

Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Главный редактор
В.Л. Белоусов

РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:
Бучаченко А.Л.
Гусев А.А.
Дегтярев Ю.И.
Елисеев В.А.
Иванов А.П.
Мальцева С.В.
Нефедов Е.И.
Шебалин И.Ю.
(заместитель главного редактора)

5
—
2010

УЧРЕДИТЕЛИ:
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ
ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ

Журнал зарегистрирован 9 апреля
1999 г. за № 018684 в Комитете
Российской Федерации по печати

Журнал входит в перечень
утверждённых ВАК РФ изданий
для публикации трудов соискателей
учёных степеней

ООО «Издательство Машиностроение»

РЕДАКЦИЯ:

Шебалин И.Ю. — зам.главного редактора
Гончарова Л.К. — научный редактор
Осипова В.Г. — научный редактор
Артамонова М.Н. — секретарь

Адрес редакции:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4
Тел.: (499) 748 0290,
E-mail: ast@mashin.ru; http://www.mashin.ru

Адрес издательства:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4
Тел.: (499) 268 3858,
факс: (499) 269 4897

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Ивашов В.И., Каповский Б.Р. Автоматизация процесса измельчения замороженных мясных блоков	3
Иванов А.Г., Бойков В.В. Процессы центробежного регулирования движения жидкости на основе множеств двойичных векторов	5
Лушников Б.В. Метод вибродиагностики диссипативных параметров сухого и вязкого трения на основе компьютерного анализа виограмм свободных колебаний	11

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Нестеров П.В., Шашков Б.Д. Алгоритмы и программные средства обработки, хранения и представления данных мониторинга строительного объекта	15
Дьяков И.Ф. Применение метода конечных элементов для определения температурных напряжений в тормозном барабане	25
Филимонов В.И., Марковцев В.А., Волков А.А., Илюшин М.В. Технология и оборудование для производства в роликах широкополосочных деталей с продольной кривизной	30
Неусыпин К.А. Реализация акцептора действия интеллектуальной системы управления летательного аппарата	39

ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

Cisco включается в борьбу с безработицей в России	45
«Продэкспо-2010»	46

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов	47
-----------------------------	----

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Ivashov V.I., Kapovskiy B.R. Milling process automation of the frozen meat blocks	3
Ivanov A.G., Boykov V.V. Centrifugal adjustment processes of the liquid movement from the binary vectors multitudes ...	5
Lushnikov B.V. Dissipate parameters vibration-based diagnostics of the dry and viscous friction from a computer analysis of the independent oscillations vibrorecord	11

MODERN TECHNOLOGIES

Nesterov P.V., Shashkov B.D. Algorithms and software for processing, storage and presentation of the building object monitoring dates	15
Dyakov I.F. Finite elements method application for temperature stresses definition in a brake drum	25
Filimonov V.I., Markovtsev V.A., Volkov A.A., Ilyushkin M.V. Technology and equipment for manufacture in rollers of the details with wide shelf and longitudinal curvature	30
Neusypin K.A. Activity acceptor implementation of the intellectual aircraft control system.....	39

EXHIBITION AND PRESENTATIONS

The Cisco is being included in a fight against an unemployment in Russia	45
«Prodexpo-2010»	46

SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review	47
--------------------------	----

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу «Роспечать» — 70537, по каталогу «Пресса России» — 27838, по «Каталогу российской прессы «Почта России» — 60267) или непосредственно в издательстве по факсу (499) 269 4897, по e-mail realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефон для справок (499) 269 6600, 269 5298

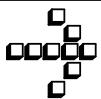
Художественный редактор Галицина Т.Н.
Компьютерный набор Путинов В.Н.
Компьютерная верстка Тугаринов А.А.

Набрано в ФГУ “Научно-исследовательский институт –
Республиканский исследовательский
научно-консультационный центр экспертизы”
123995, Москва, ул.Антонова-Овseenko, 13.Тел.: (499) 795 1789

Сдано в набор 25.02.10. Подписано в печать 27.04.10.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл.печ.л. 5,88. Уч.изд.л.6,9. Заказ 328. Цена свободная

Отпечатано в ООО «Подольская Периодика»
142110, Московская обл., г.Подольск,
ул.Кирова, 15

**Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация и современные технологии» возможна
при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка
на журнал «Автоматизация и современные технологии» обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несёт рекламодатель**



УДК 62-5

В.И. Ивашов, академик РАСХН, д-р техн. наук, проф., **Б.Р. Каповский**
 (Московский государственный университет прикладной биотехнологии)

boris.jilimaso@yandex.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗАМОРОЖЕННЫХ МЯСНЫХ БЛОКОВ

Предложен новый способ измельчения замороженных мясных блоков с помощью червячных фрез и иглофрез. Использование нового измельчителя позволяет улучшить структуру конечных продуктов мясных технологий, а также повысить экономические показатели технологии измельчения. Рассмотрены принципы построения системы автоматического управления технологическим процессом измельчения по новому методу.

Ключевые слова: новый способ измельчения, автоматическая система управления.

A new method for frozen meat blocks milling by mean of worm mill and needle-shaped mill is proposed. New crushing machine utilization permits to improve structure of the meats technologies final products and to raise economic characteristics of the milling technology. System construction principles for the automatic control of the milling technology process according to new method are considered.

Key words: new milling method, automatic control system.

В современных условиях отечественные мясо-перерабатывающие предприятия используют в основном импортное сырье, в частности блочное замороженное мясо. Отсюда возникает задача эффективной переработки такого сырья.

Традиционная технология переработки блочного мяса предусматривает несколько стадий измельчения:

среднего – с использованием блокорезок;
 мелкого – с использованием волчков (промышленных мясорубок);
 тонкого – с использованием куттеров и других машин.

В Московском государственном университете прикладной биотехнологии (МГУПБ) предложен способ одностадийного измельчения блочного замороженного мяса с использованием нового измельчителя, оснащённого режущим инструментом в виде пакета дисковых иглофрез либо червячной фрезы.

К существенным преимуществам технологии с использованием нового измельчителя следует отнести значительное сокращение технологической цепочки процесса измельчения по сравнению с традиционной (блокорезка – волчок – куттер), позволяющее реализовать импортозамещение дорогостоящего зарубежного оборудования, что в современных сложных экономических условиях является актуальной задачей.

Однако применение новой технологии измельчения выдвигает ряд требований к процессу измельчения. В частности, учитывая одностадийность измельчения мясных блоков, необходимо гарантированно обеспечить примерно равные линейные размеры частиц измельчённого сырья (мясной стружки), что повышает качество конечных продуктов мясных технологий. Следовательно, необходимо обеспечить стационарные во времени параметры процесса измельчения при изменяющихся внешних воздействиях на этот процесс.

К важнейшим параметрам процесса измельчения следует отнести скорость резания (частоту вращения фрезы измельчителя) и скорость подачи сырья в зону измельчения. Поддерживая неизменными эти параметры в процессе измельчения, можно решить сформулированную выше задачу. Для этого необходимо предусмотреть в системе автоматического управления (САУ) процессом измельчения обратные связи по указанным параметрам, что позволяет построить систему стабилизации скорости резания и подачи сырья. В качестве принципа стабилизации может быть выбрано регулирование по отклонению от заданного значения параметров.

Параметры процесса измельчения определяются применяемой технологией измельчения. В МГУПБ разработана технология получения мясных продуктов из замороженных блоков мяса, измель-

ченных с использованием червячных фрез. Эта технология предусматривает ряд оптимальных по технологическим параметрам продукта измельчения линейных скоростей (частот) вращения червячных фрез в зависимости от последующего использования продукта измельчения. В частности, линейная скорость (частота) вращения может принимать значения 12,64 м/с (2708,57 об/мин) и 2,93 м/с (399,91 об/мин).

Отсюда видно, что САУ процессом измельчения должна обеспечить регулирование частоты вращения рабочего инструмента (фрезы) измельчителя в широких пределах в зависимости от использования продукта измельчения. Тогда обратные связи по регулируемым параметрам могут быть использованы не только в целях получения достоверной информации о текущем значении контролируемых параметров в режиме реального времени, но и для обеспечения жёстких механических характеристик приводов резания и подачи сырья при снижении частоты вращения приводных электродвигателей, т. е. для формирования приемлемых статических характеристик САУ процессом измельчения. Кроме того, учитывая требования технологии измельчения по установлению оптимальных частот вращения рабочего инструмента и соответствующих им скоростей подачи сырья, структура регуляторов скорости (РС) скоростных контуров САУ резания и подачи сырья должна содержать интегральную составляющую, что позволит свести статическую ошибку регулирования к нулю.

Для формирования динамических характеристик САУ в процессе приведения показателей качества регулирования (быстродействия, регулирования, колебательности) в переходных режимах к приемлемым значениям, следует настроить РС скоростных контуров САУ стандартным образом (на модульный или симметричный оптимум). Однако при настройке регуляторов необходимо учесть характер внешних воздействий на САУ.

К изменяющимся во времени внешним воздействиям можно отнести переменные в объёме одного блока и для ряда блоков механические характеристики сырья и флюктуации напряжения сети электроснабжения цеха мясопереработки.

Анизотропия механических характеристик сырья может быть вызвана следующими причинами: неоднородным температурным полем в объеме блока;

различной пространственной ориентацией волокон сырья относительно режущих кромок фрезы;

включением в блок сырья различных видов ткани (мышечной, соединительной, хрящевой).

Исследование продукта измельчения, полученного при макетировании работы измельчителя в лабораторных условиях, показало, что в первом приближении можно считать нормальным закон распределения нагрузки на фрезу, рассматриваемой в виде случайной функции при влиянии на САУ факторов внешнего воздействия, имеющих случайный характер.

Как показывает инженерная практика, случайный процесс флюктуаций питающего напряжения чаще всего имеет нормальный закон распределения.

Именно для рассмотренных выше некоррелированных случайных процессов, являющихся внешними воздействиями на систему, часто применяют параметрическую оптимизацию САУ для учета случайного характера факторов влияния на систему стабилизации скорости. Тогда задачу параметрической оптимизации САУ можно сформулировать так: параметры РС должны быть такими, чтобы регулирующая динамическая ошибка системы стабилизации скорости была минимальной.

Решить эту задачу можно, оценивая спектральные плотности случайных внешних воздействий по методикам, принятым в инженерной практике измерения случайных процессов. Следует отметить, что статистический материал, на базе которого проводят соответствующие оценки, должен быть собран при измельчении блоков сырья промышленных типоразмеров.

Значения параметров РС в первом приближении можно получить, полагая САУ линейной (линеаризованной) при определенных допущениях. Точнее синтез регуляторов САУ можно осуществить при более полном учёте особенностей электромеханического преобразования энергии в асинхронных электродвигателях приводов резания и подачи сырья, а также с учётом переходных процессов в управляемых преобразователях, работающих на эти электродвигатели. Реализовать более точный синтез регуляторов САУ возможно при использовании прикладных пакетов MATLAB и SIMULINK для компьютерного моделирования динамических систем.

УДК 621.816-251-404.1

А.Г. Иванов, д-р техн. наук, проф., В.В. Бойков
 (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)
 vitboikov@gmail.com

ПРОЦЕССЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА ОСНОВЕ МНОЖЕСТВ ДВОИЧНЫХ ВЕКТОРОВ

Описаны метод генерации двоичного ненатурального кода, его представление в полярной системе отсчёта на фазовой плоскости с помощью семейства спиралей и их аппроксимации для изучения движения жидкости в центробежном регуляторе.

Ключевые слова: генерация ненатурального кода, линейно-групповой код, порождающая матрица, семейство спиралей, метод наименьших квадратов, вариационная задача, автоматическое регулирование.

Generation method of binary unnatural code, its presentation in the polar system indication on the phase plane by mean of spirals family and their approximation for liquid movement examination in the centrifugal regulator are described.

Key words: unnatural code generation, linear-group code, generating matrix, spirals family, method of least squares, variation task, automatic regulation.

Рассмотрим систему представления задачи центробежного регулирования жидкости в виртуальном кольцевом канале. Докажем теорему о существовании подвижного базиса линейно независимых векторов для представления вектор-функции, описывающей фазовые состояния жидкости в подвижной системе отсчёта. В результате получим множество двоичных векторов, описывающих реальное движение жидкости.

Одним из методов представления движения жидкости в центробежном поле сил и сил тяжести является модель многофазной жидкостной системы, вращающейся в открытом жёлобе. Причём виртуальный кольцевой жёлоб с жидкостью совершает колебательные движения в пространстве, характеризующиеся углами α и β вращающегося параболоида к оси ротора z .

Исходными данными для численного расчёта являются траектории семейства $f(r, \theta)$, построенные на плоскости с полярной системой отсчёта, где r – радиус точки траектории, а θ – её угловая координата. Траектории рассчитывают на основе решения дифференциальных уравнений динамики движения жидкости. Решениями системы динамических уравнений являются функции $\alpha(t)$, $\beta(t)$, $\theta(t)$, $\theta_{\text{ж}}(t)$, $\theta_{\text{кж}}(t)$, $r(t)$. Для исследования семейства функций $f(r, \theta)$ рассмотрим разложение угловой координаты θ в виде суммы $\theta(t) = \theta_{\text{ж}}(t) + \theta_{\text{кж}}(t)$, где $\theta_{\text{кж}}(t)$ – угловая координата, характеризующая fazu корректирующей жидкости, перемещающейся по жёлобу вследствие колебательных движений параболоида вращения в направлении углов α и β . Определим в системе превращения движения две функции: $f(r, \theta)$ и $g(\alpha, \beta)$.

Начальные условия, соответствующие динамическому равновесию жидкости, запишутся в виде

при $r = r_0$, $t = t_0$, $\theta = \theta_0$, $f(r, \theta) = f(r_0, \theta_0)$;

при $\alpha = \alpha_0$ и $\beta = \beta_0$, $g(\alpha, \beta) = g(\alpha_0, \beta_0)$.

Каждая точка на плоскости в полярной системе отсчёта $r\theta$ (рис. 1) определяется радиусом r_i и угловой координатой θ_i . Этую же точку можно представить в виде вектора определённой длины

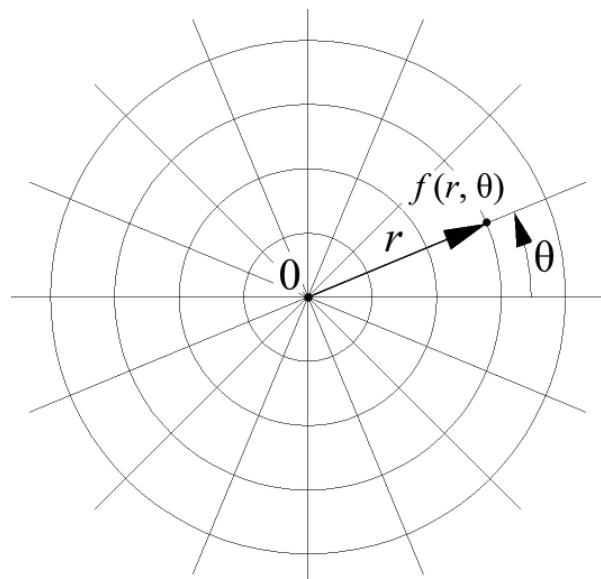


Рис. 1. Фазовая плоскость в полярной системе отсчёта:
 $f(r, \theta)$ – метрика

n , который соответствует количеству разрядов вектора. Вектор принадлежит некоторому ненатуральному коду G' длины n , $v \in G'$.

Минимальное расстояние (в смысле Хэмминга) для данного кода G' определяется как минимальное расстояние между двумя произвольно взятыми векторами v_1 и v_2 , рассчитывается как число несовпадений в разрядах этих векторов и записывается d_{\min} .

Из всех возможных расстояний $d(v_1, v_2)$ минимальные расстояния (в смысле Хэмминга) для данного ненатурального кода G' меньше, чем остальные расстояния, т. е. каждый вектор в коде G отстоит от любого другого вектора этого кода на расстояние не меньше d_{\min} . Радиус i -й точки на плоскости $r\theta$ равен $d_{\min} + t$, где t – искажение вектора кода G определённой кратности.

Понятие устойчивости формы в метрическом пространстве, образованном семейством траектории $f(\mathbf{r}, \theta)$. Доказательство устойчивости метрического пространства базируется на доказательстве устойчивости формы в метрическом пространстве. Под формой понимается любое решение (непрерывная функция). Семейство спиралей описывают в параметрической форме. Затем проводят поиск форм, существующих в метрическом пространстве, порождаемом этим семейством. Множество кривых представляют ненатуральным кодом длины n с ошибкой кратности t с определённым количеством информационных разрядов k и расстоянием (в смысле Хэмминга) d_{\min} .

Каждый вектор ненатурального кода G' отстоит от остальных на расстояние (в смысле Хэмминга) $2t+1$. Это необходимо для коррекции t кратных ошибок в данном коде. С позиции теории помехоустойчивых кодов и теории кодирования необходимо, чтобы генерируемый код позволял обнаруживать и корректировать ошибки кратности t . Для этого формируется информационная избыточность помехоустойчивых кодов, т. е. количество разрядов в двоичных кодах становится больше, дополнительные разряды называют проверочными, в результате получаем ненатуральный код.

Число информационных разрядов k выбирается таким, чтобы существовал минимум функции $(n - k) = f(k, d_{\min})$. Задача решается с использованием нижней оценки, рассчитываемой по формуле Хэмминга, и верхней оценки – по формуле Варшамова и Гильберта [1]. Затем добавляется число проверочных разрядов $p = n - k$.

Представим алгоритм генерации векторов ненатурального кода, отстоящих друг от друга на расстоянии d_{\min} , определённым числом разрядов. Алгоритм соответствует требованиям, предъявляемым к генерации помехозащищённых кодов. Генерируемый код G' помогает обнаруживать и корректировать ошибки кратности t . Последнее

требование позволяет составлять функции декодирования и описывать их при представлении кода в матричной форме, подобно декодированию линейных групповых кодов, с построением матриц ошибок уравнений декодирования [1].

В начале алгоритма построим порождающую матрицу линейного кода G , обозначив информационную часть формата $k \times k$, а проверочную часть столбцами, определяемыми $p = d_{\min}t$. Количество столбцов в единичной матрице информационных разрядов $k = n - d_{\min}t$. Линейный групповой код G задаётся порождающей матрицей, представленной в левой канонической форме [1]:

$$G = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1,n-k} \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & p_{21}, p_{22}, \dots, p_{2,n-k} \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & p_{31}, p_{32}, \dots, p_{3,n-k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & p_{k1}, p_{k2}, \dots, p_{k,n-k} \end{vmatrix} = IP,$$

где I – единичная матрица информационных разрядов линейного кода формата $k \times k$ (такая матрица порождает натуральный двоичный код длины k); P – матрица проверочных разрядов линейного кода, содержащая $(n - k)$ столбцов и k строк.

Запишем единицы информационной части порождающей матрицы $k \times k$ в файл seans.txt, содержащий протокол работы с программой. Для формирования проверочной части порождающей матрицы в автоматическом режиме используем генератор случайных чисел, работающий по формуле

$$g[i, n - tl + j] = \text{round}(\text{random}1,5 - 0,5),$$

где i – индекс строки матрицы; j – индекс столбцов проверочной части матрицы от $k + 1$ до n ; l – индекс неизменяющегося количества столбцов проверочной части в зависимости от величины d_{\min} (по умолчанию количество столбцов проверочной части равно d_{\min}); random – функция генерации случайных чисел от 0 до 1; round – функция округления дробных чисел до целых на языке Турбо Паскаль.

Работа генератора случайных чисел по заполнению проверочной части порождающей матрицы G подчиняется статистическому равномерному закону распределения с параметрами, являемыми границами интервала значений случайной величины.

В литературе по теории цифровых автоматов [1] рекомендуется для получения столбцов проверочной части столбцы информационной части складывать по модулю 2. Таким образом решается главная задача – формирование векторов порождающей матрицы, вес которых соответствует условиям: $\omega(v) \geq (d_{\min} - 2)$, $\omega(v) \geq (d_{\min} - 1)$, где $\omega(v)$ – вес двоичного вектора v .

Полученная порождающая матрица выведена на экран и в файл, содержащий сеанс работы. Исходная матрица должна соответствовать оценкам по формулам Хэмминга, Варшамова и Гильберта. Нижняя оценка определяется по формуле Хэмминга:

$$2^k \geq \sum_{i=0}^{\frac{1}{2}d_{\min}} c_n^i,$$

где c_n^i – число сочетаний из n по i ; $c_n^i = \frac{n!}{i!(n-i)!}$.

Верхняя оценка определяется по формуле Варшамова и Гильберта:

$$2^{n-k} \geq \sum_{i=0}^{2d_{\min}-1} c_{n-i}^i,$$

где $(n-k)$ – число проверочных разрядов систематического кода; $c_{n-i}^i = \frac{(n-i)!}{i!(n-2i)!}$.

Расчёт количества сочетаний из n по i и из $(n-i)$ по i осуществляется с помощью функции спi , которая позволяет рассчитывать коэффициенты c_n^i и c_{n-i}^i .

Исходную порождающую матрицу запишем в двухмерный массив G matrix, представляющий собой матрицу формата 100×100 . Далее в результате сложения по модулю 2 векторов порождаю-

щей матрицы получим последовательность векторов линейного группового кода, из которого выбираем только те векторы, которые отстоят друг от друга на расстояние $\geq d_{\min}$. Таким образом, получим ненатуральный код G' с обнаруживающей способностью для ошибок кратности t . Рассчитываем сумму по модулю 2 векторов порождающей матрицы в цикле попарно для записи массива всех возможных векторов линейного группового кода G , являющегося натуральным кодом. Запишем эти векторы в отдельный файл vectors.txt. Так же векторы генерируются на экран для просмотра. Далее переписываем векторы из массива $g1$, содержащего векторы линейного группового кода, в массив $g2$, т. е. отбираем векторы ненатурального кода, отстающие друг от друга на расстояние d_{\min} и более. Для этого берём первый вектор в массиве $g1$, попарно сравниваем его с другими, считая число несовпадений в их разрядах. Если число несовпадений будет меньше d_{\min} , то данный вектор в массиве $g2$ не записывается. Векторы ненатурального кода G' , содержащиеся в массиве $g2$, будут содержать файл vectors.txt. Получим некоторое множество двоичных векторов, для каждого из которых рассчитано d_{\min} в процедуре scan1. Если взять m векторов и каждому сопоставить угловую координату θ , равномерно распределяя их по окружности в диапазоне изменения угла θ от 0 до 2π , то векторы будут отстоять друг от друга на $\Delta\theta = 2\pi/m$ (рис. 2).

Возьмём результаты динамического расчёта эквивалентной схемы с массивным параболоидом,

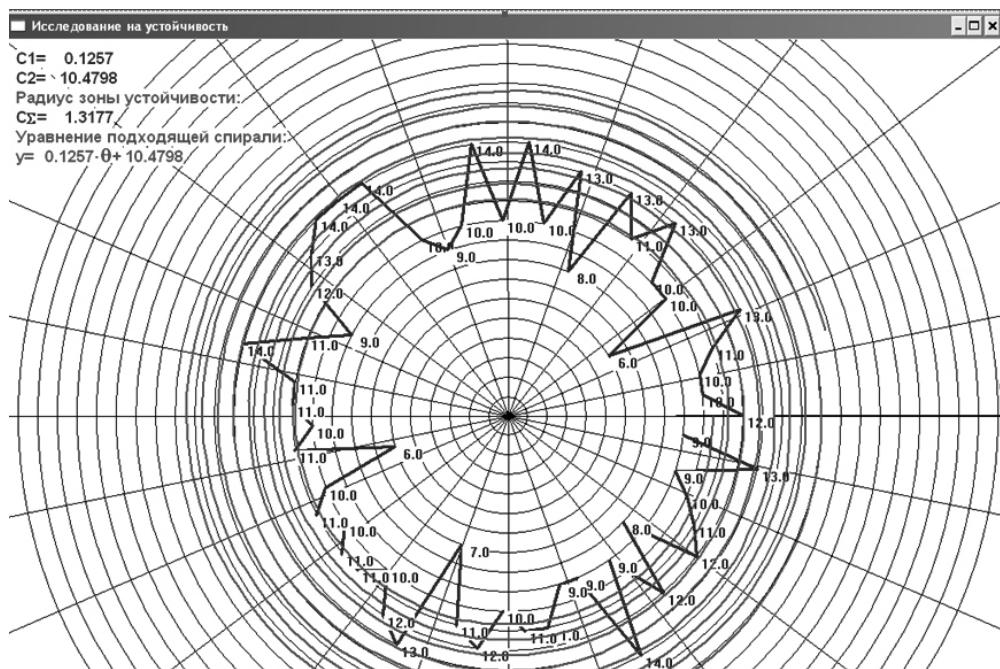


Рис. 2. Расположение векторов на плоскости в полярной системе отсчёта $r\theta$ с равномерным исчислением угла θ

которые записаны в файлах *w.dbf* и *wb.dbf*, где представлены результаты численного расчёта системы дифференциальных уравнений. В данных файлах содержатся пять переменных, обозначающих номер точки, угловую координату движения жидкости $\theta_{\text{ж}}$, угловую координату движения корректирующей массы жидкости $\theta_{\text{кж}}$, угловые скорости движения $\omega_{\text{ж}}$ и $\omega_{\text{кж}}$, угловые ускорения $\varepsilon_{\text{ж}}$ и $\varepsilon_{\text{кж}}$, значение времени t с шагом 1 мс.

