различные средства:

- измерения и статистический анализ параметров реальной сети (в том случае, если сеть передачи данных уже построена и находится в процессе развития);
- натурное моделирование;

- имитационное моделирование;
- математические оптимизационные модели

В данной работе описывается математическая модель алгоритма альтернативной маршрутизации.

Применение математического моделирования при анализе алгоритмов маршрутизации в сетях передачи данных представляет значительный интерес по следующим причинам:

- к настоящему времени разработан достаточно полный математический аппарат, позволяющий использовать его как в «чистом виде», так и осуществлять необходимую модификацию существующих моделей, учитывающую специфику конкретной сети;

- использование математических моделей не требует значительных ресурсов (вычислительных, временных и т.п.), что позволяет при необходимости проводить многократный анализ в процессе разработки и эксплуатации сети;

- математические модели, в отличие от других вышеперечисленных средств, позволяют делать выводы о тенденциях развития сети передачи данных, что является чрезвычайно важным при построении крупномасштабных сетей передачи данных.

В случае альтернативной маршрутизации задача выбора оптимальных маршрутов потоков данных относится к классу многопродуктовых задач с выпуклой целевой функцией и выпуклым множеством ограничений. Следовательно, существует единственный локальный минимум данной задачи, являющийся глобальным минимумом, для нахождения которого разработано достаточно большое число вычислительных методов. Наиболее известным методом решения данной задачи является метод отклонения (девиации) потока данных. Этот алгоритм является частным случаем для решения общих задач нелинейного программирования с выпуклым множеством ограничений. Доказано, что метод отклонения потока в пределе уменьшает значение целевой функции до минимума, хотя по мере приближения к оптимуму скорость сходимости существенно замедляется.

Модель сети передачи данных состоит из N узлов коммутации. Предполагаем, что:

- 1) все линии связи абсолютно надежны и помехоустойчивы,
- 2) узлы коммутации имеют бесконечную память,
- 3) время обработки запросов в узлах коммутации отсутствует.

Алгоритм отклонения потока опирается на следующие два свойства оптимального решения.

Множество многопродуктовых потоков в линиях связи f является выпуклым многогранником, крайними точками которого являются так назы-

ваемые «экстремальные» потоки, определяемые в соответствии с принципом кратчайших маршрутов. Данный принцип состоит в том, что в качестве оптимальных маршрутов для каждой пары узлов «источник (i) - адресат (j)» рассматриваются кратчайшие маршруты, вычисляемые при произвольном назначении «весов» линий связи. Каждое такое назначение соответствует некоторому «экстремальному» потоку и наоборот.

Для заданного множества многопродуктовых потоков в линиях связи f определим «вес» линии связи (k, l) как частную производную средней задержки по переменной f_{kl} , то есть $\partial T / \partial f_{kl}$.

Справедливость выбора «весов» $\partial T / \partial f_{kl}$ и сходимость алгоритма доказываются нижеследующими рассуждениями. Пусть f – оптимальное решение. Это означает, что любое отклонение от f ведет к увеличению целевой функции T , т.е. для любого отклонения $\bar{f}$, относительно f , такого, что $\bar{f}$ – допустимый многопродуктовый поток, выполняется неравенство:

$$T(\bar{f}) \leq T(f). \quad (1)$$

Если $\bar{f} = \beta \lambda + (1 - \beta) f$, – выпуклая комбинация λ и f , где λ – поток по кратчайшим маршрутам, определенным в соответствии с некоторыми «весами» ω_{kl} , то

$$\bar{f} = f + \beta (\lambda - f).$$

Рассмотрим разность $T(\bar{f}) - T(f) = \delta T$. Для $\beta < 1$ имеем следующее:

$$T(\bar{f}) - T(f) \approx \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N (\bar{f} - f_{kl}) \partial T / \partial f_{kl} = \beta \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N (\lambda_{kl} - f_{kl}) \partial T / \partial f_{kl}.$$

Тогда из неравенства (1) следует:

$$\sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N \lambda_{kl} (\partial T / \partial f_{kl}) \geq \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N f_{kl} (\partial T / \partial f_{kl}). \quad (2)$$

Причем, в так называемой точке оптимума, неравенство (2) переходит в равенство. Следовательно, чтобы в результате итераций поток $\bar{f}$ приближался к оптимальному решению, надо минимизировать величину $\sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N \lambda_{kl} (\partial T / \partial f_{kl})$, где λ – поток по кратчайшим маршрутам, определенным в соответствии с некоторыми «весами» $\omega_{kl} = \partial T / \partial f_{kl}$.

Очевидно, что в общем случае альтернативная маршрутизация является предпочтительней, чем фиксированная, так как она более полно использует ресурсы сети передачи данных. Однако фиксированная маршрутизация намного проще для реализации, и в ряде случаев (например, при низкой загрузке сети) при ее использовании качество функционирования сети

может оказаться очень близким к варианту с реализацией альтернативной маршрутизации.

Литература

1. Зайченко Ю.П. Задачи проектирования структуры распределенных вычислительных сетей // Автоматика. – 1981. – № 3. – С. 35-14.
2. Жожикашвили В.А., Вишневский В.М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988.
3. Мину М. Математическое программирование. Теория и алгоритмы. – М.: Наука, 1990.

УДК (519.68:[516+3])

РАВНОМЕРНАЯ ЗАГРУЗКА КАНАЛОВ СВЯЗИ ПРИ ФИКСИРОВАННОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ В МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ КАК ЗАДАЧА УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ

Г.А. Опарин

Институт динамики систем и теории управления СО РАН, г. Иркутск,

В.В. Максимович

Иркутский государственный университет путей сообщения

Предложен новый подход к решению проблемы равномерной загрузки каналов связи в магистральных сетях передачи данных, основанный на задаче удовлетворения ограничений.

Перед провайдерами сети Интернет достаточно остро стоит задача обеспечения надежности, к которой привыкли пользователи сетей PSTN и TDM. Также существует необходимость дифференциации служб в сетях, чтобы провайдеры могли предоставлять различные классы служб по разным ценам. Для того чтобы сеть получила такие возможности, нынешний базовый тип пересылки данных в сети Интернет усовершенствован для поддержки технологии перераспределения потоков (Traffic Engineering) [1, 2]. Перераспределение потоков охватывает многие аспекты работы сети. В частности, оно включает в себя обеспечение высокого качества обслуживания, рационального использования сетевых ресурсов за счет равномерного распределения потоков по каналам связи и быстрого восстановления в случае отказа узла или канала. Все эти же вопросы актуальны и для крупномасштабных корпоративных сетей, построенных на базе стека протоколов TCP/IP. Примером такой сети является сеть передачи данных (СПД) ВСЖД, филиала ОАО РЖД.

1. Постановка задачи о равномерной загрузке каналов сети передачи данных

Пусть исходная СПД состоит из n узлов коммутации и m линий связи таким образом, что топологическая структура описывается ориентированным мультиграфом $PS=(V,E)$ без петель, где V – множество узлов коммутации, а E – множество линий связи ($|V|=n, |E|=m$). Граф PS назовем первичной сетью. Зададим также ориентированный граф $WS=(V,R)$, $|R|=p$, где множество дуг R определяется потоками данных, поступающими в сеть и выходящими из нее. Потоки данных состоят из пакетов, имеющих одинаковый приоритет и образующих пуассоновский поток со средним значением γ_i [пакетов/сек] для дуги r_i . Граф WS назовем вторичной сетью.

Кроме того, предполагается, что [3]:

- 1) все линии связи абсолютно надежны и помехоустойчивы;
- 2) узлы коммутации имеют бесконечную память;
- 3) длины всех пакетов независимы и распределены по показательному закону со средним значением $1/\mu$ [байт];
- 4) каждая линия связи e_i состоит из единственного дуплексного канала с пропускной способностью, равной d_i [байт/сек].

Пусть $x_{ij}(i=\overline{1,m}, j=\overline{1,p})$ множество двоичных переменных ($x_{ij} \in \{0,1\}$), значения которых определяются следующим образом: $x_{ij}=1$, если поток γ_i проходит по линии связи e_i и $x_{ij}=0$ в противном случае. Предположим также, что для переменных x_{ij} выполняются известные условия сохранения потока в сети [3].

Сформулируем промежуточную задачу фиксированной маршрутизации следующим образом: необходимо распределить входные потоки данных по сети существующих каналов связи так, чтобы обеспечить выполнение следующих требований по допустимой верхней величине загрузки каналов связи:

$$f_i \leq d_i^+, \text{ для всех } i=\overline{1,m}, d_i^+ \leq d_i, f_i = \sum_{j=1}^p \gamma_j x_{ij}. \quad (1)$$

Формальным результатом решения поставленной задачи фиксированной маршрутизации является множество переменных x_{ij} . Зная эти переменные, можно легко определить величины потоков f_i в линиях связи e_i первичной сети. Пусть x_{ij}^k (соответственно f_i^k) – множество решений промежуточной задачи, где k означает номер решения. Среди всех решений выбираем такое, которое обеспечивает минимальное значение величины f неравномерности загрузки каналов связи:

$$f = \max_i f_i^k - \min_i f_i^k \rightarrow \min_k. \quad (2)$$

Сформулированную задачу здесь и далее будем называть задачей о равномерной загрузке каналов связи.

2. Программирование в ограничениях как метод решения задачи о равномерной загрузке каналов связи СПД

Для фиксированной маршрутизации имеем $x_{ij} \in \{0,1\}$, что позволяет представить сформулированную задачу как переборную на языке теории графов [4]. Пусть H – отображение, которое ставит в соответствие каждой дуге $r_i \in R$ вторичной сети $WS = (V, R)$ множество D_i простых путей первичной сети $PS = (V, E)$ таким образом, что начальные и конечные вершины дуги r_i и простых путей из D_i совпадают. Такие простые пути в графе PS согласно терминологии TE-MPLS [1, 2] будем далее называть допустимыми туннельными маршрутами. Очевидно, отображение H обеспечивает выполнение условий сохранения потока в сети для переменных x_{ij} . Если отображение H построено, то решение задачи равномерной загрузки каналов связи СПД может быть получено методом направленного перебора вариантов маршрутизации потоков данных.

Задачу в такой постановке можно рассматривать и решать как дискретную задачу удовлетворения ограничений (Constraint Satisfaction Problem – CSP). На формальном уровне дискретная CSP представляется в виде тройки $\langle Y, D, C \rangle$ [5], где:

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$ – конечное множество переменных;

$D = \{D_1, D_2, \dots, D_p\}$ – множество доменов;

$C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ – конечное множество ограничений.

Каждый домен – это конечное множество, содержащее возможные значения i -й переменной. Ограничение C_i состоит из двух частей: подмножества переменных $S = \{y_{i_1}, y_{i_2}, \dots, y_{i_{k_i}}\}$, на котором оно определено, и отношения rel_i , заданного на $S_i: rel_i \subseteq D_{i_1} \times D_{i_2} \times \dots \times D_{i_{k_i}}$.

Решение CSP – это такое означивание каждой переменной, что для любого ограничения выполняется соответствующее отношение над значением связанных им переменных. Означиванием переменных является присваивание ей некоторого значения из домена. Целью решения CSP может быть как нахождение одного такого набора значений всех переменных (любого или с заданными свойствами), так и нахождение всех наборов.

Предполагается, что задача удовлетворения ограничений может не иметь решения. В нашем случае переменная – это структурированная величина, кодирующая допустимый туннельный маршрут в СПД. Каждому потоку данных ставится в соответствие своя переменная, возможные значения которой представляют допустимые туннельные маршруты в сети для этого потока. Множество ограничений задается системой неравенств (1) для каждого канала связи. Наиболее эффективный путь решения дискретной задачи удовлетворения ограничений состоит в использовании метода распространения ограничений в сочетании с техникой интеллектуального возврата [6].

В переборе с возвратом (бэктрекинг) мы поочередно назначаем каждую переменную и выполняем выполнимость ограничений на частном назначении. В случае неудачи пробуем другое значение для последней назначенной переменной. Если возможные значения уже исчерпаны, следует вернуться к предыдущей переменной (хронологический возврат) и попробовать назначить ее и так далее. За последние двадцать лет был предложен целый ряд методов, повышающих эффективность бэктрекинга. К ним относится бэкмаркинг, бэкдшампинг (интеллектуальный возврат), проверка вперед, динамический бэктрекинг и другие (см. обзор [7]). Эти методы становятся особенно эффективными в комбинации с методами распространения ограничений. Суть этих методов состоит в уточнении областей допустимых значений переменных с последующим поиском в этих областях.

3. Способы повышения эффективности решения задачи удовлетворения ограничений при фиксированной маршрутизации в магистральных сетях передачи данных

Итак, пусть задано множество переменных Y , соответствующее множеству дуг R графа вторичной сети WS , для каждого $y_i \in Y$ построено множество допустимых туннельных маршрутов (домен D_i) и имеется ограничение (1) по допустимой верхней загрузке каналов связи первичной сети PS . Необходимо для каждого потока, проходящего через первичную сеть, выбрать такой туннельный маршрут из множества допустимых, чтобы суммарная загрузка f_i не превышала величины d_i . Далее среди всех решений поставленной задачи выбрать решение, которое обеспечивает минимальную неравномерность загрузки каналов связи в смысле условия (2).

3.1. Отбраковка допустимых туннельных маршрутов

Как уже отмечалось, присвоение переменной x_{ij} единичного значения означает, что поток r_j проходит по линии связи e_i , что требует выделения этому потоку ресурса γ_j от пропускной способности d_i^* канала связи. Поэтому, если какой-либо допустимый туннельный маршрут из D_j включает

канал связи e_i и $\gamma_j > d_i^*$, то такой маршрут удаляется из области D_j . Если после выполнения этой процедуры для некоторого j $D_j = \emptyset$, то поставленная задача не имеет решения.

3.2. Повышение эффективности вычисления загрузки каналов связи (демоны ограничений)

Специфической особенностью нашей задачи удовлетворения ограничений является то, что при вычислении загрузки f_i i -го каналов связи необходимо знание лишь о линиях связи, входящих в допустимый туннельный маршрут (порядок каналов в маршруте для вычисления величины f_i не имеет значения). Это обстоятельство позволяет в существенной степени упростить процедуру отыскания общих каналов в двух или нескольких маршрутах, если каждому маршруту поставить в соответствие двоичный набор длины m так, что i -й элемент этого набора равен единице, если i -й элемент канала связи входит в маршрут, и равен нулю в противном случае. Нахождения общих дуг в этом случае сводится к выполнению булевых операций над машинными словами, которые выполняются эффективно на любом компьютере. Предложенный механизм позволяет на каждом шаге решения задачи удовлетворения ограничений эффективно выявлять активные текущие ограничения из (1) и эффективно реализовать их проверку (запуск демонов ограничений).

3.3. Быстрые структуры данных

Итак, пусть D_j – область значений переменной y_j (переменной соответствует поток данных r_j , для которого требуется выбрать маршрут передачи данных (значение из D_j) из узла-источника в узел-адресат). Через $length_i$ обозначим мощность множества D_j (после выполнения процедуры отбраковки допустимых туннельных маршрутов). Расположим маршрут в каждом домене D_j в порядке возрастания длины маршрута. В памяти компьютера списки областей D_j и текущих значений переменных y_j ($j = \overline{1, p}$) удобно представить в виде двух двоичных массивов D и Y . Размерность массива Y равна $p \times q$, где q – число байт (или слов), необходимых для размещения представления маршрутов в битовом представлении, j -я строка массива Y представляет текущее значение переменной y_j . Размерность массива D равна $l \times (p \times q)$, где $l = \max_i length_i$. В i -й строке массива последовательно располагаются двоичные описания маршрутов из областей $D_1, D_2, \dots, D_p$. Массив D во время решения задачи удовлетворения ограничений формируется один раз и в дальнейшем не изменяется. Исходными данными для его формирования являются списки допустимых туннельных маршрутов для каждого потока данных.

