

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
—
2011

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
Богус С.В. — 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

Бобырь М.В., Титов В.С. Интеллектуальная система управления температурными деформациями при резании	3
Шарапов Р.В., Шарапова Е.В. Построение поисковых систем на основе теории нечётких множеств	8
Дьяков И.Ф. Определение усталостного разрушения деталей при циклическом нагружении	11
Буренин В.В. Новые конструкции воздушных фильтров для систем пневмоавтоматики и силового пневмопривода ...	14

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ронжин Ан.Л., Будков В.Ю., Ронжин Ал.Л. Технологии формирования аудиовизуального интерфейса системы телеконференций	20
Смирнов В.А. Точность численного решения нестационарной нелинейной задачи теплопроводности при плоском шлифовании периферий круга	27
Дивнич П.Н., Шнайдер Д.А., Вахромеев И.Е. Распределённое управление пароснабжением промышленных потребителей на основе динамической программной модели	31
Микляев И.А., Ундозерова А.Н., Кудаева М.В. Разработка информационных систем на основе модели универсальной базы данных	38

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Петриченко Г.С., Нарыжная Н.Ю., Срур М.Ю. Оценка приоритетности параметров технического состояния компьютерной сети предприятия	42
--	----

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

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

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Bobyr M.V., Titov V.S. Intellectual control system of the temperature deformations at the cutting	3
Sharapov R.V., Sharapova E.V. Searching systems construction from a fuzzy multitudes theory	8
Dyakov I.F. Parts fatigue fracture definition for cyclical load ...	11
Burenin V.V. New air filters for pneumatic automation systems and power pneumatic drive	14

MODERN TECHNOLOGIES

Ronzhin An.L., Budkov V.Yu., Ronzhin Al.L. Audio-visual interface forming technology for teleconference system ...	20
Smirnov V.A. Numerical decision accuracy of the thermal conductivity non-stationary nonlinear task at surface grinding with wheel periphery	27
Divnich P.N., Shnайдер D.A., Vakhromeev I.E. Steam supply distributed control of the industrial consumer from a dynamical programming model	31
Miklyev I.A., Undozerova A.N., Kudaeva M.V. Development of the information systems from a universal data base model	38

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC AKTIVIES

Petrichenko G.S., Naryzhnaya N.Yu., Srur M.Yu. Parameters priority valuation of the enterprise computer net technical condition	42
--	----

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

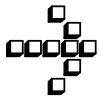
Художественный редактор *Галицина Т.Н.*
Компьютерный набор *Путинов В.Н.*
Компьютерная верстка *Тугаринов А.А.*

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

Сдано в набор 28.02.11. Подписано в печать 27.04.11.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 6,9. Заказ 266. 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 621:658.011.56

М. В. Бобырь, канд. техн. наук, доц., **В. С. Титов**, д-р. техн. наук, проф.
(Юго-Западный государственный университет, г. Курск)

fregat_mn@rambler.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ ПРИ РЕЗАНИИ

Рассмотрена интеллектуальная система управления температурными деформациями оборудования с ЧПУ на основе нечётко-логического вывода. Приведён пример выбора управляющих величин на основе алгоритма Заде и Мамдами, поясняющий суть работы системы управления.

Ключевые слова: интеллектуальная система управления, автоматизированная система управления, оборудование с ЧПУ, нечёткая логика, нечётко-логический вывод.

Temperature deformations intellectual control CNC-system of the equipment from a fuzzy-logical resume is considered. Control parameters choice example from a Zade and Mamdami algorithm that explains the control system function essence is adduced.

Key words: intellectual control system, automatic control system, CNC equipment, fuzzy logic, fuzzy-logical resume.

Введение. При проектировании интеллектуальных систем управления оборудованием с ЧПУ в большинстве случаев возникает необходимость компенсации температурных деформаций, образующихся в зоне резания при прохождении резца по обрабатываемой поверхности детали. В частности, на машиностроительном оборудовании для устранения температурных погрешностей используется смазочно-охлаждающая жидкость, однако её применение не всегда целесообразно, так как изменить это возмущающее воздействие можно, поменяв параметры режима резания, например подачу или скорость резания. При этом основным требованием, предъявляемым к таким системам управления, является высокое быстродействие принятия управляющего решения.

Влияние температурных погрешностей на точность резания. Одним из главных моментов проектирования высокоточных систем управления оборудованием с ЧПУ является необходимость учёта температурных деформаций, появляющихся при работе станка в режиме реального времени. При этом тепловые процессы приводят к смещению шпинделя станка относительно базовой оси обрабатываемой детали на небольшое расстояние, которое ведёт к нежелательному появлению одной из следующих форм продольного сечения обработанной поверхности детали: ко-

нусности, бочкообразности и седлообразности [1]. В ходе проводимых исследований была разработана интеллектуальная система управления (ИСУ), позволяющая управлять температурными деформациями (рис. 1).

ИСУ температурными деформациями работает следующим образом. При прохождении резца по поверхности детали возникают температурные деформации, которые ухудшают точность готового изделия. При этом температурная погрешность ΔT_0 технологической системы «станок—приспособление—инструмент—деталь» определяется по формуле

$$\Delta T_0 = l \alpha_t (t - t_0),$$

где l – линейный размер поверхности обрабатываемой детали; α_t – температурный коэффициент линейного расширения, зависящий от материала обрабатываемой детали (для стали $\alpha_t = 0,000012, 1/^\circ\text{C}$); $t - t_0$ – разность температур между заданным значением t_0 и значением температуры резца t .

Например, при изменении температуры в зоне резания на 50°C при обработке стальной заготовки ($l = 70 \text{ мм}$) температурная погрешность составит $\Delta T = 0,000012 \times 70 \times 50 = 42 \text{ мкм}$, что вызывает удлинение резца на величину ΔT и приводит к браку при механической обработке изделий.

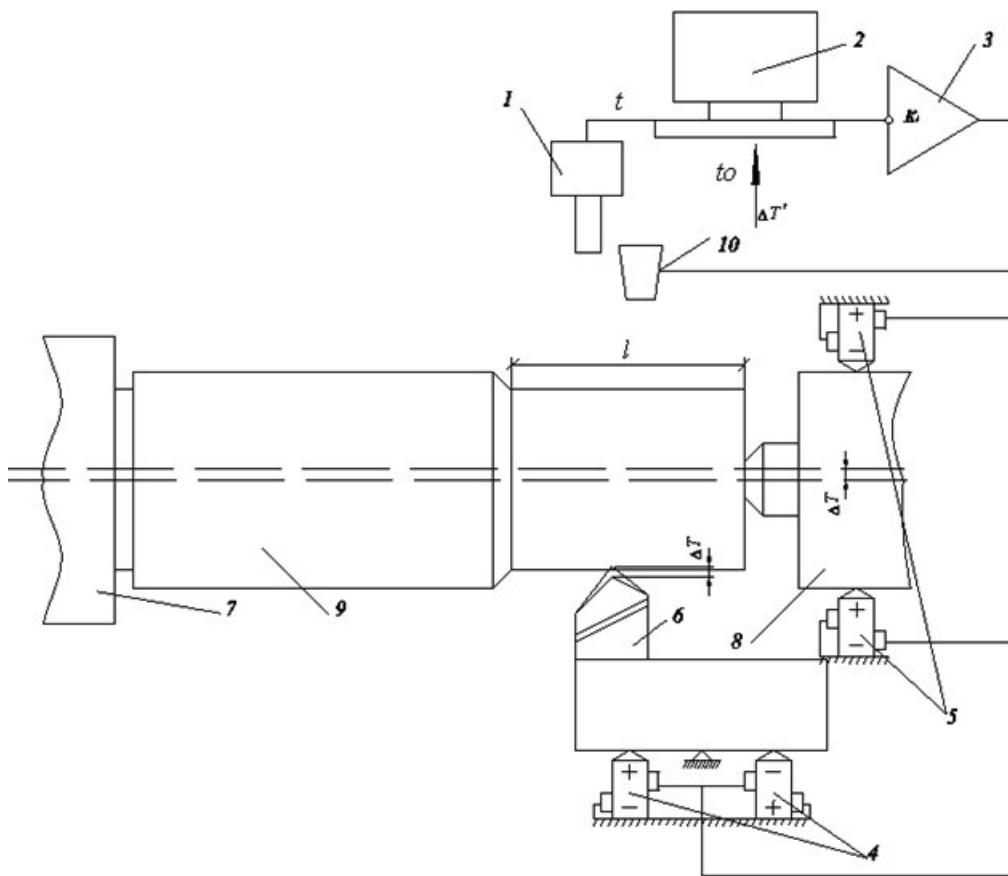


Рис. 1. Интеллектуальная система управления температурными деформациями оборудования с ЧПУ:

1 – тепловизор; 2 – компьютер; 3 – блок усиления сигнала; 4, 5 – исполнительные механизмы оборудования с ЧПУ; 6 – резец; 7 – передняя бабка; 8 – задняя бабка; 9 – деталь; 10 – оптический датчик

Цифровой сигнал, пропорциональный значению температуры t_0 , задаётся в компьютере до начала обработки детали на оборудовании с ЧПУ. Сигнал текущего состояния температуры t в зоне резания с тепловизора поступает на вход компьютера, в котором определяется разность между заданным значением t_0 и значением температуры резца t , полученной с тепловизора. Если разность ΔT_0 не превышает допустимого значения, то процесс резания продолжается без коррекции. Если значение ΔT_0 превышает допустимое, то с помощью исполнительного механизма необходимо заднюю бабку станка переместить на величину ΔT_0 , при этом точность размера обработанной поверхности детали контролируется оптическим датчиком.

Применяется следующий способ изменения пространственного расположения задней бабки с помощью исполнительных механизмов при возникновении температурных деформаций. При появлении температурных деформаций необходимо увеличить или уменьшить подачу S путём изменения частоты вращения электродвигателя, входящего в состав исполнительных механизмов 4 и 5 оборудования с ЧПУ. Поворот вправо электродви-

гателя означает перемещение в прямом направлении (ввинчивание) – размер обрабатываемой поверхности уменьшается, угол поворота влево (вывинчивание), в обратном направлении – размер обрабатываемой детали, наоборот, увеличивается.

Например, один оборот винта электродвигателя перемещает исполнительные механизмы на 1 мм, т. е. подача $S = 1 \text{ мм/об}$. Следовательно, если необходимо скорректировать размер на 0,1 мм, то следует повернуть винт с помощью электродвигателя на 1/10 оборота, т. е. на 36° , при обработке деталей типа «ось вращения» угол составит 18° . Таким образом, осуществляется коррекция пространственного расположения задней бабки оборудования с ЧПУ с целью устранения нежелательных характеристик тепловых процессов.

Математическая модель системы управления тепловыми деформациями. Входным параметром интеллектуальной системы управления является заготовка 3, характеризующаяся температурным коэффициентом линейного расширения α_p , длиной l и разностью температур, рассчитанной до обработки t_0 и полученной с помощью тепловизора t . Параметром управления является темпера-

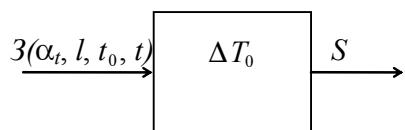


Рис. 2. Взаимосвязь между входными и выходными параметрами

турная деформация ΔT_0 , на которую осуществляется перемещение центра задней бабки станка с помощью исполнительного механизма. Выходной параметр – подача S . Взаимосвязь между параметрами ИСУ приведена на рис. 2.

Для управления температурными деформациями наиболее информативными являются следующие параметры: ΔT_0 – [1–50] мкм и S – [1–10] мм/об. Данные были получены в результате опроса экспертов – операторов оборудования с ЧПУ [3].

Для каждой переменной создаётся соответствующее нечёткое множество Y со своим носителем, полученное на основе определения экспертных оценок:

$$Y = \{ \langle x_{1, \dots, n}, \mu_y(x_{1, \dots, n}) \rangle \},$$

где x – элемент универсального множества X ; $\mu_y(x)$ – функция принадлежности, которая ставит в соответствие каждому из элементов универсального множества $x \in X$, определённое действительное число из интервала $[0, 1]$, т. е. $\mu_y: X \rightarrow [0, 1]$; n – количество элементов массива [3].

В качестве терм-множества входной переменной используется множество $\Delta T_0 = \{\text{«низкая»}, \text{«нормальная»}, \text{«высокая»}\}$; $S = \{\text{«маленькая»}, \text{«средняя»}, \text{«большая»}\}$.

Результаты моделирования представлены в виде графиков функций принадлежности каждой из переменных (рис. 3).

Далее формируются нечёткие правила управления (НПУ) вида

$$\text{НПУ } (1, \dots, n): \text{ЕСЛИ } \Delta T_0 = \alpha \text{ ТО } S \text{ есть } \beta,$$

где n – число НПУ; $\Delta T_0 = \alpha$ – нечёткая предпосылка; $\langle S \text{ есть } \beta \rangle$ – нечёткое заключение, при этом $\Delta T_0 \neq S$.