Характер движения по эквивалентной схеме прослеживается в последовательности изменения угловых координат $\theta_{\text{ж}}$ и $\theta_{\text{кж}}$ за время выполнения одного оборота ротора вокруг своей оси. Если принять $\theta = \theta_{\text{ж}} + \theta_{\text{кж}}$, то можно рассчитать цикл движения и его характер во время выполнения двух перемещений $\theta_{\text{ж}}$ и $\theta_{\text{кж}}$ и их суммы θ от 0 до 2π .

Сгенерируем ненатуральный код G' длиной $n = 70$, который позволяет обнаруживать ошибки кратности $t \leq 3$, корректировать ошибки кратности $t \leq 2$ и расстояния (в смысле Хэмминга) между векторами этого кода $d_{\min} \geq 6$. Требование корректировки ошибок кратности $t \leq 3$ определяет $d_{\min} \geq 7$. Порождающая матрица строится для формирования натурального кода G , не имеющего обнаруживающей и корректирующей способности, из векторов которого выбирается ненатуральный код с $d_{\min} \geq 6$. Информационная часть порождающей матрицы имеет длину $k = 52$, а её проверочная часть $p = n - k = 18$. Выбираем ненатуральный код с $d_{\min} \geq 6$.

Программа сгенерировала ненатуральный код G' , состоящий из 59 векторов. Кратность ошибки t определяет корректирующую способность кода и его d_{\min} . Для каждого вектора рассчитываем минимальное расстояние d_{\min} , соответствующее радиусу точки в полярной системе отсчёта. Дискретизацию изменения угловой координаты осуществляли двумя способами:

разбиваем равномерно угол θ от 0 до 2π (см. рис. 2) на столько частей, сколько получено векторов ненатурального кода G' ;

составляем математическую модель движения жидкости в поле центробежных сил инерции и рассчитываем эту модель. Записываем угловые координаты скорости и ускорения в файл *w.dbf*, который будет содержать значение угла вращения жидкостного ротора во время разгона, в течение 30 с. (всего 10 000 записей). Выборку значений угла θ выписываем для одного оборота (цикла движения) $\theta = 0, \dots, 2\pi$. Порядковый номер оборота выбираем произвольно. Каждой фазе движения соответствует двоичный вектор ненатурального кода G' , характеризуемый расстоянием d_{\min} . На рис. 2 показано 59 векторов, соответствующих фазам движения жидкости в одном цикле за один оборот. Полученное множество точек соединяем линиями (на рис. 2 для каждого вектора показана его координата d_{\min}).

Используя метод наименьших квадратов [2] подбираем аппроксимирующую спираль, рассчитывая коэффициенты C_1 и C_2 в уравнении спирали. Получаем $C_1 = 0,1338$, $C_2 = 10,4921$. Уравнение аппроксимирующей спирали $r = 0,1338 \theta + 10,4921$.

Критическая ошибка работы неавтономной системы с периодической ошибкой и потеря устойчивости системы оцениваются на основе нахождения функции Ляпунова – квадратичного функционала и формы, описывающей фазовую траекторию, соответствующую некоторому процессу. Выбираем в качестве такой формы уравнение семейства спиралей в полярной системе отсчёта

$$v(r, \theta) = r + C_1 \theta + C_2, \quad (1)$$

где C_1 – константа, определяющая скорость увеличения радиуса спиралей; C_2 – константа, определяющая начальные условия и начальный радиус спиралей.

Таким образом, можно записать произведение $C_{\Sigma} = C_1 C_2$, отобрав только те пары, которые удовлетворяют условию

$$C_{\Sigma} \geq C_1 C_2, \quad (2)$$

т. е. отбираются те траектории, которые не выходят за границу области, являющуюся кругом и областью локализации значений произведения в неравенство (2). Радиус круга определяет значение C_{Σ} . Условие (2) принято называть вариационным неравенством.

Анализируя рис. 2 и 3, полученные двумя различными способами представления картины распределения двоичных векторов ненатурального кода G' , можно заметить, что наибольшее расхождение коэффициентов C_1 и C_2 определяется в сотых долях единицы.

Матричное представление позволяет компактно описывать гармоники и однозначно задавать процедуру их идентификации, записывая $M e^{j\theta} = f(r, \theta_{\text{ж}} + \theta_{\text{кж}1} + \theta_{\text{кж}2} + \dots + \theta_{\text{кж}n})$, где $\theta_{\text{ж}}$, $\theta_{\text{кж}1}$, $\theta_{\text{кж}2}, \dots, \theta_{\text{кж}n}$ – коэффициенты в разложении угла θ по линейно независимому базису $\{\vec{e}_{\text{ж}}, \vec{e}_{\text{кж}1}, \vec{e}_{\text{кж}2}, \dots, \vec{e}_{\text{кж}n}\}$.

Исходное разложение

$$\theta_{\text{ж}} \vec{e}_{\text{ж}} + \theta_{\text{кж}1} \vec{e}_{\text{кж}1} + \theta_{\text{кж}2} \vec{e}_{\text{кж}2} + \dots + \theta_{\text{кж}n} \vec{e}_{\text{кж}n} \quad (3)$$

не равно нулю.

Если представить изменения $\theta_{\text{ж}}$, $\theta_{\text{кж}1}$, $\theta_{\text{кж}2}, \dots, \theta_{\text{кж}n}$ в виде циклически повторяющегося отрезка $0, \dots, 2\pi$, то порождающая матрица будет представлять собой многомерный массив, состоящий из конечного набора следов вида:

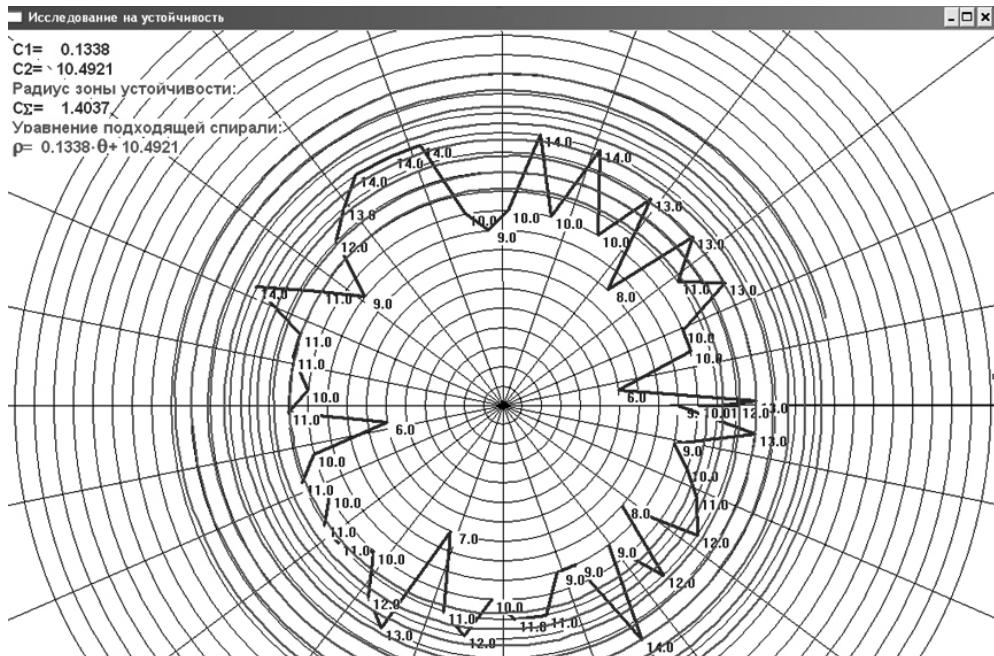


Рис. 3. Расположение векторов на плоскости в полярной системе отсчёта $r\theta$ с неравномерным исчислением угла θ

$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{c|c}
 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \hline
 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \hline
 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \hline
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline
 0 & 0 & 0 & \dots & 1
 \end{array} \quad \begin{array}{l}
 \theta_{ж} = 0 \\ \theta_{кж1} = 0 \\ \theta_{кж2} = 0 \\ \dots \\ \theta_{кжn} = 0
 \end{array} \\
 1-\text{й срез} \\
 \\
 \begin{array}{c|c}
 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \hline
 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \hline
 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \hline
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline
 0 & 0 & 0 & \dots & 1
 \end{array} \quad \begin{array}{l}
 \theta_{ж} = \pi/64 \\ \theta_{кж1} = \pi/64 \\ \theta_{кж2} = \pi/64 \\ \dots \\ \theta_{кжn} = \pi/64
 \end{array} \\
 2-\text{й срез} \\
 \\
 \dots \text{ срез} \quad \|\dots\|. \quad (4)
 \end{array}$$

Количество срезов определяется числом уровней дискретизации угловых координат $\theta_{ж}, \theta_{кж1}, \theta_{кж2}, \dots, \theta_{кжn}$, так как функция $\theta_{ж} + \theta_{кж1} + \theta_{кж2} + \dots + \theta_{кжn}$ является кусочно-непрерывной, т. е. имеет особые точки (точки разрыва 2-го рода).

Число отрезков (зон аналитичности) будет конечным, соответственно конечным будет и число рассматриваемых срезов порождающей матрицы G . Векторы, принадлежащие матрице G , линейно независимые. Если пронумеровать векторы каждого среза порождающей матрицы сверху вниз в порядке возрастания номеров, то можно представить возможные комбинации входящих в полный набор векторов, входящих в срезы, как сложение векторов с определённым номером в каждом срезе. Это многомерное представление полного набора возможных разложений (3).

Теорема. Порождающая матрица G , образующаяся максимальным набором линейно независимых векторов и являющаяся представлением оригинала вида $g(\alpha, \beta) = Me^{\chi t}$ в задаче $g(\alpha, \beta) = f(r, \theta)$, где $\theta(t)$ – произвольная функция, для которой можно найти подвижный базис линейно независимых векторов $\theta_{ж}, \theta_{кж1}, \theta_{кж2}, \dots, \theta_{кжn}$, является порождающей матрицей линейного группового кода.

Доказательство. Используем рассуждения, что по определению оригинала функция $g(\alpha, \beta) = Me^{\chi t}$ при дифференцировании существенно не меняет свою форму, т. е.

$$\begin{aligned}
 \frac{dg(\alpha, \beta)}{dt} &= (Me^{\chi t})' = M\chi e^{\chi t}; \\
 \frac{d^2g(\alpha, \beta)}{dt^2} &= (Me^{\chi t})'' = M\chi^2 e^{\chi t}.
 \end{aligned}$$

Соответственно и правая функция в задаче $g(\alpha, \beta) = f(r, \theta)$ также имеет вид в производных:

$$\begin{aligned}
 \frac{df(r, \theta)}{dt} &= M\chi e^{\chi t}, \\
 \frac{d^2f(r, \theta)}{dt^2} &= M\chi^2 e^{\chi t}.
 \end{aligned}$$

Таким образом число M представим как $0\ 0\ 1_2$, $M\chi$ – как $0\ 1\ 0_2$, а $M\chi^2$ – как $1\ 0\ 0_2$.

Матрица $\begin{vmatrix} M\chi^2 \\ M\chi \\ M \end{vmatrix}$ записывается как порождающая матрица линейного группового кода

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (5)$$

В выражении (5) представлена порождающая матрица, элементами которой являются коэффициенты в выражениях функций $g(\alpha, \beta)$, $g'(\alpha, \beta)$, $g''(\alpha, \beta)$. Каждый коэффициент соответствует определённому разряду и имеет определённый вес, соответствует определённому классу дифференцируемых функций.

В задаче $Me^{\chi t} = f(r, \theta_{jk} + \theta_{kj1} + \theta_{kj2} + \dots + \theta_{kjn})$ находим

$$\bar{r} = \bar{e}_r r = \bar{e}_r Me^{\chi t} = \theta_{jk} \bar{e}_{jk} + \theta_{kj1} \bar{e}_{kj1} + \theta_{kj2} \bar{e}_{kj2} + \dots + \theta_{kjn} \bar{e}_{kjn}. \quad (6)$$

Модуль вектора в левой части определяется по формуле

$$Me^{\chi t} = \sqrt{\theta_{jk}^2 + \theta_{kj1}^2 + \theta_{kj2}^2 + \dots + \theta_{kjn}^2}.$$

Таким образом, теорема доказана.

В соответствии с доказанной выше теоремой скаляр $Me^{\chi t}$ можно представить подвижным базисом линейно независимых векторов $\{\bar{e}_{jk}, \bar{e}_{kj1}, \bar{e}_{kj2}, \dots, \bar{e}_{kjn}\}$ через скаляры $\theta_{jk}, \theta_{kj1}, \theta_{kj2}, \dots, \theta_{kjn}$. Числа скаляров определяются множеством представлений функции θ .

С учётом индексации столбцов порождающей матрицы (5) каждое разложение (6) можно представить в виде определённого среза порождаю-

щей матрицы (4). Порождающая матрица G имеет конечное число срезов, образуется максимальным набором линейно независимых векторов $\bar{e}_{jk}, \bar{e}_{kj1}, \bar{e}_{kj2}, \dots, \bar{e}_{kjn}\}$ и является представлением оригинала $g(\alpha, \beta) = Me^{\chi t}$ в задаче $g(\alpha, \beta) = f(r, \theta)$ со скалярами $\theta_{jk}, \theta_{kj1}, \theta_{kj2}, \dots, \theta_{kjn}$.

Для каждого среза и каждой комбинации числа скаляров $\theta_{jk}, \theta_{kj1}, \theta_{kj2}, \dots, \theta_{kjn}$ порождающая матрица G является порождающей матрицей линейного группового кода.

Выводы. Если в качестве представления d_{min} выбрать радиус движения точки, описывающей точку жидкости, совершающую вращение, то множество таких точек в цикле, располагаемых в соответствии с характером изменения угла θ , будет соответствовать траектории, описываемой линейно-групповым кодом G ненатурального кода G' , реализуемой в реальном процессе вращения жидкости, так как характер этого движения учитывается при исчислении угловой координаты θ .

Автоматическое регулирование реального процесса можно осуществлять в системе ненатуральных кодов с заданным d_{min} , равным r , изменением угловой скорости вращения и закона изменения θ , таким образом, чтобы обеспечить либо картину равномерного представления множества точек в полярной системе отсчёта, либо развитие процесса по спирали $r = C_1\theta + C_2$. Спираль подбирается по характеру движения на основе метода наименьших квадратов или других методов, минимизирующих некоторый квадратичный функционал, связывающий координаты r и θ .

Библиографические ссылки

- Прикладная теория цифровых автоматов / К.Г. Самофалов, А.Н. Романкевич, В.Н. Валуйский, Ю.С. Каневский, М.М. Пиневич. Киев: Вища шк., 1987. 375 с.
- Колемаев В.А., Калинина В.Н. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: ЮНИТИ-ДАНА. 2003. 352 с.

Вниманию авторов!

Требования к оформлению статей, присыляемых для публикации, можно найти на сайте www.mashin.ru

УДК 629.11.012.8

Б.В. Лушников, канд. техн. наук, доц.
(Курский государственный технический университет)
teormeh@inbox.ru

МЕТОД ВИБРОДИАГНОСТИКИ ДИССИПАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СУХОГО И ВЯЗКОГО ТРЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА ВИБРОГРАММ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Рассмотрен метод раздельного определения диссипативных параметров сухого кулонова и вязкого трения при их совместном действии на основе компьютерного анализа вибrogramм свободных колебаний. Алгоритм идентификации построен с использованием точного аналитического решения нелинейного дифференциального уравнения колебаний и метода демодуляции мгновенной амплитуды вибросигнала путём интегрального преобразования Гильберта.

Ключевые слова: компьютерная вибродиагностика, сухое и вязкое трение, вибrogramма свободных колебаний, преобразование Гильberta.

Dissipate parameters separate definition method for combined action of the dry Coulomb's friction and viscous friction from a computer analysis of the independent oscillations vibrorecord is considered. Identification algorithm is created with utilization of exact analytical decision for oscillations nonlinear differential equation and demodulation method of the vibrosignal instantaneous amplitude by Gilbert's integral transformation.

Key words: computer vibrodiagnostics, dry and viscous friction, independent oscillations vibrorecord, Gilbert's transformation.

Количественные значения параметров демпфирования механических систем с упруго-диссипативными элементами являются важными информативными признаками их технического состояния. Количественная идентификация диссипативных параметров колебательных систем необходима и при построении их математических моделей. Для упругих систем, которые при эксплуатации функционируют в окорезонансных режимах или непосредственно подвергаются резонансным колебаниям, изучение их демпфирующих свойств приобретает исключительно важное значение. Таким образом, разработка обоснованных методов определения диссипативных характеристик реальных упругих механических систем является актуальной задачей.

Большинство известных методов определения характеристик рассеяния энергии при колебаниях относятся к линейным системам с неупругим сопротивлением, пропорциональным первой степени скорости, или к линеаризованным системам с амплитудно-независимым относительным рассеянием энергии [1]. Одним из самых распространённых является метод свободных затухающих колебаний, который заключается в получении и регистрации вибrogramмы свободных колебаний исследуемой системы, по темпу убывания которых определяется величина линейного вязкого сопротивления.

Для возможности раздельного определения диссипативных параметров сухого кулонова и линейного вязкого трения при их совместном действии в колебательной системе предложен метод [2] свободных колебаний, заключающийся в регистрации любых трёх последовательных амплитуд отклонений системы от положения равновесия A_i , A_{i+1} , A_{i+2} , по которым определяют исковые параметры. Силу F сухого кулонова трения рассчитывают по формуле

$$F = C \frac{A_{i+1}^2 + A_i A_{i+2}}{A_i - A_{i+2}}, \quad (1)$$

а коэффициент b линейного вязкого сопротивления — по формуле

$$b = \frac{4M}{T} \ln\left(\frac{A_i - A_{i+1}}{A_{i+1} - A_{i+2}}\right), \quad (2)$$

где C — жёсткость колебательной системы, Н/м; M — приведённая масса системы, кг; T — условный период свободных колебаний системы, с.

Для повышения точности идентификации диссипативных параметров можно использовать метод [3] построения (демодуляции) мгновенной амплитуды (огибающей) затухающего вибросигнала путём применения интегрального преобра-

зования Гильберта. Это позволяет получить мгновенные характеристики в каждой точке затухающего процесса колебаний, число которых существенно больше числа пиковых точек.

Однако указанный метод не обеспечивает возможности раздельного определения диссипативных параметров сухого и вязкого трения при их совместном действии. В нём лишь используются хорошо известные из теории колебаний особенности убывания последовательных максимальных отклонений (условных амплитуд) при свободных затухающих колебаниях.

В системе с линейно-вязким сопротивлением амплитуды убывают по экспоненциальному закону и составляют геометрическую прогрессию со знаменателем

$$q = \frac{A_i}{A_{i+1}} = e^{nT},$$

где $T = \frac{2\pi}{\sqrt{p^2 - n^2}}$ – условный период свободных колебаний; $p = \sqrt{\frac{C}{M}}$ – собственная частота консервативной системы; $n = \frac{b}{2M}$ – коэффициент линейно-вязкого затухания.

В системе с сухим кулоновым трением амплитуды убывают по линейному закону и представляют собой арифметическую прогрессию с разностью

$$2a = A_i - A_{i+1},$$

где $a = \frac{F}{C}$ – параметр сухого трения.

При совместном действии диссипативных сил сухого и вязкого трения убывание последовательных полуразмахов виброграммы свободных колебаний происходит по сложному закону, отличному от арифметической или геометрической прогрессии.

Для установления закономерности поведения функции мгновенной амплитуды и функции огибающей для системы с сухим и вязким трением, свободные колебания которой описываются уравнением

$$M\ddot{X} + b\dot{X} + CX + F\text{sign}\dot{X} = 0, \quad (3)$$

где $\text{sign}\dot{X} = \dot{X}/|\dot{X}|$ – сигнатурная функция,

используем метод поэтапного припасовывания аналитических решений на отдельных полупериодах колебаний при $\dot{X} > 0$ и $\dot{X} < 0$.

Решение уравнения (3), полученное данным методом, имеет вид

$$X(t, m) = \sum_{m=0}^m \left(\frac{\pi m}{\sqrt{p^2 - n^2}} \leq t \leq \frac{\pi(m+1)}{\sqrt{p^2 - n^2}} \right) \times$$

$$\times \left[A_0 - a \left(1 + (m > 0) 2 \sum_{k=1}^m e^{\frac{k\pi}{\sqrt{p^2 - n^2}}} \right) \right] \times$$

$$\times \frac{p}{\sqrt{p^2 - n^2}} \cos \left[(\sqrt{p^2 - n^2})t + \alpha \right] e^{-nt} + (-1)^m a,$$

где t – время, с; A_0 – начальное максимальное отклонение системы от положения равновесия, м; m – число полупериодов, для которых ведётся расчёт виброграммы; $k=1, 2, \dots, m$ – счётчик дискретных значений.

Выражение для дискретных значений мгновенных амплитуд затухающих колебаний такой системы имеет вид

$$A_i = (i=0) A_0 + (i>0) \left[A_0 e^{-in\Delta t} - \frac{2a}{N} \left[1 + \right. \right. \\ \left. \left. + [(i-1)>0] 2 \sum_{k=1}^{i-1} e^{-kn\Delta t} + e^{-in\Delta t} \right] \right],$$

где i – счётчик дискретных значений; N – число измерений на условном периоде колебаний; ϵ – интервал времени между измерениями.

На рис. 1 представлены виброграмма свободных затухающих колебаний системы при совместном действии диссипативных сил линейно-вязкого и сухого кулонова трения и график мгновенных амплитуд $A_i = f(t_i)$.

Теперь, используя аналитическое выражение для закона изменения функции мгновенной амплитуды и экспериментальные результаты, обработанные с применением интегрального преобразования Гильберта [3], можно построить алгоритм определения диссипативных параметров сухого и вязкого трения.

Применяя методику «трёх амплитуд», аналогичную выражениям (1) и (2), а также учитывая достоинства метода построения функции мгновенной амплитуды, получим следующие выражения для идентификации диссипативных параметров сухого трения a и вязкого сопротивления n :

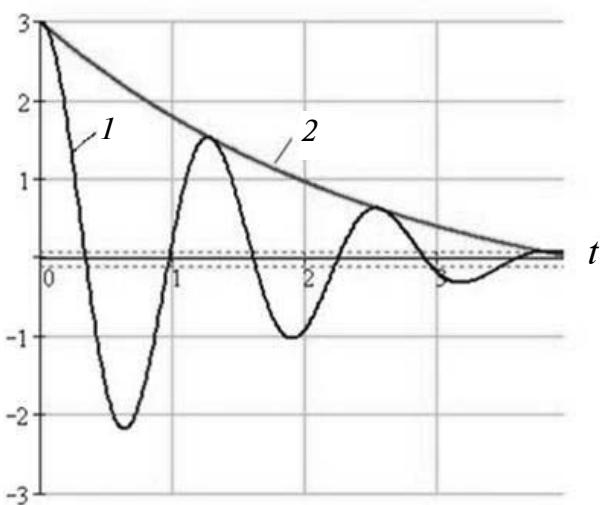


Рис. 1. Виброграмма (1) свободных затухающих колебаний системы $X=f(t)$ при совместном действии диссипативных сил линейно-вязкого и сухого кулонова трения и кривая (2) функции мгновенных амплитуд $A_i=f(t_i)$ ($a=0,1$; $n=0,38$)

$$a_j = \frac{N}{2} (A_{j+k}^2 - A_j A_{j+2k}) / \{A_j - A_{j+2k} + [(k-1) > 0] 2 \sum_{m=1}^{k-1} (A_{j+k} - A_{j+2k})^{\frac{m}{k}} (A_j - A_{j+k})^{\frac{k-m}{k}}\}; \quad (4)$$

$$n_j = \frac{N}{Tk} \ln \left(\frac{A_j - A_{j+k}}{A_{j+k} - A_{j+2k}} \right), \quad (5)$$

где $j = 0, \dots, (2mN - 2k)$ — счётчик количества расчётов; k — шаг между используемыми амплитудами; N — число измерений на каждом периоде; m — число рассматриваемых полупериодов; T — условный период затухающих колебаний.