Процедура $per(D, Y, i, j, p, q, lenght, error)$ реализует операцию присвоения переменной y_j i -го значения из домена D_j . Если $j > length_i$, то $error = 1$, в противном случае $error = 0$.

3.4. Распространение ограничений

Обозначим через Y^i - i -ю строку матрицы Y . Тогда $Y^t = \bigvee_{i=1}^t Y^i$ задает множество активных каналов (каналов, по которым идет хотя бы один поток данных), полученных в результате означивания переменных $y_1, y_2, \dots, y_t$.

Методы распространения ограничений требуют введения еще одной структуры данных для множества областей $D_1, D_2, \dots, D_p$. Это целочисленный массив Z размерности e_{xp} , который позволяет выявить возможные значения t -й переменной y_t из области ее определения D_t после очередного означивания. Обозначим через Z^t столбец матрицы Z . В этом столбце одновременно перечисляются допустимые и недопустимые значения переменной y_t , причем при последних указывается номер переменной, означивание которой является причиной запрета использования этого значения (результат распространения ограничений).

В начале массив Z обнуляется. На последующих этапах $Z_i^t = 0$ означает, i -е значение из D_t – одно из допустимых значений для y_t . $Z_i^t = s$ означает недопустимость i -го значения из D_t , где s – первая по счету переменная, являющаяся причиной запрета (определяется путем анализа нарушенных ограничений по загрузке каналов связи) в результате означивания переменной y_t из области D^t .

Пусть $y_t = D_i^t$. Для каждого канала связи, входящего в маршрут D_i^t определяется множество номеров проходящих по нему потоков, связанных с присвоением по нему потоков, связанных с присвоением значений переменных $y_1, y_2, \dots, y_{t-1}$. Для каждого j -го канала связи из этого списка находится минимальный индекс переменной из множества $y_1, y_2, \dots, y_{t-1}$, такой, что $\sum_{k \leq S_j} \gamma_k + \gamma_t > d_j^+$. Тогда значение s вычисления как $\min S_j$ по всем каналам, входящим в маршрут D_i^t .

3.5. Интеллектуальный возврат

Естественно, что нам понадобится целочисленный массив P , каждый элемент p_i которого есть значение последнего ненулевого элемента в столбце Z^t . Если $p_i = length_t$ и для всех значений из области D_t нарушены ограничения (1), необходимо вернуться назад к первой переменной, которая является причиной неудачи и присвоить ей новое значение (задать новый маршрут для

этой переменной). Номер pb точки возврата определяется путем анализа конфликтного множества Z^t и определяется как $\min_i Z_i^t$. При интеллектуальном возврате необходимо восстановить состояние (среду) точки возврата путем обнуления в столбцах Z^t ($pb \leq i \leq t$) значений элементов, равных или превышающих значение pb .

Заключение

Перераспределение потоков с целью повышения степени равномерности загрузки каналов связи обеспечивает большую рациональность использования сетевых ресурсов и их быстрое восстановление в случае отказа канала или узла. Более того, если интенсивности γ_i потоков данных r_j являются функциями времени, то предложенный в настоящей работе подход, при наличии специального программно-технического оснащения сети, позволяет в реальном времени управлять балансировкой загруженности каналов связи.

Литература

1. Вивек Олвейн. Структура и реализация современной технологии MPLS. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 480 с.
2. Eric Osborne, Ajay Simha. Traffic Engineering with MPLS. Cisco Press, 2003. – 608 с.
3. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: ЗАО «Техносфера», 2003. – 512 с.
4. Попков В.К. Математические модели связности. – Ч. 2: Гиперграфы и гиперсети. – Новосибирск: Изд-во ИВМиМГ СО РАН, 2001. – 180 с.
5. Яхно Т.М. Программирование в ограничениях: обзоры и классификация подходов и методов. Системная информатика: Сб. науч. трудов. – Новосибирск: Наука, 1995. – Вып. 4: Методы теоретического и системного программирования. – С. 160-192.
6. Ruttkay S. Constraint Satisfaction: a Survey. CWI Quarterly, 1998, vol. 11, №2-3, pp. 123-161.
7. Ушаков Д.М. Телерман В.В, Системы программирования в ограничениях // Системная информатика. – Новосибирск: Наука, 2000. – Вып. 7. – С. 275-310.

666036, Иркутская область, г.Шелехов, 4 м/р, д. 11, кв. 6, т. 8-39510-48010, 8-395-636353, 89021703459, e-mail: Vmaksv@gmail.com

УДК 681.3.06

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ СЕТЕВОГО ТРАФИКА СТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

М.Б. Якубец, С.А. Репалов

НИИ «Спецвузавтоматика», г. Ростов-на-Дону

Дается описание модели обнаружения атак в трафике сетей, построенных на основе стека протоколов TCP/IP. Описывается временная модель активности трафика.

В связи с недостатками, существующими в современных системах обнаружения вторжений [1], существует потребность в разработке новых методов и моделей обнаружения сетевых атак.

Для построения модели нормальных пакетов вводятся пять ключевых понятий (объектов): сеть (A), хост (H), пакет (D), порт (P), сессия (S). Каждое ключевое понятие K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 , характеризуется набором параметров $K_i(\kappa_1^i, \kappa_2^i, \dots, \kappa_n^i)$, $i \in (1, 5)$. Почти у всех моделируемых объектов можно выделить параметр, характеризующий объем входящего и исходящего трафика в единицу времени. Построим для этого параметра отдельную модель и назовем ее «модель активности трафика».

Трафик по отношению к модели может быть двух типов: входящий поток (in flow) и исходящий (out flow). С одной стороны, сам по себе подсчет количества переданных байт нам ничего не даст. С другой стороны, при использовании интеллектуальных или статистических механизмов анализа, количество переданных байт в единицу времени намного информативнее. Например, если вдруг порт, который обычно не активен днем, начинает передавать данные в выходные вечером.

Исходя из изложенных выше соображений, в профиль модели активности трафика включены параметры:

- входящий поток: количество переданных байт в час, количество переданных байт в день недели, количество переданных байт за день, количество переданных байт за всю неделю, количество переданных байт в месяц;
- исходящий поток: количество переданных байт в час, количество переданных байт в день, количество переданных байт в день недели, количество переданных байт в неделю, количество переданных байт в месяц.

Каждый из этих параметров можно рассматривать как числовой параметр и оценивать одним из статистических методов, например, методом Байеса или интервалом доверия.

Как было отмечено выше, подсчет количества переданных байт не позволяет увидеть всей картины в целом. Например, большое количество пакетов с флагом RST в единицу времени на один из хостов системы может сигнализировать о сканировании системы. Поэтому в профиль модели активности трафика были добавлены классы параметров, таких как количество пакетов с определенным значением параметра для данной модели. В данный класс мы включили следующие параметры:

- количество пакетов TCP;
- количество пакетов ICMP;
- количество пакетов UDP;
- общее количество пакетов по всем протоколам;
- количество байт в пакетах.

Данная модель позволяет нам обнаруживать такие виды атак, как:

- различные виды сканирования системы,
- установку троянских программ (т.к. возрастет количество байт в исходящем потоке),
- установку ICMP шелла (т.к. возрастет количество ICMP пакетов).

Литература

1. О недостатках современных систем обнаружения вторжений / А.В. Аграновский, С.А. Репалов, Р.А. Хади, М.Б. Якубец // Информационные технологии. – 2005. – № 5. – С. 39-43.

344002, г. Ростов-на-Дону, пер. Газетный 51, т. 297-50-84,

e-mail: sva@rsu.ru

УДК 681.51; 519.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЫСТРЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ В ПАКЕТЕ SIMULINK

К.А. Исаков, А.Ю. Ощепков

Пермский государственный университет,

ФГУП «ОКБ «Маяк», г. Пермь

Описаны результаты моделирования быстрых алгоритмов работы регуляторов для систем второго порядка. Рассмотрено управление по выходу и управление по состоянию для дискретных и непрерывных систем с известными параметрами. Проведена проверка устойчивости алгоритмов.

Математическая модель системы, для которой проведены исследования новых алгоритмов управления, имеет вид дифференциального уравнения второго порядка:

$$\varepsilon \frac{d^2 X}{dt^2} + \frac{dX}{dt} + X = K \cdot u(t) + F_0, \quad (1)$$

где X – регулируемая величина; K – масштабный множитель; F_0 – внешнее воздействие $u(t)$ – управление. Величина ε представляет безразмерный параметр инерционности, который может быть малым. Характерное время системы положено равным единице, так что докритическому (демпфированному) движению системы [1] соответствует $\varepsilon < 0,25$. Цель регулирования

$$X(t) \rightarrow 0, \quad t \rightarrow \infty. \quad (2)$$

Ранее [2] были исследованы робастные и адаптивные алгоритмы для системы (1) в случае $\varepsilon \rightarrow 0$. В данной работе представлены алгоритмы, разработанные для $0 < \varepsilon < 0,25$. Для получения алгоритмов перепишем уравнение (1) в фазовом пространстве состояний [3]:

$$\begin{aligned}\dot{X}_1 &= X_2; \\ \dot{X}_2 &= -\frac{1}{\varepsilon}X_1 - \frac{1}{\varepsilon}X_2 + \frac{1}{\varepsilon}(K \cdot u(t) + F_0),\end{aligned}\quad (3)$$

где X_1 – координата; X_2 – скорость.

Чтобы синтезировать быстрый алгоритм, проведем дискретизацию системы с периодом квантования Δt , аппроксимируя матричную экспоненту по методу Эйлера. Получим дискретную систему, эквивалентную непрерывной [3]:

$$\begin{aligned}X_1(k+1) &= X_1(k) + \frac{1}{\beta}X_2(k); \\ X_2(k+1) &= -\alpha X_1(k) + (1-\alpha)X_2(k) + C \cdot U(k) + G,\end{aligned}\quad (4)$$

где введены удобные для последующей работы с системой обозначения:

$$\alpha = \frac{\Delta t}{\varepsilon}; \beta = \frac{1}{\Delta t}; C = \frac{\Delta t}{\varepsilon}K; G = \frac{\Delta t}{\varepsilon}F_0;\quad (5)$$

Отметим, что в общем случае дискретная система второго порядка имеет вид:

$$\begin{pmatrix} X_1(k+1) \\ X_2(k+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1(k) \\ X_2(k) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} C_1 U_1(k) \\ C_2 U_2(k) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} G_1 \\ G_2 \end{pmatrix},\quad (6)$$

т.е. содержит восемь параметров. Система (4) является специфической и содержит только четыре параметра, которые перечислены в (5).

Цель регулирования (2) для дискретного случая запишется в виде:

$$X_1(k) = 0, X_2(k) = 0, \quad k \geq k^*.\quad (7)$$

Быстрым алгоритмом назовем алгоритм, достигающий цели (7) при наименьшем k^* . Для систем первого порядка цель управления достигается за один шаг. Действительно, записав систему первого порядка в виде

$$X(k+1) = aX(k) + bU(k) + g,\quad (8)$$

мы видим, что цель будет достигнута, если управление выбрать из требования $X(k+1) = 0$:

$$bU(k) = -aX(k) - g.$$

Специфика системы (4), заключающаяся в том, что управление входит только в одно из уравнений, не позволяет удовлетворить требованиям (7) за один шаг.

Из практики применения градиентных методов [4] известно, что управляющее воздействие должно действовать в сторону уменьшения обоих составляющих вектора X . В результате проведенных исследований для **управления по состоянию** был предложен следующий алгоритм:

$$C \cdot U^j(k) = \alpha X_1(k) - (1-\alpha)X_2(k) - \beta X_1(k)j - G,$$

где для каждого k величина j принимает два значения: $j = 0$, $j = 1$. При $j = 0$ управляющее воздействие направлено на уменьшение (обращение в нуль) скорости X_2 , а при $j = 1$ управление уменьшает координату X_1 . Цель регулирования (7) достигается не позже четвертого шага.

На рис. 1-4 приведены полученные с помощью моделирования в MATLAB примеры графиков работы быстрого алгоритма (8) для непрерывной системы и ее дискретного аналога. Для сравнения показана работа пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора.

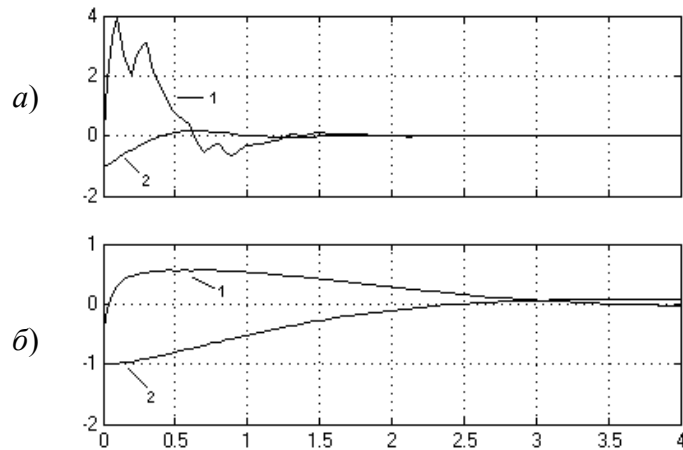


Рис. 1. Работа регулятора на основе быстрого алгоритма (8)(a) и ПИ-регулятора (б) для непрерывных систем при $\epsilon=0,1$: 1 – скорость, 2 – координата

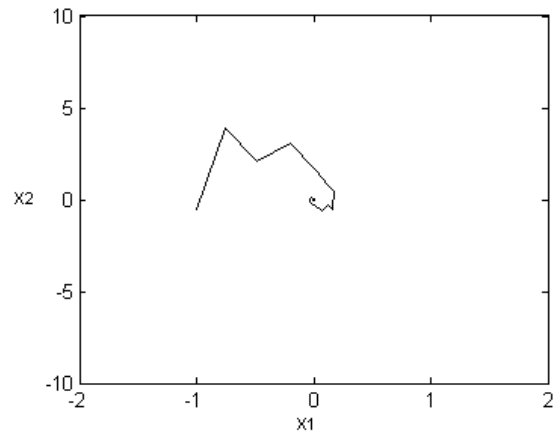


Рис. 2. Фазовый портрет работы быстрого алгоритма ($\epsilon=0,1$) для непрерывных систем

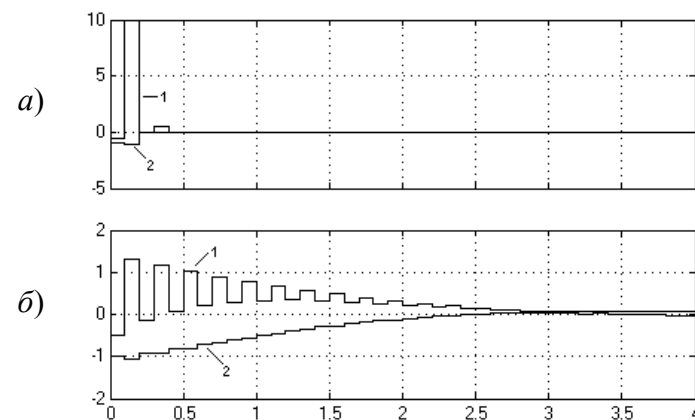


Рис. 3. Работа регулятора на основе быстрого алгоритма (8)(a) и ПИ-регулятора (б) для дискретных систем при $\epsilon=0,1$: 1 – скорость, 2 – координата

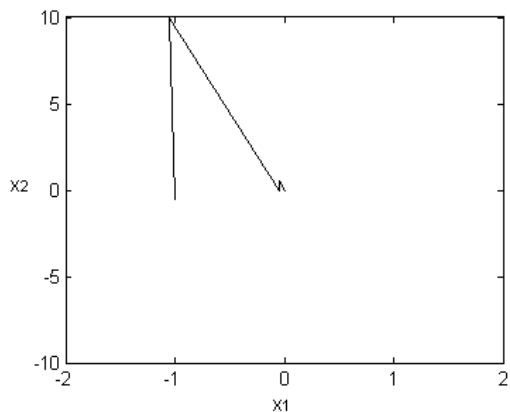


Рис. 4. Фазовый портрет работы быстрого алгоритма ($\epsilon=0,1$) для дискретных систем

Из графиков видно, что для дискретной системы условия (7) точно выполняются уже после четвертого шага. Для непрерывной системы на четвертом шаге еще имеются отклонения компонент вектора выхода от нулевых

значений, но они постепенно уменьшаются, и цель регулирования (2) достигается все же быстрее, чем для ПИ-регулятора.