Например, НПУ может иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \text{ЕСЛИ } &\text{«температура деформация»} \\ &= \text{«низкая»} \text{ ТО } \langle \text{«подача»} = \text{«маленькая»} \rangle. \end{aligned}$$

Затем на основе НПУ создаётся матрица нечётких отношений R (композиционная матрица), отражающая взаимосвязь между входными ΔT_0 и выходными параметрами S :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & r_{ij} & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $m \times n$ – размерность композиционной матрицы.

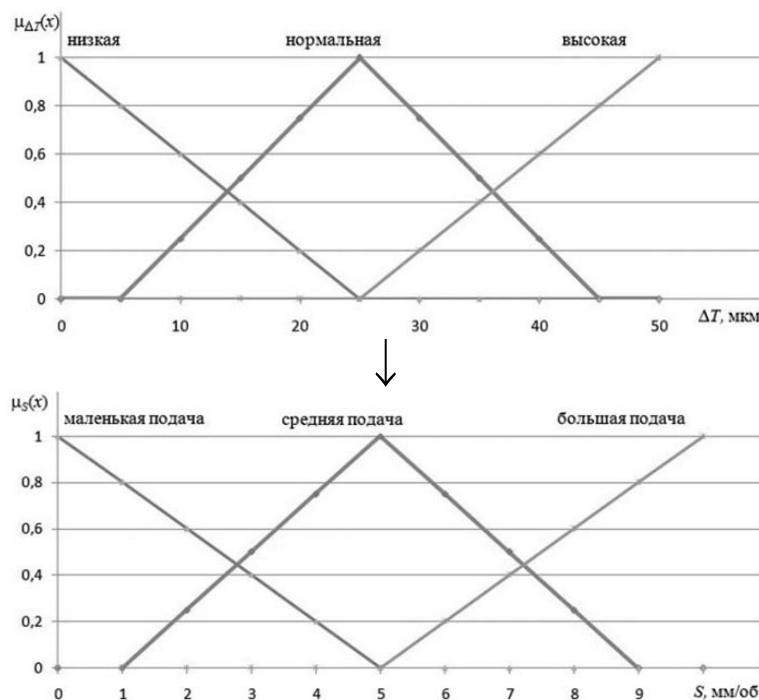


Рис. 3. Представление нечётких величин

Событие	Прямой НВ	Обратный НВ
Знание	Если x есть ΔT_0 , то y есть S	Если x есть ΔT_0 , то y есть S
Факт	x есть $\Delta T_0'$	y есть S'
Вывод	y есть S'	x есть $\Delta T_0'$

При этом нечёткие множества ΔT_0 и S определяются выражениями

$$\Delta T_0 = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_i, \dots, t_m), \quad 0 \leq t_i \leq 1,$$

$$S = (s_1, s_2, s_3, \dots, s_j, \dots, s_n), \quad 0 \leq s_j \leq 1.$$

Произвольный элемент r_{ij} матрицы нечётких отношений определяется

согласно Заде: $r_{ij} = (t_i \wedge s_j) \vee (1 - t_i)$;

согласно Мамдани: $r_{ij} = t_i \wedge s_j$.

Для того чтобы получить логические результаты, необходимо использовать *нечёткий вывод* (НВ). Различают прямой и обратный НВ (см. таблицу).

Для прямого НВ результатом будет

$$S' = (s'_1, s'_2, s'_3, \dots, s'_j, \dots, s'_n) = \Delta T'_0 \circ R = \\ = (t'_1, t'_2, t'_3, \dots, t'_j, \dots, t'_n) \circ \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & r_{ij} & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где \circ – операция композиции нечётких величин.

Для получения численного значения выходной нечёткой переменной необходима дефазификация, которая выполняется на основе метода центра тяжести:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}. \quad (3)$$

Результаты моделирования компенсации температурных деформаций. Рассмотрим пример управления температурными деформациями. Нечёткие множества, приведённые на рис. 3, определены как ΔT_0 = «низкая» = $\{<0; 1>, <3; 0,88>, <5; 0,8>, <25; 0>\}$; S = «маленькая подача» = $\{<0; 1>, <1; 0,8>, <3; 0,4>, <5; 0>\}$.

Матрица нечётких отношений для НПУ:

ЕСЛИ « ΔT_0 » = «высокая»
ТО « S » = «маленькая подача».

Согласно Заде НПУ будет иметь следующий вид:

$$\text{НПУ} = \{<0; 1>, <3; 0,88>, <5; 0,8>, <25; 0>\} \wedge \{<0; 1>, <1; 0,8>, <3; 0,4>, <5; 0>\} = \{<(0, 0); 1>, <(0, 3); 0,88>, <(0, 5); 0,8>, <(0, 25); 0>, <(1, 0); 0,8>, <(1, 3); 0,8>, <(1, 5); 0,8>, <(1, 25); 1>, <(3, 0); 0,4>, <(3, 3); 0,4>, <(3, 5); 0,4>, <(3, 25); 1>, <(5, 0); 0>, <(5, 3); 0,12>, <(5, 5); 0,2>, <(5, 25); 0>\}.$$

Данное правило представляется в виде матрицы нечётких отношений (1):

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0,88 & 0,8 & 1 \\ 0,8 & 0,8 & 0,8 & 1 \\ 0,4 & 0,4 & 0,4 & 1 \\ 0 & 0,12 & 0,2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Согласно Мамдани НПУ можно записать в следующем виде:

$$\text{НПУ} = \{<0; 1>, <3; 0,88>, <5; 0,8>, <25; 0>\} \wedge \{<0; 1>, <1; 0,8>, <3; 0,4>, <5; 0>\} = \{<(0, 0); 1>, <(0, 3); 0,88>, <(0, 5); 0,8>, <(0, 25); 0>, <(1, 0); 0,8>, <(1, 3); 0,8>, <(1, 5); 0,8>, <(1, 25); 0>, <(3, 0); 0,4>, <(3, 3); 0,4>, <(3, 5); 0,4>, <(3, 25); 0>, <(5, 0); 0>, <(5, 3); 0>, <(5, 5); 0>, <(5, 25); 0>\}.$$

Данное правило представляется в виде матрицы нечётких отношений (1)

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0,8 & 0,8 & 0 \\ 0,8 & 0,8 & 0,8 & 0 \\ 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Пусть в процессе резания тепловизор показал, что данные изменились на величину $\Delta T'$:

$$\Delta T' = \text{«низкая»} = \{<0; 0,9>, <3; 0,7>, <5; 0,6>, <25; 0>\}.$$

Тогда для определения выходного параметра S , необходимо воспользоваться выражением (3): согласно Заде –

$$S' = \Delta T' \circ S = \{<0; 0,9>, <3; 0,7>, <5; 0,6>, <25; 0>\} \circ \{<(0, 0); 1>, <(0, 3); 0,88>, <(0, 5); 0,8>, <(0, 25); 0>, <(1, 0); 0,8>, <(1, 3); 0,8>, <(1, 5); 0,8>, <(1, 25); 1>, <(3, 0); 0,4>, <(3, 3); 0,4>, <(3, 5); 0,4>, <(3, 25); 1>, <(5, 0); 0>, <(5, 3); 0,12>, <(5, 5); 0,2>, <(5, 25); 0>\} = \{<(0, 0); 0,9>, <(0, 3); 0,78>, <(0, 5); 0,68>, <(0, 25); 0>, <(1, 0); 0,8>, <(1, 3); 0,78>, <(1, 5); 0,68>, <(1, 25); 1>, <(3, 0); 0,4>, <(3, 3); 0,4>, <(3, 5); 0,4>, <(3, 25); 1>, <(5, 0); 0>, <(5, 3); 0,12>, <(5, 5); 0,2>, <(5, 25); 0>\}.$$

$$\langle 25; 0 \rangle \circ \begin{bmatrix} 1 & 0,88 & 0,8 & 1 \\ 0,8 & 0,8 & 0,8 & 1 \\ 0,4 & 0,4 & 0,4 & 1 \\ 0 & 0,12 & 0,2 & 1 \end{bmatrix} = \langle 0; 0,9 \rangle,$$

$\langle 1; 0,88 \rangle, \langle 3; 0,8 \rangle, \langle 5; 0,9 \rangle \rangle.$

согласно Мамдани –

$$S' = \Delta T' \circ S = \langle 0; 0,9 \rangle, \langle 3; 0,7 \rangle, \langle 5; 0,6 \rangle,$$

$$\langle 25; 0 \rangle \circ \begin{bmatrix} 1 & 0,88 & 0,8 & 0 \\ 0,8 & 0,8 & 0,8 & 0 \\ 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \langle 0; 0,9 \rangle,$$

$\langle 1; 0,88 \rangle, \langle 3; 0,8 \rangle, \langle 5; 0 \rangle \rangle.$

Дефазификация полученного результата на основе формулы (3) даст результат:

согласно Заде –

$$S' = \frac{(1 \cdot 0,88) + (3 \cdot 0,8) + (5 \cdot 0,9)}{0,9 + 0,88 + 0,8} = 3,02 \text{ мм/об.};$$

согласно Мамдани –

$$S' = \frac{(1 \cdot 0,88) + (3 \cdot 0,8)}{0,9 + 0,88 + 0,8} = 1,27 \text{ мм/об.}$$

Из полученных результатов видно, что при решении задачи управления температурными деформациями с использованием алгоритмов Заде и Мамдани существует разница между полученными значениями управляющих параметров. Поэтому в ИСУ для упрощения сложности вычислительного процесса целесообразно использовать алгоритм Мамдани.

Заключение. В статье приведена ИСУ температурными деформациями, возникающими при обработке деталей на оборудовании с ЧПУ в режиме реального времени, а также описан принцип её работы. Приведён пример, реализованный на принципах нечёткой логики, поясняющий предложенный авторами способ коррекции температурных погрешностей.

Работа выполнена в Юго-Западном государственном университете при поддержке гранта Президента РФ МК-470.2009.8.

Библиографические ссылки

1. Титов В.С., Бобырь М.В., Милостная Н.А. Автоматическая компенсация тепловых деформаций шпиндельных узлов прецизионного оборудования с ЧПУ // Промышленные АСУ и контроллеры. 2006. № 11. С. 31–36.

2. Бобырь М.В. Диагностика оборудования с ЧПУ методами нечёткой логики // Промышленные АСУ и контроллеры. 2010. № 1. С. 18–20.

3. Бобырь М.В., Титов В.С., Емельянов С.Г. Теоретические основы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами на основе нечёткой логики: моногр. Старый Оскол: Тонкие научёмкие технологии, 2009. 232 с.

И.Х. Стратиевский
В.Г. Юрьев
Ю.М. Зубарев

АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА

СПРАВОЧНИК

АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА: справочник

И.Х. Стратиевский, В.Г. Юрьев, Ю.М. Зубарев

2010 г. 352 с. : ил. ISBN 978-5-94275-522-5

Цена 700 р.

Содержит данные об основных видах современных абразивных инструментов, выборе их характеристик и подготовке к эксплуатации. Для наиболее распространенных способов абразивной обработки приведены рекомендации по режимным параметрам, применяемому оборудованию и технологической оснастке, смазывающим технологическим средствам, оценке эксплуатационных свойств инструментов. Учтены изменения в стандартах, произошедшие в последние годы.

Предназначен для инженерно-технических работников машиностроительных предприятий, конструкторов и технологов, студентов и преподавателей высшего и среднего профессионального образования.

107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; факс: (499) 269-48-97; 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 004.738.52

Р.В. Шарапов, канд. техн. наук, доц., Е.В. Шарапова

(Муромский институт (филиал Владимирского государственного университета))

info@vanta.ru

ПОСТРОЕНИЕ ПОИСКОВЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЁЧЁТКИХ МНОЖЕСТВ

Рассмотрены возможности применения теории нечётких множеств в поисковых системах. Приведены основные понятия теории нечётких множеств и принципы осуществления поиска на её основе. Рассмотрены особенности построения поисковых запросов.

Ключевые слова: нечёткое множество, поисковая система, информационный поиск.

Facilities of the fuzzy multitudes theory application in the searching systems are considered. Fundamental conceptions of the fuzzy multitudes theory and search realization maxims from this theory are adduced. Construction features of the searching needs are considered.

Key words: fuzzy multitude, searching system, information retrieval.

Введение. За время развития поисковых систем распространение получили различные модели информационного поиска. Несмотря на всё разнообразие, наибольшее практическое применение нашли классические модели – булева, векторная и вероятностная [1]. Каждая из них имеет свои преимущества и недостатки. Тем не менее некоторые альтернативные модели часто показывают более хорошие результаты. Например, расширенная булева модель устраняет многие недостатки классической булевой модели поиска [2].