На рис. 2 приведены идентифицированные значения диссипативных параметров сухого a_j и вязкого n_j трения для $j = 0, \dots, 70$, а на рис. 3 и 4 — зависимости восстановленных сил сухого трения от виброскорости и вязкого сопротивления соответственно.

Преимущества предлагаемого метода заключаются в следующем:

100%-я точность решающего алгоритма, обусловленная точным аналитическим решением нелинейного дифференциального уравнения. Результатирующая точность идентификации искомых параметров будет определяться погрешностями регистрации и измерения тех величин, которые входят в выражения (4) и (5);

возможность получения целого массива значений искомых диссипативных параметров, что позволяет производить статистическую обработку результатов или исследовать поведение этих параметров в зависимости от других (изменение во времени, зависимость от скорости, координаты и др.);

возможность управления процессом идентификации за счёт варьирования шага k , что обес-

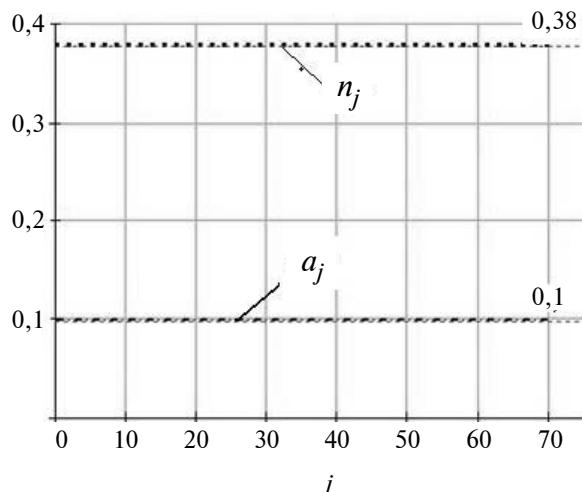


Рис. 2. Зависимость идентифицируемых параметров сухого a_j и вязкого n_j трения для $j = 0, \dots, 70$ ($a = 0,1$; $n = 0,38$)

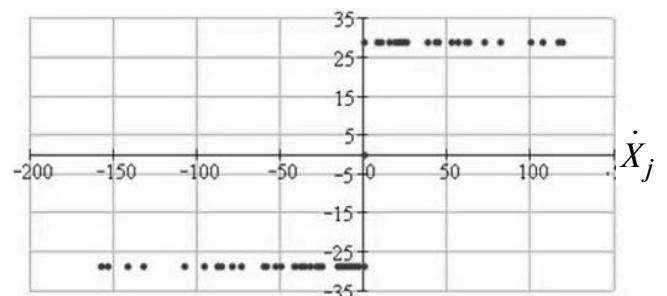


Рис. 3. Восстановленный закон изменения силы сухого трения в зависимости от виброскорости

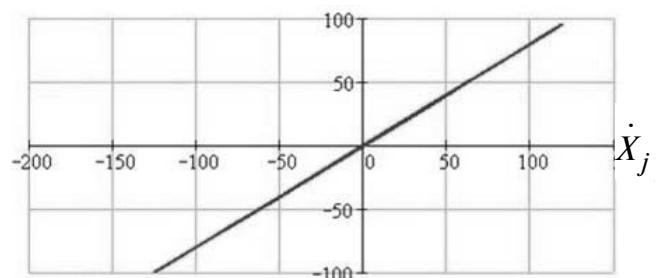


Рис. 4. Восстановленный закон изменения силы вязкого сопротивления

печивает достижение наибольшей чувствительности и точности;

возможность автоматизации процедуры идентификации за счёт дискретности, которая заложена в алгоритм, и применения ЭВМ.

Предварительное тестирование рассмотренного метода идентификации диссипативных параметров сухого и вязкого трения в колебательной системе подтверждает указанные достоинства и показывает, что он позволяет полнее и многостороннее исследовать процессы диссипации энергии при колебаниях и осуществлять диагностику динамических систем.

Работа выполнена при поддержке гранта КурскГТУ 1.77.09П/12.

Библиографические ссылки

1. Писаренко Г.С., Матвеев В.В., Яковлев А.П. Методы определения характеристик демпфирования колебаний упругих систем. Киев: Наукова думка, 1976. 86 с.

2. А. с. 1467455, МКИ G 01 N 19/02. Способ определения силы сухого трения и коэффициента вязкого трения в колебательной системе / Б.В. Лушников, С.Л. Цыфанский, М.А. Магоне. Рижский политехн. ин-т; №4232321/25-28; заявл. 20.04.87; опубл. 23.03.89. Бюл. № 8.

3. Добрынин С.А., Фельдман М.С., Фирсов Г.И. Методы автоматизированного исследования вибрации машин. М.: Машиностроение, 1987. 224 с.



ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА: справочник (Библиотека инструментальщика)

A.P. Маслов

320 с.: ил. ISBN: 978-5-217-03439-0

Цена 550 р.

Приведены справочные сведения о прогрессивной технологической оснастке: приспособлениях для крепления и регулировки сверл, метчиков, фрез, разверток и другого металорежущего инструмента. Обобщены сведения из государственных и зарубежных стандартов, представлены достижения рационализаторов и изобретателей, зарубежные патенты и другие источники, апробированные в производственных условиях.

Рассмотрены конструкции приспособлений, вспомогательного инструмента и специального режущего инструмента для высокоскоростной и высокопроизводительной обработки на станках с ЧПУ. Даны сведения о приспособлениях для подачи смазывающе-охлаждающих технических сред в зону резания.

3-е издание (2-е изд. 2002 г.) исправлено и дополнено сведениями из новых государственных и зарубежных стандартов, а также описанием приспособлений, разработанных за период 2002–2007 гг.

Предназначен для технологов и конструкторов машиностроительных предприятий, может быть использован студентами технических университетов для курсового проектирования.



ЭНЦИКЛОПЕДИЯ "МАШИНОСТРОЕНИЕ" ТОМ IV-23. "ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ". П.С. Анисимов, В.А. Винокуров, В.И. Воробьев и др.

Под ред. Б.А. Левина, П.С. Анисимова

2008. – 656 с.: ил ISBN: 978-5-217-03384-3

Цена 1000 р.

Приведены особенности проектирования и конструкций подвижного состава железных дорог мира: тепловозов, электровозов, электропоездов различных типов, перспективных локомотивов, грузовых и пассажирских вагонов, их несущих конструкций, ходовых частей, тормозов, тягового и электрического оборудования, систем управления, транспортных систем с магнитным подвешиванием и линейным электроприводом.

Рассмотрены тенденции и перспективы развития железнодорожного транспорта, в том числе высокоскоростного.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Строгинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU



УДК 004.421

П.В. Нестеров, Б.Д. Шашков, канд. техн. наук, проф.

(Пензенский государственный университет)

parallaXis2004@yandex.ru

АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ, ХРАНЕНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА

Рассмотрены приёмы сокращения размерностей многомерного пространства, характеризующего состояние объекта, компактного представления образа объекта в виде набора датированных «снимков», а также приёмы отбора и обновления снимков, которые обеспечивают компактное и достаточно детальное описание объекта в историческом плане.

Ключевые слова: мониторинг состояния строительного объекта, датчики, алгоритмы, кластеризация.

Methods for dimensions shortening of the multidimensional space that defines object state, methods for object compact presentation as dated “pictures” set and methods for pictures selection and renovation, which provide compact and sufficiently detailed object description in historical plane are considered.

Key words: structural health monitoring, sensors, algorithms, clustering.

Введение. Современное строительство характеризуется высокими темпами производства работ и большими объёмами возводимых зданий и сооружений. Строительная индустрия стала широко использовать решения, полученные с помощью компьютерных моделей, изобилующих допущениями и упрощениями. Активно внедряются инновационные технологии, нестандартные конструкции, новые облегчённые материалы. Однако принимаемые в расчётах допущения зачастую не учитывают разброс характеристик применяемых материалов, темпов старения компонентов, а также возможные изменения геологического пространства фундаментов (последствия паводков, землетрясений, утечек из систем городской инфраструктуры). По оценке некоторых специалистов годовой ущерб от разрушений строительных объектов оценивается в 60 млрд долл. [1]. Необходимость постоянного наблюдения за значимыми строительными объектами (мосты, высотные здания, спортивные сооружения и др.) (табл. 1), становится актуальной [2]. За рубежом такой мониторинг получил название «Наблюдение за здоровьем конструкций» (SHM, Structural Health Monitoring).

Задачи системы мониторинга. Система мониторинга (СМ) строительного объекта должна решать следующие задачи:

обнаружение аномальных изменений в объекте;
локализация повреждений объекта;

оценка уровня повреждений;

оценка продолжительности жизни объекта.

Обнаружение аномалий в объекте является наиболее ответственным моментом [3], так как их объём и динамика развития определяют затраты на ремонт или восстановление конструкций. Если же мониторинг вызвал ложную тревогу (false positive), то за этим последуют не только затраты, но и дискредитация системы наблюдений, сопровождающаяся снижением бдительности и возрастанием вероятности не заметить по-настоящему тревожные явления (false negative).

Роль датчиков в СМ. В таких системах используются различные инструменты неразрушающего контроля: датчики деформаций, наклона, вибрации, давления; ультразвуковые локаторы; анемометры и устройства глобального позиционирования (GPS). Эту сложную и дорогую сеть в последнее время пытаются заменить системами вибрационного контроля, использующего глобальные характеристики объекта: резонансные частоты, моды колебаний, уровень демпфирования. При таком подходе можно сэкономить на дорогостоящих датчиках и объёмах производимых вычислений, однако на практике выявлены существенные недостатки такой «экономичной» сети. Изменения условий эксплуатации (оперативной нагрузки, температуры, ветровой и снежной нагрузок и т. п.) влияют на вибрационные характеристики «здорового» объекта, провоци-

Таблица 1

Ключевые гражданские строительные объекты, подлежащие наблюдению

Системы, подлежащие наблюдению	Угрожающие факторы
Подвесные мосты	Перегрузка, коррозия, усталость, вибрация при воздействии ветра и дождя, землетрясение, намеренные повреждения, разрыв кабелей, неравномерная загрузка кабелей
Высотные стальные конструкции, купольные строения с большими пролётами, здания атомных электростанций	Перегрузка, коррозия, ветер, дождь, землетрясение, намеренные повреждения
Конструкции морских платформ	Коррозия, усталость, ветер, лёд, волны, течения, намеренные повреждения
Многопролётные железобетонные мосты	Растягивание от сдвига, перегрузка, потеря преднатянутого состояния, коррозия, землетрясение, намеренные повреждения
Системы жизнеобеспечения строительных объектов	Утечки, коррозия, ветер, землетрясение, намеренные повреждения

рут ложные тревоги, маскируют аномальные изменения в состоянии объекта. Чтобы учесть внешние воздействия, приходится существенно расширять СМ. О том, насколько полной она должна быть, можно судить по системам мониторинга крупнейших мостов Китая [4]. Например, мост Цзянинь (провинция Цзянсу) оснащен 1400 датчиками 10 типов [4].

Следует также учесть, что из-за несовершенства датчиков внешние воздействия могут вносить существенный вклад в показания датчиков и исказять представление о состоянии объекта. Например, изменения температуры существенно влияют на показания оптоволоконных датчиков деформации FBG (решетка Брэгга). Чтобы компенсировать эти изменения, приходится параллельно с FBG укладывать одномодовые волокна, реализующие отражатель Бриллюэна (B-OTDR). Такие датчики в ненапряжённом состоянии могут использоваться в качестве датчиков температуры. Пример такого агрегирования датчиков можно встретить в подвеске моста Сутонг (провинция Цзянсу, Китай) [4].

Требования к СМ. Использование в СМ массивной сети разнотипных датчиков, зачастую далеких от совершенства, к тому же малодоступных для проведения поверок и ремонта, заставляет строить сложную систему сбора, обработки и анализа данных (рис. 1).

Особенности проектирования СМ. Для сокращения объёма обрабатываемых и хранимых данных в качестве характеристик состояния объекта (features) используют агрегированные («сплавленные», fused) показания нескольких датчиков. Основанием для агрегирования могут служить функциональные связи, выявленные при моделировании конструкций объекта, корреляционные

связи, зафиксированные в процессе наблюдений за поведением объекта и др. Целью агрегирования является сокращение размерностей в многомерном пространстве данных мониторинга. Известные приёмы сокращения размерностей – PCA (Principal Component Analysis)[5], MDS (Multidimensional Scaling) [6], SOM (Self Organizing Maps) [7]. Однако формируемые этими методами результаты плохо интерпретируются и практически недоступны для направленного интерактивного воздействия. Заслуживает внимания разработанный в Вустерском политехническом институте (США) алгоритм визуального интерактивного сокращения размерностей VHDR (Visual Hierarchical Dimension Reduction) [8], который после соответствующей переработки может быть использован в процессе проектирования СМ как средство визуальной интерпретации связей между источниками данных. Такой инструмент позволит агрегировать источники данных, используя знания об особенностях СМ.

Из-за технического несовершенства датчиков в их показаниях имеются шумовые составляющие, поэтому поступающие в систему данные должны восприниматься в статистическом плане. Так как параметры распределений сигналов заранее не известны, то следует стремиться к использованию универсальных оценок, получаемых, например, в виде декомпозиции вейвлетов (wavelets decomposition) [9, 10] или иерархии кластеров [11], формируемых в результате «промывки» данных мониторинга объекта.

История объекта нужна для выявления изменений в его состоянии и обучения СМ. История объекта может быть представлена в виде датированных «снимков» – записей в базе данных, содержащих статистические оценки текущего со-

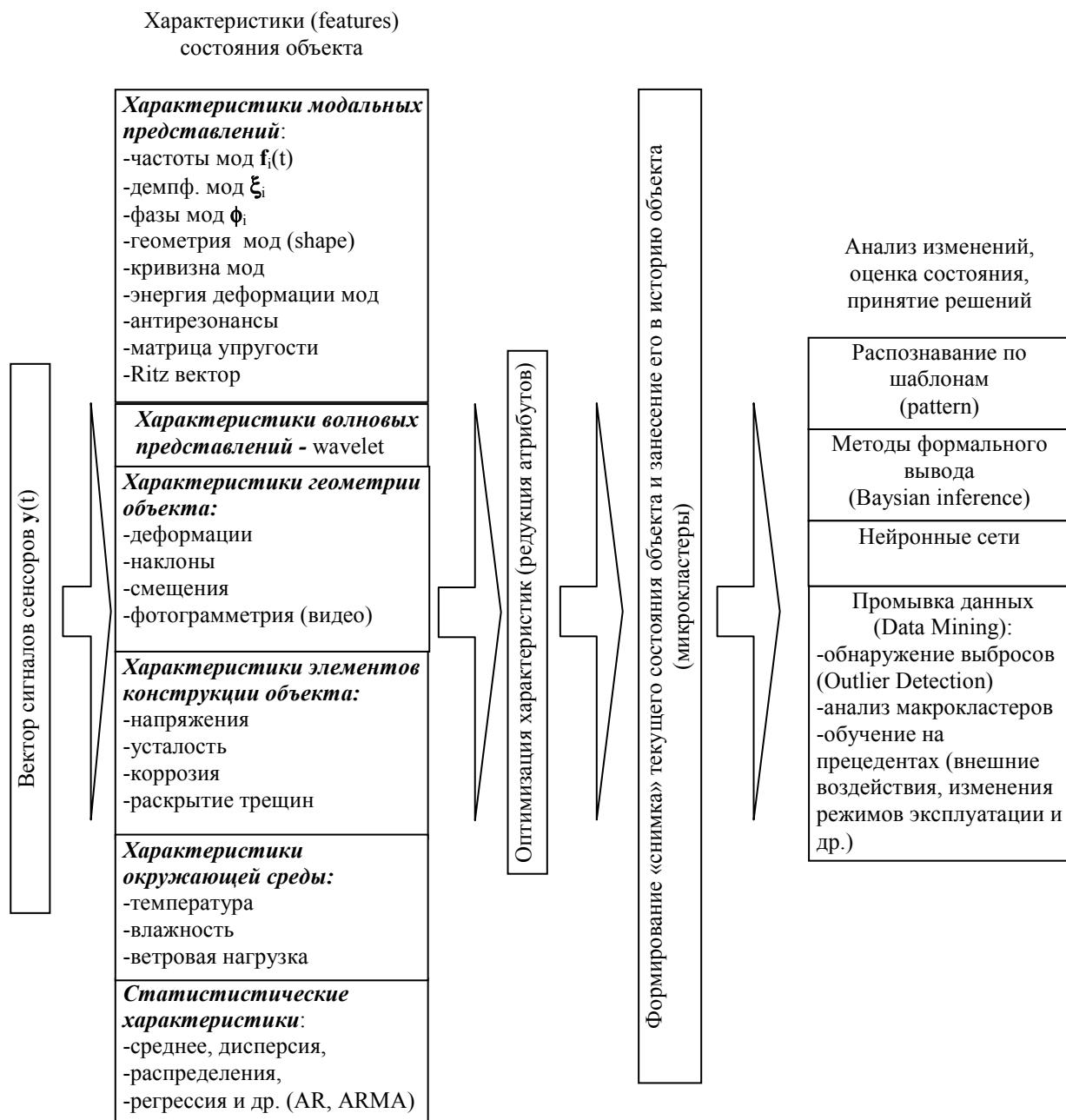


Рис. 1. Обработка данных в СМ

стояния объекта. Структура такой записи, например, может содержать микрокластеры, которые используются в алгоритмах CluStream и On-Demand-Stream-classifier фирмы IBM (США) [12, 13], если их модифицировать с учётом требований иерархической кластеризации.

В соответствии с задачей сжатия массива сохраняемых данных снимки можно собрать в «пирамиду» (pyramidal time frame), в которой поздние снимки чаще заселяют временную ось, чем ранние. Такой исторический план используется в алгоритмах «промывки» потоков данных фирмы IBM (США) [13].

Возможно дальнейшее сокращение количества хранимых снимков. Так, нецелесообразно хранить снимки, относящиеся к переходным процессам, связанным с быстрой сменой температуры окружающей среды. Объект и датчики не успевают за ходом температурного цикла. В простейшем случае можно отбирать снимки по минимуму вариации показаний датчиков в подобранном скользящем окне, однако возможна более тонкая процедура, в которой анализируется изменчивость микрокластеров, составляющих снимок. Это «промывка» на более высоком, глобальном уровне («макроанализ»).



Рис. 2. Датчики деформации в системе мониторинга спорткомплекса «Буртасы» (г. Пенза)

Рассмотрим подробнее основные алгоритмы и подпрограммы.

Программа DataViewer-SHM. Диспетчером и оболочкой для всего программного комплекса служит программа DataViewer-SHM, которая позволяет:

отображать таблично и графически в заданном временном интервале данные, запротоколированные системой GeotekSHM, что удобно для просмотра «сырых» данных;

делать стандартные статистические оценки как в фиксированном, так и в скользящем временном окне с целью определения участков наибольшей девиации показаний датчиков;

параметризовать и запускать программы, реализующие алгоритмы Snapshot-SHM, DimReduction-SHM, History-SHM, HistoryRefiner-SHM, SnapshotNovelty-SHM;

отображать иерархические структуры, полученные в результате «промывки» данных алгоритмом DataClustering-SHM, в виде круговых диаграмм, которые наглядно интерпретируют иерархию, эффективно используют графическое пространство, позволяют масштабировать, «раскрывать» интересующие секторы (ClusterRing-SHM).

Алгоритм Snapshot-SHM. В качестве характеристики текущего состояния объекта – «снимка» используется статистическая оценка в виде иерархии кластеров, полученных в результате «промывки» данных, поступающих с объекта и запротоколированных программой GeotekSHM. Кроме того, вектор текущего состояния объекта дополняется датой и параметрами внешнего воздействия (на данном этапе исследований – это температура окружающей среды).

Если от снимка к снимку происходят изменения в иерархии кластеров (появление «отшельников» – outliers, зарождение новых кластеров), то это является признаком изменений в состоянии объекта.

При разработке алгоритма Snapshot-SHM в качестве прототипа был использован алгоритм OnlineDataClustering Вустерского политехнического института (США) [14]. Алгоритм был переработан для решения задач СМ, когда данные поступают непрерывным потоком. В таких условиях «клusterный элемент» (Cluster Node) должен обеспечивать как восходящее, так нисходящее движение по дереву иерархии (рис. 3).

Псевдокод алгоритма Snapshot-SHM выглядит следующим образом.

Входные данные:

данные показаний датчиков состояния конструкции;

данные показаний датчиков температуры.

Выходные данные – снимки показаний датчиков.

Алгоритм:

1. Запустить процесс сбора данных.
2. Ожидать накопления количества данных, достаточного для формирования снимка.
3. Если данных достаточно, то
 - 3.1. Обработать данные алгоритмом **Data-Clustering-SHM** (100 итераций).
 - 3.2. Сформировать «снимок», содержащий иерархию кластеров, показания датчиков температуры на тот момент, и отметку времени.
 - 3.3. Сохранить снимок в базе данных.
 4. Переход на шаг 3.

Результаты «промывки» могут отображаться в виде круговой диаграммы, формируемой алгоритмом ClusterRing-SHM.

Алгоритм DimReduction-SHM. В системах мониторинга применяется большое количество датчиков (до нескольких сотен). Объём собираемых данных зависит также от частоты опроса датчиков и может быть весьма велик, что, в свою очередь, затрудняет интерпретацию таких данных. Тем не менее, многие датчики (например, установленные недалеко друг от друга) имеют схожие во времени показания. Целесообразно объединять

<i>ID</i> – уникальный идентификатор (целое число)	
<i>Radius</i> – радиус кластерного элемента	
<i>Data_Min1</i> – минимальное значение данных по размерности 1	<i>Data_Max1</i> – максимальное значение данных по размерности 1
...	...
<i>Data_MinN</i> – минимальное значение данных по размерности N	<i>Data_MaxN</i> – максимальное значение данных по размерности N
<i>Data1</i> – данные по размерности 0	
...	
<i>DataN</i> – данные по размерности N	
<i>Entries</i> – количество потомков	
<i>Parent</i> – идентификатор родительского элемента	
<i>Child1</i> – идентификатор первого потомка	
...	
<i>ChildE</i> – идентификатор последнего потомка, где $E = \text{Entries}$	

Рис. 3. Структура кластерного элемента

нить показания этих датчиков и записывать в базу данных их усреднённое значение. Для решения этой задачи были созданы программные средства DimReduction-SHM.

В качестве исходных данных выбирают показания датчиков за определенный момент времени (например, за неделю). Эти данные подвергают предварительной обработке по алгоритму Data-Clustering-SHM. Из полученной структуры выбирают кластеры небольшого размера, на основе которых и строят иерархию размерностей (иерархия датчиков). Эта иерархия выводится на экран в виде круговой диаграммы ClusterRing-SHM, на которой видно, какие датчики являются схожими и подлежат объединению. Также можно выбрать способ объединения (усреднение показаний либо использование показаний одного из объединяемых датчиков). Упрощённый вариант алгоритма можно представить следующим образом.

Входные данные – Recordset – список записей показаний датчиков.

Выходные данные:

DimClusterset – список кластерных элементов размерностей, выстроенных по иерархии.

RepresentativeDimList – список «представительских» размерностей, содержащий также информацию о способе объединения размерностей.

Алгоритм:

1. Обработать Recordset по алгоритму иерархической кластеризации, присвоив каждому датчику отдельную размерность. Результатом является иерархия Clusterset.