Управление по выходу. Если измерению доступна только координата X_1 , алгоритм (8) нужно модифицировать. Запишем второе уравнение системы (4) на $k+2$ -м шаге:

$$X_2(k+2) = -\alpha X_1(k+1) + (1-\alpha)X_2(k+1) + C \cdot U(k+1) + G. \quad (9)$$

Найдем из первого уравнения системы (4) значение $X_2(k)$ и подставим его во второе уравнение этой системы, а полученное выражение для $X_2(k+1)$ подставим в (9). В итоге получим равенство:

$$X_2(k+2) = -a_0 X_1(k) + a_1 X_1(k+1) + (1-\alpha)[C \cdot U(k) + G] + C \cdot U(k+1) + G, \quad (10)$$

$$a_0 = (1-\alpha)(\alpha + \beta(1-\alpha)), a_1 = \beta(1-\alpha)^2 - \alpha.$$

Значение $U(k)$ в (10) предполагается известным ($U(0)$ может быть задано по любому закону, например, по пропорциональному). Управляющее воздействие $U(k+1)$, как и в случае управления по состоянию, определим так, чтобы выполнялось условие:

$$X_2(k+2) = -\beta X_1(k+1)j,$$

где j последовательно принимает значения 0 и 1. В результате получаем алгоритм управления по выходу:

$$C \cdot U(k+1) = -G - (1-\alpha)[C \cdot U(k) + G] + a_0 X_1(k) - a_1 X_1(k+1) - \beta X_1(k+1)j. \quad (11)$$

На рис. 5-8 приведены графики работы быстрого алгоритма (11) для непрерывной и дискретной систем и графики работы ПИ-регулятора.

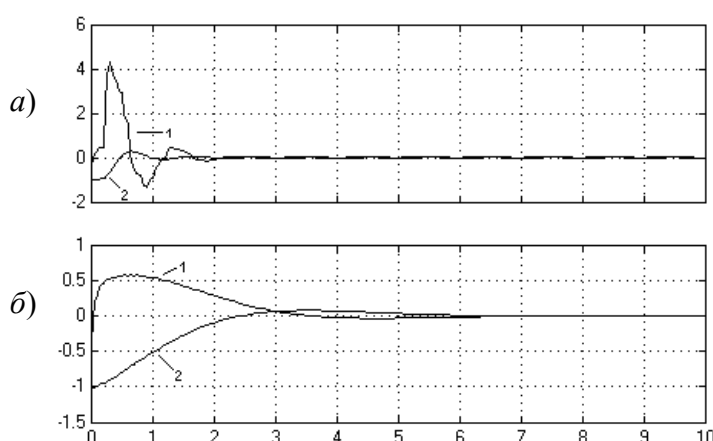


Рис. 5. Работа регулятора на основе быстрого алгоритма (8)(а) и ПИ-регулятора (б) для непрерывных систем при $\varepsilon=0,1$:
1 – скорость, 2 – координата

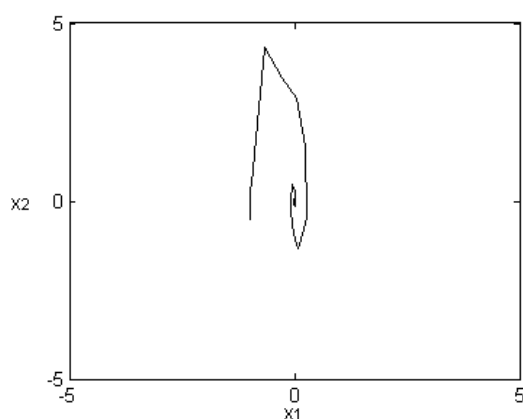


Рис. 6. Фазовый портрет работы быстрого алгоритма ($\varepsilon=0,1$) для непрерывных систем

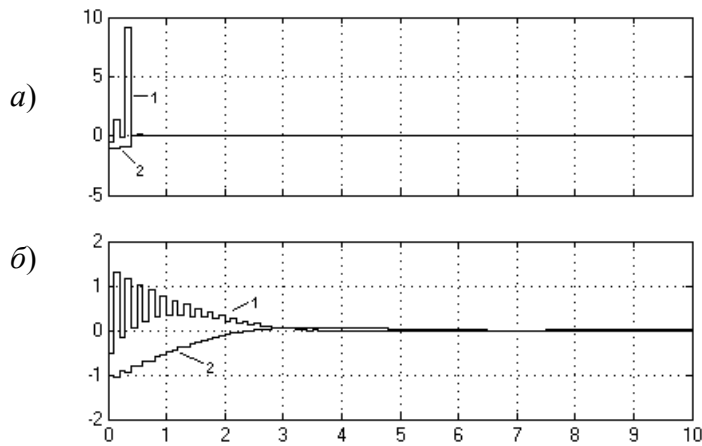


Рис. 7. Работа регулятора на основе быстрого алгоритма (8) (а) и ПИ-регулятора (б) для дискретных систем при $\varepsilon=0,1$:
1 – скорость, 2 – координата

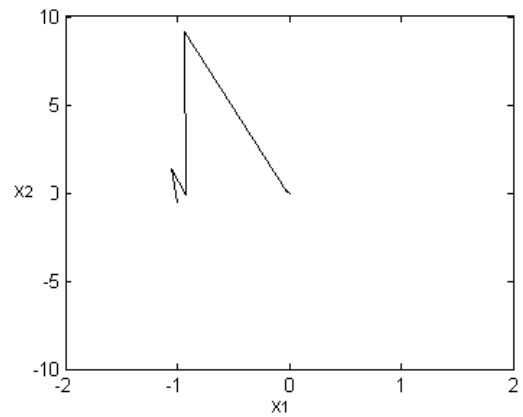


Рис. 8. Фазовый портрет работы быстрого алгоритма ($\varepsilon=0,1$) для дискретных систем

Для определения точности работы быстрых алгоритмов, применительно к непрерывным системам при различных ε , в модели рассчитывалась оценка качества в виде интеграла от взвешенного квадрата ошибки (ИВКО) [1] для разных периодов Δt . Результаты представлены на рис. 9. Ошибка не превышает 10 % при значениях Δt до 0,15...0,20.

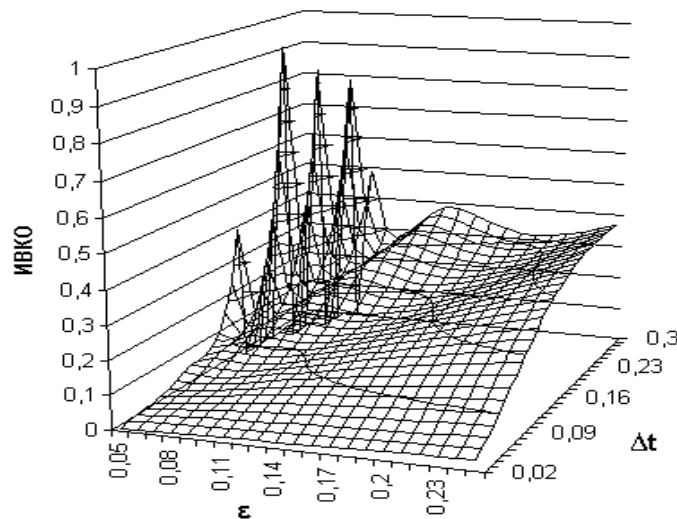


Рис. 9. График зависимости оценки ИВКО от параметров ε и Δt

Таким образом, быстрые алгоритмы для дискретных систем второго порядка могут применяться для управления непрерывными системами, которым эквивалентны дискретные системы при значениях параметра ε до 0,25 и периодах квантования Δt до 0,15...0,20.

Литература

1. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. – М.: ЛБЗ, 2002. – 832 с.

2. Ощепков А.Ю., Исаков К.А. Адаптивный регулятор для систем второго порядка. Компьютерное моделирование в среде Matlab // Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 4. – Новочеркасск, 2004. – С. 17-21.
3. Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB. – СПб.: Наука, 1999. – 467 с.
4. Фрадков А.Л. Кибернетическая физика: принципы и примеры. – СПб.: Наука, 2003. – 208 с.

Россия, 614990, г. Пермь, ул. Даницина, 19, т.(342) 237-17-75, e-mail: aos@mpm.ru

УДК 003.26

О СТРУКТУРЕ СИСТЕМ НАВЕСНОЙ ЗАЩИТЫ ИСПОЛНИМЫХ ФАЙЛОВ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗА

К.Д. Майзаков, Р.А. Хади

НИИ «Спецвузавтоматика», г. Ростов-на-Дону

Описываются модель и принципы работы систем навесной защиты исполнимых файлов от несанкционированного исследования и анализа (упаковщиков и протекторов) в операционных системах типа Windows NT/2000/2003.

Системы навесной защиты исполнимых файлов делятся на «упаковщики» и «протекторы». Упаковщики применяются для уменьшения размера исполняемого файла и, частично, для защиты программы от взлома. После упаковки невозможно непосредственно редактировать файл: для этого его нужно распаковать. В действительности простой упаковщик не обеспечивает должную защиту программ, так как распаковать такие упаковщики, которые не используют никаких защитных приемов, дело нескольких секунд. Для этих целей созданы протекторы. Протекторы в простейшем случае работают как упаковщики, с той разницей, что они добавляют различные действия, которые мешают распаковке и взлому.

Рассмотрим структуру PE-файла (Portable Executable File) [1]:

- DOS-заглушка (содержит старый DOS-заголовок + DOS-программу);
- PE-заголовок (содержит необходимую информацию о PE-файле);
- заголовки секций (содержат необходимую информацию о секциях в файле);
- сами секции (содержат непосредственно сам код, данные, ресурсы и др.);
- оверлей (любые данные, приписанные к концу PE-файла, данная секция может не присутствовать).

Протектор представляет собой программу для ОС Windows, а следовательно, должен содержать исполняемый код. Данный код необходимо

добавить в заранее скомпилированный исполнимый файл. Для этого возможен один из вариантов: дописать код к соответствующей уже существующей секции файла или создать новую секцию. Рассмотрим вариант с созданием новой секции. Для его осуществления необходимо выполнить следующие шаги [2]:

- 1) увеличить соответствующее значение PE-заголовка для количества секции в файле;
- 2) дописать к концу списка заголовков секций еще один заголовок для новой секции;
- 3) установить атрибуты новой секции (имя секции, виртуальный и физический размер, обычно данные значения устанавливаются кратными 16 Кб);
- 4) дописать новую секцию к концу файла (ее размер предопределен величиной физического размера секции);
- 5) необходимо скорректировать размер виртуального образа исполнимого файла, увеличив его на значение виртуального размера новой секции.

После всего этого в программном файле появится новая секция. Остается вопрос, каким образом упаковщику следует получить управление. Для этого устанавливается соответствующее значение точки входа исполнимого файла, либо корректируется один из условных переходов в оригинальном программном коде.

Рассмотрим принцип работы типичного протектора:

- 1) сохранение всех процессорных регистров и (иногда) флагов;
- 2) сбор служебной информации;
- 3) подготовка протектора к работе (заполнение необходимых таблиц, значений);
- 4) выполнение кода для обнаружения отладчиков (редко помогает, так как существуют средства для борьбы с такими участками кода и механизмами обнаружения отладчика);
- 5) проверка кода CRC (циклический контроль избыточности). Код CRC используется для проверки файла на изменение;
- 6) выполнение кода расшифровщика (часто расшифровщик не один), содержащего антиотладочный код и различные запутывающие преобразования и тавтологические операторы;
- 7) создание новой таблицы импорта (исходная таблица обычно сильно видоизменяется, создаются переходники на оригинальные функции, также ссылки на функции эмулируются и копируются);
- 8) стирание всего кода протектора (зависит от протектора);
- 9) продолжение нормального выполнения программы.

Поскольку для многих упаковщиков были созданы автоматические распаковщики, то появились скремблеры – программы, которые слегка изменяют файл, чтобы тот не был опознан распаковщиком и принят как непригодный для распаковки.

Основной метод распаковки программ заключается в поиске опытным путем оригинальной точки входа и установке точки останова перед ней. В этот момент протектор уже закончил работу (расшифровал программу) и становится возможным скопировать образ расшифрованной программы из памяти на жесткий диск. Полученный образ (дамп) обычно является неработоспособным, но вполне подходит для дизассемблирования и может быть скорректирован для получения исполнимого файла.

Литература

1. Касперски Крис. Компьютерные вирусы изнутри и снаружи. – СПб.: Питер, 2006 – 527 с.
2. Matt Pietrek. Windows 95 System Programming Secrets. John Wiley & Sons Inc., November 1995.

344002, г. Ростов-на-Дону, пер. Газетный, 51, т. 297-50-84, e-mail: sva@rsu.ru

УДК 003.26

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ АНАЛИЗА АЛГОРИТМОВ ВЕРОЯТНОСТНОГО ШИФРОВАНИЯ

И.В. Мамай, Р.А. Хади

НИИ «Спецвузавтоматика», г. Ростов-на-Дону

Описываются алгоритмы вероятностного шифрования и приводится пример атаки с выбранным открытым текстом.

Рассмотрим типичный алгоритм $E(x, k)$ из класса алгоритмов вероятностного шифрования. Подобные криптографические системы называются «вероятностными» в связи с тем, что в них шифрование сообщений, которые имеют один и тот же исходный текст и шифруются с использованием одного и того же ключа, может в разное время привести к совершенно различным шифртекстам, то есть равенство $E(x_1, k) = E(x_1, k)$ не всегда выполняется [1].

Рассмотрим алгоритм вероятностного шифрования, работающий следующим образом. На первом этапе генерируется секретный ключ, представляющий собой последовательность z_i двузначных положительных чисел (если $z_i < 10$, то оно имеет вид "02"). Далее генерируется число r . Символам алфавита текста p (мощностью n) присваиваются значения в десятичной системе счисления ($a_i \neq 0$). Текст p произвольно разбивается на k групп grl_i с длинами l_i из расчета, что $l_i \leq q$, где $q : \max(l_i) * (n + 1)^q \leq 999999999$. Ключ z_i смещается на r так, чтобы z_r стало z_1 и т. д., если получилось, что $i < 0$, то $i = \max(i) - i$.

$$\begin{array}{c}
 z_\gamma \\
 \downarrow \\
 z_i \\
 \underbrace{\hspace{1.5cm}} \\
 z_1 \ z_2 \ z_3 \ z_4 \ \dots \ z_k \ z_{k+1} \ \dots \ z_m \\
 \leftarrow
 \end{array}$$

Далее заполняем массив $gr2_i$ первыми цифрами z_i так, чтобы $\min(\sum gr2_i) \geq k$. Если $\min(\sum gr2_i) > k$, то дополняем пустыми символами текст p , а соответственно и $gr1_i$ так, чтобы $\min(\sum gr2_i) = k$, $\max(i) = s$. Каждая $gr1_i$ рассматривается как число в $(n+1)$ -ричной системе счисления и переводится в число десятичной системы счисления $gr1'_i$ с длиной l'_i , в соответствии с a_i для каждого символа. Условие $a_i \neq 0$ вводилось затем, чтобы при переводе такого $gr1_i$, который начинается с символа, соответствующего $a_i = 0$, этот символ не был утерян. Заполняем массив y_i ($\max(i) = s$) вторыми цифрами z_i .