В традиционных системах поиск осуществляется по набору ключевых слов – пользователь вводит ключевые слова в виде запроса, которые затем ищутся в документах. Недостатком такого подхода является то, что ключевые слова только частично связаны с реальным семантическим содержанием соответствующих документов и запросов. Таким образом, соответствие документа запросу является приблизительным. Эту ситуацию можно представить в виде модели, приняв, что каждый терм (слово) запроса определяет нечёткое множество и что у каждого документа есть степень членства (обычно меньше единицы) в этом множестве. Такая интерпретация процесса поиска явилась основой для разработки моделей на основе теории нечётких множеств.

Возможность применения теории нечётких множеств в информационном поиске обсуждалась несколькими авторами [3–7]. Одной из наиболее значимых можно считать работу [3], в которой рассмотрены принципы построения систем на основе нечётких множеств. В работе [5] дано сравнение модели, основанной на теории нечётких множеств, с векторной моделью (на примере классификации документов). Результаты свидетельствуют о жизнеспособности применения мо-

делий нечётких множеств в информационном поиске. Тем не менее, практические вопросы использования теории нечётких множеств в информационном поиске освещены слабо.

Модели нечётких множеств для информационного поиска обсуждались главным образом в литературе, посвящённой теории нечётких множеств. Большинство экспериментов с такими моделями проводилось только на маленьких коллекциях документов, что осложняет сравнение результатов [1].

В данной статье рассмотрены возможности применения теории нечётких множеств в создании поисковых систем, принципы формирования поисковых запросов и вопросы практической реализации подобных систем.

Элементы теории нечётких множеств. Теория нечётких множеств [8, 9] предназначена для представления классов, границы которых чётко не определены. Основная идея состоит в том, чтобы установить связь функции членства с элементами класса. Эта функция принимает значения в интервале $[0;1]$, 0 соответствует отсутствию членства в классе, 1 – полному членству. Значения членства между 0 и 1 указывают граничные элементы класса. Таким образом, членство в нечёмком множестве имеет постепенное распределение вместо резкого, как в обычной булевой логике.

Нечёткое подмножество A предметной области U характеризуется функцией членства $\mu_A: U \rightarrow [0, 1]$, которая связывает с каждым элементом u число $\mu_A(u)$ в интервале $[0, 1]$.

На нечётких множествах используются три основные операции:

- дополнение нечёткого множества;
- объединение двух или более нечётких множеств;

пересечение двух или более нечётких множеств.

Они определяются следующим образом. Пусть U – предметная область, A и B – нечёткие подмножества U ; \bar{A} – дополнение A относительно U ; u – элемент U . Тогда

$$\mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u);$$

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max(\mu_A(u), \mu_B(u));$$

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min(\mu_A(u), \mu_B(u)).$$

Нечёткие множества используются для представления неопределённостей и неточностей и применяются для различных целей. Рассмотрим их применение в информационном поиске.

Нечёткие множества в информационном поиске. Для эффективного использования нечётких множеств следует применять тезаурусы, определяющие отношения между термами [1]. Основная идея состоит в том, чтобы расширить набор термов в запросе связанными с ними термами (полученными из тезауруса) таким образом, чтобы можно было найти дополнительные релевантные документы.

Тезаурус создаётся путём определения матрицы корреляции термов \vec{c} (названной в работе [3] матрицей соединения ключевых слов), чьи строки и столбцы связаны с термами в коллекции документов. В этой матрице \vec{c} – нормализованный фактор корреляции $c_{i,l}$ между двумя термами k_i и k_l – может быть определён с помощью выражения

$$c_{i,l} = \frac{n_{i,l}}{n_i + n_l - n_{i,l}},$$

где n_i , n_l , $n_{i,l}$ – число документов, которые содержат терм k_i , терм k_l и оба терма соответственно.

Матрицу корреляции термов \vec{c} можно использовать для определения нечёткого множества, связанного с каждым индексным термом k_i . В этом нечётком множестве документ d_j имеет степень членства $\mu_{i,j}$, вычисляемую как

$$\mu_{i,j} = 1 - \prod_{k_l \in d_j} (1 - c_{i,l}).$$

Документ d_j принадлежит нечёткому множеству, связанному с термом k_i , если его собственные термы связаны с k_i . Всякий раз, когда в d_j есть по крайней мере один терм k_l , который строго связан с термом k_i (т. е. $c_{i,l} \sim 1$), то $\mu_{i,j} \sim 1$, терм k_i – хороший нечёткий терм для документа d_j .

В случае, когда все термы d_j только свободно связаны с k_i , то терм k_i – нехороший нечёткий терм для d_j (т. е. $\mu_{i,j} \sim 0$).

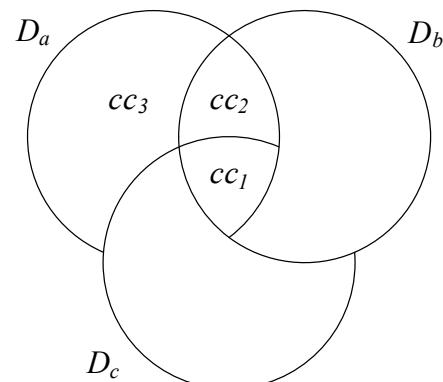
Пользователь обычно формулирует запросы с использованием логических (булевых) выражений. Аналогично булевой модели поиска, запросы преобразуются в дизъюнктивную нормальную форму. Например, запрос $q = k_a \wedge (k_b \vee \neg k_c)$ можно записать в дизъюнктивной нормальной форме как $\vec{q}_{dnf} = (1,1,1) \vee (1,1,0) \vee (1,0,0)$, где каждый из элементов – это бинарный взвешенный вектор, связанный с кортежем (k_a, k_b, k_c) . Бинарные взвешенные векторы – это конъюнктивные компоненты \vec{q}_{dnf} . Пусть cc_i описывает i -й конъюнктивный компонент. Тогда

$$\vec{q}_{dnf} = cc_1 \vee cc_2 \vee \dots \vee cc_p,$$

где p – количество конъюнктивных компонентов \vec{q}_{dnf} .

Процедура вычисления релевантности документа запросу похожа на вычисление релевантности для классической булевой модели.

Рассмотрим запрос $q = k_a \wedge (k_b \vee \neg k_c)$. Пусть D_a – нечёткое множество документов, связанных с термом k_a (см. рисунок). Это множество составляется, например, в соответствии с документами d_j , у которых степень членства $\mu_{a,j}$ больше, чем определённый порог K . Пусть \bar{D}_a – дополнение множества D_a . Нечёткое множество \bar{D}_a связано с k_a отрицанием терма k_a . Аналогично можно определить нечёткие множества D_b и D_c , связанные с термами k_b и k_c соответственно. Так как все множества нечёткие, документ d_j мог бы принадлежать множеству D_a , даже если текст документа d_j не упоминает терм k_a .



$$D_q = cc_1 + cc_2 + cc_3$$

Нечёткое множество документа для запроса
 $q = k_a \wedge (k_b \vee \neg k_c)$:
 cc_1, cc_2, cc_3 – конъюнктивные элементы; D_q – нечёткое множество запроса

Нечёткое множество запроса D_q – это объединение нечётких множеств, связанных с тремя конъюнктивными компонентами \vec{q}_{dnf} (которые соответствуют cc_1 , cc_2 и cc_3). Членство $\mu_{q,j}$ документа d_j в нечётком множестве запросов D_q вычисляется следующим образом:

$$\begin{aligned}\mu_{q,j} = \mu_{cc_1+cc_2+cc_3,j} &= 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - \mu_{cc_i,j}) = \\ &= 1 - (1 - \mu_{a,j} \mu_{b,j} \mu_{c,j}) \times (1 - \mu_{a,j} \mu_{b,j} (1 - \mu_{c,j})) \times \\ &\quad \times (1 - \mu_{a,j} (1 - \mu_{b,j}) (1 - \mu_{c,j})),\end{aligned}$$

где $\mu_{i,j}$, $i \in \{a, b, c\}$ – членство d_j в нечётком множестве, связанном с k_i .

Степень членства в дизъюнктивном нечётком множестве вычисляется с помощью алгебраической суммы вместо более часто применяемого максимума функции. Степень членства в конъюнктивном нечётком множестве вычисляется с использованием алгебраических выражений вместо более часто применяемого минимума функции. Использование алгебраических сумм и выражений приводит к степеням членства, которые изменяются более гладко, чем при использовании минимумов и максимумов функций, и таким образом кажутся более соответствующими информационно-поисковой системе.

Пример показывает, как нечёткая модель ранжирует документы в соответствии с пользовательским запросом. Модель использует матрицу корреляции термов для вычисления корреляции между документом d_j и его нечёткими индексными термами, а также алгебраические суммы и выражения (вместо максимумов и минимумов) для вычисления полной степени членства документа d_j в нечётком множестве, определённом пользовательским запросом.

Выходы. Используя описанные выше принципы, авторы попытались создать практическую реализацию поисковой системы на основе теории нечётких множеств. Наибольшую сложность и трудоёмкость вызвала реализация тезауруса на основе матрицы корреляции терминов.

Несмотря на ожидания, точность поиска оказалась достаточно невысокой. Сравнение с другими системами [10] показало сходные результаты. Однако некоторым решением проблемы ока-

зались модификация функции степени членства $\mu_{i,j}$, причём результаты поиска стали существенно лучше. Вариации функции степени членства показали возможность применения в ней в том числе элементов векторной модели поиска.

Таким образом, исследования подтвердили возможности применения теории нечётких множеств в информационном поиске. Для достижения хороших результатов поиска следует использовать модификации моделей на основе теории нечётких множеств с другими моделями информационного поиска.

Библиографические ссылки

1. **Baeza-Yates R., Ribeiro-Neto B.** Modern information retrieval. ACM Press Books. Addison Wesley, 1999.
2. **Шарапов Р.В., Шарапова Е.В., Меркулова Т.Е.** Некоторые вопросы применения расширенной булевой модели поиска // Вестник Херсонского национального технического университета. Вып. 2(31). Херсон: ХНТУ. 2008. С. 504–508.
3. **Ogawa Y., Morita T., Kobayashi K.** A Fuzzy Document Retrieval System Using the Keyword Connection Matrix and a Learning Method // Fuzzy Sets and Systems. 1991. Vol. 39. P. 163–179.
4. **Rubens N.O.** The application of fuzzy logic to the construction of the ranking function of information retrieval systems // Computer Modeling and New Technologies. 2006. Vol. 10. № 1. P. 20–27.
5. **Haruechaiyasak C., Shyu M.L., Chen S.C., Li X.** Web Document Classification Based on Fuzzy Association // Proceedings of the 26th International Computer Software and Applications Conference on Prolonging Software Life: Development and Redevelopment. 2002. P. 487–492.
6. **Nayyeri A., Oroumchian F.** FuFaIR: a Fuzzy Farsi Information Retrieval System // IEEE International Conference on Computer Systems and Applications. 2006. P. 1126–1130.
7. **Fuzzy relational thesauri in information retrieval: automatic knowledge base expansion by means of classified textual data.** D. Tikk, J.D. Yang, P. Baranyi, A. Szakal // In Proc. of the IEEE Int. Conf. on Intelligent Engineering Systems (INES 2002), Opatia, Croatia, May 26–28, 2002. P. 203–207.
8. **Kecman V.** Learning and soft computing: support vector machines, neural networks and fuzzy logic models. The MIT Press, Cambridge, MA, 2001. 608 p.
9. **Zadeh L.A.** Fuzzy sets // D. Dubois, H. Prade and R.R. Yager, editors, Readings in Fuzzy Sets for Intelligent System. Morgan Kaufmann, 1993.
10. **Clare G., Hendrikse K.** The NexTrieve Search System in TREC 2001 // NIST Special Publication 500–250: The Tenth Text REtrieval Conference (TREC 2001).

УДК 539.376

И.Ф. Дьяков, д-р техн. наук, проф.
 (Ульяновский государственный технический университет)
 i.dyakov@ ulstu.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Описан процесс усталостного разрушения деталей машин при циклическом нагружении с образованием петель гистерезиса, площади которых пропорциональны затратам энергии. Предложено устройство для определения энергии, накопленной в материале при циклическом нагружении на гидропульсаторе, и прогнозирования ресурса деталей по изменению площади петли гистерезиса.

Ключевые слова: усталостное разрушение, циклическое нагружение, энергозатраты, прогнозирование ресурса.

Machine parts fatigue fracture process for cyclical load and hysteresis loops formation, which have area proportional of the energy expenditure, is described. Facility for energy definition accumulated in the material for cyclical load on the hydropulsator and parts recourse prediction from a hysteresis loop area change is proposed.