2. Формирование на основе Clusterset начального списка кластерных элементов размерностей *DimPointset*, не выстроенных по иерархии. Количество кластерных элементов равно количеству размерностей.

3. Обработать *DimPointset* по алгоритму кластеризации, аналогичному алгоритму **DataClustering-SHM**, при этом используется порог схожести размерностей *Threshold* = $N * 0.7$, где N – количество записей *Recordset*.

4. Сформировать по результатам работы алгоритма кластеризации список *DimClusterset*.

5. На основании выбранных пользователем кластеров сформировать список «представительских размерностей» *RepresentativeDimList* и зафиксировать способы объединения размерностей.

Пример использования приведённого алгоритма показан на рис. 4.

Алгоритм History-SHM. В соответствии с задачей сжатия массива сохраняемых данных моменты фиксации снимков должны образовать структуру, в которой поздние снимки плотнее покрывают временную ось, чем ранние. В этом случае можно воспользоваться логарифмической шкалой. Например, временные интервалы между снимками могут изменяться по закону:

$$\Delta t = \alpha^i,$$

где α – некоторое целое число, $\alpha \geq 1$, например $\alpha = 2$; i – порядок интервала между кадрами.

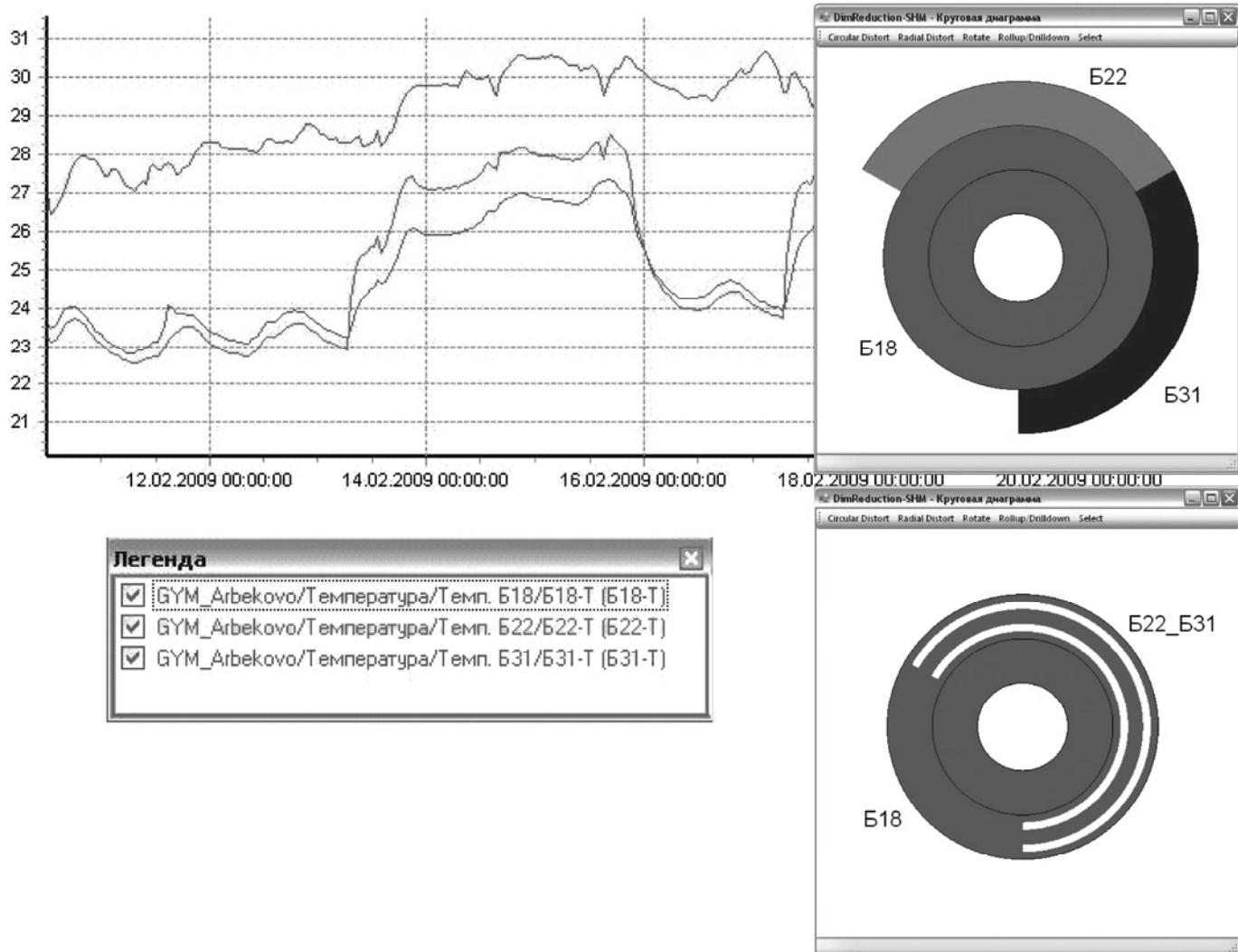


Рис. 4. Использование алгоритма DimReduction-SHM для устранения избыточности

Если интервал времени T от начала процесса «промывки» до текущего момента t_c выражен в интервалах тактового сигнала, то он будет населён снимками порядков от 0 до $\log_a(T)$.

Для устраниния избыточности можно ввести правило — сохранять только (α^m+1) последних снимков каждого порядка. В таком случае общее количество сохранённых снимков составит не более $(\alpha^m+1)\log_a(T)$. Для целей анализа важно знать, с какой точностью можно по снимкам аппроксимировать состояние объекта в интересующий момент времени. Наиболее разрежёнными являются интервалы в начале процесса. Ошибка аппроксимации здесь будет наибольшей. Оценки можно получить из следующих рассуждений:

среди сохраненных снимков найдутся снимки порядка r_i , которые удовлетворяют соотношению

$$\text{int}(\log_a T) - m = r_i,$$

где $\text{int}(\log_a T)$ — ближайшее большее целое.

Все вышесказанное означает, что интервал T разбит на α^m интервалов размером не более α^{r_i} тектовых интервалов, и максимальная погрешность при аппроксимации будет не более

$$\delta = 0,5(\alpha^{r_i} / T).$$

На рис. 5 приведены примеры пирамид.

Если выбрать $m = 10$, $\alpha = 2$, то можно с погрешностью 0,1 % аппроксимировать состояние объекта на интервалах в десятки лет. Например, для интервала 100 лет при тактовой частоте 1 Гц (частоте опроса датчиков) нужно хранить $(2^{10}+1)\log_2(100 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) = 32\,343$ кадров.

Можно заметить, что пирамиды (см. рис. 5) содержат повторяющиеся снимки:

кадры нулевого порядка, временные отметки которых кратны 2;

кадры первого порядка, временные отметки которых кратны 4;

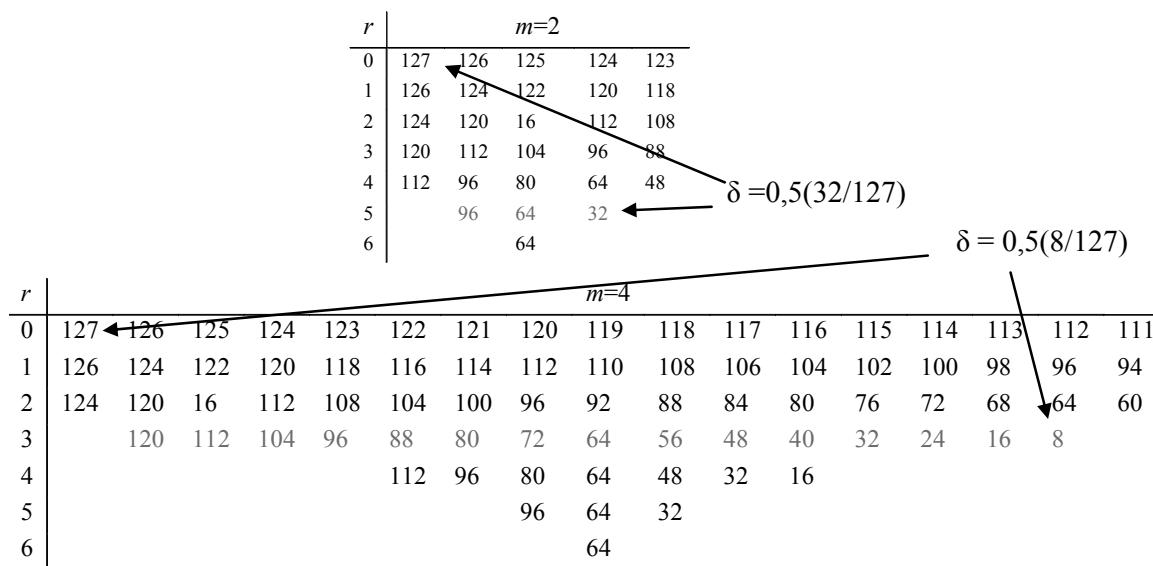


Рис. 5. Примеры хранения истории объекта в виде «пирамид» снимков

r	$m=2$				
0	127	126	125	124	123
1	126	124	122	120	118
2	124	120	16	112	108
3	120	112	104	96	88
4				112	96
5				96	64
6				64	

r	$m=4$																
0	127	126	125	124	123	122	121	120	119	118	117	116	115	114	113	112	111
1	126	124	122	120	118	116	114	112	110	108	106	104	102	100	98	96	94
2	124	120	116	112	108	104	100	96	92	88	84	80	76	72	68	64	60
3	120	112	104	96	88	80	72	64	56	48	40	32	24	16	8		
4					112	96	80	64	48	32	16						
5						96	64	32									
6							64										

Рис. 6. Устранение избыточности в пирамидальной структуре хранения снимков

кадры второго порядка, временные отметки которых кратны 8;

...

кадры порядка l , временные отметки которых кратны 2^{l+1} (см. рис. 6).

Сокращенные пирамиды на рис. 6 обусловливают иной подход к формированию истории объекта:

примем, что каждый снимок удалён по времени от начала процесса «промывки» на T тактовых интервалов и датируется величиной T ;

если $(T \bmod 2^i) = 0$, но $(T \bmod 2^{i+1}) \neq 0$, то снимок помещается в строку i структуры истории объекта;

каждая строка структуры должна содержать не более $(2^m + 1)$ снимков. Если строка переполняется, то из неё удаляются ранние снимки.

Таким образом, формируется структура истории объекта, получившая название «геометрическая». На рис. 7 приведены примеры геометрических структур.

Максимальная ошибка аппроксимации, которая относится к началу процесса, может быть получена из рассуждений, аналогичных для пирамидальных структур:

среди сохранённых найдутся снимки порядка ri , которые удовлетворяют соотношению

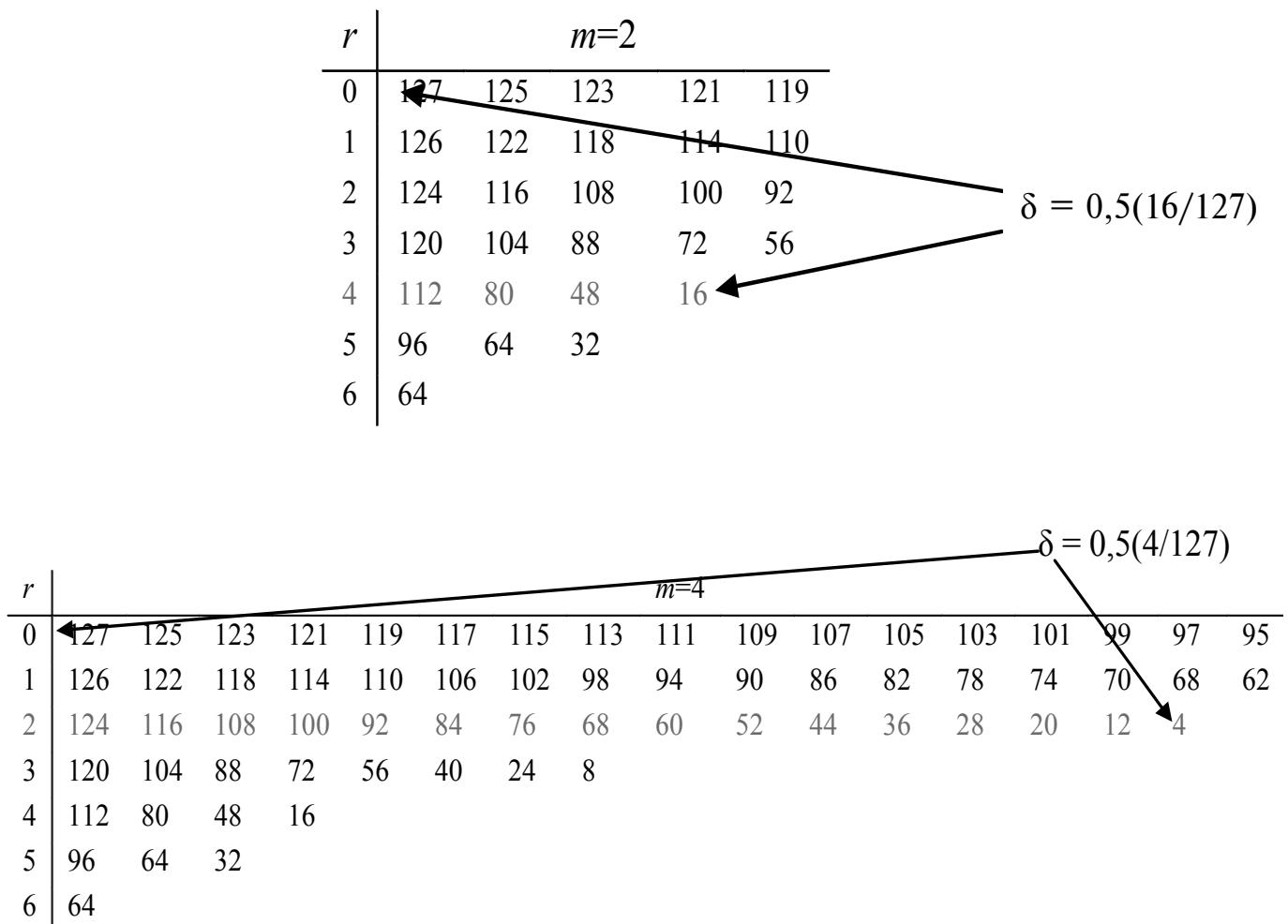


Рис. 7. Геометрические структуры хранения снимков

$$\text{int}(\log_a T) - (m + 1) = ri,$$

где $\text{int}(\log_a T)$ – ближайшее большее целое;

это означает, что интервал T разбит на am интервалов размером не более a^{ri} тактовых интервалов и максимальная погрешность при аппроксимации будет не более $\delta = 0,5(a^{ri}/T)$.

Примеры на рис. 7 свидетельствуют о том, что при одинаковых параметрах геометрическая структура удваивает детальность представления данных.

Алгоритм HistoryRefiner-SHM. Для дальнейшего сокращения количества хранимых снимков используется процедура, основанная на анализе изменчивости иерархии кластеров, составляющих снимок.

На рис. 8 показаны результаты обработки данных, полученных с четырёх датчиков деформации арки № 2 дворца спорта «Буртасы» в г. Пенза в период с 12.00 23.03.2009 по 9.00 26.03.2009. Изменения в показаниях датчиков происходят на

фоне температурных циклов, зафиксированных датчиком температуры. На графике стандартных отклонений и снимках из истории объекта имеются участки с различными градиентами температуры. Видна инерционность объекта. Стандартные отклонения для четырёх датчиков представлены обобщённо. Снимки истории объекта представлены круговыми диаграммами, отражающими иерархии кластеров. Изменения в поведении объекта фиксируются в изменениях иерархической структуры кластеров появлениям периферийных уровней, расщеплением кластеров, возникновением выбросов (outliers – «отшельников»).

Для обучения системы в истории объекта должны быть сохранены только те снимки, которые соответствуют интервалам установившейся температуры.

Заключение. На основании изученных методов обработки данных мониторинга строительных объектов предложено формировать модель «нор-

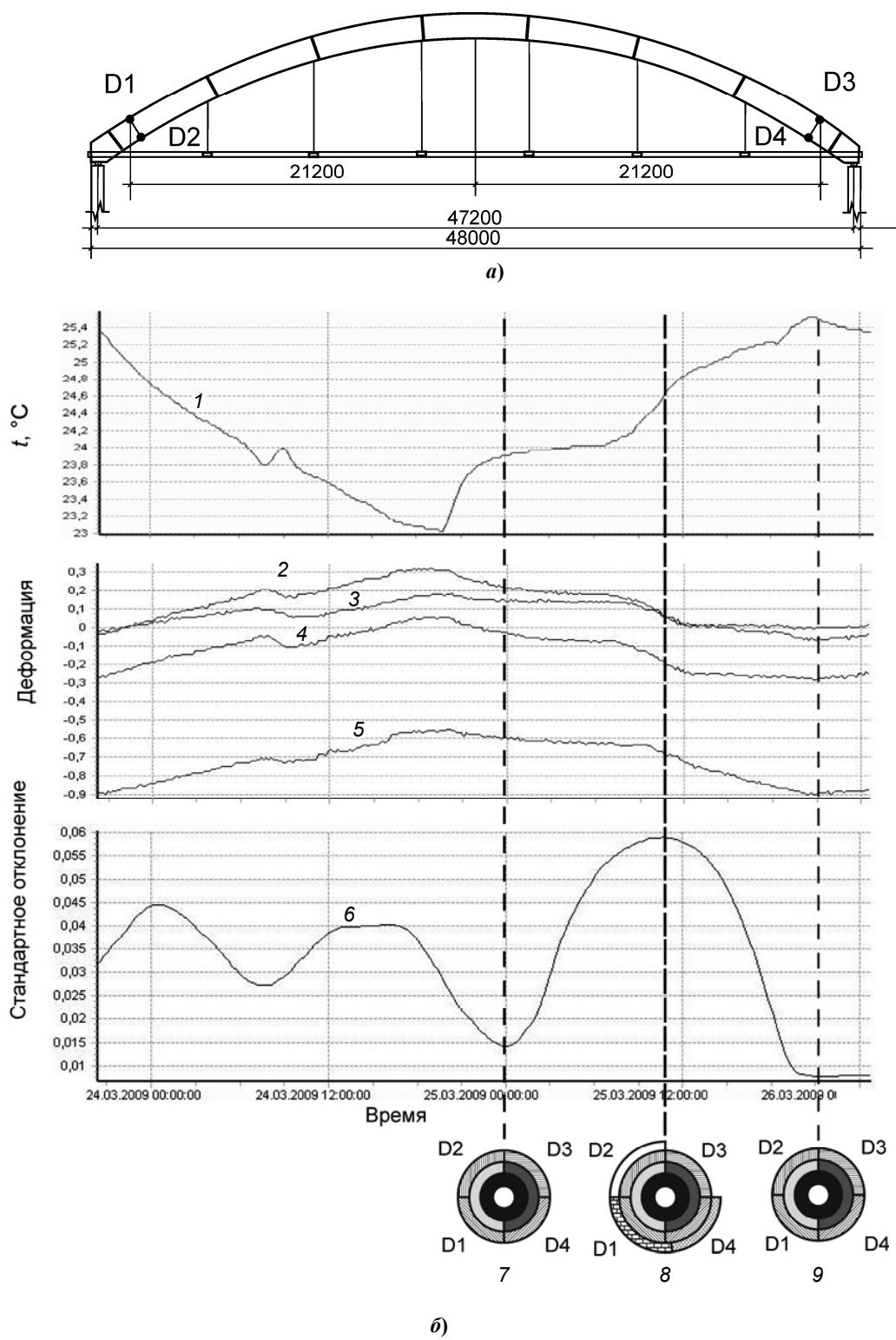


Рис. 8. Размещение датчиков на арке №2 дворца спорта «Буртасы» в г. Пенза (а) и формирование «снимков» состояния арки (б):

1 – показания датчика температуры; 2 – показания датчика деформации D1; 3 – показания датчика деформации D3; 4 – показания датчика деформации D2; 5 – показания датчика деформации D4; 6 – обобщённое стандартное отклонение датчиков; 7 – иерархия микрокластеров «снимка», сделанного до участка существенного изменения показаний датчиков; 8 – иерархия микрокластеров «снимка», сделанного во время существенного изменения показаний датчиков; 9 – иерархия микрокластеров «снимка», сделанного после существенного изменения показаний датчиков

мального» поведения объекта на фоне температурных циклов с использованием алгоритмов иерархической кластеризации. Созданная исследовательская программная платформа является инструментом оптимизации и «обкатки» алгоритмов обработки данных мониторинга строительного объекта.

Библиографические ссылки

1. **Farrar C.R., Lieven N.A.J., Bement M.T.** An introduction to damage prognosis // Damage Prognosis: For Aerospace, Civil and Mechanical Systems. San Francisco: Wiley, 2005. P. 5–16.
2. **Sensor** technology innovation for the advancement structural health monitoring: a strategic program of US-China research for next decade/ S.D. Glaser and others // Smart Structure and Systems. — Yuseong-gu Daejeon: TechnoPress, 2007. — №2. — P. 221–244.
3. **Worden, K., Manson G., Fieller N.R.J.** Damage detection using outlier analysis // Journal of Sound and Vibration. Amsterdam: Elsevier, 2000. № 229. P.647–667.
4. **Ko J.M., Ni Y.Q.** Technology developments in structural health monitoring of large-scale bridges // Engineering Structures. Amsterdam: Elsevier, 2005. V. 27, I. 12. P. 1715–1725.
5. **Jolliffe J.** Principal Component Analysis. New York: Springer-Verlag, 1986. 487 p.
6. **Mead A.** Review of the development of multidimensional scaling methods // The Statistician. San Francisco: Wiley, 1992. № 33. P. 27–39.
7. **Kohonen T.** Self-Organizing Maps. New York: Springer-Verlag, 1997. 378 p.
8. **Visual** Hierarchical Dimension Reduction for Exploration of High Dimensional Datasets / J. Yang and others // Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization. — Los Alamitos: IEEE Publications, 2003. — P. 19–28.
9. **Guha S., Harb B.** Wavelet Synopses for Data Streams: Minimizing Non-Euclidean Error // Proceedings of the ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery in data mining. New York: ACM Press, 2005. P. 88–97.
10. **Matias Y., Vitter J.S., Wang M.** Wavelet-based histograms for selectivity estimation // Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. New York: ACM Press, 1998. V. 27, I. 2. P. 448–459.
11. **Zhang T., Ramakrishnan R. Livny M.** BIRCH: An Efficient Data Clustering Method for Very Large Databases // Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. New York: ACM Press, 1996. P. 103–114.
12. **A Framework** for Clustering Evolving Data Streams / C. Aggarwal and others // Proceedings of the 29th international conference on Very large data bases. Berlin: VLDB Endowment, 2003. P. 81–92.
13. **Aggarwal C., Han J., Wang J. Yu P.** On-Demand Classification of Data Streams // Proceedings of the ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. New York: ACM Press, 2004. P. 503–508.
14. **Yang J., Ward M.O., Rundensteiner E.A.** InterRing: An Interactive Tool for Visually Navigating and Manipulating Hierachial Structures// Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization. Los Alamitos: IEEE Publications, 2002. P. 77–84.

СПРАВОЧНИК ИНСТРУМЕНТАЛЬЩИКА

Г.В. Боровский
С.Н. Григорьев
А.Р. Маслов



МАШИНОСТРОЕНИЕ

СПРАВОЧНИК ИНСТРУМЕНТАЛЬЩИКА

Г.В. Боровский, С.Н. Григорьев, А.Р. Маслов

464 с.: ил.

ISBN: 978-5-217-03389-8

Цена 363 р.

Помещены справочные данные, необходимые для конструирования и рациональной эксплуатации режущего и абразивно-алмазного инструмента. Приведены сведения о современных инструментальных материалах, режущих и вспомогательных инструментах, в том числе об инструментальной оснастке станков с ЧПУ, методах модификации рабочих поверхностей металлообрабатывающего инструмента, режимах термообработки, методах затачивания, контроля, маркировки, консервации и упаковки инструмента.

Предназначен для инженеров-конструкторов и технологов машиностроения, может быть полезен студентам технических университетов, обучающихся по специальности "Технология машиностроения, металлообрабатывающие станки и инструменты".