Результирующий шифрованный текст строится следующим образом: сначала записывается r , далее для каждой $gr2_i$ отводится строка, состоящая из десяти ячеек по 9 цифр, ячейки нумеруются от 0 до 9. В первые 9 ячеек записываются $gr1'_i$ таким образом:

$$\underbrace{gr1'_{m+1} \lambda_{m+1}}_0 \underbrace{gr1'_{m+2} \lambda_{m+2}}_1 \dots \underbrace{gr1'_{m+gr2_i} \lambda_{m+gr2_i}}_{gr2_i},$$

где λ_i – набор случайных цифр, длиной $(9 - l'_i)$. При $gr2_i < 9$ недостающие $gr1'_i$ заменяются девятью случайными цифрами. Начиная с ячейки с номером y_i , при построении шифртекста все ячейки сдвигаются вправо:

$$\underbrace{gr1'_i \lambda_i}_0 \dots \underbrace{}_{y_i} \dots \underbrace{gr1'_{m+gr2_i} \lambda_{m+gr2_i}}_{gr2_i}.$$

Освободившаяся ячейка заполняется так:

$$\dots \underbrace{l'_{i+1} l'_{gr2_i}}_{y_i} \dots,$$

где λ – набор случайных цифр, длиной $(9 - gr2_i)$.

Рассмотрим наиболее эффективный для анализа подобного рода алгоритмов метод криптоанализа – атака с выбранным открытым текстом [2]. Атака с выбранным открытым текстом – это вид атаки, при которой криптоаналитик не только знает открытый текст и шифртекст, но и может для произвольного открытого текста получать соответствующий ему шифртекст. По-прежнему, он должен определить секретные ключи. При получении криптоаналитиком различных шифртекстов, соответствующих единичным символам, возможно вычислить a_i для всех символов алфавита и заметить разбиение

строк на информативные составляющие: 10 групп по 9 цифр в каждой (при получении шифртекстов для комбинации символов). Получаем (для одной строки):

$$\underbrace{x_{01}x_{02} \dots x_{09}}_0 \underbrace{x_{11}x_{12} \dots x_{19}}_1 \dots \underbrace{x_{91}x_{92} \dots x_{99}}_9.$$

Предположим, что криптоаналитик знает о получении шифртекста методом перевода набора символов как числа $(n+1)$ -ричной в десятичную систему счисления и о наличии в одной из ячеек информации о длине информативных десятичных чисел. Но без ключа z_i криптоаналитик не знает $gr2_i$ и y_i . Следовательно, наиболее удобен в данном случае перебор. Для каждой строки 10 вариантов значения y_i , а для N строк 10^N . Максимальное количество символов для N строк шифртекста $(N * q * 9) = M$. Будем выбирать по N строк из шифртекста так, чтобы по энтропии текста из M символов можно было бы достоверно судить о языке, а так как мы считаем, что язык априорно известен, о правильности дешифрования.

Можно несколько уменьшить число вариаций, зная, что $a_i \neq 0$, а следовательно, никакая группа $gr1'_i$ не может начинаться с 0, и если такая группа встречается, следует рассматривать после выбора очередного y_i только $gr1'_i$ предшествующие ячейке с начальной цифрой 0.

Литература

1. Paul Garrett. Making, Breaking Codes: Introduction to Cryptology. Prentice Hall. 1st edition, 2000.
2. Математические и компьютерные основы криптологии / Ю.С. Харин, В.И. Берник, Г.В. Матвеев, С.В. Агиевич, 2003.

344002, г. Ростов-на-Дону, пер. Газетный, 51, т. 297-50-84, e-mail: sva@rsu.ru

УДК 004.65

АНАЛИЗ АДЕКВАТНОСТИ ОДНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕЛЯЦИОННОГО ЗАПРОСА

Л.Е. Борчук

Череповецкий государственный университет

Рассмотрен вопрос адекватности одной асимптотической математической модели реляционного запроса пользователя. Математическая модель строится в виде зависимости затрат ресурсов системы от заданных статистических показателей. Определены ограничения на тип рассматриваемых ресурсов. Для таких ресурсов, как процессор, жесткий диск и элементы буфера данных, сформулированы условия построения адекватной математической модели.

Работа пользователя с реляционной базой данных производится на языке запросов. Выбранный системой способ выполнения запроса называется планом выполнения. План выполнения можно представить в виде выражения реляционной алгебры. Стоит задача оценить время получения ответа на запрос пользователя, т.е. оценить время исполнения выражения реляционной алгебры. Время оценивают затратами количества единиц ресурсов компонент вычислительной системы (диск, память, процессор и т.д.). Требуется определить, возможно ли построение адекватной математической модели для заданных в [1] статистических показателей процесса выполнения реляционного запроса пользователя.

Выберем в качестве зависимых параметров математической модели количество затрат ресурсов компонент системы, в качестве независимых параметров модели – статистические показатели значений кортежей данных. Как показано в [2], выражение на языке реляционной алгебры, для которого строится математическая модель, на основании свойства реляционной замкнутости может быть представлено в виде бинарной операции, операнды которой – то же, в свою очередь, выражения реляционной алгебры.

Пусть задано конечное множество типов K мощности m и счетные множества значений типов $V_1, V_2, \dots, V_m$. Реляционным отношением Q_n на множествах $V_1, V_2, \dots, V_m$ называется некоторое подмножество декартова произведения $V_1 \times V_2 \times \dots \times V_m$. Элементы подмножества называются кортежами. Определим Ω_F как множество бинарных операций F_j вида: $Q \times Q \rightarrow Q$. $\mathbf{Q} = \langle Q, \Omega_F \rangle$ – алгебра реляционных отношений. Зададим множество P ($P \subset Q$), представляющее собой множество отношений, хранящихся в БД, в материализованном виде (на носителе). Множество

$$Q_1 = \{q: q = F(p_1, p_2), \forall p_1, p_2 \in P, \forall F \in \Omega_F\};$$

$$Q_2 = \{q: q = F(q_1, q_2), \forall q_1, q_2 \in P \cup Q_1, \forall F \in \Omega_F\};$$

...

$$Q_n = \{q: q = F(q_1, q_2), \forall q_1, q_2 \in \left(\bigcup_{j=1}^{n-1} Q_j \right) \cup P, \forall F \in \Omega_F\}.$$

Таким образом, заданная в виде $\mathbf{Q}$ алгебра реляционных отношений имеет P , порождающим множеством. Множество $Q_n \setminus P$ представляет собой множество производных отношений БД, вычисляемых по необходимости с затратами определенных вычислительных ресурсов.

Рассмотренный способ порождения отношения определяет способ построения математической модели. Если найдется способ построения математической модели для отношения Q_i , $i=1,2,\dots,n$ с учетом случайного выбора

элементов $q_1, q_2 \in P \cup \left(\bigcup_{j=1}^{i-1} Q_j \right)$ и $F \in \Omega_F$, то, последовательно применяя

процедуру построения модели для производного отношения $Q_1, Q_2, \dots, Q_i$, при некотором $i=n$ получим искомую модель отношения Q_n .

Рассмотрим задачу построения математической модели затрат ресурсов на выполнение операции $F \in \Omega_F$. Как показано в [3], ее физическая реализация в РСУБД есть некоторая циклическая конструкция по обработке кортежей отношения с целью формирования нового отношения. Предположим, что все программы физической реализации принадлежат линейному классу [4] или же могут быть преобразованы к линейной программе, существенно не уменьшая общности задачи. Тогда любая физическая реализация может быть описана минимальным графом зависимостей, заданном на пространстве итераций переменных цикла $V \in Q \times Q$. Функцию затрат ресурсов на выполнение операции будем рассматривать заданной на $Q \times Q$.

Поясним требование заданности функции на $Q \times Q$. Как показано в [5], любая операция множества Ω_F может быть представлена частным случаем элементарных операций алгебры A . Каждая операция в алгебре A трактуется как логическое реляционное отношение. Таким образом, можно утверждать, что выполнение операции F эквивалентно проверке истинности логического реляционного высказывания. Проверка выполняется в общем случае для каждой пары кортежей $(u_A, u_B), u_A \in q_1, u_B \in q_2$. Заданная реляционная операция F , как частный случай логического реляционного высказывания, возможно будет рассматривать u_A и u_B на некоторых подмножествах $q'_A \subseteq q_A$ и $q'_B \subseteq q_B$ соответственно. При этом, в силу линейности реализации [4] на множестве $Q \times Q$, рассматриваемые отношения будут заданы множеством линейных непересекающихся многогранников. Зададим в каждой точке (u_A, u_B) вероятность p использования ресурса r при выполнении операции A . Тогда функция затрат ресурсов на выполнении операции F будет определяться суммой соответствующих вероятностей на $Q \times Q$. Задание вероятности p в каждой точке (u_A, u_B) означает, что множество случайных событий составляет множество возможных пар (u_A, u_B) . Рассматривая возможные типы ресурсов, это условие можно переформулировать следующим образом: математическая модель строится для ресурсов, затраты которых зависят только от состава кортежей и не зависят, например, от порядка следования кортежей.

Точное вычисление вероятности на практике сильно затруднено. Это обусловлено тем фактом, что известна лишь агрегированная статистическая информация, на основе которой возможно вычисление только математического ожидания затрат ресурсов. Кроме того, говорить об адекватной оценке математического ожидания $M[u_A, u_B]$ двумерной случайной величины, на основе малого количества измерений, не представляется возможным. Требуется выяснить, возможно ли найти такую константу $C \in R$, что

$$M[u_A, u_B] = C \cdot M[u_A] M[u_B]. \quad (1)$$

Определим состав рассматриваемых ресурсов. Для каждого вида ресурсов рассмотрим условия возникновения ситуации, когда (1) не выполняется.

1. Ресурсы процессора.

Затраты ресурсов процессора рассматриваются в рамках теории асимптотического анализа алгоритмов, так что затраты характеризуются количеством элементарных шагов. Элементарными шагами по проверке условия принадлежности кортежа отношению Q_i являются операции проверки истинности предикатов. Проверка истинности полиномиальна и равна сумме математических ожиданий $M[u_A]$ и $M[u_B]$ количества шагов проверки истинности предикатов для кортежей u_A и u_B соответственно. Условие (1) не выполняется, если нарушается условие нахождения отношения в первой нормальной форме. В этом случае операция проверки может быть реализована пользовательской функцией, затраты ресурсов на выполнение которой могут зависеть от произвольного набора параметров.

2. Ресурсы блокировок при чтении из буфера данных.

При чтении значения кортежа из буфера памяти он (кортеж) блокируется для предотвращения одновременного изменения данных. С целью экономии ресурсов блокировка выставляется не на кортеж, а на блок кортежей. Группировка кортежей в блоки осуществляется на основе некоторой хеш-функции. Следовательно, возможна ситуация, когда кортежи u_A и u_B принадлежат одному блоку. Пусть h – измеренное количество единиц времени, потраченное на ожидание освобождения ресурса; p_0 – вероятность блокировки при заданной нагрузке; $h_{\max}$ – суммарное количество прошедших единиц времени. Тогда вероятность того, что в заданный промежуток времени могло произойти h единиц ожидания блокировок – случайная величина с биномиальным законом распределения, и $p = C_{h_{\max}}^h p_0^h (1 - p_0)^{h_{\max} - h}$. Задав пороговое значение вероятности $p_{\text{порог}}$ и сравнивая с ним значение p , можно выделить запросы, затраты ресурсов при выполнении которых, возможно, будут неадекватно описаны формулой (1).

3. Ресурсы чтений с жесткого диска.

Кортежи отношений хранятся в блоках данных на диске. Блоки данных содержат кортежи только одного отношения. Поэтому чтение кортежа зависит только от факта наличия его в буфере данных и не зависит от метода использования. Случайные величины независимы, и по свойствам математического ожидания (1) выполняются всегда.

Рассмотренные условия адекватности соотношения (1) определяют адекватность оценки математического ожидания многомерной случайной величины по известным математическим ожиданиям одномерных случайных величин. Справедливость соотношения позволяет использовать для даль-

нейших оценок затрат ресурсов реляционной операции методы теории асимптотического анализа алгоритмов. Построенная математическая модель будет адекватна в смысле адекватности соответствующих асимптотических оценок. Условия их применимости были показаны для таких ресурсов, как процессор, ожидания блокировок чтения из буфера данных и количество дисковых чтений. Последующий анализ модели может производиться методами математического анализа.

Литература

1. Борчук Л.Е. Учитываемые параметры математической модели семейства SQL – запросов на примере РСУБД Oracle: Сб. трудов участников конф. «Системный анализ в проектировании и управлении». – СПб.: СПбГПУ, 2004.
2. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. – 8-е изд. / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005.
3. Конноли, Томас и др. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. – 2-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2000.
4. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002.
5. Date, C. J., Darwen, H. Foundation for Future Database Systems: The Third Manifesto, 2nd edition. – Addison-Wesley Professional, 2000.

162600, Россия, Вологодская, Череповец, ул. Наседкина, 9-24, т. (8202) 516142,
e-mail: le_borchuk@mail.ru

УДК 004.8

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ ВЕКТОРНОГО КВАНТОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ТЕКСТОНЕЗАВИСИМОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИКТОРОВ

Р.Л. Григорян, С.А. Репалов

НИИ «Спецвузавтоматика», г. Ростов-на-Дону

Описывается применение алгоритмов обучения векторного квантования для увеличения точности текстонезависимой идентификации дикторов по образцам их речи и методы учёта динамических характеристик речи.

Как правило, в алгоритмах первоначального построения кодовых книг используются только вектора из одного и того же класса. Следствием является тот факт, что построенные этими алгоритмами кодовые книги являются не самыми оптимальными для использования в задачах идентификации дикторов. Идеальная кодовая книга должна строиться исходя из критерия минимизации ошибки классификации векторов из признакового пространства.

Примерами методов, производящих построение таких кодовых книг, являются методы LVQ и GVQ [1]. Оба метода аппроксимируют разделяющие

границы объектов, оптимальные в смысле байесовской оценки параметров. Идея LVQ состоит в том, что если случайно выбранный вектор из всех обучающих выборок лежит близко к разделяющей границе объектов, то ближайший кодовый вектор, принадлежащий объекту, соответствующему выбранному вектору, пододвигается к границе, в противном случае – отодвигается. При применении метода GVQ случайным образом выбирается уже группа векторов из обучающей выборки случайного диктора. При правильной идентификации группы все ближайшие кодовые вектора пододвигаются к выбранным, в противном случае – отодвигаются.

При идентификации учитывались динамические особенности речи каждого диктора. Предположим, что для диктора уже построена кодовая книга и что зависимости перехода от одного кодового вектора к другому имеют марковский характер. Считая вероятность всех начальных состояний одинаковой, получаем модель, описываемую матрицей вероятностей переходов от одного кодового вектора к другому.

Используемая для проведения тестирования база содержала записи речи 51 диктора. Речевые сигналы содержались в аудиофайлах в формате A-Law с частотой оцифровки 8 кГц. Соотношение сигнал/шум составляло от 25 до 35 дБ.

Входной сигнал подвергался предобработке, которая удаляла из него участки шума и тишины. Результирующий сигнал сегментировался на блоки в 256 отсчетов с шагом в 128 отсчетов. Для построения кодовой книги использовались входные данные, представляющие собой мел-спектры.

При проведении практических исследований GVQ показал большую точность идентификации по сравнению с LVQ алгоритмом, вследствие того, что LVQ является частным случаем GVQ. Из полученных результатов следует, что алгоритм GVQ доводки кодовых книг позволяет уменьшить эквивалентную ошибку идентификации с 16,5 до 11 %. Такое улучшение достигается при количестве векторов в группе, равным пяти.

Учет Марковской модели без предварительной доводки кодовых книг позволял снизить вероятность эквивалентной ошибки с 16,5 до 14 %. После доводки кодовых книг Марковская модель не приносила заметного улучшения в методы идентификации, основанные только на статических характеристиках.