Key words: fatigue fracture, cyclical load, energy expenditure, recourse prediction.

Введение. Усталостное разрушение металлов при циклическом нагружении представляет собой весьма сложный и не до конца изученный процесс. В этой области проведено множество теоретических и экспериментальных исследований [1]. Большинство деталей машин в процессе работы воспринимают переменные нагрузки во времени. Процесс нагружения и разгружения материала описывает площадь петли гистерезиса. Уровень этих нагрузок в материале вызывает постепенное накопление повреждений, приводящее к образованию субмикроскопических трещин и изменению площади петли гистерезиса [2].

Основная часть. С увеличением количества циклов нагружения – разгружения площадь петли гистерезиса изменяется (рис.1). При накоплении усталостных повреждений линейная зависимость между напряжением τ и деформацией φ нарушается, и происходит раскрытие петли гистерезиса. Форма, наклон и площадь петли гистерезиса у этого характеристики, по которым можно судить о способности материала воспринимать определённое количество циклов нагружения. Основным критерием оценки свойств материала является энергия J затрачиваемая на разрушение материала [3]:

$$J = A_{\Gamma}(N_{\Pi}) \mu_{\tau,\varphi} V_m k_{\text{пр}} / 2\pi, \quad (1)$$

где $A_{\Gamma}(N_{\Pi})$ – изменение площади петли гистерезиса в зависимости от количества циклов нагружения; $\mu_{\tau,\varphi}$ – масштабный коэффициент по напряжениям и деформациям (μ_{τ} имеет размерность $\text{Н}/(\text{м}^2/\text{мм})$, μ_{φ} – радиан/мм); V_m – объём материала, м^3 ; $k_{\text{пр}}$ – коэффициент пропорциональности.

Основная часть этой энергии (1) затрачивается на разрушение кристаллической решётки:

$$\Delta J = F_{\varphi} k_{\text{пр}} dS, \quad (2)$$

где F_{φ} – сила, необходимая для деформации материала; dS – изменение величины роста микротрешин.

Если условия внешней (1) и внутренней (2) энергии, накопленной в материале при циклическом нагружении, в первом приближении равны, то

$$J = A_{\Gamma}(N_{\Pi}) \mu_{\tau,\varphi} V_m k_{\text{пр}} = F_{\varphi} k_{\text{пр}} dS 2\pi. \quad (3)$$

Из этого следует, что

$$dS = A_{\Gamma}(N_{\Pi}) \mu_{\tau,\varphi} V_m / F_{\varphi} 2\pi. \quad (4)$$

Если выразим объём V_m материала через площадь поперечного сечения A и его длину через l , то отношение $F_{\varphi}/A = \tau$, где τ – нормальное напряжение при кручении.

Если деталь ступенчатая, то объём

$$V_m = \sum_{i=1}^n A_i l_i,$$

где i – число ступеней ($i = 1, 2, \dots, n$).

При этом выражение (4) имеет вид

$$dS = 0,5 A_{\Gamma}(N_{\Pi}) \mu_{\tau,\varphi} \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\tau_i}. \quad (5)$$

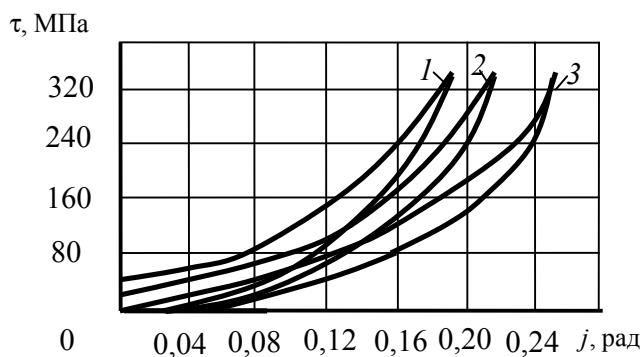


Рис. 1. Изменение площади петли гистерезиса стали 45 при кручении:

1 – $N_{\text{II}} = 1$; 2 – $N_{\text{II}} = 50 \cdot 10^3$; 3 – $N_{\text{II}} = 100 \cdot 10^3$

Из выражения (5) находим скорость роста микротрешин за время t нагружения по количеству циклов N_{II} :

$$\frac{dS}{dt} = 0,5 \frac{A_r(N_{\text{II}})}{N_{\text{II}}} \mu_{\tau, \varphi} \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\tau_i}. \quad (6)$$

Результаты исследования. На рис. 2 показаны результаты изменения площади петли гистерезиса и поверхностной твёрдости стали 45 в зависимости от количества циклов нагружения вала диаметром 25 мм. Как видно из рис. 2 у незакалённой стали площадь петли гистерезиса снижается до точки перегиба, затем начинается её незначительный рост и наступает стабилизация; заканчивается процесс разрушением, когда угол наклона кривой составит более 60° . Причём поверхностная твёрдость детали возрастает, последующие значения которой асимптотически снижаются. Точка перехода кривой (см. рис. 2) характеризует начало появления микротрешин, которые были обнаружены на основе металлографического анализа [4].

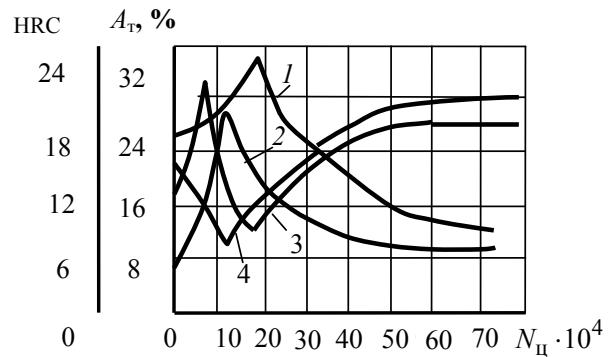


Рис.2. Изменение площади петли гистерезиса и поверхностной твёрдости стали 45 в зависимости от количества циклов нагружения:

1, 2 – площадь петель гистерезиса незакалённой и закалённой стали; 3, 4 – поверхностная твёрдость закалённой и незакалённой стали

Закалённая сталь ведёт себя иначе: вначале площадь петли гистерезиса возрастает, затем снижается до определённой точки, после этого начинается постепенный её рост; поверхностная твёрдость ведёт себя аналогично поверхностной твёрдости незакалённой стали.

В таблице приведены результаты испытаний лабораторных образцов стали 45 при различных режимах нагружения (кручении).

Используемое оборудование. Испытания лабораторных образцов проводились на шестиканальном электрогидравлическом стенде с базовой комплектацией. Стенд состоит из шести гидроцилиндров, трёх гидростанций и блоков распределительных станций перекачки, шести откачивающих насосов. Кроме того, он имеет автоматизированную систему управления (рис. 3) и электрооборудование. При работе гидростанций поток рабочей жидкости поступает в распределительные блоки, а затем к гидропульсаторам, работающим по программе «БРАС» (Большая регулирующая адаптивная система). Программный комплекс предназначен для управления и кон-

Результаты испытаний стали 45 при различных режимах нагружения

Параметры	Допускаемые режимы нагружения при кручении			
	0,2[τ]	0,4[τ]	0,6[τ]	0,7[τ]
Энергозатраты, Дж/цикл	$0,72 \cdot 10^{-9}$	$0,9 \cdot 10^{-9}$	$1,56 \cdot 10^{-9}$	$1,68 \cdot 10^{-9}$
Коэффициент рассеяния энергии, %	5,09	6,10	7,40	9,0
Угол наклона кривой изменения площади петли гистерезиса, рад/цикл	0,0024	0,0047	0,0060	0,0080
Скорость роста микротрешин, мм/цикл	$0,45 \cdot 10^{-5}$	$0,56 \cdot 10^{-5}$	$0,97 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-5}$
Ресурс, кВтч	$y \cdot 10^6$	$0,28 \cdot 10^5$	$0,21 \cdot 10^5$	$0,16 \cdot 10^5$
Прогнозируемое значение ресурса, кВт·ч	$y \cdot 10^6$	$55 \cdot 10^5$	$35 \cdot 10^5$	$20 \cdot 10^5$



Рис. 3. Общий вид гидропульсатора

троля усталостных разрушений деталей с воспроизведением регулярных периодических режимов нагружения (пилообразные, ступенчатые, бигармонические и типа «биение») с фиксированным числом циклов.

Процесс усталостных испытаний деталей показал, что измерять свойства материала по площади петли гистерезиса на гидропульсаторе сложно: во-первых, необходимо задавать ступенчатые нагрузки, определять угол кручения или изгиба детали при прямом и обратном нагружении, строить петли гистерезиса, измерять их площади и по ним зависимости ($J - N_{\text{ц}}$). В целях автоматизации снятия сигналов с испытываемого образца и их обработки использовалось устройство [4] для определения энергии, накопленной в материале при циклическом нагружении с помощью гидропульсатора.

Предлагаемое устройство снабжено двумя аналого-цифровыми перемножающими (АЦПП) и тремя цифроаналоговыми перемножающими преобразователями (ЦАПП). Кроме того, оно оснащено блоками управления и усиления с управляемым коэффициентом усиления. С помощью задатчика нагрузки устанавливаем требуемое усилие; напряжение, соответствующее требуемому

усилию, поступает на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), на вход которого подаётся сигнал от задатчика нагрузки, а на цифровой вход — код с управляемого инвертора. Индикатор выполнен в виде самописца. При использовании компаратора возможно подключение компьютера. На выходе первого блока ЦАП получаем линейное нарастающее или спадающее напряжение, которое прямо или обратно пропорционально нагрузке. На вход второго ЦАП подаётся опорное напряжение, величина которого пропорциональна коэффициенту $\kappa_{\text{пр}}$ и масштабному коэффициенту μ_{ty} . Графическое изображение площади петли гистерезиса приведено по осям x , y на самописце, затем изображение передаётся в блок памяти, далее вычисляют энергозатраты в зависимости от количества циклов, а по ним определяют скорость роста микротрешин.

Использование данного устройства позволит снизить трудоёмкость испытания деталей, повысить точность измерения качества материала и его ресурс, а также прогнозировать при известных нагрузочных режимах долговечность детали по скорости роста площади петли гистерезиса.

Библиографические ссылки

1. Троценко В.Т. Механическое поведение материалов при различных видах нагружения. Киев: Логос, 2000. 570 с.
2. Дьяков И.Ф., Садриев Р.М. Критерий долговечности деталей машин в условиях циклического нагружения // Изв. вузов серия «Машиностроение». 2007. № 6. С. 23–36.
3. А.с. № 1364955 СССР, МКИ G01 N3/32. Способ определения усталостного повреждения материала / И.Ф. Дьяков, Г.З. Стильбанс. № 3849119. Заявл. 21.01.85. Опубл. 08.09.87. Бюл. № 1.
4. Патент Рос. Фед. № 2087895, МПК G 01 N 3/32. Устройство для определения накопления энергии в материале при циклическом нагружении / И.Ф. Дьяков, А.М. Казаков., В.И. Дьяков. Заявитель и патентообладатель Ульян. гос. техн. ун-т. Опубл. 20.08.1997. Бюл. № 23.
5. Патент Рос. Фед. № 2044296, МПК G 01 N 3/32. Устройство для испытания материалов / И.Ф. Дьяков, Р.М. Садриев. Заявитель и патентообладатель Ульян. гос. техн. ун-т. Опубл. 20.09.95. Бюл. № 26.

Вниманию авторов!

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

УДК 621.9.08-85

В.В. Буренин, канд. техн. наук (Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ))

super-goblin@inbox.ru

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ВОЗДУШНЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ СИСТЕМ ПНЕВМОАВТОМАТИКИ И СИЛОВОГО ПНЕВМОПРИВОДА

Рассмотрены новые, отличающиеся улучшенными характеристиками конструкции воздушных фильтров и установок для очистки воздуха, применяемые в системах пневмоавтоматики и силового пневмопривода в качестве рабочего тела. Конструктивные усовершенствования воздушных фильтров и установок направлены на повышение эффективности очистки воздуха от загрязнений, увеличение надёжности и ресурса работы, обеспечение более удобной и безопасной эксплуатации и технического обслуживания, применение новых фильтрующих материалов, отличающихся высокими характеристиками.

Ключевые слова: воздушный фильтр, система пневмоавтоматики, очистка воздуха, силовой фильтр, механический фильтр.

New filters and cleaning facilities with improved behaviors for air employed as working matter in the pneumatic automation systems and power pneumatic drive are considered. Structural improvements of the air filters and facilities are directed at air cleaning efficiency growth, safety and work resource increase, more comfortable and safety exploitation and maintenance guaranteeing, new filter material with high behaviors application.

Key words: air filter, pneumatic automation system, air cleaning, power filter, mechanical filter.