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Строгинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 536.21

И.Ф. Дьяков, д-р техн. наук, проф.

(Ульяновский государственный технический университет)

i.dyakov@ulstu.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТОРМОЗНОМ БАРАБАНЕ

Приведены результаты исследования напряжений в тормозном барабане под действием силовых и температурных нагрузок на основе использования метода конечных элементов. Предложена его формулировка как обобщение метода Бубнова–Галёркина для решения нелинейных краевых задач теплопроводности, зависящего от времени и температуры исследуемого объекта.

Ключевые слова: метод конечных элементов, теплопроводность, тормозной барабан, торможение.

There are given the results of investigation of stresses in a break drum under the action of power and temperature loads on the basis of using finite elements method. Its statement as generalization of the Bubnov–Galerkin method for solution of nonlinear boundary-value problems of heat conduction, which depend on the time and temperature of the investigated object, is offered.

Key words: finite elements method, heat conduction, break drum, braking.

Введение. Барабаны колёсных тормозов (автомобилей, самолётов, железнодорожных составов, землеройно-транспортных машин) подвергаются температурным и механическим нагрузкам со стороны тормозных колодок, без учёта которых невозможно правильно подобрать материал и геометрические характеристики для тормозной пары. Во время торможения кинетическая энергия движущихся и вращающихся масс в тормозах превращается в тепловую, расходуемую в основном на нагрев тормозных барабанов, дисков или колёс. При этом цилиндрическая часть тормозного барабана в отдельные периоды может нагреваться равномерно по всей длине и неравномерно по толщине. Наибольшие температурные напряжения возникают, когда равномерно нагрет весь тормозной барабан или когда нагрета только его внутренняя поверхность. При равномерном нагревании барабана по объёму его наружные края хорошо охлаждаются и температурные напряжения в нём не возникают. Но так как один край барабана закреплён с диском, то свободное расширение барабана невозможно и в нём возникают напряжения изгиба, растяжения и моменты от соответствующих сил.

Метод решения. В математической модели уравнения силовых и температурных нагрузок, действующих в барабане, взаимосвязаны и должны решаться совместно. Однако, когда скорости изменения температурных полей, полей напряжения и деформаций малы по сравнению со скоростью распространения звука в материале, система уравнений преобразуется в обычное уравнение нестационарной теплопроводности и в уравнения, описывающие упругое или упругопластическое пове-

дение барабана при заданном температурном поле.

При проектировании новых тормозных барабанов или дисков и проведении поверочных расчётов такие задачи обычно решаются с помощью численных методов, отличающихся друг от друга способом расчёта и точностью решения. В этом случае возникают трудности, которые усугубляются при анализе неизотермического нагружения. Поэтому целесообразна разработка единого подхода для определения температурных полей, напряжений и деформаций в элементах барабана. Для этой цели могут использоваться различные методы расчёта, а наиболее универсальным является метод конечных элементов (МКЭ). Для исследования прочности тормозного барабана достаточно ограничиться рассмотрением напряженно-деформированного состояния его наиболее нагруженной кольцевой части. Тогда при расчётах в случае режима длительного торможения (тормозной барабан равномерно нагрет и подвержен температурному воздействию) можно использовать МКЭ как обобщение метода Бубнова – Галёркина для решения нелинейных краевых задач теплопроводности. При этом теплофизические свойства и граничные условия зависят от времени и температуры.

Постановка краевой задачи теплопроводности. Пусть объём барабана заполняет в пространстве односвязную или многосвязную область D , ограниченную поверхностью

$$S = \bigcup_{r=1}^{n+1} S^r,$$

где r – начальная точка отсчёта поверхности; S^r – внешняя поверхность начального элемента; S^{n+1} – внешняя поверхность элементов многосвязной области барабана.

Распределение температуры T в конечном элементе, подверженном тепловому воздействию, за время t на длине x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) элемента определяется функцией $q(x_i, t)$ и описывается в общем случае нелинейной краевой задачей. Используя тензор теплопроводности $k_{ji}(x_i, T)$, который согласно известному принципу взаимности Онзагера симметричен, объёмную теплоёмкость $c(x_i, T)$, коэффициент теплоотдачи $\alpha(x_i, T)$ и интенсивность источника тепла $Q(x_i, T)$, распределение температуры в конечном элементе за промежуток времени t можно описать в общем виде нелинейной краевой задачей параболического типа

$$c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(k_{ji} \frac{\partial T}{\partial x_h} \right) + Q(x_i, t), \quad (1)$$

где c – удельная теплоёмкость материала; k_{ji} – коэффициент теплопроводности материала i -го элемента при j -м условии нагружения (температурном и силовом); x_h – длина элемента при толщине h .

Для решения выражения (1) представим исходную область D тормозного барабана в виде условий $x_i \in D$, $D_t = \{0 \leq t \leq \tau\}$ с зависящими от времени граничными условиями

$$k_{ji} \frac{\partial T}{\partial x_j} n_i + q(x_i, t) + \alpha(T_2 - T_1) = 0 \quad (2)$$

и начальным условием

$$T(x_i, t) = T(x_i) \text{ в области } D \text{ при } t = 0,$$

где n_i – число узлов i -го элемента; $q(x_i, t)$ – интенсивность теплового воздействия по длине элемента за время t ; $\alpha(T_2 - T_1)$ – коэффициент теплоотдачи в период торможения от внутренней поверхности барабана к наружной; $T(x_i, t)$ – оценка температурной погрешности дискретизации во времени по длине i -го элемента; $T(x_i)$ – распределение температуры по длине x_i элемента.

Из выражения (1), как частный случай, вытекает уравнение Пуассона для стационарной теплопроводности:

$$-\frac{\partial}{\partial x_j} \left(k_{jh} \frac{\partial T}{\partial x_h} \right) = Q \text{ в области } D, \quad (3)$$

где x_h – длина элемента толщиной h ; x_j – длина элемента толщиной h при j -м нагружении; k_{jh} – коэффициент теплопроводности материала по толщине элемента при j -м нагружении.

Из граничного условия (2) при соответствующем выборе величин q и α вытекает условие Дирихле или условие Коши. При значительном тепловом воздействии теплофизические свойства материала зависят от температуры, и уравнения (1) и (3) становятся нелинейными. Для решения соответствующих краевых задач при общих предположениях относительно формы области и условий температурного нагружения применяем МКЭ. При нестационарной теплопроводности по толщине h элемента барабана используем подпространство H_h , $H_h \in \omega(D)$, базисных функций специального вида, соответствующих вариационному методу Бубнова–Галёркина. Исходная область подпространства покрывается сеткой, составленной из совокупности v простых непересекающихся подобластей или конечных треугольных элементов Δ_i , так чтобы $D = \bigcup_{i=1}^v \Delta_i$. Выбор формы элемента определяется видом исходной области и требуемой точностью решения. Решение двумерных задач теплопроводности связано с использованием треугольных и четырёхугольных элементов, в том числе изопараметрических [1]. Для каждого конечного элемента распределение температуры $T(x_j, t)$ по его длине при j -м нагружении за время торможения t представим в виде выражения

$$T(x_j, t) \approx T_h(x_j, t) = N_j(x_j) \tilde{T}_j^h(t), \quad (4)$$

где $T_h(x_j, t)$ – изменение температуры элемента по толщине h и длине x_j за время торможения t (приближённое решение); $N_j(x_j)$ – так называемая функция формы или интерполяционная функция, обеспечивающая изменение температуры $T_h(x_j, t) \in \omega(D)$; величина $\tilde{T}_j^h(t)$ соответствует значению T_h для n -го узла Δ_i -го элемента при j -м нагружении за время t .

Выражения функций формы для целого ряда семейств треугольных и четырёхугольных элементов приведены в работе [2]. Приближённое решение по Галёркину можно получить с помощью уравнения (4). Сумма невязок уравнения (1) и граничные условия (2) обозначим соответственно

$$R_d = \tilde{L} T - Q \text{ и } R_s = \tilde{l} T - q,$$

где \tilde{L} и \tilde{l} – операторы в соотношениях (1) и (2), ортогональные ко всем векторам из подпространства H_h с весом $N_j(x_i)$.

Далее запишем выражение

$$\int_{\Delta_k} N_j R_d dD_h + \int_{S_h} N_j R_s dS_h = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n). \quad (5)$$

Уравнение (5) соответствует значению (Δ_i) для i -го элемента с учётом того, что функция $T_h(x_j, T)$ непрерывна на границе между элементами и удовлетворяет условиям (2) для тех узлов элемента, которые лежат на границе элементов в области D_h . Подставляя в выражение (5) вместо невязок их выражения из уравнений (1), (2) и применяя формулы Грина [3] к соответствующим величинам первого интеграла (5), после введения уравнения (4) получим выражение

$$\begin{aligned} & \int_{\Delta_l} \kappa_{ij} \frac{\partial N_i}{\partial x_i} \frac{\partial N_v}{\partial x_j} \tilde{T}_v(t) dD_t + \int_{\Delta_l} c N_i N_v \frac{\partial \tilde{T}_v(t)}{\partial t} dD_t - \\ & - \int_{\Delta_l} N_i Q(x_j, t) dD_t + \int_{S_i} \alpha N_i N_v \tilde{T}_v(t) dS_i - \\ & - \int_{S_i} [N_i q(x_i, t) + \alpha N_i T_i] dS_i = R_s \\ & (i, v=1, 2, \dots, n), \end{aligned} \quad (6)$$

где N_i – число однотипных конечных элементов; N_v – число элементов, входящих в совокупность v простых непересекающихся подобластей; $T_v(t)$ – распределение температуры в подпространстве простых непересекающихся областей; T_i – температура нагрева i -го элемента.

Объединив первый интеграл в уравнении (6) с четвёртым, а третий с пятым, обозначим их соответствующими буквами и представим в виде выражения

$$\sum_{i=1}^v \left\{ \int_{\Delta_i} k_{ij} \frac{\partial N_i}{\partial x_i} \frac{\partial N_v}{\partial x_j} dD_h + \int_{S_i} \alpha N_i N_v dS_h \right\}_h = [G_{iv}].$$

Остальные выражения в уравнении (6) представим в следующем виде:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^v \left\{ \int_{\Delta_i} N_i Q_i(x_i, t) dD_i + \int_{S_i} [N_i q(x_i, t) + \right. \\ & \left. + \alpha N_i T_i] dS_i \right\} = \{F_i\}; \\ & \sum_{i=1}^v \left\{ \int_{\Delta_i} c N_i N_v dD_k \right\} = [P_{iv}]. \end{aligned}$$

Суммируя по конечным элементам v , получим систему нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений по времени:

$$[G]\{\tilde{T}_h\} + [P]\left\{ \frac{\partial \tilde{T}_h}{\partial t} \right\} - \{F\} = 0. \quad (7)$$

В случае стационарной теплопроводности уравнение (7) будет иметь вид $[G]\{\tilde{T}_h\} - \{F\}$, которое представляет собой сеточный аналог уравнения (3). Так как это уравнение нелинейное, то для его решения необходимо использовать итерационный метод.

Система полученных нелинейных дифференциальных уравнений (7) может быть решена с использованием разностной схемы по временной координате [3]. В этом случае отрезок времени $(0, \tau)$ разбивается точками на интервалы $\Delta t = \tau/V$, где V – общее количество элементов. Принимается, что на каждом временном интервале значение $\{dT/dt\}$ меняется линейно. Наиболее удобной является дискретная схема Кранка–Никольсона [4], которая является центрированной. Если для k -й теплофизической точки временной интервал составит $(t_k+0,5)\Delta t$, то достигается второй порядок точности решения задачи по времени:

$$\{T\}_{t_k+1} = \{T\}_h + \frac{\Delta t}{2} \left(\left\{ \frac{\partial T}{\partial t} \right\}_{t_k+1} + \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} \right\}_h \right). \quad (8)$$

Выражение (8) является абсолютно устойчивым при $\Delta t > 0$, поэтому возможно использование больших шагов во времени, что крайне важно для определения температурных полей в элементах тормозного барабана или колеса. Полагая, что теплофизические свойства материала при повышении температуры меняются сравнительно медленно и принимая матрицы $[G]$ и $[P]$ постоянными на данном временном интервале Δt , запишем уравнение (8) для различных теплофизических точек k моментов времени t_k и t_{k+1} . Подставляя в первое полученное при этом уравнение значение $\{\partial T / \partial t\}_{t_k+1}$ из соотношения (8) и складывая его со вторым уравнением, получим окончательное матричное уравнение нестационарной теплопроводности:

$$\begin{aligned} & \left([G]_{k+1} + \frac{2}{\Delta t} [P]_{k+1} \right) \{\tilde{T}\}_{k+1} = \\ & = \left(-[G]_k + \frac{2}{\Delta t} [P]_k \right) \{\tilde{T}\}_k + \{F\}_{k+1} + \{F\}_k. \end{aligned} \quad (9)$$

Матрицы $[G]$ и $[P]$, зависящие от температуры нагрева тормозного барабана, можно вычислить

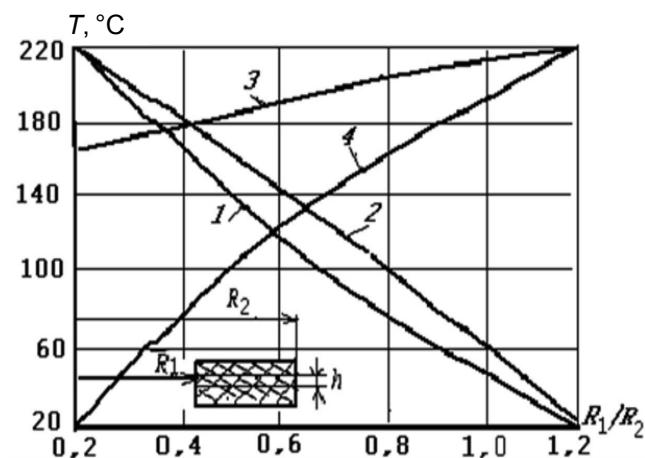


Рис. 1. Схема дискретизации и распределение температуры по толщине барабана при различных краевых условиях:

1, 2 – граничные условия первого рода; 3, 4 – при единичном тепловом потоке

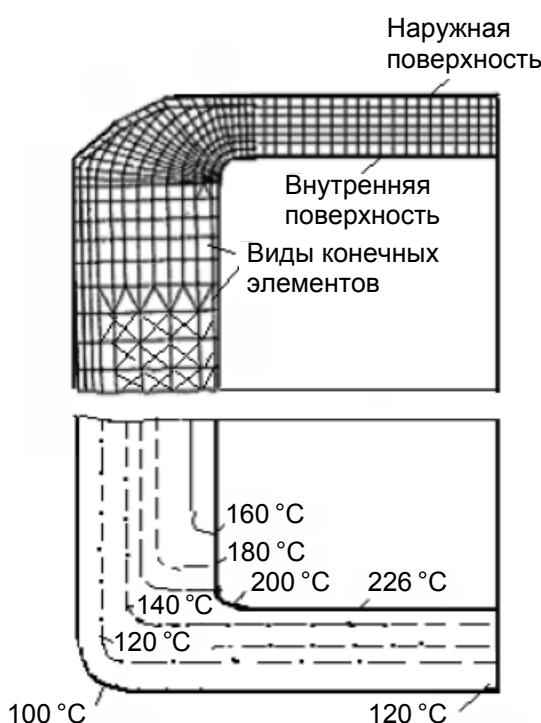


Рис. 2. Схема дискретизация барабана на конечные элементы и распределение температурных полей в режиме торможения

для каждого временного шага с использованием теплофизических свойств материала. Эта зависимость может быть представлена в функциональной форме, основанной на теории сплайновых функций [5]. Эффективные итерационные методы учёта нелинейности в уравнениях (9) рассмотрены в работе [3], их можно использовать при решении данной задачи.

Численные результаты. Для определения полей температур в тормозном барабане были учтены граничные условия и схемы дискретизации по пространству. Использовались уравнения (2) и (3) при стационарном нагреве тормозного барабана автомобиля УАЗ-3162Т. Отношение наружного радиуса барабана R_1 к внутреннему R_2 составило 1,2. Тормозная система – двухконтурная с гидравлическим приводом и вакуумным усилителем, передние тормоза – дисковые (вентилируемые), задние – барабанные.

На рис. 1 кривые 1 и 2 получены для граничных условий однородного барабана при идеальном тепловом контакте, отношении теплопроводностей внутренней и внешней стенки барабана, равном 1,5. Кривые 3 и 4 соответствуют случаю, когда на внутренней стенке барабана заданы единичный тепловой поток и конвекция с единичным коэффициентом теплоотдачи и нулевой температурой среды. На внешней поверхности в граничном условии первого рода были приняты следующие значения теплофизических констант материала барабана: $k = 0,1$ ккал/м·град; плотность $\rho = 7,74$ кг/м³; удельная теплоёмкость $c = 0,102$ ккал/(кг·град).

В связи с тем что выбранная схема дискретизации не позволяет соблюдать непрерывность тепловых потоков при переходе от одного элемента к другому, можно с использованием матрицы переноса вблизи границ элементов задать условия второго рода (условия Неймана). Погрешность может быть уменьшена путём измельчения сетки вблизи соответствующих границ и распределения изотерм, соответствующих 0,09 часа от начала расхолаживания.

Расчётная область была разбита на 150 конечных элементов и 525 узлов. На участке криволинейной поверхности для соблюдения требований плоскостности конечного элемента использовали треугольную и четырёхугольную форму (рис. 2). Скачкообразное изменение толщины стенок тормозного барабана учитывали при нанесении конечно-элементной сетки путём совмещения границ конечного элемента с границами перехода толщины стенок и задания конечного элемента переменной толщины. Следует отметить, что современные программные комплексы, реализующие МКЭ, позволяют автоматически генерировать сетку конечного элемента. Однако в большинстве случаев полученная таким образом сетка содержит неоправданно большое число конечных элементов и узлов. Это вполне приемлемо для решения статических задач, но не реализуемо при решении нелинейных краевых задач и задач оптимального проектирования на достаточно мощных доступных вычислительных средствах. Поэтому для решения была использована программа ANSYS в полуавтоматическом режиме.

Так как температура тормозного барабана распределена неравномерно по толщине его цилиндрической части, то максимальные напряжения возникают в средней части барабана (116,9 МПа), находящейся над ребром колодки. В остальной части конструкции возникают напряжения в пределах 64,2–85,6 МПа и она имеет высокую жёсткость. Причём температурные и силовые циклы нагружения и разгружения создают петлю гистерезиса [6], площадь которой пропорциональна потенциальной энергии:

$$\Pi_{\Gamma} = F(z_{\Pi}) \mu_{(\sigma, \delta)} V_m k_{\Pi} / 2\pi,$$

где $F(z_{\Pi})$ – площадь петли гистерезиса в зависимости от числа циклов торможения; $\mu_{(\sigma, \delta)}$ – масштабный коэффициент по напряжениям и деформациям барабана; V_m – объём материала; k_{Π} – коэффициент пропорциональности.

Изменение площади петли гистерезиса в зависимости от числа циклов нагружения и разгружения рассмотрено в работе [6]. С увеличением числа циклов площадь петли гистерезиса возрастает, что приводит к разрушению материала.

Имея значения температуры внутренней и наружной поверхности барабана в рассматриваемом сечении (над ребром колодки) в период, когда градиент температуры достигает максимума, можно определить температурные напряжения тормозного барабана [7] на внутренней и наружной поверхностях:

$$\sigma_{\text{вн}} = -\frac{\alpha(x_i, T) E(T_h(x_i, t))}{6(1-\mu)} \left(3 + \frac{2h_0}{2R_{\text{cp}} - h_0} \right),$$

$$\sigma_{\text{нап}} = \frac{\alpha(x_i, T) E(T_h(x_i, t))}{6(1-\mu)} \left(3 - \frac{2h_0}{2R_{\text{cp}} - h_0} \right),$$

где E – модуль упругости материала; μ – коэффициент Пуассона; h_0 – толщина тормозного барабана; R_{cp} – средний радиус окружности тормозного барабана.

Жёсткость тормозного барабана достаточна, если выполняется условие [8] $\delta_{\text{ст}} \leq 0,0008D$, где $\delta_{\text{ст}}$ – максимальный статический прогиб барабана; D – рабочий диаметр барабана [8].

Заключение. Исследования показали, что в условиях работы тормозной системы в режиме длительного или частого использования торможения возникают изменения деформаций при нагружении и разгружении. Под воздействием изгибающих моментов и перерезывающих сил, вызванных температурным и силовым расширением тормозного барабана, изменяются площади петель гистерезиса. Максимальные радиальные прогибы наблюдаются над разжимным устройством, и барабан принимает форму эллипса при нагружении и частично восстанавливается при разгружении. Полученные уравнения для определения температурных напряжений тормозного барабана с учётом действующих нагрузок со стороны тормозных колодок позволяют на стадии проектирования оптимизировать параметры и свойства материалов тормозной системы.

Библиографические ссылки

1. Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений. М.: Мир, 1964. 272 с.
2. Дьяков И.Ф., Чернов С.А. К расчёту оболочки, укреплённой тонкостенными стержнями // Автоматизация и современные технологии. 2008. № 1. С. 16–20.
3. Михлин С.Г. Вариационные методы в математической физике. М.: Наука, 1973. 248 с.
4. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1980. 430 с.
5. Douglas I. Dupont Galerkin methods for parabolic problems, SIAM J. Douglas. Numer Anal. Vol. 4. P. 575–626.
6. Дьяков И.Ф., Садриев Р.М. Прогнозирование ресурса деталей автотранспортных средств. Ульяновск: УлГТУ, 2008. 168 с.
7. Мамит Г.И., Денисов А.В. О влиянии жёсткости тормозного барабана на величину и устойчивость тормозного момента // Автомобильная промышленность. 1976. № 11. С. 21–22.
8. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластиинки и оболочки: Пер. с англ. М.: Наука, 2009. С. 635.

УДК 621.981

В.И. Филимонов, д-р техн. наук, проф. (Ульяновский государственный технический университет), **В.А. Марковцев**, канд. техн. наук, **А.А. Волков**, **М.В. Илюшкин**, канд. техн. наук (ОАО «Ульяновский научно-исследовательский институт авиационной технологии»)

fwiumz@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА В РОЛИКАХ ШИРОКОПОЛОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПРОДОЛЬНОЙ КРИВИЗНОЙ

Приведены математические модели потери устойчивости и определения силовых параметров процесса гибки широкополочных профилей на ребро в закрытых роликовых калибрах с раскаткой на клин, используемые в технологии производства кольцевых деталей. Указано технологическое оборудование для реализации данной технологии.

Ключевые слова: гибка на ребро, широкополочный профиль, раскатка, потеря устойчивости, кольцевая деталь.

Mathematical models for steadiness loss and force characteristics definition for over rib bending process of the wide shelf shapes in closed roller gauges with drawing on wedge are given. These models are used in the technology of the annular details manufacture. Engineering equipment for this technology implementation is indicated.

Key words: over rib bending, wide shelf shape, drawing, steadiness loss, annular detail.

Широкополочные детали с продольной кривизной широко применяются в автомобилестроении (бамперы автомобилей), дорожном строительстве (ограждения), металлургии (обручи-вставки для упаковки и транспортирования рулонного тонколистового проката) [1, 2]. До недавнего времени такие детали изготавливали штамповкой или применяли профилирование с последующим приданием профилю продольной кривизны в штампе. Эти операции требуют значительных затрат на технологическую подготовку производства и изготовление деталей.

Более выгодными являются технологии производства таких деталей в роликах (рис. 1). Изготовление деталей в профилировочных машинах с одновременным формированием продольной кривизны предусматривает формообразование сечения профиля при обеспечении условий направленного воздействия на очаг деформации для получения требуемой кривизны детали. Так, приложение врачающего момента со стороны правильного устройства к профилю, выходящему из последней пары формующих роликов станка, позволяет воздействовать на очаг деформации и получать требуемую кривизну детали. По данной технологии, разработанной в ОАО «Ульяновский НИАТ», производили бамперы автомобиля ВАЗ-06 (рис. 2, а) [1] и стеклоподъёмники автомобилей семейства УАЗ [2].

Выбором формы оси профилирования профилю можно придать относительно небольшую кривизну на станках с нерегулируемыми по высоте нижними валами, поскольку форма оси профилирования в данном случае изменяется в

результате выбора диаметров формующих роликов. Существенным ограничением является скоростной режим процесса формообразования профиля.