Литература

1. Kohonen, T., Kangas, J., Laaksoinen, J., and Torkkola, K. «Lvq_pak learning vector quantization program package». Tech. rep., Laboratory of Computer and Information Science Rautajanaudio 2 C, 1991 – 1992.

МОДЕЛЬ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ИСПОЛНЯЕМЫХ ПРОЦЕССАХ НА БАЗЕ ПАСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

А.В. Аграновский, А.А. Кашин, Р.А. Хади

НИИ «Спецвузавтоматика», г. Ростов-на-Дону

Описана модель паспортной системы: базовые понятия и методы контроля над соблюдением паспортного режима путем выявления несанкционированных изменений в исполняемых процессах.

Несмотря на то, что в настоящее время множество организаций используют средства персональной защиты от вторжений, проблема защиты компьютерных систем от попыток выполнения вредоносного кода остается нерешенной, поскольку брандмауэры не во всех случаях отвечают актуальным требованиям безопасности [1]. Поэтому требуется введение дополнительного контроля состояния системы на локальной машине. В качестве такого контроля предлагается использовать паспортную систему (совокупность правил регистрации исполняемых процессов в системе, а также средств контроля соблюдения паспортного режима).

Введем базовое понятие – паспорт процесса. Паспорт процесса P^i есть множество $(x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i)$, в качестве элементов которого выступают свойства (параметры) процесса. Параметры x_j^i всех объектов P^i разделяются на 2 класса: статические и динамические. К динамическим параметрам паспорта отнесем свойства процесса, меняющиеся в течение времени его жизни (например, список используемых динамических библиотек), к статическим – неизменяемые свойства процесса либо нежелательные для изменения (например, точка входа, размер файла образа). Таким образом, внутри каждого P^i мы можем выделить 2 подмножества: динамических $D_1^i, D_2^i, \dots, D_k^i$ и статических $S_1^i, S_2^i, \dots, S_{n-k}^i$ параметров процесса.

Основным средством контроля над соблюдением паспортного режима является сравнительный анализ снимков системы, позволяющий дать оценку внутрисистемной активности в целом, а также выявить нежелательные отклонения внутри конкретных процессов в частности.

Рассмотрим возможную модель осуществления такого контроля. Пусть имеется снимок системы $Snap(pr_1, pr_2, \dots, pr_n)$, выполненный в определенное время t . Каждый pr_j должен сопоставляться с соответствующим паспортом P^i в хранилище паспортов. В случае отсутствия паспорта для pr_j ,

этот процесс проходит регистрацию, в ходе которой получает паспорт, однозначно определяющий pr_j . Обнаружение критических отклонений процесса произведем с помощью поэлементного сравнения подмножеств статических параметров паспорта P^i и процесса pr_j .

Для распознавания несанкционированных отклонений в динамических параметрах используем теорию нечетких множеств. Введем лингвистическую переменную [2] «*степень опасности отклонения*», которая может принимать значения «*низкая*», «*средняя*», «*высокая*». Зададим на каждом подмножестве D^i множества параметров процесса pr_i функцию принадлежности к соответствующим нечетким множествам «*низкая степень опасности*», «*средняя степень опасности*» и «*высокая степень опасности*». Для построения функции принадлежности необходимо ввести экспертную систему. Экспертная система на основе анализа паспортных данных и данных, полученных из снимка, формирует функцию принадлежности для каждого из D_j^i . С помощью композиции функций принадлежности каждого D_j^i мы получаем представление о D^i , позволяющее сделать вывод о степени опасности отклонений для pr_i в целом.

Литература

1. Касперски К. Записки исследователя компьютерных вирусов. – СПб.: Питер, 2005.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – С. 11-20.

344002, г. Ростов-на-Дону, пер. Газетный, 51, т. 297-50-84, e-mail: sva@rsu.ru

УДК 6.321

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ РЕЧЕВОЙ И АДРЕСНОЙ ИНФОРМАЦИИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

А.В. Аграновский, О.Р. Бинеев

НИИ «Спецвузавтоматика», г. Ростов-на-Дону

Представлена модель распределенной системы выделения, хранения и обработки речевой и адресной информации (например, речевого RTP-потока и номеров телефонов в стандарте E164), выделяемой из потока сетевых данных в реальном времени, с возможностью фильтрации сохраняемой информации в соответствии с различными критериями.

Основные проблемы, возникающие при обработке данных, получаемых в режиме реального времени от высокоскоростных интерфейсов цифровой

связи, всегда связаны с высокой нагрузкой на центральный процессор (процессоры) системы в случае, когда всю обработку пытаются выполнить в рамках одной рабочей станции. Поэтому в тех случаях, когда данные чувствительны к пропускам пакетов (как, например, при сборке TCP-сеансов) или же предъявляются высокие требования к целостности принимаемой информации, обработка должна происходить в разумно построенной распределенной системе.

В рамках данной работы мы попытались обеспечить выделение речевой и соответствующей адресной информации из потока сетевых данных, получаемых от высокоскоростных интерфейсов цифровой связи в реальном времени. Например, полученная система должна выделять потоки RTP-данных [1, 2], соответствующие телефонным разговорам, передаваемым под управлением семейства протоколов H.323 [2, 3], с сохранением на локальном носителе информации самого потока, а также соответствующей адресной информации (такой, как исходящий и входящий телефонные номера, IP-адрес и номера портов и т.д.). Кроме того, система должна обеспечить фильтрацию данных, подлежащих сохранению, в соответствии с некоторыми естественными критериями.

Основной чертой предлагаемого нами подхода к построению такой системы является минимизация нагрузки на процессор, обрабатывающий “сырые” данные, полученные от интерфейса, путем приблизительной и быстрой оценки степени важности принятых данных. При этом, например, пакет, не являющийся пакетом данных RTP, может быть в принципе отправлен для обработки узлу, отвечающему за выделение RTP-потока, но вероятность этого должна быть невысокой. Такой же подход мы применили к сигнальным данным, приходящим по протоколам H.323 и SIP.

На рис. 1 представлена блок-схема разработанного нами алгоритма проверки пакета на соответствие спецификации RTP [1].

На рис. 2 представлена схема минимальной распределенной системы, построенной в соответствии с описанными выше принципами. Таким образом, минимальная конфигурация состоит из трех узлов и, возможно, пульта оператора. Один из узлов (на рис. 2 он обозначен как INPUT) занят сборкой IP-пакетов из потока сетевых данных, а также приблизительно оценивает принадлежность того или иного пакета к речевому сеансу и, в случае положительной оценки, отправляет пакет для дальнейшей обработки последующим узлам системы.

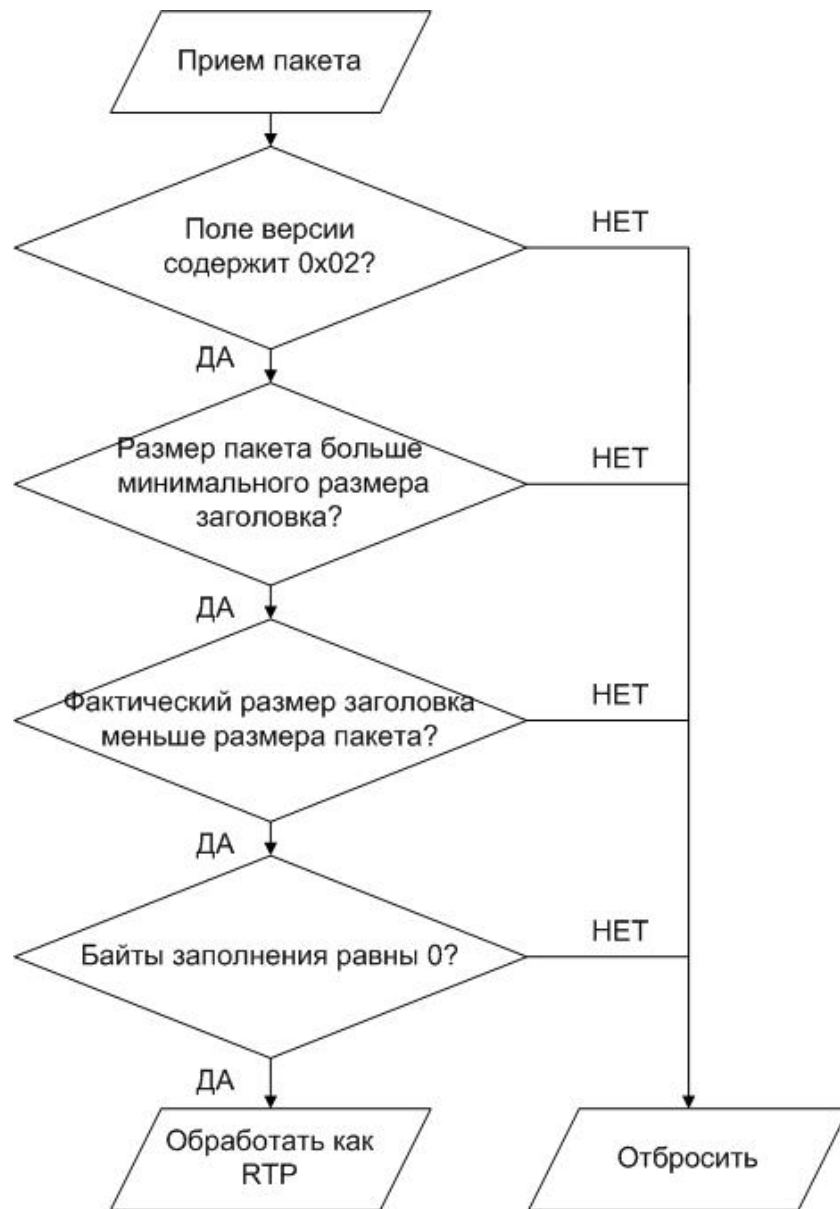


Рис. 1. Блок-схема алгоритма проверки полей RTP

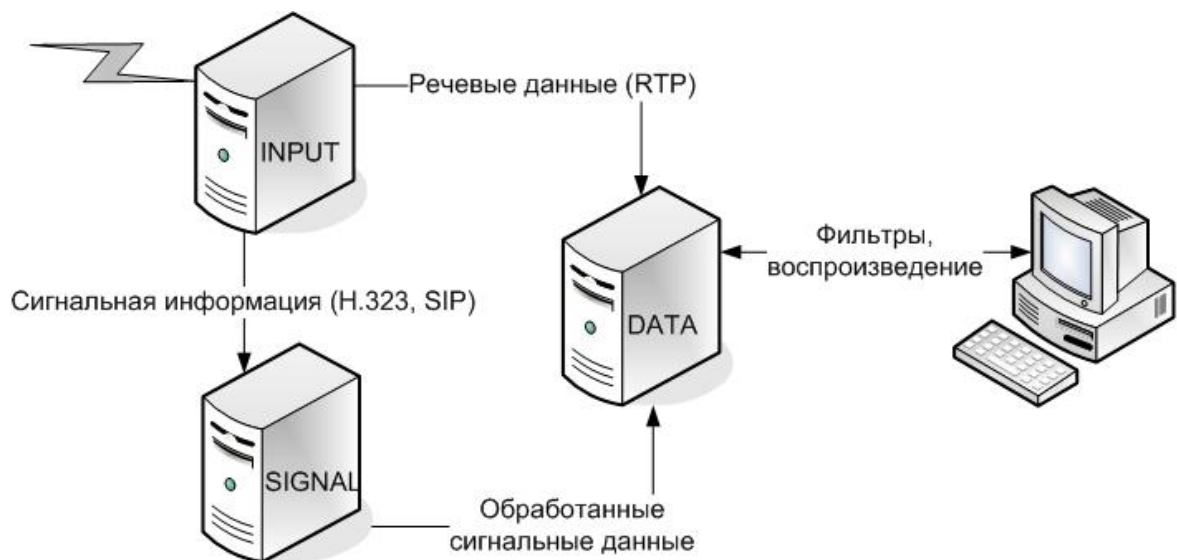


Рис. 2. Схема распределенной системы выделения речевой информации

Для того чтобы узел, обрабатывающий непосредственно речевые данные (он обозначен на рисунке как DATA), начал обработку одного из потоков, он должен получить “разрешение” от узла обработки сигнальной информации (на рисунке SIGNAL). Те пакеты, которые не соответствуют информации, полученной от узла SIGNAL, или же отброшены системой фильтрации, работающей в рамках узла DATA, игнорируются.

Литература

1. RFC 1889. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. – January 1996.
2. Б.С. Гольдштейн, А.В. Пинчук, А.Л. Суховицкий. IP-телефония. – М.: Радио и связь, 2003. – 336 с.
3. ITU-T Recommendation H.323. Packet based multimedia communication systems. – Geneva, 1998.

344002, г. Ростов-на-Дону, пер. Газетный, 51, т. 297-50-84, e-mail: sva@rsu.ru

УДК 681.3.06

ПРОБЛЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО РАСПЕЧАТАННОМУ ДОКУМЕНТУ

Н.А. Туркин

Череповецкий государственный университет

Рассматривается проблема сохранности данных в организации, если у работников есть возможность делать распечатанные копии секретных документов. Предлагается метод, по которому появляется возможность определять автора распечатки, а также дату и уникальный номер принтера.

Во многих организациях сотрудники при работе имеют доступ к какой-либо секретной информации, которая не подлежит распространению. В целях обеспечения конфиденциальности, на рабочих местах таких сотрудников администраторы ограничивают возможности вывода подобной информации на внешние носители [1]. Обычно это проявляется в следующих мерах: отсутствие дисководов гибких дисков, записывающих приводов компакт-дисков, USB-портов, а также другие возможные варианты. Но для нормальной работы довольно часто пользователям необходимо иметь дело с распечатанной на бумаге информацией. В подобных случаях невозможно ограничить доступ к устройствам печати, что является возможным способом утечки секретной информации. В ряде случаев может помочь такой фактор, как физический контроль, который может воспрепятствовать выносу документов за пределы организации. Но этот путь не является универсальным и перспективным. Поэтому очень актуальным является вопрос о способе контроля над распространением подобной информации вне рабочей системы предприятия.

Рассмотрим один способ, при помощи которого можно отслеживать путь распространения секретной информации в печатном виде, а также определять пользователя, распечатавшего данный документ, дату печати и печатающее устройство.

Каждый пользователь, начиная работу, вводит свое имя и пароль, таким образом проходя авторизацию. Эти данные являются уникальными в пределах любой организации. Имя пользователя, пароль, номер принтера, зашитый производителем в управляющую микросхему, а также дату можно представить в закодированном виде. На представление идентифицирующей информации, по которой можно установить пользователя, распечатавшего документ, принтер, с помощью которого была произведена распечатка, а также дату данного события, необходимо примерно около 48 байт. Тогда возникает вопрос: каким образом получить подобную информацию, имея бумажную копию документа, с таким условием, чтобы хозяин этой копии не был в курсе, что данная информация присутствует? Такая возможность существует. Прибегнем к возможностям стеганографической теории.

При выводе на печать документов из текстового редактора при форматировании текста по ширине, по левому, правому краям или по центру – во всех этих случаях пробелы между словами всегда одинаковые, в пределах одной строки. Так же одинаков межстрочный интервал, по крайней мере, в пределах одного текстового блока. Если увеличить некоторые из этих параметров на величину, столь малую, чтобы взгляд человека не мог определить разницу между измененным текстовым блоком и неизменным, но столь же большую, чтобы хватило зашифровать служебные сведения, описанные выше, то данная проблема будет практически решена. Останется только разработать систему, с помощью которой можно было бы распознать данные служебные метки. Для этого необходимо рассчитать интервалы между словами в каждой строке, которые должны быть при данном стиле и форматировании, затем получить копию документа со сканера с качественными характеристиками фотоэлемента. Остается найти изменения, внесенные такой системой, и декодировать полученную информацию. В качестве кодирующего материала так же могут служить миниатюрные псевдослучайные точки. Сами точки могут не нести никакой информации, так как это старый известный способ скрывать информацию (так называемые микроточки). А вот положение таких точек на листе может служить способом кодирования информации. Такие точки на взгляд могут быть приняты за шумы печатающего узла.