В настоящее время в технике автоматического управления и регулирования различными машинами и производственными процессами (в силовом пневмоприводе и системах пневмоавтоматики) широко применяется энергия сжатого воздуха. Пневматические силовые приводы позволяют механизировать закрепление и раскрепление заготовок и сменного инструмента, транспортирование заготовок с одной операции на другую в автоматизированных станках и автоматических линиях. Они используются для автоматизации сборочных работ, приведения в действие тормозных систем автомобилей, тягачей и подъёмно-транспортных машин, передвижения самоходных агрегатов, дистанционного управления и регулирования технологическими агрегатами, работающими в агрессивных средах в условиях пожароопасности и взрывоопасности, радиации и высоких температур и т. д.

Применение систем пневмоавтоматики и силовых пневмоприводов (пневматических систем) объясняется их преимуществом по сравнению с другими средствами механизации, управления и автоматизации, в первую очередь, надёжностью функционирования, которая в современных автоматизированных системах управления играет важную роль. Преимуществом пневмоагрегатов, входящих в пневмосистемы, является простота конструкций, удобство их эксплуатации и обслуживания. Пневмосистемы относительно дёшевы

и являются гибким средством при автоматизации производственных процессов.

Основной недостаток систем пневмоавтоматики и силового пневмопривода заключается в меньшей скорости срабатывания по сравнению с электрическими системами. Однако для многих производственных процессов скорость срабатывания пневмосистем управления оказывается достаточной.

По сравнению с гидравлическими пневматические силовые приводы обладают следующими преимуществами: их исполнительные устройства имеют большие скорости срабатывания и низкую стоимость, возвратные линии значительно короче, так как воздух (газ) может быть удалён в атмосферу из любой точки системы. Вместе с тем пневматические приводы при равных габаритных размерах с гидравлическими развивают меньшие усилия, что объясняется более высоким давлением жидкости в последних.

В силовых электрических приводах момент инерции вращающихся масс электродвигателей составляет 50 % от общего момента вращающихся масс всей машины, в силовых пневматических приводах – 5 %. Поэтому время разгона пневматических приводов значительно меньше, чем электрических. Пневмопривод следует применять в тех случаях, когда необходимо обеспечить высокие скорости движения рабочего органа при относительно небольших рабочих усилиях.

В пневмоприводах с достаточной точностью заданные законы движения исполнительного органа не могут быть выполнены, как это имеет место в механизмах с твёрдыми звенями. Неизбежные утечки воздуха значительно снижают КПД пневмоустройств. Несмотря на эти недостатки, пневмоприводы с успехом применяются в тех случаях, когда их преимущества значительны [1].

В зависимости от требований, предъявляемых к силовому пневмоприводу и к системам пневмоавтоматики, и условий их работы в качестве рабочего тела в них чаще всего используется воздух.

Самым распространённым источником питания сжатым воздухом для пневмосистем является компрессор, давление нагнетания которого определяется по максимальному давлению основных потребителей. При эксплуатации пневмосистем следует уделять большое внимание очистке воздуха от примесей пыли, влаги, смазки и т. п., так как их попадание в пневмоагрегаты может привести к износу, коррозии или засорению каналов.

Очистка воздуха осуществляется фильтрами [2], которые устанавливаются на входе и выходе компрессора, а также непосредственно перед пневмоагрегатом, в который поступает сжатый воздух.

По принципу действия воздушные фильтры делятся на два класса: *механические*, в которых воздух фильтруется за счёт применения различных жёстких или гибких перегородок или насыпных слоёв фильтрующего материала, и *силовые*, в которых воздух фильтруется за счёт силовых полей (гравитационного, инерционного, магнитного, электрического).

В последние годы разработаны, запатентованы и выпускаются новые конструкции воздушных фильтров, отличающиеся улучшенными характеристиками.

Удобен в эксплуатации воздушный механический гофрированный фильтр [3], содержащий корпус, выполненный из двух половин 1 и 7 (рис. 1) с патрубками входа 3 загрязнённого воздуха и выхода 8 очищенного воздуха. Края стенок корпуса фильтра обортованы и образуют плоскую сопрягающую поверхность, по которой половины корпуса соединяются болтами 4 и гайками 5. Между половинами корпуса закреплён фильтрующий элемент, выполненный в виде съёмной вставки, состоящей из двух противолежащих рамок 2 и 6, имеющих профилированные взаимно сопрягаемые друг с другом гребенчатые сегменты (гофры) 9. На гребнях гофров рамки 6 установлены фиксаторы, выполненные в виде упругого резинового шнура, пропущенного «змейкой» поперёк фильтрующего полотна через отверстия, предусмотренные в сегментах. Фиксаторы гофров предназна-

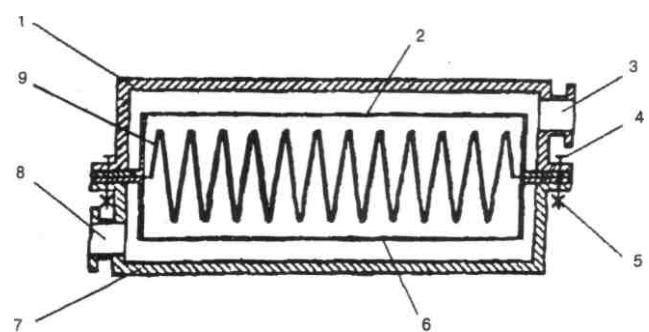


Рис. 1. Воздушный механический гофрированный фильтр

чены для получения требуемого натяга фильтрующего полотна между гребнями сегментов 9 рамок 2 и 6.

Собранная отдельно (вне корпуса фильтра) вставка, состоящая из рамок с гофрами, покрытыми фильтрующим полотном, позволяет быстро и легко заменять засоренную ранее установленную рамку.

Высокой эффективностью и пылеёмкостью отличается механический фильтр [4], предназначенный для очистки загрязнённого воздуха от жидких и твёрдых аэрозолей (аэрозоли – диспергированные в воздухе частицы естественного и техногенного происхождения), устанавливаемый на входе в компрессор.

Фильтр (рис. 2) включает внутренний перфорированный цилиндр 5, складной фильтрующий элемент тонкой очистки 4, внешний перфорированный цилиндр 3, объёмный фильтрующий элемент 2 грубой очистки, крышку 6 и дно 1.

Фильтрующий элемент 4 выполнен из нетканого материала на основе тонких волокон и расположен coaxialno с внешним перфорированным цилиндром, на котором размещён фильтрующий элемент 2 из грубых (толстых) волокон.

Загрязнённый воздух, подлежащий очистке от аэрозолей, поступает на объёмный фильтрующий элемент 2, где очищается от крупных аэрозолей, а затем подаётся на складчатый фильтрующий элемент 4, задерживающий тонкодисперсные частицы загрязнений, и выходит из фильтра через выходной патрубок.

Использование такой конструкции воздушного фильтра позволяет значительно увеличить ресурс его работы.

Для эффективной очистки от аэрозолей воздуха, содержащего большое количество частиц пыли разной величины, применяется фильтр [5], фильтрующие элементы которого размещены в корпусе 3 (рис. 3) в последовательно установленных двух зонах фильтрования воздушного потока. Так, в первой по потоку загрязнённого воздуха зоне

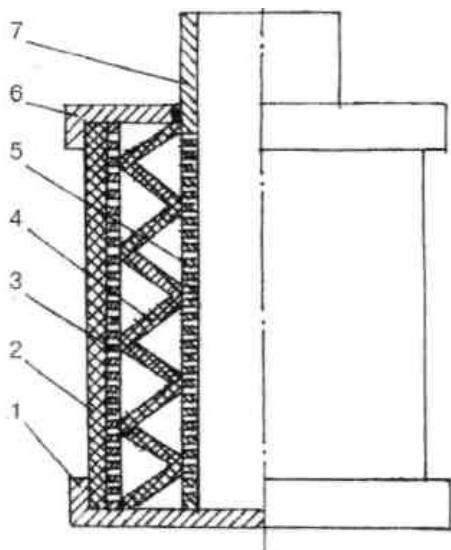


Рис. 2. Воздушный механический фильтр со складчатым фильтрующим элементом

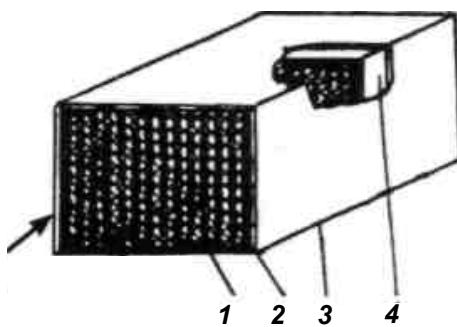


Рис. 3. Двухзонный механический фильтр для очистки воздуха от аэрозолей

фильтрующий элемент 2 изготовлен из крупноволокнистого фильтровального материала постоянной плотности, а во второй фильтрующий элемент 4 состоит из двух слоев: первый – из крупноволокнистого фильтровального материала с низкой плотностью упаковки волокон, а второй – из тонковолокнистого с высокой плотностью упаковки волокон при соотношении толщины слоев 3 : 5.

Фильтрующие элементы первой и второй зон очистки выполнены из зигзагообразно сложенного фильтровального материала с расположениями между складками разделителями, изготовленными из гофрированных сепарирующих пластин гофрированного алюминиевого листа.

Запылённый воздух последовательно проходит через фильтрующие элементы первой и второй зон очистки. В первой зоне он очищается от крупных частиц пыли, во второй – от мелких. Фильтр имеет большой ресурс работы за счёт уве-

личения его пылеёмкости без снижения эффективности фильтрации.

Низким аэродинамическим сопротивлением и высоким качеством очистки отличаются воздушные механические фильтры серии Oil-X-Plus [6], выпускаемые фирмой «Domnik Hunter GmbH» (Германия). Это достигается за счёт применения для изготовления фильтроэлементов нового пористого фильтрующего материала, имеющего большой срок службы.

Фирма «Internormen-Filter GmbH» (Германия) выпускает четыре типоразмера надёжных в работе воздушных механических фильтров серии BFD [7], имеющих большой срок службы. Фильтры не только улавливают твёрдые частицы размером до 3 мкм, но и поглощают влагу из воздуха с помощью адсорбента – кремнийорганического геля.

Для очистки от пыли и влаги атмосферного воздуха, поступающего в компрессор со значительным суточным расходом сжатого воздуха, разработан фильтр [8], содержащий корпус с коническим днищем с отверстием в нижней части и с верхней крышкой, перфорированный металлический цилиндр, обтянутый проволочной сеткой с фильтрующим элементом, штуцер вывода очищенного воздуха с конической насадкой с радиальными канавками, штуцер ввода очищаемого воздуха, штуцеры ввода и вывода сжатого воздуха, заполняющего полость рубашки. Штуцер ввода выполнен в виде суживающегося дозвукового сопла с криволинейными канавками на внутренней поверхности и имеет со стороны входа атмосферного воздуха металлические сетки. В корпусе укреплены форсунки. В днище установлен конденсатоотводчик. Отражательная перегородка с жёстко закреплённой пористой пластиной подвижно прикреплена шарниром к верхней крышке, а тягой рычагом соединена с конденсатоотводчиком. Эта перегородка образует камеру между штуцером ввода и пластиной, а также камеру между перегородкой и фильтрующим элементом.

Снижение энергозатрат на производство сжатого воздуха достигается использованием газодинамического наддува всасываемого атмосферного воздуха за счёт выполнения воздушного фильтра компрессора в виде резонатора с обеспечением постоянства резонансного объёма в изменяющихся вибрационных условиях эксплуатации компрессора.

Механический фильтр для очистки воздуха [9], устанавливаемый на входе в компрессор, отличается пониженным аэродинамическим сопротивлением. В корпусе 1 (рис. 4) фильтра установлен полый фильтрующий элемент 2, изготовленный в виде конуса с углом конусности α . В стенке фильт-

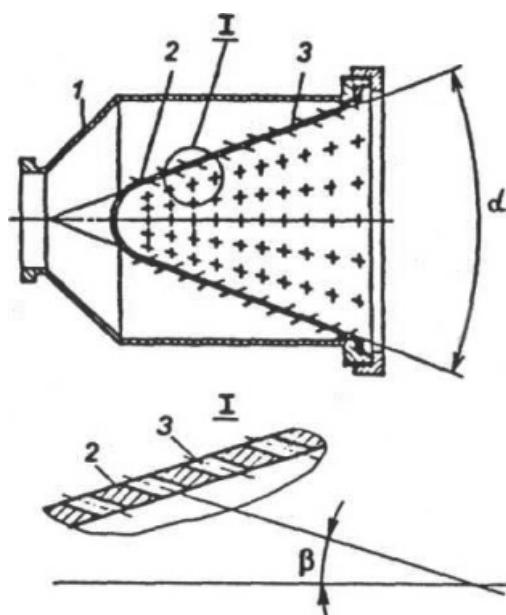


Рис. 4. Воздушный механический фильтр с полым коническим фильтрующим элементом

рующего элемента равномерно по его поверхности выполнены под углом β к оси элемента конфузорные проходные каналы 3. При этом оптимальный угол конусности фильтрующего элемента определяется по формуле

$$\sin \alpha / 2 - \frac{\sum F_k}{F_0} = 0,$$

где α – угол конусности фильтрующего элемента; F_k – площадь конфузорного проходного канала; F_0 – площадь поверхности фильтрующего элемента.