Регулируемые нижние валы профилировочного станка позволяют обеспечивать кривизну изготавливаемой детали. Форму линии профилирования, как правило, изменяют лишь в вертикальной плоскости. В принципе, для придания профилю саблевидности можно изменять форму оси профилирования и в горизонтальной плоскости, однако часто это приводит к неудовлетворительному качеству поверхности профиля и потере устойчивости его элементов. Более целесообразен дифференцированный обжим донной части профиля по его ширине. Изменением формы линии профилирования изготавливают профиль дорожного ограждения с заданной небольшой продольной кривизной (рис. 2, б).

Профиль дорожного ограждения с большой кривизной получают профилированием с последующей гибкой в трёхроликовых гибочных машинах. Широкополочные профили с продольной кривизной целесообразно изготавливать с дифференцированным (локальным) обжимом определённых участков заготовки. По такому способу изготавливают бампер автомобиля ВАЗ-07 (рис. 2, в) [2].

Что касается производства деталей с большой кривизной или кольцевых деталей (рис. 2, г), то профили открытого сечения высотой до 60 мм могут изготавливаться по совмещённой схеме локальным обжимом в роликах последнего перехода профилировочного станка, а крупногабарит-



Рис. 1. Классификатор способов изготовления в роликах широкополочных листовых деталей с продольной кривизной

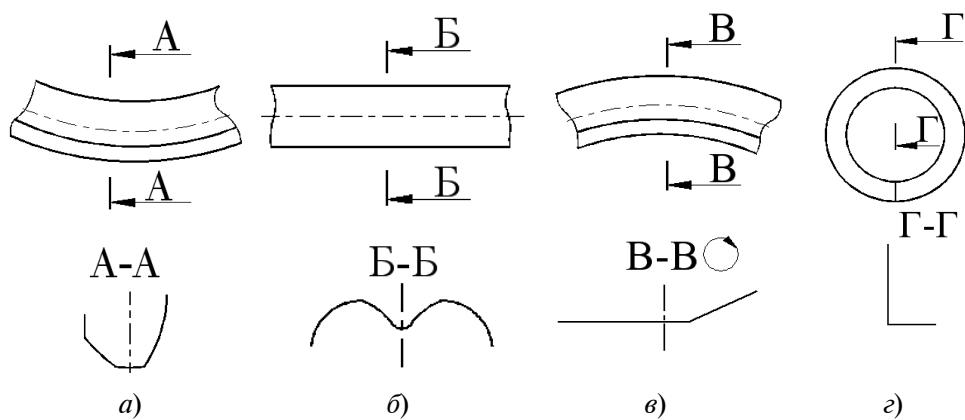


Рис. 2. Виды изготавливаемых деталей с продольной кривизной в роликах:
а – бампер автомобиля ВАЗ-06; б – профиль дорожного ограждения; в – бампер автомобиля ВАЗ-07;
г – кольцевая деталь типа «обруч упаковочный»

ные детали после формообразования сечения требуют дополнительной операции деформирования на гибочно-раскатном станке. Это связано, в основном, с техническими вопросами отвода профиля и его разрезанием на мерные отрезки, а также с технологическими возможностями профилировочных станков (ограничения по высоте формируемого профиля).

Последний из рассмотренных способов изготовления кольцевых деталей был использован для

разработки технологии изготовления из стальной ленты упаковочного обруча трех типоразмеров по сечению ($50 \times 50 \times 2,5$; $60 \times 40 \times 2,5$ и $100 \times 70 \times 2$ мм). Попытка использования трёхточечной гибки привела к отрицательным результатам: боковая полка теряла устойчивость в форме кромковой волнистости даже при радиусе кривизны, в 8 раз превышающем заданный. Ниже приведены результаты моделирования процесса и отработки технологии производства «обруча упаковочного»

из углкового профиля $100 \times 70 \times 2$ мм, поскольку он наиболее подвержен локальной потере устойчивости при деформировании из-за значительных размеров полок.

Рассмотрим первоначально гибку на ребро углкового профиля, в котором ребром является полка меньшей ширины. Радиус изгиба в плоскости этой полки шириной H обозначим буквой R . Для определения окружных деформаций необходимо знать положение центра масс сечения, по крайней мере, в направлении радиуса изгиба. Предположим, что при изгибе профиля полка удерживается от бокового смещения. Положение центра масс сечения вдоль радиуса изгиба с учётом от внешней поверхности широкой полки можно определить по формуле

$$\begin{aligned} h = & \{4s[b - (r + s_0)] + 4[H^2 - (r + s_0)^2] + \\ & + \pi(2r + s_0)[(2r + s_0)(1 - \cos \alpha) + s_0]\} / \\ & / (8b + 8H - 16(r + s_0) + 2\pi(2r + s_0)), \end{aligned} \quad (1)$$

где s_0 – толщина стенки профиля; b , H – ширина полок ($b > H$); r – радиус сопряжения полок по внутреннему контуру зоны изгиба; α – угол между полками профиля (здесь $\alpha = \pi/2$).

Максимальные окружные деформации для зон растяжения и сжатия определяются соответственно формулами

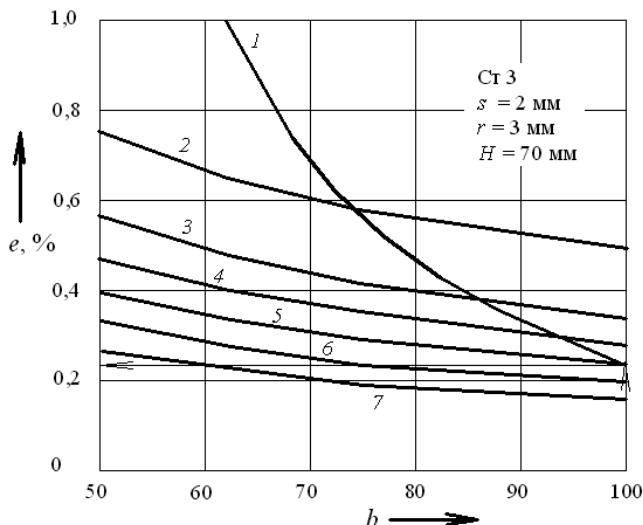


Рис. 3. Зависимость для определения предельного радиуса изгиба детали:

1 – деформация периферийных волокон полки, находящейся вне плоскости гиба; 2–7 – критические деформации при $R = 3, 4, 5, 6, 7$ и 8 м соответственно

$$e_0^p = \ln \left(\frac{R + H}{R + h} \right), \quad e_0^c = \ln \left(\frac{R}{R + h} \right), \quad (2)$$

где h определяется соотношением (1).

Однако при изгибе пластически деформируется лишь угловая зона, а перпендикулярная плоскости изгиба полка шириной b теряет устойчивость в форме кромковой волнистости.

Критические деформации потери устойчивости полки можно определить, используя формулу [3]

$$\begin{aligned} e^{cr} &= \left[(k^* \lambda)^2 \frac{nE}{K} \left(\frac{s}{b - b_h} \right)^4 \right]^{\frac{1}{n+1}}, \\ \lambda &= \frac{\pi^2}{12(1 - \mu^2)}, \end{aligned} \quad (3)$$

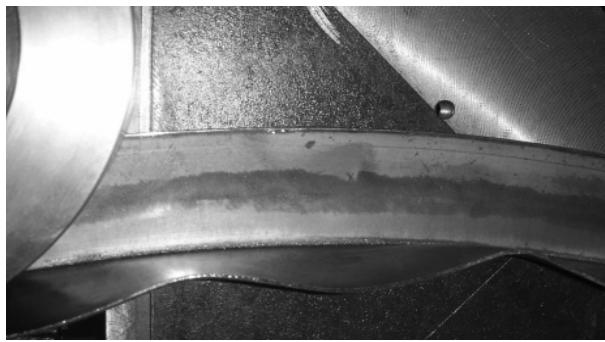
где k^* – коэффициент, учитывающий условия закрепления краёв полки; E , μ – модуль Юнга и коэффициент Пуассона соответственно; b , b_h – ширина полки и координата центра тяжести сечения профиля в плоскости, перпендикулярной плоскости изгиба, соответственно; K , n – параметры упрочнения материала заготовки.

Соотношение (3) даёт выражение предельной деформации в закритической области, поэтому $\mu = 0,5$. Коэффициент k^* , учитывающий условия закрепления краёв полок (один край защемлён, другой свободен), принят равным 3,6 [4].

Радиус кривизны, соответствующий условию отсутствия кромковой волнистости, можно определить по формулам (2) и (3)

$$R \leq \frac{h \exp(e^{cr})}{1 - \exp(e^{cr})}. \quad (4)$$

В среде MathCad с использованием формул (2)–(4) построены кривые (рис. 3), представляющие собой критическую деформацию и окружные деформации угловой зоны, на основе которых можно определить предельный радиус детали при различных значениях высоты полки, перпендикулярной плоскости изгиба. В частности, для ширины полки $b = 100$ мм предельный радиус изгиба составляет около 6 м, а для меньших значений радиуса характерна потеря устойчивости в форме кромковой волнистости (рис. 4, a). В этой связи была предпринята попытка получения меньшего радиуса изгиба путём удержания обеих полок от депланаций. В этом случае полка, перпендикулярная плоскости изгиба, испытывает локальную потерю устойчивости в форме выпучивания участка, примыкающего к угловой зоне. Дальнейшее



a)



б)

Рис. 4. Дефекты, возникающие при гибке профиля по контуру:
а – кромковая волнистость; б – местная потеря устойчивости и разрыв заготовки по угловой зоне

уменьшение радиуса кривизны приводит к разрушению заготовки по зоне сгиба (рис. 4, б).

В закритической области значение окружной деформации угловой части профиля может быть связано с параметрами кромковой волнистости, которая описывается в терминах отклонений $w(r, \phi)$ материальных частиц участков полки от плоскости пластически недеформированных участков по закону [2]

$$w(r, \phi) = f \frac{r - r_n}{b - r_n} \sin \frac{m\pi R\phi}{a}, \quad (5)$$

где f – амплитуда волны на кромке; r – текущая координата, отсчитываемая по нормали от зоны сгиба к кромке; r_n – ширина участка полки, не подверженного кромковой волнистости; m – число полуволн при потере устойчивости; ϕ – текущий угол, измеряемый в плоскости изгиба.

При потере устойчивости полки её продольная деформация может быть подсчитана a posteriori, если измерить амплитуду и шаг волны на кромке. В этом случае в формуле (5) $r = b$ и $m = 2$. Затем с использованием функции $w(r, z)$ следует произвести спрямление волны, которое после несложных, но громоздких вычислений приводит к следующему выражению:

$$J = \frac{2a}{\pi} \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi f}{a} \right)^2} E\left(\frac{\pi}{2}, p\right), \quad (6)$$

где J – длина синусоиды на её периоде; $E(\pi/2, p)$ – эллиптический интеграл второго рода при $0 < p^2 < 1$.

В формуле (6) параметр p определяется соотношением

$$p = \sqrt{\frac{2f^2\pi^2}{a^2 + 2f^2\pi^2}} .$$

Зависимость продольной деформации кромки, вычисленной на основе выражения (6), от амплитуды и шага волны представлена на рис. 5 в результате расчётов в среде MathCAD. К сожалению, данная модель не позволяет определить параметры кромковой волнистости, если известна продольная (окружная) деформация угловой зоны профиля. Однако обратная процедура вполне возможна, поскольку параметры кромковой волнистости могут быть получены путём непосредственного их замера на детали, подверженной этому виду потери устойчивости. Сравнение полученного значения деформации с деформацией, определяемой по рис. 4, даёт возможность оценки точности предлагаемой модели. Например, при $R = 3$ м были получены параметры кромковой волнистости $a = 140$ мм, $2f = 6$ мм. Значения

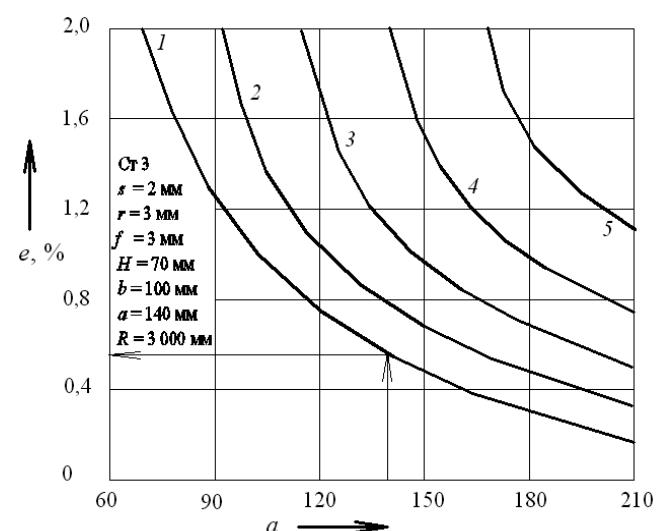


Рис. 5. Деформации полки, подверженной кромковой волнистости:
1–5 – $f = 3, 4, 5, 6$ и 7 мм соответственно

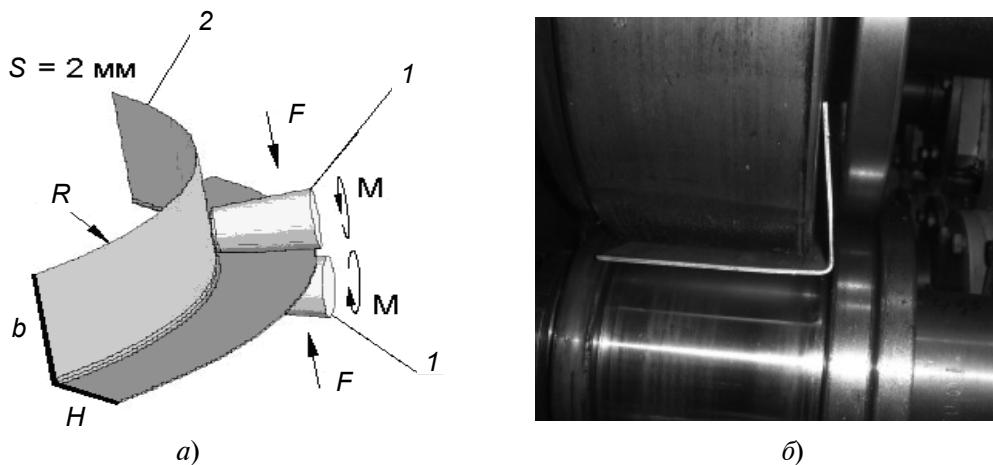


Рис. 6. Раскатка полки в роликах:
а – схема раскатки; б – раскатные ролики

деформаций по рис. 4 ($b = 100$ мм) и по рис. 5 отличаются не более чем на 6 %.

Получение детали «обруч упаковочный» без дефектов типа кромковой волнистости возможно дифференцированным обжимом в конических роликах (рис. 6) полки, лежащей в плоскости изгиба. При этом возникает вопрос выбора из числа существующих или разработки специализированного раскатного станка на основании требуемых значений силовых факторов – силы распора в роликах и крутящего момента.

Для определения силовых факторов процесса раскатки рассмотрим элемент раскатываемой полки единичной ширины в направлении радиуса R гиба кольца. Будем считать величину обжима элемента постоянной в направлении R . На данный элемент действует нормальное напряжение p со стороны роликов с величиной приведённого радиуса

$$R_{\text{пр}} = \frac{2R_{\text{H}}R_{\text{B}}}{R_{\text{H}} + R_{\text{B}}} , \quad (7)$$

где R_{H} , R_{B} – радиус нижнего и верхнего раскатного ролика соответственно.

Уравнение равновесия для данного элемента при отсутствии уширения заготовки имеет вид

$$sd\sigma_{\theta} + \left[\sigma_{\theta} + p \left(1 + \frac{f}{\tan(\alpha)} \right) \right] ds = 0 , \quad (8)$$

где s – текущее значение толщины сжимаемого элемента; σ_{θ} – напряжение в тангенциальном направлении (перпендикулярно радиусу R в плоскости заготовки); f – коэффициент трения между заготовкой и раскатными роликами; α – центральный угол раскатного ролика приведённого радиуса, стягива-

мый дугой контура контактной зоны заготовки и ролика.

Условие пластиичности для выделенного элемента можно записать в следующем виде:

$$\sigma_{\theta} + p = K \left| \ln \left(\frac{s}{s_0} \right) \right|^n , \quad (9)$$

где K , n – константы упрочнения материала заготовки; s_0 – исходная толщина заготовки.

Подставив значение p из соотношения (9) в уравнение (8), после некоторых преобразований получим

$$\sigma'_{\theta} - \frac{f}{s} \sqrt{\left(\frac{R_{\text{пр}}}{s - s_0} \right)} \sigma_{\theta} = -\frac{K}{s} \left| \ln \left(\frac{s}{s_0} \right) \right|^n , \quad (10)$$

где $R_{\text{пр}}$ определяется соотношением (7).

Уравнение (10) легко приводится к стандартному виду:

$$\sigma'_{\theta} + Q(s)\sigma_{\theta} = R(s) , \quad (11)$$

$$\text{где } Q(s) = -\frac{f}{s} \sqrt{\frac{R_{\text{пр}}}{s - s_0}} ; R(s) = -\frac{K}{s} \left| \ln \left(\frac{s}{s_0} \right) \right|^n .$$

Линейное дифференциальное уравнение первого порядка (11) имеет общий интеграл:

$$\sigma_{\theta}(s) = e^{-\int Q(s)ds} \left[\int R(s)e^{\int Q(s)ds} ds + C \right] , \quad (12)$$

где C – константа, определяемая из граничных условий.

Решение (12) не может быть представлено в терминах элементарных функций, однако для данной толщины заготовки оно может быть линейизировано с помощью пакета MathCAD так, что его конечный вид представляется зависимостью

$$\sigma_0(s) = Ke^{2,4\left(1-\frac{s}{s_0}\right)} \left[4,4\left(\frac{s}{s_0}-1\right)^2 + C \right]. \quad (13)$$

Удовлетворение граничным условиям в выходном сечении заготовки позволяет преобразовать решение (13) к виду

$$\sigma_0(s) = -4,4K \frac{(2s_0 - s_k - s)(s - s_k)}{s_0^2} e^{2,4\left(1-\frac{s}{s_0}\right)}, \quad (14)$$

где s_k – толщина заготовки в выходном сечении раскатного калибра (зазор в калиbre).

Учитывая, что по ширине раскатываемой полки степень обжима различна, или точнее, изменяется линейно по ширине полки, представим величину зазора в калиbre s_k следующим образом:

$$s_k(t) = s_0 - \frac{(s_0 - s_k)}{H}t, \quad (15)$$

где t – параметр, определяющий текущее положение точки на раскатываемой полке с отсчётом от зоны сгиба.

Подстановка значения $s_k(t)$ из зависимости (15) в (14) позволяет определять напряжение σ_0 в любой точке очага деформации.

Одним из основных силовых параметров процесса раскатки является сила распора в роликах, которую можно найти интегрированием нормального напряжения p по очагу деформации. Из условия пластичности (9) следует, что

$$p = - \left\{ K \left| \ln \left(\frac{s}{s_0} \right) \right|^n + |\sigma_0(s)| \right\}. \quad (16)$$

Протяжённость участка очага деформации единичной ширины вдоль R даётся приближенной формулой

$$\Delta(t) = \sqrt{R(s_0 - s_k(t)) \frac{t}{H}}. \quad (17)$$

Для расчёта распирающей силы в калиbre следует определить максимальные значения p в формуле (16). С этой целью необходимо продифференцировать соотношение (16) и приравнять правую часть к нулю, откуда определяется значение s , соответствующее максимальному значению p . Подстановка найденного значения s в формулу (16) даёт значение $p_{\max}(t)$. Здесь учтена зависимость $s_k(t)$ из формулы (15).

Максимальное значение $p_{\max}(t)$ наиболее просто найти средствами пакета MathCAD. Например, при уровне обжима порядка 15 % ($s_k = 1,7$ мм) максимальное значение нормального напряжения достигается при $s_{\max} = 1,8$ мм.

Сила распора P определяется интегрированием $p_{\max}(t)$ по очагу деформации с учётом соотношения (17):

$$P = \int_0^H p_{\max}(t) \Delta(t) dt. \quad (18)$$

Расчёт по формуле (18) целесообразно также производить численно в среде MathCAD. Для рассматриваемого случая найденное значение распирающей силы составляет 55 кН. Крутящий момент на валу, идущий на деформирование при раскатке полки, определяется формулой [5]

$$M_{kp} = 2P\Psi\sqrt{R_{np}(s_0 - (s_k)_{cp})}, \quad (19)$$

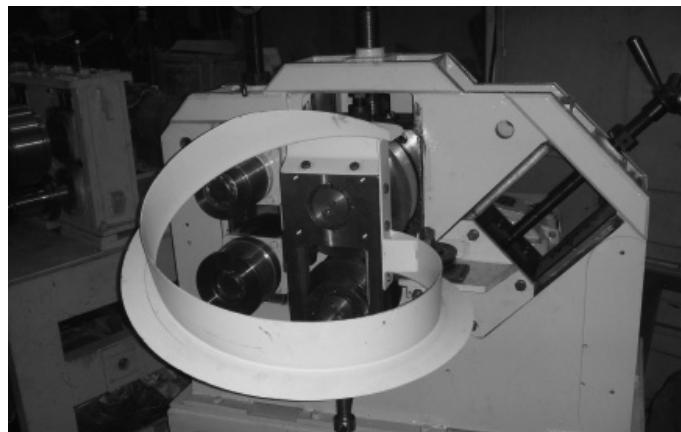
где Ψ – коэффициент плеча момента; $(s_k)_{cp}$ – среднее значение зазора в калиbre.

Значение Ψ в формуле (19), а также другие составляющие суммарного крутящего момента (момент добавочных сил трения, момент при холостом ходе, динамический момент) можно определить на основе методики, описанной в работе [5]. Приведённые процедуры расчёта были использованы при конструировании раскатного станка (рис. 7, б) в ОАО «Ульяновский НИАТ».

Кривизна профиля в раскатном станке обеспечивалась выбором зазора между роликами с его линейным изменением от s_0 у угловой зоны до $(0,6-0,7)s_0$ у торца профиля. При этом применялся калибр закрытого типа, что предотвращало течение металла в поперечном направлении. Раскатываемая полка приобретает максимальное удлинение у торца и минимальное – у угловой зоны. Величина радиуса изгиба регулируется настройкой зазора между раскатными роликами. При отработке технологии проводили экспериментальные исследования деформационной картины раскатываемой полки двумя методами – методом сеток и методом отвер-

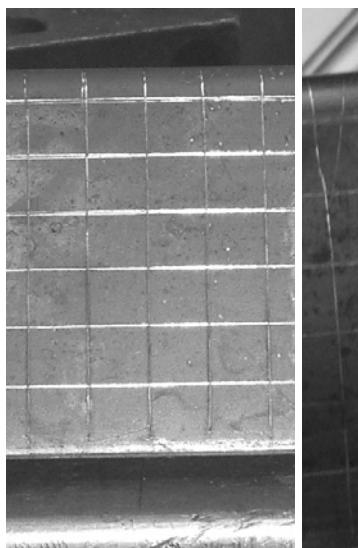


a)



б)

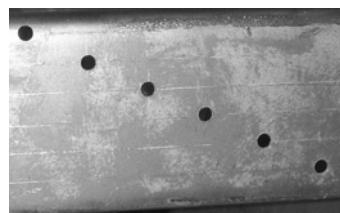
Рис. 7. Оборудование для производства обруча упаковочного:
а – профилировочный станок; б – раскатной станок



а)



б)



в)



г)

Рис. 8. Исследование деформаций раскатываемой полки:

а, б – методом сеток (до и после раскатки соответственно); в, г – методом отверстий (до и после раскатки соответственно)

стий. Ниже приводятся результаты исследований по свертке уголкового профиля $100 \times 70 \times 2$ мм в обруч.