В случае цветной лазерной печати вариантом кодирования могут выступать изменения в градиенте цвета в пределах каких-либо печатных символов, которые человеческий взгляд не сможет распознать. Такой вариант был бы наиболее практичным для использования.

Программа, кодирующая таким образом сведения о пользователях, должна работать как системный драйвер, чтобы пользователи с расширенными правами на рабочем месте не могли выгрузить ее из памяти компьютера. Так же следует предусмотреть, чтобы специализированное программное обеспечение, такое как антивирусные системы, не реагировало на программу кодирования.

Остается добавить, что при использовании дополнительных средств, таких как помехоустойчивые шифры, возможны варианты распознавания служебной информации при многократном копировании печатных форм, что делает данный метод довольно универсальным для решения поставленной задачи.

Литература

1. Конеев И.Р., Беляев А.В. Информационная безопасность предприятия. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 752 с.

162701, Вологодская область, Череповецкий р-н, п. Суда-1, ул. Заводская, 2А-10,
т.(8202) 652534, e-mail: TurkinNickolay@mail.ru

УДК 621.396

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФОРМЫ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ О ЗНАЧЕНИЯХ СРЕДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯНИЯ

А.П. Преображенский

Воронежский институт высоких технологий

Проведена оценка возможности прогнозирования формы объектов по данным об их средних характеристиках рассеяния.

В настоящее время актуальным является вопрос построения эффективных алгоритмов расчета характеристик рассеяния электромагнитных волн объектов различной формы [1].

Целью работы является исследование возможности оценки формы объекта по данным о средней эффективной площади рассеяния (ЭПР).

В качестве объекта исследования нами был выбран объект, представленный в виде совокупности двух одинаковых отражателей, расположенных на определенном расстоянии друг от друга. Моделирование процесса рассеяния электромагнитных волн проводилось на основе метода интегральных уравнений [2]. В качестве возможных вариантов отражателей нами были рассмотрены цилиндры круглого сечения с радиусом R и цилиндры квадратного сечения со стороной a .

Было установлено, что для отражателей в виде квадратных цилиндров при такой же площади поперечного сечения, что и у цилиндров круглого сечения, наблюдается значительно больший разброс в значениях средней ЭПР для больших значений сектора углов наблюдения ($30^\circ \leq \Delta\theta \leq 90^\circ$). Результаты могут быть использованы при обработке экспериментальных данных при прогнозировании формы объектов.

Литература

1. Кобак В.О. Радиолокационные отражатели. – М.: Связь, 1972. – 204 с.
2. Захаров Е.В., Пименов Ю.В. Численные методы решения задач дифракции. – М.: Радио и связь, 1986. – 184 с.

394043, г. Воронеж, ул. Ленина, 73а, т. 20-56-54, e-mail: app@vvt.ru

УДК 621.365:666.76

УСЛОВИЯ ПОДОБИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАВКИ ОКСИДНЫХ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Е.А. Абдрахманов

Алматинский институт энергетики и связи, г. Алматы (Казахстан)

Получены критерии и установлены условия подобия электромагнитной конвекции процесса электродуговой плавки оксидных огнеупорных материалов с электромагнитным перемешиванием в руднотермической печи.

В связи с трудностью непосредственного исследования процессов электродуговой плавки оксидных материалов, характеризующимися мощными электрическими и магнитными полями, высокими температурами, отсутствием достаточно надежных теоретических методов изучения при анализе таких комплексных явлений в основном применяют метод физического моделирования.

При физическом моделировании магнитогидродинамических процессов важным и принципиальным является вопрос установления критериев подобия с требуемой точностью, отражающих изучаемые процессы и позволяющих осуществить перенос результатов исследований от модели к натуре [1, 2].

Для определения критериев подобия необходимо составить и привести систему уравнений магнитной гидродинамики, описывающих магнитогидродинамические процессы, происходящие в жидкой ванне трехфазной руднотермической печи для плавки оксидных огнеупорных материалов, к безразмерному виду.

Приняв соответствующие характерные размеры для различных определяющих процесс параметров, можно получить следующую безразмерную систему уравнений:

$$\begin{aligned}
 (\vec{v} \nabla) \vec{v} &= -p \nabla p + \frac{1}{R} \nabla^2 \vec{v} + S \vec{j} \times \vec{B}_c + M \vec{j} \times B_s + Gr_m T \vec{i}; \\
 \vec{v} \nabla T &= \frac{1}{Pr_m} (\nabla^2 T + |\vec{j}|^2); \\
 \vec{j} &= \nabla \vec{B}; \\
 \nabla \vec{E} &= -\omega \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \\
 \vec{j} &= \vec{E},
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $P = \frac{pL^2}{\rho v^2}$ – параметр давления; $S = \frac{\mu_0 I_0^2}{\rho v^2}$ – параметр электровихревого течения; $M = \frac{B_{0s} I_0 L}{\rho v^2}$ – параметр внешнего магнитного поля; $Gr_m = \frac{\beta g I_0^2}{\sigma \chi v^2}$ – число Грасгофа тепловое; $Pr_m = \frac{\lambda}{v}$ – число Прандтля тепловое; $\omega = 2\pi f \mu_0 \sigma L^2$ – критерий относительной частоты; $Re = 1$ – критерий Рейнольдса.

Согласно третьей теореме подобия Кирпичева-Гухмана [2], для подобия двух однородных систем необходимо соблюдение равенства критериев подобия:

$$S, M, Gr_T, Pr_T, \omega = idem. \tag{2}$$

При выполнении (2) обеспечиваются условия подобия электрического поля, электромагнитной и тепловой конвекций, температурного поля и теплоотдачи на стенке печи.

Одновременное моделирование всех этих явлений чрезвычайно сложно. Поэтому прибегают к приближенному моделированию, выбирая ограниченное количество критериев подобия, которые характеризуют специфические стороны процесса или представляют наибольший интерес.

При условии, когда электромагнитная конвекция превалирует над тепловой, что имеет место по нашим и оценкам ряда авторов [3, 4, 5], последним членом в первом уравнении в системе (1) можно пренебречь и не соблюдать равенства критерия Грасгофа Gr_T .

Пренебрежение влиянием движения расплава на возбуждающее его электромагнитное поле позволяет выделить самостоятельно электродинамическую часть задачи.

При изучении только электромагнитного поля и электромагнитной конвекции нет необходимости и в соблюдении критерия Прандтля Pr_T .

Критерий относительной частоты играет существенную роль в ваннах с выраженным скин-эффектом, т.е. когда $\delta < L$, где δ – толщина скин-слоя: $\delta = 1/\sqrt{\pi\mu_0\sigma f}$. При $\delta > L$ достаточно соблюдения условия $\omega < 2/\pi$.

Известные граничные условия, заключающиеся в равенстве нулю нормальной и тангенциальной составляющих скорости на границе с твердой поверхностью, выполняются на поверхности соприкосновения расплава с электродами и стенками ванны. На открытой поверхности выполняется условие равенства скоростей $v_1 = v_2$ и давлений $p_1 = p_2$.

Подобие электрических краевых условий обеспечивается равенством соотношений скин-слоев на границе ванны: $\delta_{ct}/\delta = idem$ или $\sigma/\sigma = idem$.

В соблюдении граничных условий допустимы некоторые упрощения.

Если $\delta_g \geq d_g$, достаточно выполнения этого условия и на модели.

Также, если проводимость электродов значительно выше проводимости расплава, то достаточно выполнения и на модели условия: $\sigma_g < \sigma$.

Наибольшие трудности возникают при соблюдении идентичности тепловых условий второго рода: $T_{cm} = idem$.

Физическое моделирование температурного поля в ванне и теплоотдачи на ее стенке в принципе возможно, хотя сложно в практическом осуществлении. Это обусловлено, во-первых, значительным различием коэффициентов Прандтля модельной жидкости и расплава. Во-вторых, из-за технической сложности в соблюдении тепловых граничных условий.

Таким образом, для соблюдения условий подобия электромагнитной конвекции в электродуговой печи с электромагнитным устройством и на физической модели необходимо равенство критериев:

$$S, M = idem. \quad (3)$$

С соблюдением условий идентичности полученных критериев подобия (3) разработана и создана физическая модель руднотермической печи типа ОКБ-2126 для плавки оксидных огнеупорных материалов с электромагнитным устройством.

Литература

1. Чудновский А.Ю. О моделировании электровихревых течений // Магнитная гидродинамика. – 1989. – № 3. – С. 69-74.
2. Физическое моделирование конвекции в электрометаллургических плавильных установках / Л.А. Волохонский, С.Б. Дементьев, А.И. Чайковский и др. // 12 – Рижское совещание по магнитной гидродинамике. – Саласпилс. – 1987. – Т. 1. – С. 211-214.
3. Марков Б.Л., Кирсанов А.А. Физическое моделирование в металлургии. – М.: Металлургия. – 1984. – 119 с.
4. Тир Л.Л. Математическое моделирование электромагнитных и гидродинамических полей в индукционных печах с холодным тиглем // Исследование и разработка индукци-

онных плавильных печей: Сб. науч. тр. / ВНИИЭТО. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – С. 80-88.

5. Абдрахманов Е.А. Интенсификация процесса электродуговой плавки форстеритовых огнеупоров в электромагнитном поле: Дис. ... канд. техн. наук. – Алматы, 1992. – 167 с.

УДК 621.355(06)

СТОХАСТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО АККУМУЛЯТОРА

В.Ф. Кукоз, В.А. Курнаков, Е.В. Крутиков

Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного
технического университета (НПИ)

Разрабатываются вопросы физического моделирования стохастических режимов работы электрической аккумуляторной батареи и предлагается вариант технического решения управляющей части физической модели.

Режим работы электрических аккумуляторов во многих практических случаях характеризуется случайными величиной и знаком проходящего тока. Исследование таких режимов составляет отдельное, по отношению к стационарным и псевдостационарным процессам, направление изучения работы электрических аккумуляторных батарей (ЭАБ).

В разработке псевдостационарных режимов работы ЭАБ достигнуты значительные успехи, проявляющиеся в формулировке рекомендуемых параметров нестационарного тока как для зарядного, так и для разрядного импульсов. Определение таких режимов, как псевдостационарных, подразумевает наличие некоторой установившейся величины среднего за период тока ЭАБ.

Стохастические режимы могут осуществляться как на гладком, так и на нестационарном токах, однако, в обоих случаях величина постоянного или среднего за период тока не имеет установившегося значения. Стохастический режим работы ЭАБ определяется в контексте технической системы, в составе которой функционирует батарея.

Будем рассматривать транспортное средство с электрическим тяговым приводом, получающим питание от аккумуляторной батареи и обладающим возможностью рекуперации энергии. Регулирование величины потребляемого или возвращаемого тока осуществляется по принципу широтно-импульсной модуляции. В таком приложении величина и направление тока ЭАБ будут определяться профилем пути движения и механической характеристикой электропривода. Механическая характеристика электропривода является детерминированной функциональной зависимостью между нагрузкой на привод и скоростью. Случайной составляющей режима работы ЭАБ здесь является профиль пути движения.

В качестве примера проанализируем продольный профиль откаточной выработки угольной шахты, используя данные маркшейдерских измерений для штрека 3825 по пласту Несветаевской шахты им. В.И. Ленина ОАО «Компания Ростовуголь».

Будем рассматривать уклон пути как случайную величину, для задания которой с помощью генератора случайных чисел необходимо определить закон распределения, математическое ожидание и дисперсию.

В среде Matlab 6 присутствует функция, выполняющая тест Jarque-Bera на нормальный закон распределения, оператор `jbtest(x)` возвращает цифру 0 или 1, значение 0 показывает, что нет оснований отказываться от гипотезы нормальности распределения. Для нашего примера именно такой вариант работы функции `jbtest(x)` имеет место.

Математическое ожидание случайной величины в среде Matlab 6 определяется функцией `mean(x)`, дисперсия – функцией `var(x)`.

В среде Matlab 6, приложении Simulink для формирования случайной величины с нормальным распределением существует блок White Noise (рис. 1), для которого в качестве параметров сигнала задаются: *математическое ожидание (mean)* – в нашем примере $M(x)=6.0476$, *дисперсия (variance)* – $D(x)=185.1$, *время выборки (sample time)*.

Построение компьютерной модели движения поезда по профилю пути с заданными вероятностными характеристиками выполнено в работе [1] на основе известного уравнения движения поезда [2]. Такая модель позволяет синтезировать величину уклона пути для каждого пикета пути движения и, будучи дополнена блоком перемножения тягового усилия и скорости движения, дает возможность определять механическую мощность, развиваемую приводом. Принимая КПД привода близким к единице, механическая мощность равна мощности, потребляемой от ЭАБ, то есть компьютерная модель движения поезда по вероятностному профилю пути позволяет формировать соответствующую случайную последовательность мощности ЭАБ. Для достижения общности получаемых результатов получаемую мощность приводим к номинальной мощности штатной тяговой ЭАБ электровоза. В ходе компьютерного моделирования текущее значение приведенной мощности ЭАБ через равные промежутки времени записывается в текстовый файл. Компьютерная модель с такими возможностями приведена на рис. 1.

Полученная случайная последовательность величины приведенной мощности ЭАБ позволяет провести физическое моделирование стохастического режима работы ЭАБ. Значения приведенной мощности ЭАБ будем умножать на номинальную мощность экспериментальной лабораторной ЭАБ и вычислять величину тока по текущему значению напряжения на лабораторной ЭАБ:

$$I = \frac{pP_n}{U_b},$$

где I – текущее значение тока лабораторной ЭАБ; p – текущее значение приведенной мощности, потребляемой от ЭАБ; P_n – номинальная мощность лабораторной ЭАБ; U_b – текущее значение напряжения на ЭАБ.

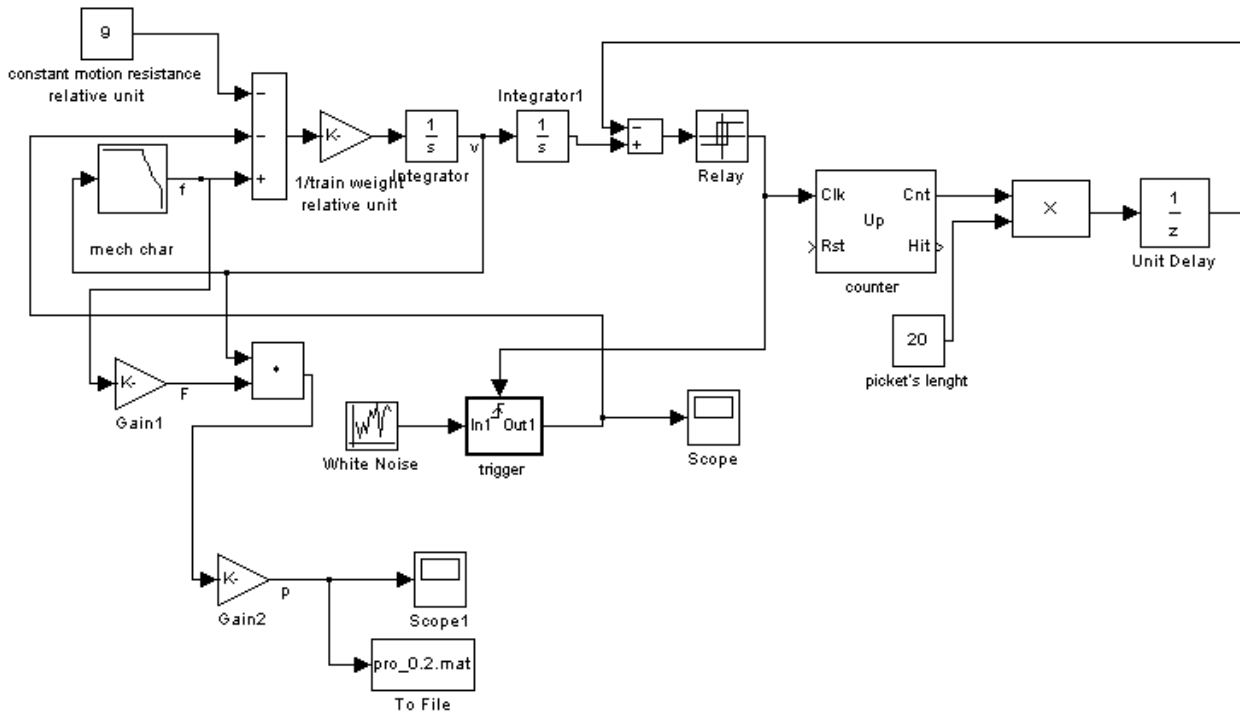


Рис. 1. Компьютерная модель движения транспортного средства по сложному профилю пути с учетом механической характеристики привода

Сложность проведения физического моделирования состоит в необходимости автоматизации процесса нагружения или подзаряда лабораторной ЭАБ в соответствии с величиной и знаком приведенной мощности, записанной в текстовый файл. Автоматизация такого процесса возможна на основе системы реального времени «ЭВМ-микроконтроллер».