Угол наклона каждого конфузорного проходного канала к оси конусного фильтрующего элемента у находится в пределах от 0 до 15°.

Удобен в эксплуатации воздушный механический фильтр фирмы «Mann+Hummel GmbH» (Германия) [10]. Сменный фильтрующий элемент фильтра имеет развитую звездообразную фильтрующую поверхность и защищён от повреждения металлической решёткой. Замена засоренного фильтрующего элемента на новый очень удобна.

Коалесцентные воздушные фильтры (осушители марки «Camozzi») [11] объединяют достоинства фильтров тонкой очистки и систем удаления влаги. Они надёжно отсеивают частицы размерами от 0,01 мкм, а использование при фильтрации эффекта коалесценции (слияния) капель позволяет практически полностью избавиться от воды в линиях даже при существенных колебаниях расхода. Фильтр оборудован несколькими видами

конденсатоотводчиков, сливающих конденсат в полуавтоматическом и автоматическом режимах. Особый интерес представляет конденсатоотводное устройство, при котором конденсат сливается при малом падении давления, т. е. при каждом срабатывании пневмосистемы. Использование коалесцентных фильтров в составе блоков подготовки воздуха – один из важных факторов увеличения долговечности работы пневматических агрегатов.

Для эффективной очистки воздуха от масла и механических загрязнений предназначен фильтр-сепаратор фирмы «Ingersoll-Rand Co.» (США) [12]. Бак фильтра-сепаратора внутри покрыт коррозионностойким составом, не проводящим электричество. Внутри бака помещён маслоотделяющий и фильтрующий элемент, который опирается фланцем на кольцевую полку. Для обеспечения металлического контакта между фланцем и кольцевой полкой, необходимого для отвода статического электричества, в полке проточена кольцевая канавка, в которой находится металлическое кольцо, являющееся опорой для фланца.

Низким аэродинамическим сопротивлением и надёжной высокоэффективной конструкцией обладает механический складчатый фильтр-пылеуловитель [13], содержащий зигзагообразную фильтрующую перегородку 1 (рис. 5), выполненную из элекретного пористого полимерного листового материала и установленную герметично в каркасе 2. Фильтрующая перегородка выполнена в виде регулярной складчатой структуры, образованной из плоских граней в виде параллелограммов, соединённых прямыми ребрами в виде секторов цилиндрической поверхности по всем сопрягаемым сторонам параллелограммов.

В местах прилегания поверхности перегородки складчатого фильтра к каркасу имеются пер-

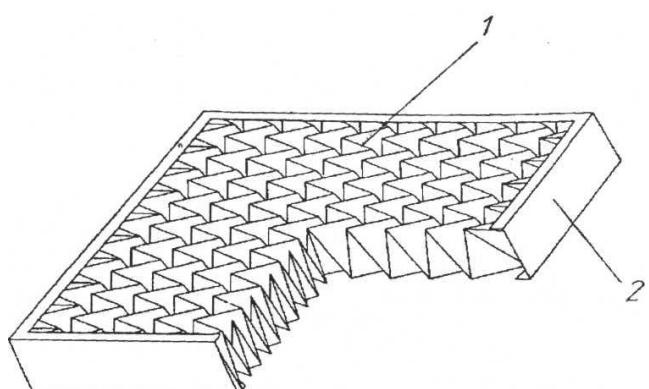


Рис. 5. Воздушный механический складчатый фильтр

вые плоские прямоугольные треугольники, гипотенузы которых равны сторонам параллелограммов. На больших катетах треугольников находятся другие прямоугольные треугольники. На больших катетах прямоугольных треугольников выполнены прямоугольные трапеции (в виде отгибных элементов). На малых катетах первых прямоугольных треугольников выполнены прямоугольные треугольники с равными катетами и с разрезами на материале фильтра по смежной линии высоты трапеций и катетов треугольников.

При прохождении загрязнённого воздуха сквозь перегородку фильтра материал перегородки электризуется, и наряду с обычным процессом фильтрации частиц загрязнений происходит задержка мелких частиц загрязнений под действием электрического поля. Складчатая поверхность перегородки имеет большую фильтрующую площадь, что позволяет значительно увеличить пылеёмкость фильтра.

На выставке в Ганновере фирма «Ultra Air GmbH» (Германия) представила новое поколение фильтров для очистки сжатого воздуха, в которых в качестве фильтрующего элемента используется холст из нановолокон. Благодаря уникальным свойствам этих волокон рабочая поверхность элементов возрастает на 450 %, а степень улавливания загрязнений составляет почти 100 %. За счёт меньших потерь давления затраты энергии снижаются. Повышенная грязеёмкость фильтра значительно увеличивает срок его службы [14].

Очистка воздуха от пыли в электрическом поле с помощью электрических фильтров (электрофильтров) – один из основных промышленных способов пылеудаления из воздушных потоков, несмотря на высокую капиталоёмкость, основное достоинство которого состоит в том, что он позволяет использовать значительные силы, непосредственно действующие на частицы, а не на дисперсионный поток. С этим обстоятельством связаны и другие способы очистки воздуха от пыли в электрическом поле (электрического осаждения частиц пыли): удаление из воздушного потока частиц с размерами вплоть до субмикрометрового диапазона, высокая степень очистки (99 % и более), умеренное потребление энергии, малое аэродинамическое сопротивление и т. д.

Вместе с тем электрическому осаждению частиц пыли из воздушного потока присуща некоторая избирательность в отношении извлекаемых из воздуха частиц, которые должны обладать невысоким удельным электрическим сопротивлением. Однако такой недостаток можно компен-

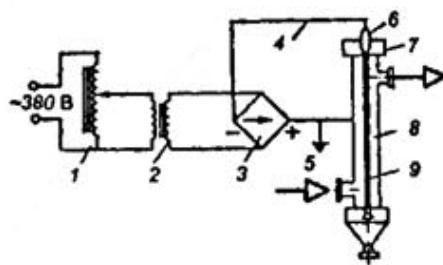


Рис. 6. Схема типовой воздушной электрофильтрационной установки с агрегатами электропитания

сировать предварительной обработкой потока воздуха химическими, физическими и другими методами.

Существующие промышленные системы электрического пылеулавливания (электрического осаждения пыли из воздуха) позволяют обрабатывать значительные объёмы (порядка сотен тысяч кубических метров) воздуха, имеющего сравнительно высокую температуру; КПД таких систем достаточно высок.

Процесс электрического улавливания частиц пыли из воздуха состоит из зарядки взвешенных частиц, движения заряженных частиц к электродам, осаждения и удаления частиц.

Схема типовой электрофильтрационной установки с агрегатами электропитания для очистки воздуха от твёрдых и жидких частиц в широком диапазоне дисперсности (от 0,1 до 100 мкм) при их концентрации в воздухе до 50 г/м³ показана на рис. 6. Установка состоит из собственного электрофильтра 7, агрегатов электропитания: регулятора напряжения 1, повышающего трансформатора 2, высоковольтного выпрямителя 3, высоковольтного кабеля 4, заземления 5, изолятора 6, осадительных 8 и коронирующих 9 электродов, а также системы удаления пыли или шлака. Очищаемый воздушный поток пропускают через электрическое поле, образованное между коронирующими и осадительными электродами. На коронирующие электроды подводят выпрямленный ток отрицательной полярности напряжением 50–80 кВ, а осадительные электроды заземляют.

Развитие систем пневмоавтоматики и силовых пневмоприводов потребовало усовершенствования конструкций воздушных фильтров, направленных на повышение эффективности очистки воздуха от загрязнений, увеличение надёжности и ресурса работы, обеспечение более удобной и безопасной эксплуатации и технического обслуживания воздушных фильтров, применение новых фильтрующих материалов, отличающихся высокими характеристиками.

Библиографические ссылки

1. **Буренин В.В.** Силовые приводы: Учеб. пос. М.: Изд-во МАДИ (ГТУ), 2001. 105 с.
2. **Буренин В.В.** Очистка воздуха для силового пневмопривода и систем пневмоавтоматики // Приводная техника. 2002. № 1. С. 55–59.
3. **Евстафьев А.А., Гаврилова Л.Н., Клевцов В.И.** Волокнистый фильтр // Патент России № 2238135. 2004. Бюл. № 29.
4. **Чебыкин В.В., Карев В.П., Маклев В.П.** Глубоковолокнистый фильтр // Патент России № 2211079. 2003. Бюл. № 24.
5. **Басалаев Н.А., Слепоконь Ю.И.** Аэрозольный фильтр // Патент России № 2192916. 2002. Бюл. № 32.
6. **Druckluftfilter** reduziert die Energiekosten // Maschinenmarkt. 2002. № 4. S. 74.
7. **Längere Lebensdauer** // AGT. 2003. № 1. S. 98.
8. **Кобелев Н.С.** Фильтр для очистки воздуха // Патент России № 2291737. 2007. Бюл. № 3.
9. **Васильев В.А., Мордасов А.Г., Стрилецкий В.Б.** Фильтр // Патент России № 2042397. 1995. Бюл. № 24.
10. **Заявка** на пат. № 102004050018, Германия. МПК B01D 46/42. Воздушный фильтр. Опубл. 27.04.2006.
11. **Погорелов Б.** Коалесцентный фильтр – это долговечная работа пневматики // Тех. совет. 2005. № 5. С. 35.
12. **Бак-сепаратор** для компрессора // Патент США № 7056362. Опубл. 06.06.2006.
13. **Понькин В.Н., Кесель Б.А., Паерелий Д.А., Мовчан Г.В.** Складчатый фильтр // Патент России № 2257942. 2005. Бюл. № 25.
14. **Kordt Reiner.** Fertigungssprung zur Nanotechnik reduziert Energiekosten deutlich // Maschinenmarkt. 2007. № 13. S. 74–75

**ШЛИФОВАНИЕ ВЫСОКОПОРИСТЫМИ КРУГАМИ****В.К. Старков****Цена 550 р.**

688 с.: ил. ISBN: 978-5-217-03386-7

Приведены рецептурные составы, технология изготовления и их влияние на эксплуатационные свойства высокопористого абразивного инструмента, достижения в создании и применении высокопористых кругов на основе эльбора, алмаза, монокристаллического корунда и традиционных абразивных материалов. Даны рекомендации по назначению характеристик кругов и режимов маятникового и глубинного шлифования. Изложены способы предотвращения шлифовочных прижогов и трещин, а также результаты исследований и примеры практической реализации шлифования зубчатых колес, фасонного инструмента, замков лопаток, обработки со скоростями до 100 м/с, в том числе без охлаждения и др.

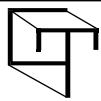
Для инженерно-технических и научных работников, специалистов промышленности, полезна преподавателям и студентам вузов.

**ЛИТЕЙНЫЕ ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.
ФОРМОВОЧНЫЕ, СТЕРЖНЕВЫЕ СМЕСИ
И ПОКРЫТИЯ: справочник****A.Н. Болдин, Н.И. Давыдов, С.С. Жуковский и др.****Цена 385 р.**

Приведены физико-химические свойства и составы исходных формовочных материалов – кварцевых песков, глин и бентонитов, систем связующих, компонентов противопригарных покрытий. Рассмотрены технологические свойства смесей и методы их испытаний. Приведены составы стержневых смесей, критерии их выбора, описаны современные технологические процессы изготовления форм и стержней.

Предназначен для инженерно-технических работников литейного производства, а также для студентов вузов, обучающихся по специальности "Машины и технология литейного производства".

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 004.5

Ан.Л. Ронжин, д-р техн. наук, В.Ю. Будков, Ал.Л. Ронжин
(Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН)

ronzhin@iias.spb.su

ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ АУДИОВИЗУАЛЬНОГО ИНТЕРФЕЙСА СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОНФЕРЕНЦИЙ

Рассмотрена логико-временная модель формирования мультимедийного контента web-приложения, обеспечивающего дистанционное управление оборудованием и организацию распределённых мероприятий на базе разработанной технологической сети интеллектуального зала и гетерогенных мобильных устройств участников.

Ключевые слова: web-приложения для совместной работы, Е-совещание, окружающий интеллект, определение речевой активности, гетерогенные мобильные устройства.

Logical-temporal model for Web application multimedia content forming is considered. This Web application ensures equipment distance control and distributed arrangements organization from a developed technological net of the intellectual hall and participants heterogeneous mobile facilities.