При использовании метода сеток на заготовке, на месте раскатываемой полки, штангенциркулем с шагом 10 мм была нанесена разметка, а после раскатки были сняты замеры параметров сетки (рис. 8, а, б). По ширине раскатываемой полки сетка имела цифровую нумерацию рядов (от 1 до 6), а в окружном направлении – буквенное обозначение (от «а» до «ж»). Измерения по каждой ячейке производили троекратно по внешним и внутренним границам с целью снижения погреш-

ности, связанной с собственной шириной рисок и размытостью их границ после раскатки. Затем данные усредняли, после чего вычисляли деформации по известным формулам. Результаты вычислений приведены в табл. 1, откуда видно, что снижение деформаций к угловой зоне происходит почти по линейному закону.

Также производили замеры толщины заготовки после раскатки на уровне середины ячеек трёх образцов, полученных разрезкой раскатанной полки вдоль радиуса R . В каждой ячейке выполняли пятикратные замеры с помощью микрометра, после чего усредняли результат и заносили

его в табл. 2. Затем выполняли расчёт деформаций по толщине заготовки.

При пластическом деформировании, как известно, выполняется условие несжимаемости:

$$\varepsilon_0 + \varepsilon_n + \varepsilon_R = 0, \quad (20)$$

где ε_R – радиальная деформация.

Подстановка соответствующих значений деформаций из табл. 1 и 2 в формулу (20) показывает, что радиальная деформация близка нулю, следовательно, при раскатке полки фактически имеет место плоская деформация, которая обеспечивается закрытым калибром.

Таблица 1

Окружные деформации полки в направлении раскатки

Номер ряда	Значение окружных деформаций раскатываемой полки, %							$\varepsilon_{\theta cp}$, %	$\Delta\varepsilon_{\theta cp}$, %
	а	б	в	г	д	е	ж		
1	16	15	16	15	18	15	16	15,8	1,07
2	11	11	10	12	13	13	11	11,6	1,13
3	10	8	8	10	8	11	10	9,3	1,25
4	8	7	6	6	5	8	8	6,8	1,21
5	6	7	3	6	3	6	6	5,3	1,60
6	3	2	3	3	0	3	3	2,4	1,13

При определении деформаций методом отверстий в заготовке на уровне линий сетки были просверлены отверстия диаметром 5 мм, разнесённые на расстояние 25 мм в окружном направлении и с шагом в 10 мм по высоте полки (рис. 8, в, г). Общее число отверстий – 18: по шесть отверстий в каждой из трёх зон для повышения достоверности результатов. Обработка данных показала (табл. 3), что в средней части полки окружные деформации примерно на 5–7 % (в терминах абсолютных значений) выше, чем те же деформации полки, полученные методом сеток. Что касается деформаций вблизи торца раскатываемой полки, то здесь наблюдается существенное расхождение, которое объясняется специфическим течением металла вблизи отверстия в соответствии с принципом кратчайшей нормали. В целом, как показывает табл. 3, в данном случае говорить об условиях плоской деформации не приходится: в зонах, примыкающих к отверстиям, имеет место объёмное деформированное состояние. Отсюда следует, что применение метода отверстий может давать

Таблица 2

Деформации по толщине раскатываемой полки

Номер ряда	Толщина полки в измеряемых точках образцов по номерам, мм				Деформация по толщине раскатываемой полки ε_{ncp} , %
	1	2	3	Среднее значение	
1	1,68	1,71	1,65	1,68	-16
2	1,76	1,75	1,75	1,75	-12,5
3	1,83	1,83	1,82	1,83	-8,5
4	1,92	1,90	1,87	1,89	-5,5
5	1,92	1,91	1,90	1,91	-4,5
6	1,97	1,96	1,92	1,95	-2,5

удовлетворительные результаты только в случае, когда толщина заготовки изменяется незначительно.

На раскатанной полке были проведены замеры твёрдости ультразвуковым портативным твёрдомером МЕТ-У1 для выяснения степени упрочнения материала заготовки при деформировании. От угловой зоны к торцу полки твёрдость изменяется монотонно от 160 до 200 единиц НВ, что лишь подтверждает необходимость учёта упрочнения при проведении расчётов процесса формообразования детали.

По разработанной технологии изготовлены pilotные партии деталей, которые прошли технический контроль и признаны годными к применению. Оборудование и технология (см. рис. 7) внедрены и эксплуатируются на предприятии заказчика.

Выводы. Производство широкополосочных профильных деталей со значительной продольной

Таблица 3

Деформация отверстий после раскатки

Номер ряда	$D_{\theta cp}$, мм	$\varepsilon_{\theta cp}$, %	$D_{R cp}$, мм	$\varepsilon_{R cp}$, %
1	5,3	6	4,2	-16
2	5,7	14	4,9	-2
3	6,0	20	4,9	-2
4	6,1	22	5,2	4
5	5,8	16	4,8	-4
6	5,2	4	4,4	-12

кривизной целесообразно осуществлять в роликах в два этапа: профилирование заготовки и гибка профиля по контуру с раскаткой периферийных элементов на клин в закрытых калибрах.

Разработанная модель потери устойчивости элементов профиля, лежащих вне плоскостигиба, позволяет определить допустимый радиус изгиба при трёхточечной схеме гибки. Расхождение экспериментальных и расчётных данных, полученных на основе разработанной модели, не превышает 6 %.

Модель раскатки полки позволяет определять силовые параметры процесса (силу распора и крутящий момент), необходимые для выбора или проектирования раскатных станков.

Результаты экспериментальных исследований деформаций раскатываемой полки показывают, что применение закрытого калибра позволяет осуществлять процесс формообразования в условиях плоской деформации. Измерение твёрдости раскатываемой полки подтверждает необходимость учёта упрочнения при разработке математических моделей процесса.

Для реализации технологии можно использовать серийные профилировочные и гибочно-раскатные станки производства ОАО «Ульяновский НИАТ».

Библиографические ссылки

1. Марковцев В.А., Филимонов В.И., Филимонов С.В. Автоматизированная линия изготовления автомобильных бамперов и методика её создания // Автомобильная промышленность. 2005. № 4. С. 29–31.
2. Марковцев В.А., Филимонов В.И. Формообразование стеснённым изгибом в роликах и правка гнутых тонкостенных профилей. Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006. 244 с.
3. Потеря устойчивости и выпучивание конструкций / Под ред. Дж. Томсона и Дж. Ханта. М.: Наука, 1991. 424 с.
4. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твёрдого тела. М.: Наука, 1988. 712 с.
5. Клименко П.Л. Расчёт энергосиловых параметров прокатки с применением ЭВМ. Днепропетровск: Изд-во ДМУти, 1979. 75 с.

СТАНКОСТРОЕНИЕ-2010 / STANKOEXPO

С 5 по 8 октября 2010 года в 1 павильоне МВЦ "Крокус Экспо", состоится Международная специализированная выставка **СТАНКОСТРОЕНИЕ-2010. Выставка пройдет одновременно с Промышленным Форумом.**

Организатор проекта – Райт Солюши, компания, объединяющая в области выставочного менеджмента и организации бизнес мероприятий. Изучив тенденции развития отечественной промышленности, специалисты пришли к решению о необходимости создания выставки, которая вместе с деловой программой должна стать серьезным бизнес-форумом и реальной торговой площадкой для покупателей и продавцов оборудования.

Проект вызвал серьезный интерес профильных компаний Современная машиностроительная компания, СФ Технологии, Балтийская Промышленная компания, Кука Роботикс, Линарес, Шевалье, Финвал, Квалитэт Про и многие другие. Общая площадь экспозиции составит более 4000 кв.м. Тематический рубрикатор **"СТАНКОСТРОЕНИЕ-2010 / STANKOEXPO-2010":** Металлообрабатывающие станки, инструмент, комплектующие изделия, подшипники, литейное производство, сварочное оборудование, обработка листового металла, робототехника, оборудование для сварки металлов и пластмасс, электротехника, измерительные приборы, нанотехнологии, консалтинг

В рамках выставки **"СТАНКОСТРОЕНИЕ-2010 / STANKOEXPO-2010"** будет представлена серьезная деловая программа, состоятся круглые столы и конференции на темы: «Повышение ресурсоэффективности литейного производства в России», «Обработка листового металла. Лазерные технологии», «Инструментальное обеспечение машиностроительных производств», «Lean Production - бережливое производство», «Механизация, автоматизация, роботизация технологических процессов в металлообработке и сборке». Программа выставки составлена в соответствии с актуальными вопросами развития станкостроительной отрасли и нацелена на широкий обмен мнениями по решению проблем модернизации экономики России в области машиностроения.

Основной целью деловая программа ставит развитие передовых операционно-производственных процессов в перспективных отраслях машиностроения: металлообрабатывающее и сварочное оборудование, литейное производство, листовая обработка металлов, робототехника, оборудование для сварки металлов и пластмасс, электроника, и основных тенденциях современного рынка станкостроительной индустрии, о новейших достижениях науки и технологий. На конференции будут заслушаны доклады о текущем состоянии и основных тенденциях современного рынка оборудования, о новейших достижениях науки и технологий.

По мнению специалистов станкостроительной индустрии, выставка **"СТАНКОСТРОЕНИЕ / STANKOEXPO"** станет новой презентационной площадкой, демонстрирующей последние достижения отрасли, инновационные технологии и оборудование, предоставит возможность компаниям установить новые деловые контакты, найти покупателей и инвесторов, а также расширят круг потенциальных клиентов.

Информационную поддержку проекту оказывает более тридцати специализированных СМИ, среди них:

Журнал Эксперт, Металлический бюллетень, Литейщик России, Ритм, Рынок оборудования, Станочный парк, Рынок Электротехники, Вести Лазерных технологий, Кузнецко-штамповое производство. Обработка материалов давлением, журнал, Expo Report, Всероссийская выставочная газета "Бриг-Экспо", CAD/CAM/CAE observer, Уральский рынок металлов, Технология Машиностроения, Оборудование и инструмент для профессионалов, Вестник ВНИИМаш, Вестник Китая, Деловая Столица, Подшипники, ИнформОнин, Оттовый рынок Сибири, Асу-импульс, Эм Энд Ти КОНСАЛТИНГ (M&T Consulting), Компания и-Маш (интернет портал), Mashportal.ru, Svarkainfo.ru, Индустриальный маркетинг, Строительная Орбита, Издательство «Машиностроение», Надзор-Инфо.

Посетители смогут легко добраться до Крокус Экспо, ст. метро Мякинино уже открыта, а для тех, кто приедет на автомобиле – есть удобная парковка.

Руководитель выставочного проекта – Марина Владимировна Рогачева Тел./факс: +7 (495) 945 5170

СТАНКОСТРОЕНИЕ-2010 / STANKOEXPO

УДК 681.513

К.А. Неусыпин, д-р техн. наук, проф. (Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

neysipin@mail.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ АКЦЕПТОРА ДЕЙСТВИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Разработан акцептор действия интеллектуальной системы, включающий алгоритм самоорганизации. Предложен способ селекции переменных состояния и структур самоорганизующихся моделей. Эффективность разработанного способа реализации акцептора действия продемонстрирована на примере построения моделей погрешностей инерциальной навигационной системы.

Ключевые слова: интеллектуальная система, акцептор действия, летательный аппарат.

Intellectual system activity acceptor with self-organization algorithm is devised. Variable selection method of the self-organization models state and structures is proposed. Revised method efficiency of the activity acceptor implementation is illustrated as an example of errors models construction for inertial navigation system.

Key words: intellectual system, activity acceptor, aircraft.

Одним из перспективных направлений синтеза интеллектуальных систем управления (ИСУ) является симбиоз экспертных систем, методов самоорганизации, алгоритмов подготовки и принятия решений, адаптивного управления, а также алгоритмов формирования цели, объединённых в рамках функциональной структуры [1].

Современные ИСУ разрабатываются как функциональные системы с присущими им приспособительными эффектами. Отличительная черта любого результата, который способствует достижению цели, состоит в реализации принципа саморегуляции.

Основными преимуществами использования теории функциональных систем для теории и практики ИСУ являются универсальная архитектура функциональных систем, а также отточенные эволюцией механизмы функциональных систем.

Синтез цели осуществляется с учётом информации о внешней среде, собственном состоянии ИСУ, мотивации и при наличии памяти. Затем динамическая экспертная система проводит оценку, которая лежит в основе принятия решения, а также осуществляется прогноз для акцептора действия. После того как решение выработано, реализуется управление летательным аппаратом (ЛА).

Акцептор действия включает алгоритм самоорганизации, который позволяет построить прогнозирующую модель в условиях минимума априорной информации, а также алгоритм сличения результата действия и прогноза. Информация о соответствии результатов действия и прогноза передаётся в экспертную систему и систему синтеза цели функционирования ЛА.

При отсутствии соответствия результатов действия и прогноза вырабатывается новая экспертная оценка, принимается другое решение и реализуется новое управляющее воздействие. В случае, когда соответствия достичь невозможно происходит изменение цели ИСУ. Если результаты действия удовлетворяют прогнозу, что соответствует удачно выбранному управлению, то цель ИСУ достигается.

Итак, основным алгоритмом акцептора действия ИСУ является алгоритм самоорганизации, имеющий целый ряд модификаций, которые применяются в зависимости от отведённого объёма машинной памяти и быстродействия БЦВМ, величины измерительной выборки, требований к точности построенной модели и т. д.

Акцептор действия проектируется в соответствии с принципами разработки алгоритмического обеспечения [2], одним из которых является принцип рациональной унификации. Повышение степени унификации алгоритмического обеспечения уменьшает стоимость системы, снижает алгоритмические погрешности и вычислительные ошибки. Однако это приводит к алгоритмической и программной избыточности, следствием чего является некоторое удорожание системы. Поэтому решение задачи рациональной унификации — это важная и актуальная задача при синтезе алгоритмического обеспечения ИСУ ЛА.

В соответствии с концепцией системного синтеза [3] необходимо рациональное сокращение числа параметров модели исследуемого объекта. Осуществить сокращение можно использовав различные критерии, например, выделяя переменные с различными темпами изменения [4].

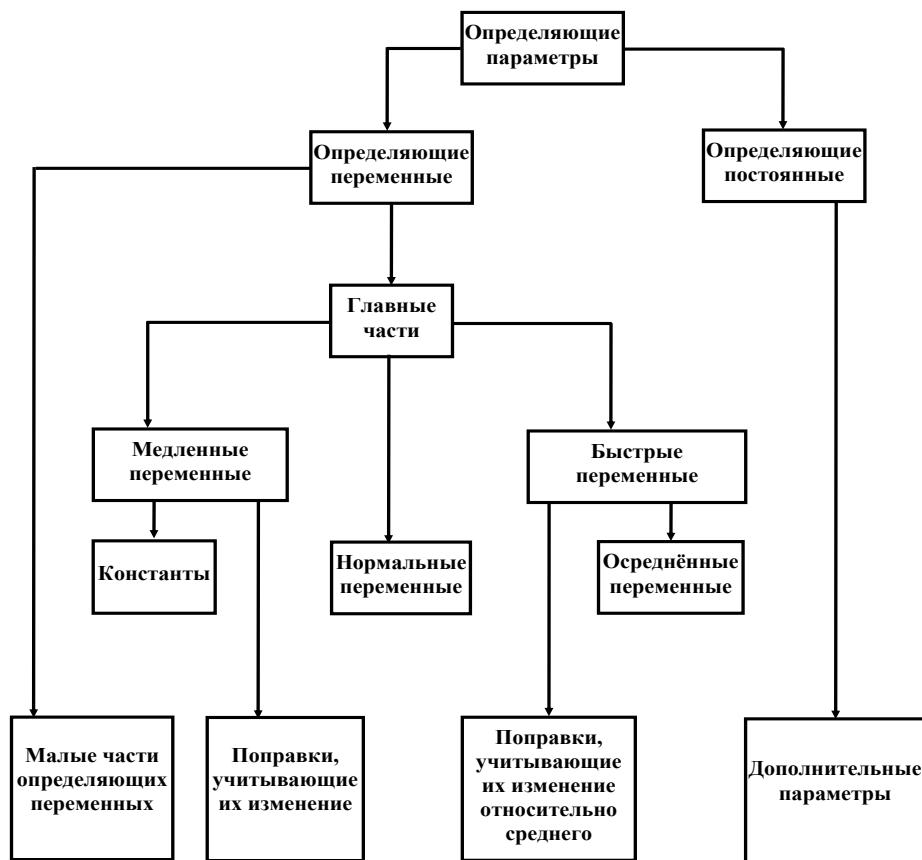


Рис. 1. Иерархия переменных состояния моделей интеллектуальной системы управления

Обычно выделяют *медленные, нормальные и быстрые* переменные. При изменении ситуации информация обрабатывается следующим образом: медленные переменные заменяются константами, быстрые – их осреднёнными значениями. Если быстрые переменные существенно не влияют на описание процесса, то их целесообразно исключить из рассмотрения. Далее уточняют оставшиеся переменные, если это требуется в соответствии с постановкой задачи.

Иерархия переменных состояния моделей представлена на рис. 1.

Представленную иерархию переменных состояния можно использовать при реализации акцептора действия ИСУ, в частности при синтезе алгоритмов самоорганизации. В качестве базового алгоритма целесообразно принять классический алгоритм самоорганизации [2], при реализации которого необходимо внести некоторые изменения, т. е. модифицировать классический алгоритм. На первом ряду селекции формируются линейные тренды, на следующих осуществляется их усложнение и отбор.

В качестве критериев, принятых в рамках концепции системного синтеза, можно принять численные критерии степени управляемости и на-

блюдаемости. Функциональная схема формирования моделей в акцепторе действия ИСУ представлена на рис. 2.

Доминирующие параметры из определяющих параметров моделей (см. рис. 2) выделяют с помощью критериев степени управляемости и наблюдаемости с низкими пороговыми значениями. Далее, в зависимости от режима функционирования ЛА, формируют различные виды моделей. Для режима интенсивного маневрирования отбирают параметры с помощью численных критериев степени управляемости и наблюдаемости, но уже с высокими пороговыми значениями. Такой концептуальный подход позволяет отбирать для осуществления манёвров ЛА только эффективно управляемые и достоверно определяемые параметры.

Относительно этих параметров строят линейные тренды, которые используют для получения краткосрочных прогнозов и синтеза грубых сценариев движения ЛА. Тренды на следующих этапах селекции усложняются. В результате отбора методом самоорганизации получается нелинейная модель оптимальной сложности.

При движении ЛА в крейсерском режиме доминирующие параметры выбирают с помощью



Рис. 2. Функциональная схема формирования моделей в акцепторе действия интеллектуальной системы управления

критериев степени управляемости и наблюдаемости с пороговыми значениями несколько меньшими, чем в режиме интенсивного маневрирования. Это объясняется тем, что можно получить большие измерительные выборки, достоверно отражающие исследуемый процесс. В этом случае целесообразно увеличить количество параметров, участвующих в описании исследуемого процесса, так как возможно построение более полной и точной модели.

Для построения модели в крейсерском режиме используется тот же алгоритм самоорганизации (как и в предыдущем случае).

Для рассмотренных режимов построение моделей предусматривает определение структуры этих моделей (за исключением линейных трендов, получаемых на первом этапе работы алгоритма самоорганизации). Поэтому построенные модели можно использовать для определения сценариев движения ЛА и коррекции ИСУ в выходном сигнале.

При использовании моделей в алгоритмах управления целесообразно задавать структуру моделей априори, когда идентифицируются неизвестные коэффициенты модели. Идентификация осуществляется алгоритмом самоорганизации с

использованием критериев степени управляемости и наблюдаемости. В зависимости от режима функционирования ЛА пороговые значения выбирают из практических соображений как и в предыдущих случаях.

Алгоритм самоорганизации можно реализовать с помощью различных опорных функций. После предварительной обработки имеющейся априорной информации можно правильно выбрать опорные функции, которые более точно отражают исследуемые процессы.

Функция тренда при соответствующих допущениях имеет вид

$$y(t) = f(t, \underline{c}) + s(t), \quad (1)$$

где $s(t)$ – аддитивная помеха; c – коэффициент крутизны тренда.

Функция тренда $f(t, \underline{c})$ может быть аппроксимирована некоторой системой опорных функций:

$$f(t, \underline{c}) = \sum_{i=0}^n c_i \varphi_i(t), \quad (2)$$

где $\varphi_i(t)$ – опорная функция.

При синтезе алгоритмов самоорганизации применяются разнообразные опорные функции. Например, для построения модели $y(t) = \sum_{i=0}^n c_i t^i$ – степенные полиномы $\phi_i(t) = t^i$; для построения модели вида $y(t) = \sum_{i=0}^m c_i \cos \omega_i t + \sum_{i=0}^m d_i \sin \omega_i t$, $i = 0, 1, 2, \dots, m$ – тригонометрические функции $\varphi_{2i-1}(t) = \sin \omega_i t$, $\varphi_{2i}(t) = \cos \omega_i t$; для построения модели вида $y(t) = \sum_{i=0}^m c_i e^{\beta_i t}$ – экспоненциальные функции $\varphi_i(t) = e^{\beta_i t}$.

Модели строят на основе измерительной выборки N . Реализация измерительной выборки N делится на реализацию обучающей выборки N_A , с помощью которой оцениваются параметры модели, и проверочной выборки N_B , позволяющей выбирать лучшую модель.

Выборка исходных данных делится на две одинаковые части N_A и N_B , с помощью которых определяются модели A и B с выходами y_t^A, y_t^B и параметрами C_i^A, C_i^B . Критерий минимума смещения равен среднеквадратическому значению отклонений выходов моделей A и B для всей выборки ($t \in N$):

$$n_{CM}^2 = \sum_{t \in N} (y_t^A - y_t^B)^2 / \sum_{t \in N} y_t^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

Линейные тренды отличаются простотой реализации и позволяют определить тенденцию изменения исследуемого процесса за минимальный интервал времени.

Линейные тренды определяются двумя точками, которые выбирают следующим образом.

1. Тренд, построенный по точкам выборки, выражается в виде

$$\hat{z}_{0i} = k_{0i} t_i + d_{0i}, \quad (4)$$

где \hat{z}_{0i} – прогнозируемая величина; k_{0i}, d_{0i} – параметры тренда, являющиеся крутизной и константой тренда соответственно; i – момент времени, в который используется данная модель для получения прогнозируемой величины.

2. Линейный тренд, построенный на основе осреднённых значений выборки с выбранными опорными точками a_1, b_1 , запишется в виде

$$\hat{z}_{1i}(a_1, b_1) = k_{1i} t_i + d_{1i}, \quad (5)$$

где \hat{z}_{1i} – прогнозируемая величина; k_{1i}, d_{1i} – параметры тренда, являющиеся крутизной и константой; a_1, b_1 – координаты опорных точек.

Метод самоорганизации позволяет уточнять линейный тренд за счёт его усложнения с помощью нелинейной части модели, которая строится методом самоорганизации. В качестве алгоритма самоорганизации использован классический алгоритм, реализующий метод группового учёта аргумента [2]. Для построения модели с помощью классического алгоритма самоорганизации [4] с полным базисом необходимо длительное время, которое в некоторых практических приложениях жёстко ограничено.

Известный алгоритм модифицированных трендов Демарка имеет вид [4]

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} + c_{k-1}, \quad (6)$$

где \hat{x}_k – прогноз переменной состояния интеллектуальной системы динамического объекта; c_{k-1} – функция, характеризующая крутизну тренда.

Коэффициент крутизны тренда позволяет определить тенденцию происходящих изменений переменной состояния. Использование функции крутизны тренда позволяет уточнить характер происходящих изменений. Функции выбираются из стандартного набора базисных функций [4].

Прогнозирующая модель в классическом алгоритме самоорганизации имеет вид

$$c_{k-1} = \sum_{i=1}^L a_i \mu_i(f_i, x), \quad (7)$$

где L – число базисных функций; μ_i – базисные функции из параметризованного множества F_p ; $F_p = \{a_i \mu_i(f_i, x) | i = \overline{1, L}\}$.

Каждая базисная функция определяется в соответствии с двухмерным вектором параметров $(a_i, f_i)^T$, где a_i – амплитуда; f_i – частота.

Такой алгоритм позволяет построить тренд, а затем и нелинейную модель в условиях дефицита времени и машинной памяти БЦВМ.

Критерий регулярности представляет собой среднеквадратическую ошибку Δ^2 , вычисленную на проверочной выборке N_B [4]:

$$\Delta^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N_B} (z_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^{N_B} z_i^2}, \quad (8)$$

где z_i – измеряемая величина; \hat{x}_i – значение, прогнозируемое по модели.