ПЭВМ используется как надсистема относительно микроконтроллера, управляющего зарядным и разрядным ШИМ. Тогда микроконтроллер (МК) работает только с текущим значением тока ЭАБ, которое через равные промежутки времени передается от ПЭВМ из файла. Канал связи ПЭВМ-МК обеспечивается параллельным портом ПЭВМ, с одной стороны, и восьмибитным портом МК – с другой. Управление режимом работы АБ сводится к управлению работой двух ШИМ-регуляторов: зарядного и разрядного. Функциональная схема электрической части экспериментальной установки выглядит, как показано на рис. 2.

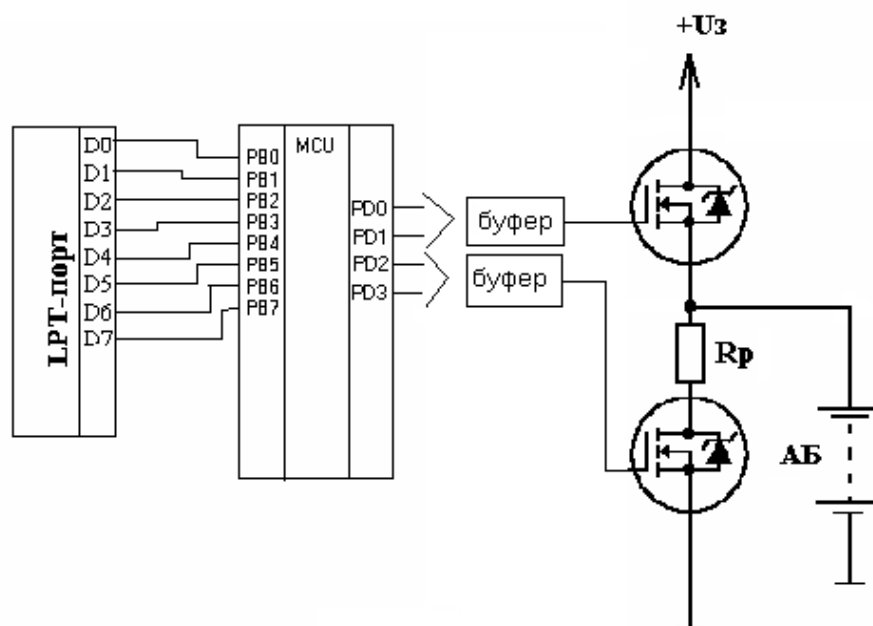


Рис. 2. Функциональная схема электрической части лабораторной установки с использованием ПЭВМ

Порядок взаимодействия микроконтроллера и ПЭВМ следующий: исполняемый файл, запускаемый под операционной системой Windows, открывает текстовый файл с отметками профиля пути, считывает первое значение приведенной мощности тока ЭАБ, выраженное в долях от номинала, вычисляет соответствующий коэффициент заполнения ШИМ-регулятора, передает эту величину через параллельный порт в виде одного байта, кодирующего направление тока (заряд или разряд), и величину коэффициента заполнения на микроконтроллер. Процесс повторяется через равные промежутки времени. Пример реализации соответствующего стохастического режима работы свинцовой ЭАБ из трех ячеек приведен на рис. 3.

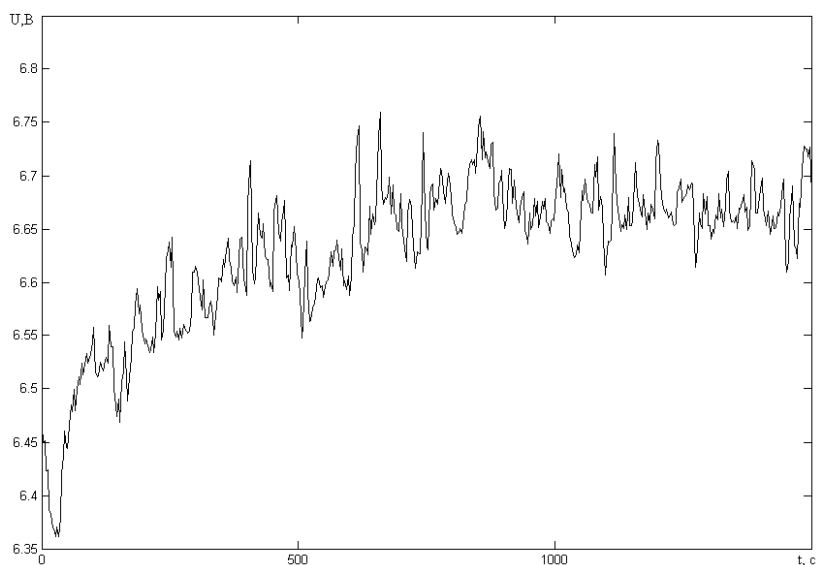


Рис. 3. Физическая реализация стохастического режима работы тяговой ЭАБ

Таким образом, реализуется физическое моделирование движения поезда по профилю пути с заданными вероятностными характеристиками для определенной механической характеристики тягового электропривода локомотива.

Литература

1. Сташинов Ю.П., Крутиков Е.В. Синтез профиля откаточного пути при моделировании движения рудничного поезда // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Проблемы горной электромеханики, 2005. – С. 124-128.
2. Волотковский С.А. Рудничная электровозная тяга. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1981. – 389 с.

УДК 514.851: 621.86.065

УРАВНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ИЗГИБА И КРУЧЕНИЯ В ПРОВОЛОКАХ КАНАТА ДВОЙНОЙ СВИВКИ В НЕЛИНЕЙНОЙ ФОРМЕ С УЧЕТОМ РАЗЛИЧИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОВОЛОК

С.В. Поляков

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск

Получены уравнения напряжения изгиба и кручения в нелинейной форме, с учетом различия геометрических параметров и механических свойств проволок, для канатов двойной свивки. В связи с этим одна из поставленных задач расчета напряженно-деформированного состояния каната, имеющего волнистость, частично решена.

Изгиб и кручение канатов на блоках и шкивах и связанные с ним напряжения в проволоках являются одним из решающих факторов в разрушении канатов. При построении нелинейной теории расчета канатов мы не имеем право пренебречь напряжениями изгиба и кручения, которые имеют вид:

нормальные напряжения [1] изгиба

$$\sigma_{из} = E \frac{\delta}{2} \left[\tilde{\tau}_{пр} (1 + \cos^2 \alpha) \sin \alpha \cos \alpha - \varepsilon_{пр} \frac{\sin^2 \alpha \cos^2 \alpha}{r_k} \right], \quad (1)$$

где E – модуль нормальной упругости; δ – диаметр круглой проволоки; $\varepsilon_{пр}$, $\tilde{\tau}_{пр}$ – деформации пряди: осевая и кручения; α, r_k – угол и радиус свивки винтовой оси;

касательные напряжения [1] от кручения

$$\sigma_{кр} = G \frac{\delta}{2} \left(\tilde{\tau}_{пр} \cos^4 \alpha + \varepsilon_{пр} \frac{\sin^3 \alpha \cos \alpha}{r_k} \right), \quad (2)$$

где G – модуль сдвига.

Отличие вывода нелинейного уравнения напряжения изгиба и кручения [2-4] от линейной теории будет заключаться в том, что в основу будут заложены нелинейные уравнения напряжения, построенные на основе (1), но учитывающие изменение углов свивки винтовых элементов за период деформаций и зависимостях [5], учитывающих различия геометрических параметров и механических свойств проволок.

Примем следующее обозначение:

$$\tilde{\beta} = \beta + \Delta\beta, \quad (3)$$

где $\tilde{\beta}$ – значение угла свивки, соответствующее моменту окончания деформации; β – начальное значение угла свивки каната; $\Delta\beta$ – изменение угла свивки каната за период деформации [6].

Таким образом, осевая деформация и деформация кручения пряди [6, 7] для реального каната с учетом (2) примут вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{пр}} = & \varepsilon \cos^2 \tilde{\beta} + \theta R_{\kappa} \sin \tilde{\beta} \cos \tilde{\beta} + \varepsilon_{R_{\kappa}} \sin^2 \tilde{\beta} + \\ & + \Delta\varepsilon \cos^2 \tilde{\beta} \cos \varphi + \Delta\theta R \sin \tilde{\beta} \cos \tilde{\beta} \cos \varphi + \\ & + \Delta\varepsilon_{R_{\kappa}} \sin^2 \tilde{\beta} \cos \varphi + \frac{R_{\kappa}}{\rho} \cos^2 \tilde{\beta} \cos \varphi; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\tau}_{\text{пр}} = & \theta \cos^4 \tilde{\beta} + (\varepsilon - \varepsilon_{R_{\kappa}}) \frac{\sin^3 \tilde{\beta} \cos \tilde{\beta}}{R_{\kappa}} - \frac{g_0}{H} \frac{\sin \tilde{\beta} \cos \tilde{\beta}}{\rho} \cos \varphi + \\ & + \Delta\theta \cos^4 \tilde{\beta} \cos \varphi + (\Delta\varepsilon - \Delta\varepsilon_{R_{\kappa}}) \frac{\sin^3 \tilde{\beta} \cos \tilde{\beta}}{R_{\kappa}} \cos \varphi, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\varepsilon, \varepsilon_r, \theta$ – относительные деформации каната: продольные, поперечные и угловая; R_{κ} – радиус свивки каната; $\Delta\varepsilon, \Delta\theta, \frac{1}{\rho}$ – дополнительные относительные деформации растяжения, кручения, изгиба, возникающие вследствие различия геометрических и механических свойств проволоки; R_{ε} – радиус волнистости; φ – полярный угол [5-7].

С учетом (3) и (4) получим уравнение (1) в виде

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{из}} = & E \frac{\delta}{2} \sin \alpha \cos \alpha \times \\ & \times \left\{ \frac{\varepsilon}{R_{\kappa}} \left[(1 + \cos^2 \alpha - \mu) \sin^3 \beta \cos \beta - \frac{R_{\kappa}}{r_{\kappa}} \sin \alpha \cos \alpha (\cos^2 \beta - \mu \sin^2 \beta) \right] + \right. \\ & \left. + \theta \left[(1 + \cos^2 \alpha) \left(\cos^4 \beta - \mu \frac{A_{23}}{A_{13}} \frac{\sin^3 \beta \cos \beta}{R_{\kappa}} \right) \sin \alpha \cos \alpha - \frac{R_{\kappa}}{r_{\kappa}} \left(\sin \beta \cos \beta - \frac{\sin^2 \beta \cos \beta}{R_{\kappa}} \mu \frac{A_{23}}{A_{13}} \right) \right] \right\} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +E \frac{\delta}{2} \sin \alpha \cos \alpha \cos \varphi \left\{ \begin{aligned} & \frac{\Delta \varepsilon}{R_k} \left[(1 + \cos^2 \alpha (1 - \mu_1) \sin^3 \beta \cos \beta - \frac{R_k}{r_k} \sin \alpha \cos \alpha (\cos^2 \beta - \mu_1 \sin^2 \beta)) \right] + \\ & + \Delta \theta \left[\begin{aligned} & \left((1 + \cos^2 \alpha) (\cos^4 \beta - \mu_1 \frac{A_{23}}{A_{13}} \frac{\sin^3 \beta \cos \beta}{R_k}) \sin \alpha \cos \alpha - \right. \\ & \left. - \frac{R_k}{r_k} \left(\sin \beta \cos \beta - \frac{\sin^2 \beta \cos \beta}{R_k} \mu_1 \frac{A_{23}}{A_{13}} \right) \right] - \end{aligned} \right\} + \\ & - \frac{1}{\rho} \left[\begin{aligned} & \left((1 + \cos^2 \alpha) \sin \beta \cos \beta \frac{g_0}{H} - \frac{\sin^3 \beta \cos \beta}{R_k} \mu_1 \frac{A_{34}}{A_{13}} \right) \sin \alpha \cos \alpha - \\ & - \frac{R_k}{r_k} \left(\cos^2 \beta - \mu_1 \frac{A_{34}}{A_{13}} \frac{\sin^2 \beta}{R_k} \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha \right) \end{aligned} \right] \end{aligned} \right\}
\end{aligned}$$