Key words: Web application for joint work, E-conference, surrounding intellect, speech activity definition, heterogeneous mobile facilities.

Введение. Распределённые мероприятия, организованные специализированными web-приложениями, становятся реальной альтернативой традиционным совещаниям и лекциям, где участники находятся «лицом к лицу». С развитием мультимедийных технологий системы поддержки телеконференций сегодня не только выполняют запись и вывод аудио- и видеоданных, но и используют сложные технологии, такие как анализ, распознавание и структурирование мультимедийных данных, что, несомненно, расширяет возможности участников и приводит к появлению новых способов доступа к мероприятиям в режиме реального времени, а также обработки архивных записей [1]. Значительная часть исследований, проведённых в данной области, посвящена развитию программно-аппаратных средств аудио- и видеообработки. В настоящее время активно используются панорамные камеры, планшеты для рукописных записей, электронные доски (whiteboard), средства для мультимедийных презентаций, технологии синхронизации и объединения данных, а также для анализа поведения и способов взаимодействия участников во время мероприятия.

Автоматический анализ аудиовидеозаписей совещаний или лекций осложняется тем, что приходится следить за достаточно большим количе-

ством участников, которые произвольно меняют положение тела, головы, направление взгляда. Чтобы обеспечить захват и слежение за наибольшим числом участников, применяются массивы микрофонов, панорамные камеры, PTZ (Pan/Tilt/Zoom) камеры с функциями наклона, поворота и масштабирования, распределённые системы камер.

Кроме видеомониторинга для определения положения участников и выступающего, применяются датчики движения и массивы микрофонов. Нахождение источника звука с помощью массива микрофонов эффективно лишь в малых лекционных или конференц-залах. Для аудиозаписи в больших помещениях используют персональные микрофоны для всех участников и выступающего или применяют систему массивов микрофонов, распределённую по всей аудитории [2].

Для записи слайдов презентации, проецируемой на экран в ходе мероприятия в зале, были предложены несколько способов. В большинстве систем проводится заблаговременная запись слайдов презентации или предлагается установить специальный инструментарий на компьютер пользователя, который сообщает серверу номер текущего слайда. В некоторых системах для съёмки и сохранения слайдов презентации используется отдельная видеокамера, направленная

на проекционный экран [3]. Другой способ заключается в автоматическом захвате данных непосредственно с VGA выхода компьютера или проектора и сохранении данных в отдельном потоке [4].

Не менее важную роль в работе совещаний и лекций играют электронные экраны и доски, обеспечивающие рукописный ввод с помощью специального пера или рукой при наличии сенсорной поверхности [1]. Система видеозахвата изображения, представленная в работе [5], автоматически выявляет наиболее интересные для пользователей участки доски и масштабирует их для удобного представления информации. Система автоматического распознавания рукописного текста, описанная в работе [6], используется для обработки записей на электронной доске.

Другим ограничением систем телеконференций является пропускная способность коммуникационных сетей и мультимедийные возможности клиентского устройства, которые существенно влияют на параметры пользовательского интерфейса и выбор информационных каналов, доступных для удалённых участников. Ключевым вопросом при дистанционной коммуникации является высокая неопределённость ситуации в удалённой аудитории, вызванная пространственно-временными различиями [7]. Физические и психологические барьеры, возникающие при удалённой коммуникации, не позволяют участнику быстро присоединиться к дискуссии внутри зала и тем более предложить новое направление разговора [8]. Таким образом, основная задача исследований состоит в разработке программно-аппаратных решений, повышающих возможности удалённого участника при принятии решений и участии в дискуссиях во время распределённых мероприятий.

В проекте «Nick» [9] впервые проанализированы требования к «умным» технологиям, которые необходимы для создания интеллектуального зала совещаний (smart meeting room). Последующие исследовательские проекты AMI, CHIL, AMIGO, CALO направлены на изучение различных аспектов организации совещаний и телеконференций в «интеллектуальном окружении» (smart environment) и разработку технологий сопровождения совещаний, многомодальных браузеров, а также автоматических систем обработки и аннотирования аудио- и видеоресурсов [10]. Сопровождение совещаний включает полу- или автоматическую обработку и вывод информации, необходимой для поддержки участия удалённого партнера в гибридном мероприятии, при котором один или более пользователей принимают участие дистанционно, а остальные находятся в одной аудитории [8]. Для обеспечения аудиови-

зуальной поддержки удалённого участника проводятся исследования и разработка технологий автоматического выбора камеры, захватывающей наиболее важную область аудитории, переключения на вывод данных с мультимедийного проектора или «умной доски», определения микрофона диктора.

Новизна предложенного программно-аппаратного обеспечения и разработанной системы для проведения гибридных совещаний состоит в автоматическом анализе текущей ситуации в зале и выборе устройств, передающих наиболее актуальную в данный момент информацию, для формирования содержания пользовательского интерфейса, адаптивного к характеристикам устройства, использующегося удалённым участником. Далее приводится описание параметров разработанного интеллектуального зала, по которым оценивается текущая ситуация и состояние аудио- и видеопрезентационного оборудования, а также рассматривается модель интеграции мультимедийных потоков, использованная при формировании актуального контента web-интерфейса, и примеры его применения в разработанном интеллектуальном зале для организации и сопровождения распределённых мероприятий.

Анализ текущей ситуации в интеллектуальном зале. Разработанный интеллектуальный зал совещаний оснащён мультимедийным проектором, сенсорной широкоэкранной плазменной установкой (приложение «умная доска»), набором камер (однонаправленных; с регулировкой угла наклона, поворота и масштаба; с широкоугольным объективом) для видеомониторинга аудитории и зоны выступления основного докладчика, персональными web-камерами со встроенными микрофонами для анализа поведения участников, сидящих за конференц-столом, а также тремя массивами микрофонов для аудиообработки [11]. Совместное использование микрофонов настольных web-камер и массивов микрофонов обеспечивает пространственную локализацию источников звука и запись речи участников мероприятия. Мультимедийное наполнение web-страницы, на которой отображается текущая ситуация в зале, формируется обработкой аудио- и видеосигналов, записанных с помощью перечисленных выше устройств. В табл. 1 приведён список параметров объектов (оборудование, программное обеспечение, участники), находящихся в интеллектуальном зале, которые влияют на изменение графического контента web-страницы.

Значения параметров программно-аппаратного обеспечения определяются опросом их состояний по протоколу TCP/IP или с помощью средств

Таблица 1

Список параметров интеллектуального зала, учитывающихся при формировании графического контента web-страницы совещания

Объект в зале	Параметры		
	Обозначение	Принимаемые значения	Описание параметров интеллектуального зала
Проектор			
Проектор	p_1	0	Проектор выключен
		1	Проектор включен
	p_2	0	Презентация не запущена
		1	Презентация запущена
	p_3	0	Текущий слайд презентации отображается дольше, чем τ_{slide} ($t_{cur} - t_{slide} > \tau_{slide}$, где t_{cur} – текущее время)
		1	Обновлён слайд презентации (фиксируется время обновления t_{slide})
«Умная доска»			
«Умная доска»	d_1	0	«Плазма» с сенсорной панелью выключена
		1	«Плазма» с сенсорной панелью включена
	d_2	0	Приложение «умная доска» не загружено
		1	Приложение «умная доска» загружено
	d_3	0	Сенсорный ввод не использовался дольше, чем τ_{desk} ($t_{cur} - t_{desk} > \tau_{desk}$)
		1	Зарегистрирован сенсорный ввод (фиксируется время начала ввода t_{desk})
Основной докладчик (выступающий)			
Основной докладчик (выступающий)	s_1	0	Докладчик в зоне выступлений не наблюдается системой видеомониторинга
		1	Докладчик зарегистрирован в зоне выступлений
	s_2	0	Лицо докладчика не найдено
		1	Голова докладчика направлена к аудитории (система поиска лица зарегистрировала лицо докладчика)
	s_3	0	Речевая активность в зоне выступлений не зарегистрирована
		1	Докладчик выступает (система локализации источника звука зарегистрировала активность в зоне выступлений)
Персональные web-камеры, закреплённые за участниками, сидящими за конференц-столом			
Персональные web-камеры, закреплённые за участниками, сидящими за конференц-столом	c_1	0	За конференц-столом нет выступающих участников
		1	За конференц-столом есть выступающий участник в данный момент
	c_{2i}	0	Персональная web-камера i выключена
		1	Персональная web-камера i включена
	c_{3i}	0	Перед web-камерой i участник отсутствует
		1	Перед web-камерой i есть участник (система видеомониторинга оценивает степень изменения фона изображения, записанного до начала мероприятия)
Персональные web-камеры, закреплённые за участниками, сидящими за конференц-столом	c_{4i}	0	Речевая активность участника, сидящего напротив web-камеры i , не зарегистрирована
		1	Участник, сидящий напротив web-камеры i , выступает в данный момент (многоканальная система определения речевой активности зарегистрировала полезный сигнал в аудиоканале web-камеры i)
	c_{5i}	0	Лицо участника, сидящего напротив web-камеры i , не найдено
		1	Положение лица участника зафиксировано (система поиска лица зарегистрировала лицо докладчика)

OLE-автоматизации. Поведение участников, сидящих за конференц-столом, а также основного докладчика, находящегося в зоне выступлений, оценивается с помощью разработанных технологий локализации источника звука, видеослежения за подвижными объектами, поиска и слежения за лицом.

Логико-временная модель формирования графического интерфейса web-страницы телеконференции. Графический интерфейс web-страницы, на которой удалённый участник может наблюдать мероприятие, проходящее в интеллектуальном зале, содержит ряд базовых форм $F = \{F_1, F_2, \dots, F_{N_F}\}$, где N_F – количество форм, зависящее от текущего состояния мероприятия и характеристик браузера, используемого на клиентском устройстве. Содержание (контент) форм может меняться в процессе мероприятия, но всегда включает один из графических компонентов множества $G = \{G_1, G_2, \dots, G_{N_G}\}$, где N_G – количество используемых компонентов (в текущей версии $N_G=10$); G_1, G_2 – текущее изображение на проекторе и сенсорной доске; G_3 – текущее изображение, записанное видеокамерой, направленной на выступающего; G_4 – текущее изображение, записанное видеокамерой, направленной на аудиторию; G_5 – множество текущих изображений, записанных персональными web-камерами, направленными на участников, сидящих в аудитории за конференц-столом; G_6 – текущее изображение, записанное персональной видеокамерой, закреплённой за участником, выступающим в данный момент; G_7 – индикатор продолжительности выступления; G_8 – часы с указанием временных рамок текущего мероприятия; G_9 – заставка текущего мероприятия; G_{10} – основные данные о текущем мероприятии.

Перечисленные компоненты связаны с соответствующим источником, который передаёт графические данные (проектор: слайд презентации; умная доска: окно с рукописными набросками; видеокамеры: кадр изображения; программные сервисы: индикаторы времени, заставка и другие данные о мероприятии). Получение новых данных на источнике позволяет обновить контент соответствующей формы на web-странице.

Для текущей версии программного обеспечения web-страницы в мероприятии выделены два состояния и принято соответствующее обозначение форм: F^{reg} – для регистрации (во время подготовки к мероприятию); $F^{meeting}$ – для выступлений (основной части мероприятия). В дальнейшем число состояний будет увеличено, учитывая особенности поведения участников и необходимость использования специфического технического обеспечения во время дискуссии, голосова-

ния и других формальных этапов. Другим важным фактором, влияющим на контент web-страницы, является разрешение экрана и соответственно максимально допустимые размеры окна браузера, открытого для удалённого просмотра мероприятия. Поэтому выделены два класса устройств, особенно отличающихся в размерах дисплея, и соответствующее обозначение форм: $F(PC)$ – для персонального компьютера; $F(MD)$ – для мобильного устройства. В табл. 2 приведены базовые варианты компоновок web-страницы с учётом текущего состояния мероприятия и типа клиентского устройства.

Знак «/» используется в таблице для обозначения нескольких возможных вариантов графического контента формы. Например, на web-странице, открытой на персональном компьютере, в момент выступлений в четвёртой форме $F_4^{meeting}$ (PC) может содержаться либо текущее изображение G_1 на проекторе, либо текущее изображение G_2 на сенсорной доске.

Рассмотрим детально процесс формирования графического контента в формах. Каждая графическая форма F_j на web-странице описывается следующим кортежем:

$$F_j = \langle l_j, u_j, w_j, h_j, g_j \rangle,$$

где l_j – положение левого верхнего угла формы по оси абсцисс; u_j – положение левого верхнего угла формы по оси ординат; w_j – ширина формы; h_j – высота формы; g_j – графический контент формы, выбранный из множества G .