Критерий сходимости пошагового интегрирования конечно-разностных моделей имеет вид

$$I = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{x}_i - z_i)^2}{\sum_{i=1}^N z_i^2}, \quad (9)$$

где I – значение ошибки пошагового интегрирования на всём интервале интерполяции, который включает обучающую N_A и проверочную выборку N_B , т. е. $N = N_A + N_B$.

Рассмотрим формирование моделей в акцепторе действия ИСУ. В качестве примера исследуем задачу построения моделей погрешностей инерциальной навигационной системы (ИНС).

В процессе функционирования ИСУ рассмотрены следующие четыре модели.

1. Линейный тренд, построенный на основе осреднённых значений выборки с выбранными опорными точками a_1 и b_1 (модель 1), запишем в виде

$$\hat{x}_{1k}(a_1, b_1) = k_{1k}t_k + d_{1k}, \quad (10)$$

где \hat{x}_1 – прогнозируемая величина.

Все величины и параметры определяются в зависимости от момента времени t_k . Параметры k_1 , d_1 , a_1 и b_1 вычисляются следующим образом. Измерительная выборка делится на две части. Усредняя величины всех точек, получим два значения, которые использованы как координаты опорных точек в сочетании с выбранными параметрами a_1 и b_1 . Соединением прямой линией двух опорных точек получается тренд.

2. Нелинейная модель, полученная с помощью алгоритма самоорганизации. Для построения модели ошибок ИНС целесообразно выбрать нелинейные функции:

$$\hat{x}_{2k} = A_{1mk} \sin(\omega t_k + P_{1k}) + A_{2mk} \cos(\omega t_k + P_{2k}), \quad (11)$$

где \hat{x}_2 – прогнозируемая величина; A_{1m} , P_1 , A_{2m} , P_2 – амплитуды и фазы гармонических составляющих, которые подобраны методом самоорганизации.

Все величины и параметры определяются в зависимости от момента времени t_k (модель 2).

3. Модифицированный тренд Демарка, модифицированный методом самоорганизации (модель 3):

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} + c_{k-1}, \quad (12)$$

где \hat{x}_k – прогноз переменной состояния динамического объекта в момент времени k ; $c_{k-1} = \sum_{i=1}^2 w_i \hat{x}_{ik}$,

где $\hat{x}_{ik}, i=1,2$ – линейный тренд и комбинирующая нелинейная функция; w_i – весовой коэффициент (в интервале от нуля до единицы), определяемый в зависимости от длительности прогноза.

4. Априорная модель ошибок ИНС.

Погрешности автономной ИНС описываются априорной математической моделью вида

$$X_k = \Phi X_{k-1} + W_{k-1}, \quad (13)$$

$$\text{где } X_k = \begin{bmatrix} \delta V_k \\ \Phi_k \\ \varepsilon_k \end{bmatrix}, W_{k-1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ W_k \end{bmatrix}, \Phi = \begin{bmatrix} 1 & -gT & 0 \\ \frac{T}{R} & 1 & T \\ 0 & 0 & -\beta T \end{bmatrix};$$

W_1 – дискретный аналог белого гауссова шума; β – средняя частота случайного изменения дрейфа; δV_k – ошибка ИНС в определении скорости; Φ_k – угол отклонения гиростабилизированной платформы (ГСП) относительно сопровождающего трёхгранника; g – ускорение силы тяжести; R – радиус Земли; T – период дискретизации.

Вычисляем степень наблюдаемости погрешностей ИНС с помощью численного критерия [1]

$$\lambda = \frac{M[(x^i)^2]}{M[(y^i)^2]} \frac{r}{r^{*i}},$$

где $r = M[v^2]$ – дисперсия исходного измерительного шума; $r^{*i} = M[(v^{i*})^2]$ – дисперсия приведённого к i -й компоненте измерительного шума; $M[(x^i)^2]$ – дисперсия произвольной i -й компоненты вектора состояния; $M[(y^i)^2]$ – дисперсия непосредственно измеряемой компоненты вектора состояния.

Примем пороговое значение равным 0,1. В результате получим, что третья компонента вектора состояния не соответствует требованиям (степень наблюдаемости недостаточна). Тогда модель будет иметь вид

$$X_k = \begin{bmatrix} \delta V_k \\ \Phi_k \end{bmatrix}, \Phi = \begin{bmatrix} 1 & -gT \\ \frac{T}{R} & 0 \end{bmatrix}.$$

В процессе функционирования ИНС оптимизация коэффициентов априорной модели осуществляется следующим образом.

Определим обратную матрицу наблюдаемости S^{-1} :

$$S^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{gT} & -\frac{1}{gT} \end{bmatrix}.$$

Для измерения компонент вектора состояния получим уравнения:

$$Z(\delta V) = Z_k,$$

$$Z(\varphi) = \frac{1}{gT} Z_k - \frac{1}{gT} Z_{k+1},$$

где $Z(\delta V)$ – измерение ошибки ИНС в определении скорости; $Z(\varphi)$ – измерение угла отклонения ГСП относительно сопровождающего трёхгранника.

Коэффициенты в уравнениях приведённых измерений являются функциями элементов матрицы наблюдаемости S . Элементы матрицы S^{-1} определяют веса, с которыми в приведённых измерениях присутствует измерительный шум. Таким образом, при определении угла отклонения ГСП относительно сопровождающего трёхгранника приведённый измерительный шум можно уменьшить увеличением периода дискретизации.

Точность формирования измерений можно повысить предварительным сглаживанием измерительных шумов. Перед процессом оценивания проводится предварительное сглаживание измерительных шумов с использованием операции псевдообращения матрицы. Чем меньше приведённый измерительный шум, тем точнее измерения переменных состояния. Приведённый измерительный шум можно уменьшить изменением элементов матрицы S , которые представляют собой комбинации элементов матрицы измерений и матрицы модели Φ , так как матрица измерений задана жёстко. Матрица системы (в алгоритме прогноза матрица модели) характеризует исследуемый процесс, все её элементы выбираются в процессе селекции. Вес измерительного шума в уравнении приведённых измерений определяется коэффициентами:

$$S_{ii} = \frac{A_{ii}}{\det S}.$$

Увеличение $\det S$ повышает точность определения вектора состояния. Учитывая, что $\text{sign}(\det S)$

неизвестен, предлагается принять критерий селекции в виде

$$I = [\det S]^2 \rightarrow \max. \quad (14)$$

При стационарности матрицы системы, матрица S является матрицей наблюдаемости системы, следовательно, S^{-1} существует.

В процессе селекции по критерию (14) выбираются модели с большим $\det S$, т. е. с большими степенями наблюдаемости (уменьшение шума приводит к повышению качества наблюдения).

Результаты моделирования погрешности прогноза ошибок ИНС с использованием линейного модифицированного тренда и нелинейной модели для краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогноза показали, что краткосрочный прогноз погрешности ИНС с использованием трёх моделей отличается по точности и по времени. Время, потраченное на отбор нелинейной комбинации, в семь раз больше, чем на построение линейной модели. С возрастанием длительности прогноза эффективность использования метода самоорганизации по сравнению с линейным трендом и априорной моделью с идентификацией параметров возрастает. При долгосрочном прогнозе модель, полученная алгоритмом самоорганизации, позволяет получить результаты примерно в два раза точнее, чем линейный тренд.

Библиографические ссылки

1. Пупков К.А., Неусыпин К.А. Вопросы теории и реализации систем управления и навигации. М.: Биоинформ, 1997. 365 с.
2. Пролетарский А.В. Системный синтез систем управления // Автоматизация и современные технологии. 2007. № 5.
3. Неусыпин К.А., Фам Суан Фанг. Повышение степени управляемости ЛА // Автоматизация и современные технологии. 2007. № 2. С. 21–25.
4. Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Цибизова Т.Ю. Системы управления летательными аппаратами и алгоритмы обработки информации. М.: Изд-во МГОУ, 2006. 235 с.



ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

Cisco включается в борьбу с безработицей в России

11 февраля 2010 г. на базе Государственного образовательного учреждения Колледжа предпринимательства №11 начал работу Образовательный центр «Сетевая академия Cisco». Центр создан в рамках совместной программы компании Cisco и департамента образования г. Москвы, нацеленной на переподготовку и повышение квалификации безработных граждан и социально незащищенных групп населения. Cisco предоставила оборудование для учебной лаборатории и обучила инструкторов, которые будут преподавать основы информационных и коммуникационных технологий в соответствии с программой Сетевых академий Cisco. Обучение будет вестись бесплатно.

Образовательный центр, сформированный в рамках общей стратегии технологического партнерства Cisco и Правительства РФ, стал одним из первых учреждений такого рода в России. В Образовательном центре «Сетевая академия Cisco» будут заниматься безработные и малообеспеченные жители Москвы, инвалиды, студенты, отставные военные и другие категории граждан, наиболее пострадавшие от экономического кризиса. В первую очередь в Центре будут обучаться лица, направленные на профессиональное переобучение службой занятости при департаменте труда и занятости населения г. Москвы. Они пройдут обучение по программе первого и второго курсов специальности CCNA Discovery с целью подготовки к индустриальной сертификации CCENT. (Стоит отметить, что за прошедший год по различным программам переквалификации в Колледже предпринимательства № 11 было обучено более 500 безработных). Кроме того, в Образовательном центре «Сетевая академия Cisco» смогут заниматься те студенты Колледжа предпринимательства №11, которые пожелают пройти обучение по всем четырем курсам программы CCNA Discovery, чтобы затем сдать экзамен на сертификацию CCNA.

Планируется, что на базе колледжа будет открыт центр тестирования Pearson-VUE, что позволит всем зачисляемым в Образовательный центр сдавать сертификационные экзамены сразу же по завершении учебы. Первая группа выпускников Образовательного центра сможет сдать сертификационные экзамены бесплатно. За первый год работы Образовательного центра к получению профессиональных сертификатов планируется подготовить как минимум тридцать безработных граждан и пятьдесят студентов Колледжа предпринимательства № 11.

Уникальность проекта Образовательного центра состоит в том, что его можно легко воспроизвести в любом регионе РФ: для открытия подобного учреждения надо лишь обучить двух инструкторов по программе Сетевых академий Cisco и установить соответствующее

лабораторное оборудование в учебных классах. «В Москве мы вводим в действие pilotный проект, и аналогичные центры можно открыть и в других регионах России, особенно, в так называемых «моногородах», — говорит генеральный директор ООО Сиско Системс» Павел Бетсис. — Создание Образовательного центра «Сетевая академия Cisco» полностью соответствует принципу корпоративной социальной ответственности, которого компания Cisco придерживается в своей деятельности во всех странах мира. Открытие центра способствует решению двух немаловажных задач: снижению социальной напряженности, вызванной мировым экономическим кризисом, и сокращению дефицита сетевых специалистов, который принял глобальный характер и с каждым годом приобретает все большую остроту (по оценке аналитической компании IDC, в 2011 г. нехватка специалистов по сетевым технологиям будет измеряться цифрой в 396 тыс. человек)».

Образовательный центр «Сетевая академия Cisco» — аналог проекта, реализуемого в США в рамках совместной инициативы органов власти и частных компаний под названием Workforce Retraining Initiative («Программа переподготовки работоспособного населения»). В июле 2009 г. эта инициатива была введена в действие в штате Мичиган — одном из регионов США, наиболее сильно пострадавших от экономического кризиса. Об этой инициативе, разработанной в целях создания новых рабочих мест и поддержания конкурентоспособности США, с похвалой отозвался глава Белого дома Барак Обама. Cisco осуществляет данный проект в партнерстве с местными вузами и учреждениями здравоохранения и повышения квалификации кадров, широко применяя опыт своих Сетевых академий.

Стартовавшая в октябре 1997 г. программа Сетевых академий Cisco ныне действует уже в 168 странах мира. Программа носит некоммерческий характер (на ее осуществление Cisco потратила более 350 млн. долл. США) и нацелена на фундаментальную подготовку специалистов по теории и практике проектирования, строительства и эксплуатации локальных и глобальных сетей с применением общепризнанных стандартов. Сетевые академии Cisco используют электронную модель образования (e-learning), сочетающую web-обучение с занятиями под руководством преподавателей. Она включает в себя лабораторные работы, дающие практические навыки проектирования, строительства и обслуживания компьютерных сетей.

Слушатели Сетевых академий Cisco получают возможность приобрести знания и навыки, необходимые для работы в условиях все более технологически зависимой экономики. В России открыто 125 Сетевых академий Cisco. В настоящее время в них обучается более 5600 человек.

«Продэкспо-2010»

В Центральном выставочном комплексе (ЦВК) «Экспоцентр» в Москве с 8 по 12 февраля 2010 г. успешно прошла 17-я Международная выставка продуктов питания, напитков и сырья для их производства – «Продэкспо-2010». Выставка была организована ЦВК «Экспоцентр» при содействии Министерства сельского хозяйства Российской Федерации и проводилась под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ и Совета руководителей торгово-промышленных палат государств – участников СНГ. Значимость выставки для российского и мирового продовольственного рынка подтверждена знаками качества Всемирной ассоциации выставочной индустрии (UFI) и Российского Союза выставок и ярмарок (РСВЯ).

На выставке свою продукцию представили следующие страны: Австралия, Австрия, Азербайджан, Аргентина, Армения, Бельгия, Болгария, Бразилия, Великобритания, Венгрия, Германия, Греция, Дания, Израиль, Индия, Индонезия, Иран, Ирландия, Испания, Италия, Казахстан, Канада, Кипр, КНР, Латвия, Литва, Малайзия, Мексика, Молдова, Монако, Монголия, Нидерланды, ОАЭ, Перу, Польша, Португалия, Республика Беларусь, Республика Корея, Россия, Румыния, Сербия, Сингапур, США, Таиланд, Тунис, Турция, Украина, Уругвай, Финляндия, Франция, Хорватия, Чешская Республика, Чили, Шри-Ланка, Эстония, Южно-Африканская Республика, Япония. Участниками этого смотра явились известные мировые производители и поставщики продуктов питания и напитков, в числе которых «Hyleys» (Великобритания); «Le Cafï», «Lactalis» (Франция); «Алокозай ТИ» (ОАЭ); «Milford», «Tonnies Fleisch» (Германия); «Cacique» (Бразилия); «Cibus» (Уругвай); «VALIO», «Myllyn Paras» (Финляндия); «Сукория» (Польша); «Lamb Weston» (Нидерланды); «Rigas Sprotes» (Латвия); «Eurovision» (США); «Tea Tang», «Imperial Teas», «Dilmah», «Ристон» (Шри-Ланка); «Vetroelite S.P.A.» (Италия) и др.

Из 1800 фирм, принявших участие в выставке, 1200 были Российские. Среди наиболее именитых отечественных участников выставки можно отметить «Останкинский мясокомбинат», «Рублёвские колбасы и деликатесы», «Мираторг», «Краснодарский сырзавод», «Невские молокопродукты», «Останкинский молочный комбинат», «Доширак», «Кинг Леон», ТД «Кухня без границ», «Колви», «Эмборг», «Шельф-2000», «Челны-Холод», ТД «Поспел», «Морегранд», «Сухогруз», «Альбатрос сифуд трейдинг», «Главпродуктторг», «Булгарконсерв», «Русская консервная компания», «Гипар», «Балтимор», «Акмалько», «Niagara», «Русская трапеза», «Мерпаса», НПП «Восход», «Пищмашсервис» и др.

Универсальная по своей тематике выставка была организована по салонному принципу. 17 тематических экспозиций были посвящены всей номенклатуре продуктов питания и напитков, а также сопутствующему оборудованию и упаковке. «Продэкспо-2010» – самое авторитетное бизнес-предприятие пищевой отрасли России, в котором принимали участие все ведущие российские и мировые бренды пищевой отрасли.

Необходимо отметить, что несколько последних лет стабильный рост показал раздел упаковки, упаковочного оборудования и материалов: этот сегмент пользуется возрастающим спросом среди производителей продуктов питания и напитков, поскольку упаковка давно стала одним из основных инструментов продвижения продукции среди потребителей.

Премьерой года явилась экспозиция «ПродэкспоПак-2010» – «Упаковочные решения для пищевой промышленности», которая из салона «Упаковочное оборудование и материалы» была выделена в самостоятельную выставку. В экспозиции были представлены: упаковка из различного сырья и материалов; стеклотара; бутилирование, укупорочные средства; упаковочное оборудование, оборудование для розлива, укупорки; оборудование для производства этикеток, нанесения печати на упаковку; этикетка, полиграфия; дизайн упаковки, эксклюзивная упаковка.

Впервые в рамках «Продэкспо-2010» проводился Салон мороженого, организованный ЗАО «Экспоцентр» совместно с Союзом мороженщиков России. Ведущие отечественные и зарубежные производители мороженого, ингредиентов, торгового и ходильного оборудования установили прямые контакты со специалистами из всех регионов РФ, стран ближнего и дальнего зарубежья, получили полный обзор инноваций и достижений в отрасли производства мороженого, определили стратегию развития отрасли, заключили контракты на поставку своей продукции.

Особое место заняла насыщенная конгрессными мероприятиями деловая программа, которая позволила не только широко продемонстрировать продукцию известных производителей, но и провести дискуссии об основных маркетинговых стратегиях продвижения товаров пищевой тематики, по различным проблемам здорового питания и напитков. Участие в выставке «Продэкспо» – залог успешного развития бизнеса для компаний, укрепление её позиций и имиджа среди профессиональной аудитории, эффективная возможность вывода на рынок новых продуктов и услуг. Коммерческая отдача от участия в выставке также повышается за счёт применения экспертами «Экспоцентра» инновационных выставочных технологий и введения для экспонентов и посетителей дополнительных услуг.



ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

УДК 621.002.51

По страницам журналов

Проектирование кривошипно-прессовых машин с использованием соотношений подобия. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2009. № 9.

Изложена методика проектирования кривошипных машин, позволяющая на основе объекта-представителя определить с приемлемой точностью все параметры множества подобных ему объектов других типоразмеров.

Автоматизированная система управления комбинированным приводом рудничного электровоза. *Горное оборудование и электромеханика*. 2009. № 9.

Показано, что одной из причин снижения технико-экономических показателей рудничных электровозов является снижение коэффициента сцепления колёс на отдельных участках.

Предложена и описана структурная схема комбинированного привода, включающего дополнительно линейный двигатель, обеспечивающая рациональное использование основного и дополнительного приводов в различных режимах работы.

Технологичность продукции машиностроения для условий автоматизированного сборочного производства. *Вестник машиностроения*. 2009. № 9.

Рассмотрены вопросы обеспечения сборочной технологичности машиностроительной продукции на стадии проектирования для автоматизированного сборочного производства, предложены направления решения поставленной задачи.

Технология автоматического считывания символьной информации. *Вестник компьютерных и информационных технологий*. 2009. № 9.

Для решения задачи автоматического считывания машиносчитываемых документов разработана модульная схема обработки изображения, предполагающая последовательное выполнение следующих этапов: обнаружение строк, определение знакомест, бинаризация символов, распознавание символов, постпроверка результатов распознавания. Достигнуто необходимое качество автоматического считывания данных в машиносчитываемой зоне тестовых документов за счёт применения кросс-проверки на основе методов зон и пересечений, а также использования ряда структурных контекстных правил.

Результаты международного мониторинга отказов и неисправностей легковых автомобилей. *Автомобильная промышленность*. 2009. № 9.

Приведены результаты исследования интенсивности отказов легковых автомобилей в не-

скольких странах мира. Определены основные причины неисправностей, а также их характер, наработки, фактические периодичности обслуживания в процессе эксплуатации. На основании приведённых данных делаются соответствующие выводы.

Прогнозирование последствий аварий, связанных с разгерметизацией резервуарного оборудования. Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 9.

Предложена методика определения последствий аварийной разгерметизации резервуарного оборудования, приведены результаты экспериментальной апробации данной методики и моделирования аварийных ситуаций.

Автоматизированный экспресс-анализ качества изготовления и сборки насосов в цеховых условиях и гидроприводов навесных устройств в составе трактора. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 10.

Приведены методы и аппаратно-программные средства мониторинга технического состояния гидроприводов навесных устройств тракторов по их КПД, включающие определение КПД гидропривода для контроля качества его изготовления и сборки с использованием в качестве нагружающего устройства гидроаккумулятора или программно-управляемого дросселя, и косвенной оценки КПД гидропривода навесного устройства трактора по параметрам колебаний давления, обусловленных собственными затухающими колебаниями гидромеханической системы навесного устройства, возникающими в начальный момент выдвижения штоков гидроцилиндров.

Оценка работоспособности трибосистем на основе экстремальных показателей их динамической адаптации. Трение и смазка в машиностроении и механизмах. 2009. № 10.

Предложен метод испытаний триботехнических материалов, способных к динамической адаптации. Показана возможность прогнозирования вероятности отказа трибосопряжения по результатам предположенного метода испытаний.

Метод автоматического обнаружения сигналов на основе перемножения фрагментов реализаций спектра наблюдаемого процесса. Контроль. Диагностика. 2009. № 10.

Предложен метод обнаружения нестационарных процессов (сигналов) при низких значениях

отношения сигнал/шум на основе посимвольного перемножения реализаций их спектров. Обоснован выбор автоматического порога отображения. Приведены результаты практического эксперимента.

Нанопроводники для наноэлектроники. Нано- и микросистемная техника. 2009. № 10.

Дан обзор достижений в области технологии формирования нанопроводников для электронных приборов. Рассмотрены процессы самоформирования кремниевых и гетероструктурных нанопроводников, особенности структур МОП-транзисторов, изготовленных на основе нанопроводников.

Применение встроенного микроконтроллера для системы управления стартер-генераторной установки. Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 10.

Рассмотрены различные варианты структурных схем систем управления автомобильными стартер-генераторами. Приведено описание основных периферийных устройств микроконтроллеров, необходимых для создания таких систем. Дано описание алгоритмов реализации основных видов широтно-импульсной модуляции. Приведены алгоритмы управляющих программ для стартер-генераторов, позволяющие решать задачи управления.

Математическое моделирование процесса кристаллизации металлических расплавов после обработки внешними воздействиями. Заготовительные производства в машиностроении. 2009. № 10.

Предложена математическая модель, позволяющая рассчитать основные параметры кристаллизации – критический радиус зародыша кристаллизации и количество зародышей в единице объёма расплава. Расчёт был успешно опробован на литьевых алюминиевых сплавах, обработанных внешними воздействиями в процессе плавки и заливки в литьевые формы. Модель может быть использована для определения эффективности конкретного способа обработки расплава.

Методы защиты информации в звуковых файлах. Информационные технологии. 2009. № 10.

Рассмотрены методы сокрытия информации в звуковых файлах формата MP3. Показана структура MP3-кодирования. Предложены новые методы как для сокрытия больших объёмов информации, так и для сокрытия с высокой степенью

устойчивости к обнаружению. Приведены сравнительные результаты работы существующих и предлагаемых методов с точки зрения ёмкости, быстродействия и устойчивости к обнаружению.

Структура и алгоритмы управления электроприводом переменного тока экскаватора. Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 10.

Приведено обоснование целесообразности использования мультиструктурной системы управления для электроприводов экскаваторов с выделением основных режимов их функционирования, а также доказана эффективность использования активного выпрямителя для улучшения электромагнитной совместимости приводов экскаватора с питающей сетью.

Новая разновидность электромагнитной опасности среды обитания. Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 10.

Обсуждена проблема биологической активности слабых электромагнитных полей и излучений. Рассмотрены свойства магнитного векторного потенциала как активной компоненты электромагнитных факторов воздействия на живые объекты. Приведены экспериментальные результаты, подтверждающие эту активность, которая может быть источником опасности для человека.

Представление структуры изделий в информационных системах управления машиностроительными предприятиями. Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. № 10.

Рассмотрены способы представления спецификации изделий таблицами реляционной базы данных. Предложены форматы спецификаций – групповой и изделий, изготавляемых в различных производственно-технологических вариантах (с заменяемыми деталями), отличающиеся тем, что принадлежность деталей сборочным единицам задают логическим выражением, формируемым с использованием конструкторского обозначения сборочных единиц, заменяемость определяют специальной таблицей, в которой представлены логические условия применения позиций дерева изделия.

Новый способ упрочнения направляющих телескопических гидроцилиндров. Автомобильная промышленность. 2009. № 10.

Рассмотрены вопросы повышения износостойкости направляющих телескопических гидроцилиндров из серого чугуна совместным термодиффузионным насыщением алюминием и ванадием.