$$+E \frac{\delta}{2} \sin \alpha \cos \alpha \times$$

$$\begin{aligned}
& \left\{ \begin{aligned} & \frac{\varepsilon^2}{R_k} \left[\begin{aligned} & (1 + \cos^2 \alpha) \sin^5 \beta \cos \beta - \mu_2 (-2 \sin^5 \beta \cos \beta - \mu_2 \sin^5 \beta \cos \beta) - \\ & - \frac{R_k}{r_k} \sin \alpha \cos \alpha \begin{pmatrix} \sin^2 \beta \cos^2 \beta - \\ -\mu_2 (-2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta - \\ -\sin^2 \beta \cos^2 \beta \mu_2) \end{pmatrix} \end{aligned} \right] + \\ & \times + \theta^2 \left[\begin{aligned} & - (1 + \cos^2 \alpha) R_k \sin \beta \cos^5 \beta - \mu_2 \left(-\sin^2 \beta \cos^2 \beta \cos 2\beta - \mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \right) - \\ & \frac{R_k}{r_k} \sin \alpha \cos \alpha \left(-R_k \sin^2 \beta \cos^2 \beta - \mu_2 (\sin \beta \cos \beta \cos 2\beta - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta) \right) \end{aligned} \right] + \\ & + \varepsilon \theta \left[\begin{aligned} & (1 + \cos^2 \alpha) \sin^2 \beta \cos^2 \beta \cos 2\beta - \mu_2 \left(\begin{pmatrix} -2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} - \mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \end{pmatrix} + \right. \\ & \left. \begin{pmatrix} -\sin^2 \beta \cos^2 \beta \cos 2\beta - \mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \end{pmatrix} \right) - \\ & - \frac{R_k}{r_k} \sin \alpha \cos \alpha \left(-\sin \beta \cos \beta \cos 2\beta - \mu_2 \left(\begin{pmatrix} (-2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta) + \\ + (\sin \beta \cos \beta \cos 2\beta - \\ -\mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta) \end{pmatrix} \right) \right) \end{aligned} \right] \end{aligned} \right\} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + E \frac{\delta}{2} \sin \alpha \cos \alpha \cos^2 \varphi \times \\
& \left[\begin{aligned}
& \frac{\Delta \varepsilon^2}{R_k} \left[(1 + \cos^2 \alpha) \sin^5 \beta \cos \beta - \mu_2 (-2 \sin^5 \beta \cos \beta - \mu_2 \sin^5 \beta \cos \beta) - \right. \\
& \left. - \frac{R_k}{r_k} \sin \alpha \cos \alpha \begin{pmatrix} \sin^2 \beta \cos^2 \beta - \\ -\mu_2 (-2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta - \\ -\sin^2 \beta \cos^2 \beta \mu_2) \end{pmatrix} \right] + \\
& + \Delta \theta^2 \left[\begin{aligned}
& - (1 + \cos^2 \alpha) R_k \sin \beta \cos^5 \beta - \mu_2 \left(-\sin^2 \beta \cos^2 \beta \cos 2\beta - \mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \right) - \\
& \frac{R_k}{r_k} \sin \alpha \cos \alpha \left(-R_k \sin^2 \beta \cos^2 \beta - \mu_2 (\sin \beta \cos \beta \cos 2\beta - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta) \right) \end{aligned} \right] + \\
& + \left(\frac{1}{\rho} \right)^2 \left[\begin{aligned}
& (1 + \cos^2 \alpha) \frac{g_0}{H} R_k \sin^3 \beta \cos \beta - \mu_2 \left(\sin^3 \beta \cos \beta \left(\sin^2 \beta + \frac{g_0}{H} \right) - \mu_2 \frac{\sin^5 \beta}{R_k} \right) - \\
& - \frac{R_k}{r_k} \sin \alpha \cos \alpha \left(-\sin^2 \beta \cos^2 \beta - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta \right) \end{aligned} \right] + \\
& \times \left[\begin{aligned}
& + \Delta \varepsilon \Delta \theta \left[\begin{aligned}
& (1 + \cos^2 \alpha) \sin^2 \beta \cos^2 \beta \cos 2\beta - \mu_2 \left(\begin{pmatrix} -2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} - \\ -\mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\sin^2 \beta \cos^2 \beta \cos 2\beta - \\ -\mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \end{pmatrix} \right) - \\
& - \frac{R_k}{r_k} \sin \alpha \cos \alpha \left(-\sin \beta \cos \beta \cos 2\beta - \mu_2 \left(\begin{pmatrix} -2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta - \\ -\mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sin \beta \cos \beta \cos 2\beta - \\ -\mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta \end{pmatrix} \right) \right) \end{aligned} \right] + \\
& + \Delta \varepsilon \frac{1}{\rho} \left[\begin{aligned}
& - (1 + \cos^2 \alpha) \sin^3 \beta \cos \beta \left(\sin^2 \beta + \frac{g_0}{H} \right) - \mu_2 \left(\begin{pmatrix} -2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} - \\ -\mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sin^3 \beta \cos \beta \left(\sin^2 \beta + \frac{g_0}{H} \right) - \\ -\mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \end{pmatrix} \right) \end{aligned} \right] + \\
& + \Delta \theta \frac{1}{\rho} \left[\begin{aligned}
& - R_k (1 + \cos^2 \alpha) \sin^2 \beta \cos^2 \beta \left(\cos^2 \beta - \frac{g_0}{H} \right) - \mu_2 \left(\begin{pmatrix} \begin{pmatrix} \sin \beta \cos \beta \cos 2\beta - \\ -\mu_2 \sin^2 \cos^2 \beta \end{pmatrix} + \\ + \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \end{pmatrix} - \right. \\
& \left. - \frac{R_k^2}{r_k} \sin \alpha \cos \alpha \begin{pmatrix} -\sin \beta \cos \beta (\sin^2 \beta + \cos^2 \beta) - \\ -\mu_2 (\sin \beta \cos \beta \cos 2\beta - \mu_2 \sin^2 \cos^2 \beta) \end{pmatrix} \right) \end{aligned} \right] \end{aligned} \right]
\end{aligned}
\tag{5}$$

В результате подстановки (3), (4) в уравнения (2) для нахождения касательного напряжения от кручения, получим напряжения кручения с учетом различия геометрических параметров и механических свойств проволок:

$$\begin{aligned}
\sigma_{\text{кп}} = G \frac{\delta}{2} \cos^4 \alpha \left\{ \right. & \left[\frac{\varepsilon}{R_k} \left[(1 - \mu) \sin^3 \beta \cos \beta + \frac{R_k}{r_k} \sin^3 \alpha \cos \alpha (\cos^2 \beta - \mu \sin^2 \beta) \right] + \right. \\
& + \theta \left[\cos^4 \beta - \mu \frac{\sin^3 \beta \cos \beta}{R_k} \frac{A_{23}}{A_{13}} + \operatorname{tg}^3 \alpha \frac{R_k}{r_k} \sin \beta \cos \beta - \mu \frac{A_{23}}{A_{13}} \frac{\sin^2 \beta}{R_k} \right] + \\
& + \frac{\Delta \varepsilon}{R_k} \cos \varphi \left[(1 - \mu_1) \sin^3 \beta \cos \beta + \frac{R_k}{r_k} \sin^3 \alpha \cos \alpha (\cos^2 \beta - \mu_1 \sin^2 \beta) \right] + \\
& + \Delta \theta \cos \varphi \left[\cos^4 \beta - \mu_1 \frac{\sin^3 \beta \cos \beta}{R_k} \frac{A_{23}}{A_{13}} + \operatorname{tg}^3 \alpha \frac{R_k}{r_k} \sin \beta \cos \beta - \right. \\
& \left. \left. - \mu_1 \frac{A_{23}}{A_{13}} \frac{\sin^2 \beta}{R_k} \right] - \right. \\
& - \frac{1}{\rho} \cos \varphi \left[\sin \beta \cos \beta \frac{g_0}{H} - \frac{\sin^3 \beta \cos \beta}{R_k} \mu_1 \frac{A_{34}}{A_{13}} + \right. \\
& \left. + \operatorname{tg}^3 \alpha \frac{R_k}{r_k} \left(\cos^2 \beta - \mu_1 \frac{A_{34}}{A_{13}} \frac{\sin^2 \beta}{R_k} \right) \right] + \\
& + \frac{\varepsilon^2}{R_k} \left[\sin^5 \beta \cos \beta - \mu_2 (2 \sin^5 \beta \cos \beta - \mu_2 \sin^5 \beta \cos \beta) + \right. \\
& \left. + \frac{R_k}{r_k} \sin^3 \alpha \cos \alpha (\sin^2 \beta \cos^2 \beta - \mu_2 (-2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta)) \right] + \\
& + \theta^2 \left[-R_k \sin \beta \cos^5 \beta - \mu_2 \left(-\sin^2 \beta \cos^2 \beta \cos 2\beta - \mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \right) + \right. \\
& \left. + \frac{R_k^2}{r_k} \sin^3 \alpha \cos \alpha \left(-\sin^2 \beta \cos^2 \beta - \mu_2 \left(\frac{\sin \beta \cos \beta \cos 2\beta}{- \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta} \right) \right) \right] + \\
& + \varepsilon \theta \left[\sin^2 \beta \cos^2 \beta \cos 2\beta - \mu_2 \left(\left(-2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} - \mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \right) + \right. \right. \\
& \left. \left. + \left(-\sin^2 \beta \cos^2 \beta \cos 2\beta - \mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \right) \right) \right] + \\
& + \frac{R_k}{r_k} \sin^3 \alpha \cos \alpha \left(-\sin \beta \cos \beta \cos 2\beta - \mu_2 \left(\left(-2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta - \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta \right) + \left(\sin \beta \cos \beta \cos 2\beta - \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta \right) \right) \right) \right] \left. \right\} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\Delta \varepsilon^2}{R_k} \cos^2 \varphi \left[\sin^5 \beta \cos \beta - \mu_2 \left(2 \sin^5 \beta \cos \beta - \mu_2 \sin^5 \beta \cos \beta \right) + \right. \\
& \quad \left. + \frac{R_k}{r_k} \sin^3 \alpha \cos \alpha \left(\sin^2 \beta \cos^2 \beta - \mu_2 \left(-2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta \right) \right) \right] + \\
& + \Delta \theta^2 \cos^2 \varphi \left[-R_k \sin \beta \cos^5 \beta - \mu_2 \left(-\sin^2 \beta \cos^2 \beta \cos 2\beta - \mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \right) + \right. \\
& \quad \left. + \frac{R_k^2}{r_k} \sin^3 \alpha \cos \alpha \left(-\sin^2 \beta \cos^2 \beta - \mu_2 \left(\sin \beta \cos \beta \cos 2\beta - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta \right) \right) \right] + \\
& + \left(\frac{1}{\rho} \right)^2 \cos^2 \varphi \left[\frac{g_0}{H} R_k \sin^3 \beta \cos \beta - \mu_2 \left(\sin^3 \beta \cos \beta \left(\sin^2 \beta + \frac{g_0}{H} \right) - \mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \right) + \right. \\
& \quad \left. + \frac{R_k^2}{r_k} \sin^3 \alpha \cos \alpha \left(-\sin^2 \beta \cos^2 \beta - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta \right) \right] + \\
& + \Delta \varepsilon \Delta \theta \cos^2 \varphi \left[\sin^2 \beta \cos^2 \beta \cos 2\beta - \mu_2 \left(\left(-2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} - \mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \right) + \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \left(-\sin^2 \beta \cos^2 \beta \cos 2\beta - \mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \right) \right) \right] + \\
& \quad \left. + \frac{R_k}{r_k} \sin^3 \alpha \cos \alpha \left(-\sin \beta \cos \beta \cos 2\beta - \mu_2 \left(\left(-2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta \right) + \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. + \left(\sin \beta \cos \beta \cos 2\beta - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta \right) \right) \right) \right] + \\
& + \Delta \varepsilon \frac{1}{\rho} \cos^2 \varphi \left[\sin^3 \beta \cos \beta \left(\sin^2 \beta + \frac{g_0}{H} \right) - \mu_2 \left(\left(-2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta \right) + \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \left(\sin^3 \beta \cos \beta \left(\sin^2 \beta + \frac{g_0}{H} \right) - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta \right) \right) \right] + \\
& + \Delta \theta \frac{1}{\rho} \cos^2 \varphi \left[-R_k \sin^2 \beta \cos^2 \beta \left(\cos^2 \beta - \frac{g_0}{H} \right) - \mu_2 \left(\left(-\sin^2 \beta \cos^2 \beta \cos 2\beta - \mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \right) + \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + \left(\sin^3 \beta \cos \beta \left(\sin^2 \beta + \frac{g_0}{H} \right) - \mu_2 \frac{\sin^5 \beta \cos \beta}{R_k} \right) \right) \right] + \\
& \quad \left. + \frac{R_k^2}{r_k} \sin^3 \alpha \cos \alpha \left(-\sin \beta \cos \beta \left(\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \right) - \mu_2 \left(\sin \beta \cos \beta \cos 2\beta - \mu_2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta \right) \right) \right] +
\end{aligned}
\tag{6}$$

где μ, μ_1 – коэффициенты поперечного сужения каната, определяемые по линейной теории [1, 3]; μ_2 – коэффициент поперечного сужения каната, определяемый по нелинейной теории, с учетом различия геометрических параметров и механических свойств проволок.

Анализируя проделанную работу, можно уверенно сказать, что полученные уравнения (5) и (6) напряжения изгиба и кручения, с учетом различия геометрических параметров и механических свойств проволок, являются положительным результатом для более точного инженерного расчета.

Задачей дальнейших исследований является получение уравнения нормального напряжения в поперечном сечении проволоки от ее осевого

растяжения с помощью нелинейной статики, с учетом различия геометрических параметров и механических свойств проволок.

Литература

1. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. – Киев: Техника, 1966. – 327 с.
2. Малиновский В.А., Шигарина Л.И. Расчет прямого каната с учетом нелинейности деформаций // Прочность и долговечность стальных канатов. – Одесса, 1977. – С. 31-37. – Деп. в ЦНИИЧермет 28.05.81, № 1214.
3. К расчету напряжений в шахтных подъемных канатов / М.Ф. Глушко, В.А. Малиновский, А.А. Чиж, Л.И. Шигарина // Изв. вузов. Горный журнал. – 1983. – № 6. – С. 95-98.
4. Глушко М.Ф., Чиж А.А., Шигарина Л.И. Геометрические уравнения деформаций каната в нелинейной форме // Прочность и долговечность стальных канатов. – Одесса, 1977. – С. 38-43. – Деп. в ЦНИИЧермет 28.05.81, №1215.
5. Хальфин М.Н. Расчет стальных канатов с целью различия геометрических параметров и механических свойств проволок // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Безопасность подъемно-транспортных и технологических машин, 2005. – С. 5-12.
6. Хальфин М.Н., Сорокина Е.В., Иванов Б.Ф. Кручение и волнистость несущих канатов подвесных канатных дорог / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: УПУ «Набла» ЮРГТУ(НПИ), 2004. – 117 с.
7. Хальфин М.Н. Расчет шахтного подъемного каната с учетом неодинаковости физико-механических свойств его винтовых элементов // Очистные и проходческие машины и инструменты. – Новочеркасск, 1988. – С. 122-126.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Наракидзе Н.Д., Ланкин М.В. Модель топографии магнитного поля в окрестностях изделий из ферромагнитных материалов	4
Митина В.Ф., Синецкая В.А. Модель цифрового слеящего преобразователя кода в частоту управляемого генератора со сравнением число-импульсных последовательностей в цепи обратной связи	19
Балакин А.В., Крассов С.А., Полушкин Н.Ю. Использование модели нелинейных искажений канала при построении системы цифровой связи	21
Хусаинова М.А. Принципы создания и реализации системы, решающей задачи классификации и кластеризации текстовой информации	23
Феокистов А.Г., Александров А.А. Обеспечение надежности распределенной вычислительной среды имитационного моделирования	25
Телеснин Б.А., Аграновский В.А. Построение системы безопасности на уровне строк для СУБД типа MSSQL	28
Щербakov Г.В. Альтернативная маршрутизация как способ решения задачи выбора оптимальных потоков сети передачи данных	30
Опарин Г.А., Максимович В.В. Равномерная загрузка каналов связи при фиксированной маршрутизации в магистральных сетях передачи данных как задача удовлетворения ограничений	33
Якубец М.Б., Репалов С.А. Моделирование потоков сетевого трафика статистическими методами	39
Исаков К.А., Ощепков А.Ю. Моделирование быстрых алгоритмов управления в пакете Simulink	41
Майзаков К.Д., Хади Р.А. О структуре систем навесной защиты исполнимых файлов от несанкционированного исследования и анализа	46
Мамай И.В., Хади Р.А. Обобщенная модель анализа алгоритмов вероятностного шифрования	48
Борчук Л.Е. Анализ адекватности одной математической модели реляционного запроса	50
Григорян Р.Л., Репалов С.А. Применение методов обучения векторного квантования в задачах текстонезависимой идентификации дикторов	54
Аграновский А.В., Кашин А.А., Хади Р.А. Модель обнаружения несанкционированных изменений в исполняемых процессах на базе паспортной системы	56
Аграновский А.В., Бинеев О.Р. Модель распределенной системы выделения речевой и адресной информации в реальном времени	57
Туркин Н.А. Проблема идентификации пользователя по распечатанному документу	60
Преображенский А.П. О возможности прогнозирования формы объектов по данным о значениях средних характеристик рассеяния	62
Абдрахманов Е.А. Условия подобиия и моделирование процесса электродуговой плавки оксидных огнеупорных материалов в электромагнитном поле	63
Кукоз В.Ф., Курнаков В.А., Крутиков Е.В. Стохастические режимы работы электрического аккумулятора	66
Поляков С.В. Уравнения напряжения изгиба и кручения в проволоках каната двойной свивки в нелинейной форме с учетом различия геометрических параметров и механических свойств проволок	70

Научное издание

Моделирование. Теория, методы и средства

Материалы VI Международной научно-практической конференции
Часть 5

Редактор А.С. Лобова
Компьютерная верстка М.К. Востокова

Подписано в печать 15.05.2006 г.
Формат 60х84 1/16. Усл. печ. л. 4,80. Тираж 100 экз. Заказ 47-3894.

Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)
Центр оперативной полиграфии ЮРГТУ (НПИ)

Адрес университета и центра оперативной полиграфии:
346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел. 55-222