Размеры форм могут изменяться в зависимости от текущих параметров браузера, используемого на клиентском устройстве. В формах $F_2^{meeting}$ (PC), $F_4^{meeting}$ (PC), $F_2^{meeting}$ (MD) в зависимости от значений параметров, указанных в табл. 1, изменяется номер графического компонента. В остальных формах номера графических компонентов не меняются на протяжении всего мероприятия. Для перечисленных трёх форм ниже приведены системы логических правил, позволяющих однозначно выбрать текущий графический компонент $g \in G$ и составляющих основную сущность предложенной логико-временной модели формирования графического интерфейса web-страницы:

$$g_2^{meeting}(PC) = \begin{cases} G_3, s_1 \wedge s_2 \wedge s_3 \wedge \neg c_1, \\ G_4, \neg s_2 \wedge \neg c_1 \wedge \\ \quad \wedge ((p_1 \wedge p_2) \vee (d_1 \wedge d_2)), \\ G_6, \neg s_3 \wedge c_1, \\ G_9, \text{ иначе}; \end{cases}$$

Таблица 2

Варианты компоновок web-страницы, отображающей ход совещания

Состояние мероприятия	Расположение форм на экране клиентского устройства	
	Персональный компьютер $F(PC)$	Мобильное устройство $F(MD)$
Регистрация F^{reg}		
Выступление $F^{meeting}$		

Таблица 3

Примеры содержания web-страницы, транслирующей мероприятие в интеллектуальном зале

Этап мероприятия	Экран клиентского устройства	
	Персональный компьютер	Мобильное устройство
Регистрация		
Выступление		

$$g_4^{meeting}(PC) = \begin{cases} G_1, (p_1 \wedge p_2 \wedge (\neg d_1 \vee \neg d_2)) \vee \\ \quad \vee (p_1 \wedge p_2 \wedge p_3 \wedge d_1 \wedge d_2 \wedge \\ \quad \vee \neg d_3) \vee (p_1 \wedge p_2 \wedge p_3 \wedge \\ \quad \wedge d_1 \wedge d_2 \wedge d_3 \wedge (t_{slide} > t_{desk})), \\ G_2, ((\neg p_1 \vee \neg p_2) \wedge d_1 \wedge d_2) \vee \\ \quad \vee (p_1 \wedge p_2 \wedge \neg p_3 \wedge d_1 \wedge d_2 \wedge d_3) \vee \\ \quad \vee (p_1 \wedge p_2 \wedge p_3 \wedge d_1 \wedge d_2 \wedge \\ \quad \vee d_3 \wedge (t_{slide} < t_{desk})), \\ G_9, (\neg p_1 \vee \neg p_2) \wedge (\neg d_1 \vee \neg d_2), \\ G_4, \text{ иначе}; \end{cases}$$

$$g_2^{meeting}(MD) = \begin{cases} G_1, ((p_1 \wedge p_2 \wedge (\neg d_1 \vee \neg d_2)) \vee \\ \quad \vee (p_1 \wedge p_2 \wedge p_3 \wedge d_1 \wedge d_2 \wedge \\ \quad \wedge \neg d_3) \vee (p_1 \wedge p_2 \wedge p_3 \wedge \\ \quad \wedge d_1 \wedge d_2 \wedge d_3 \wedge (t_{slide} > \\ \quad > t_{desk}))) \wedge \neg s_2 \wedge \neg c_1, \\ G_2, (((\neg p_1 \vee \neg p_2) \wedge d_1 \wedge d_2) \vee \\ \quad \vee (p_1 \wedge p_2 \wedge \neg p_3 \wedge d_1 \wedge \\ \quad \wedge d_2 \wedge d_3) \vee (p_1 \wedge p_2 \wedge p_3 \wedge \\ \quad \wedge d_1 \wedge d_2 \wedge d_3 \wedge (t_{slide} < \\ \quad < t_{desk}))) \wedge \neg s_2 \wedge \neg c_1, \\ G_3, \neg p_3 \wedge \neg d_3 \wedge s_1 \wedge s_2 \wedge s_3 \wedge \neg c_1, \\ G_4, \neg p_3 \wedge \neg d_3 \wedge \neg s_2 \wedge \neg c_1, \\ G_6, \neg p_3 \wedge \neg d_3 \wedge \neg s_3 \wedge c_1, \\ \text{сохраняется текущий источник,} \\ \text{иначе.} \end{cases}$$

При формировании компонента G_5 , содержащего набор текущих изображений участников, сидящих за конференц-столом, проводится анализ состояния персональных web-камер, наличия участников и их лиц в кадре. Обозначим множество изображений с web-камер $W = \{W_1, W_2, \dots, W_{N_W}\}$, где N_W – количество web-камер, установленных на конференц-столе (в разработанном интеллектуальном зале $N_W = 10$). Тогда компонент G_5 будет составлен из текущих изображений, поступающих с включённых web-камер, в кадре которых выявлено наличие участника:

$$G_5 = \bigcup_{i=1}^{N_W} (W_i | c_{2i} \wedge c_{3i} = 1).$$

Учитывая ограниченные размеры форм, использующихся для вывода компонента G_5 , количество отображённых участников сокращалось с помощью анализа их речевой активности c_{4i} и/или наличия лица в кадре c_{5i} . В частности, для мобильного устройства в форму $F_1^{meeting}(MD)$ выводилось не более трёх фотографий участников, поэтому при выборе

наиболее активных участников учитывались оба параметра:

$$F_1^{meeting}(MD) = \bigcup_{i=1}^{N_W} (W_i | c_{2i} \wedge c_{3i} \wedge c_{4i} \wedge c_{5i} = 1).$$

Тестирование предложенной логико-временной модели формирования графического интерфейса web-страницы проведено на персональном компьютере, а также на нескольких моделях смартфонов Nokia [11]. В табл. 3 показаны примеры текущего контента web-страницы во время проведения мероприятия. При выборе источника звукового потока, передаваемого удалённому клиенту, использовались система локализации источника звука и многоканальная система определения речевой активности [12]. При выступлении основного докладчика аудиосигнал записывался микрофоном web-камеры, расположенной ближе всех к зоне выступлений, а в ходе дискуссий использовался микрофон активного в текущий момент участника, сидящего за конференц-столом.

Разработанная компоновка web-страницы на данный момент ориентирована на пассивного удалённого участника (слушателя). Чтобы увеличить его возможности разрабатывается панель инструментов, позволяющая удалённому партнёру задавать вопросы докладчику, участвовать в дискуссии, голосовании и других формальных процедурах мероприятий.

Заключение. Предложенные программно-аппаратные решения направлены на увеличение возможностей удалённого участника при принятии решений и участии в дискуссиях во время распределённых мероприятий. Разработана логико-временная модель формирования мультимедийного web-интерфейса к системе трансляции телеконференций, адаптивная к характеристикам клиентского устройства и позволяющая удалённому участнику воспринимать все события, происходящие в интеллектуальном зале. Разработка сети интеллектуальных залов позволит организовать совещания для участников, разделённых пространством, а также будет способствовать расширению сотрудничества между различными коллективами, позволит сократить расходы на транспорт и обслуживающий персонал, повысит качество принятия решений за счёт автоматизированного непрерывного контроля над каждым участником.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (ГК №П2360, №П2579) и грантов РФФИ (№ 08-08-00128-а, 08-07-90002-СТ_а, 10-08-00199-а).

Библиографические ссылки

1. Erol B., Li Y. An overview of technologies for e-meeting and e-lecture // Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME'2005). 2005. P. 6–12.
2. Kameda Y., Nishiguchi S., Minoh M. CARMUL: Concurrent automatic recording for multimedia lecture // Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME'2003). 2003. P. 677–680.
3. Rui Y., Gupta A., Grudin J., He L. Automating lecture capture and broadcast: Technology and videography // Multimedia Systems. Vol. 10, 2004. P. 3–15.
4. Lee D.S., Erol B., Graham J., Hull J.J., Murata N. Portable meeting recorder // ACM Multimedia. 2002. P. 493–502.
5. Onishi M., Izumi M., Fukunaga K. Production of video image by computer controlled camera operation based on distribution of spatiotemporal mutual information // Proc. ICPR'2000. 2000. P. 102–105.
6. Wienecke M., Fink G., Sagerer G. Towards automatic video-based whiteboard reading // Proc. ICDAR'2003. 2003. P. 87–91.
7. Yankelovich N., Kaplan J., Simpson N., Provino J. Porta-person: telepresence for the connected meeting room // Proc. CHI'2007. 2007. P. 2789–2794.
8. Op den Akker R., Hofs D., Hondorp H., Akker H., Zwiers J., Nijholt A. Supporting Engagement and Floor Control in Hybrid Meetings // Springer, LNAI 5641. 2009. P. 276–290.
9. Cook P., Ellis C.S., Graf M., Rein G., Smith T. Project Nick: meetings augmentation and analysis // ACM Trans. Inf. Syst. 5(2), 1987. P. 132–146.
10. Rienks R., Nijholt A., Barthelmeß P. Pro-active meeting assistants: attention please! // AI & Society. Vol. 23(2), Springer, 2009. P. 213–231.
11. Ronzhin A.L., Budkov V.Yu. Multimodal Interaction with Intelligent Meeting Room Facilities from Inside and Outside // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. Balandin et al. (Eds.): NEW2AN/ruSMART 2009, LNCS 5764. 2009. P. 77–88.
12. Будков В.Ю., Прищепа М.В., Ронжин А.Л., Марков К. Многоканальная система анализа речевой активности участников совещания // Труды третьего междисциплинарного семинара «Анализ разговорной русской речи» (AP3–2009). СПб.: ГУАП, 2009. С. 57–62.



СТАЛИ И СПЛАВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ. СПРАВОЧНИК

С.Б. Рыжов, А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский и др. Под общ. ред. С.Б. Рыжова

960 с. ISBN: 978-5-217-03446-8

Цена 5000 р.

Справочник содержит данные о более чем 300 материалах, используемых в отечественной тепловой, атомной и гидроэнергетике и является унифицированным по номенклатуре включенных в него сведений.

В нем дается краткая характеристика основного оборудования электростанций, изложены материаловедческие проблемы в энергетике, описаны системы маркировки сталей, сплавов и чугунов, технологические и специальные свойства материалов, главные требования к ним, методы необходимого контроля, анализа и прогнозирования таких свойств.

В табличной форме рассмотрены сведения о химическом составе материалов, его механических свойствах, твердости и пластичности в зависимости от размера поковки и режимов термообработки, параметры ковочных, литьевых свойств и обрабатываемости резанием, характеристики свариваемости, флокеночувствительности, отпускной хрупкости, данные по релаксационной стойкости, длительной прочности, ползучести, жаростойкости и коррозионной стойкости – всего по более чем 100 параметрам.

Описаны системы маркировки отечественных и зарубежных энергетических сталей и сплавов. Изложены требования к материалам, методы контроля и методики их испытаний. Кратко описаны способы прогнозирования долгосрочных свойств материалов.

Приведена информация о более 700 зарубежных материалах, близких по химическому составу, назначению и свойствам к отечественным.

Данные сопровождаются ссылками на соответствующие источники, откуда они взяты (ГОСТ, ОСТ, ТУ, техническая литература).

Предназначен как для конструкторов, технологов, металловедов и других специалистов тепловой, атомной и гидроэнергетики, так и для работников всех отраслей промышленности, он может быть полезен для преподавателей, аспирантов и студентов технических вузов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский 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 621.923.01

В.А. Смирнов, канд. техн. наук

(Воткинский филиал ГОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет»)

smivial@mail.ru

ТОЧНОСТЬ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРИ ПЛОСКОМ ШЛИФОВАНИИ ПЕРИФЕРИЕЙ КРУГА

Рассмотрены вопросы точности численного решения нестационарной нелинейной задачи теплопроводности с помощью системы клеточных автоматов при плоском шлифовании периферии круга. Получены рекомендации по выбору шагов конечно-разностной сетки и математические модели, позволяющие прогнозировать и минимизировать погрешность численного метода конечных разностей.

Ключевые слова: плоское шлифование, температурное поле, метод конечных разностей, клеточные автоматы, погрешность численного метода.

Numerical decision accuracy questions of the thermal conductivity non-stationary nonlinear task at surface grinding with wheel periphery by means of cellular automats system are considered. Guidelines for finite-difference net choice and mathematical models that enable to predict and minimize mistake of the final difference numerical method are derived.

Key words: surface grinding, field, method of final difference, cellular automats, numerical method mistake.

Важным критерием технологического процесса шлифования является температурное поле заготовки. Температура заготовки определяет фазово-структурное состояние, уровень остаточных напряжений в поверхностном слое, т. е. оказывает влияние на эксплуатационные характеристики готовой детали. При проектировании технологического процесса шлифования необходимо иметь средство прогнозирования температурного поля заготовки, это позволит управлять процессом для достижения его максимальной эффективности.

Следует отметить, что при шлифовании контактная температура может достигать нескольких сотен градусов. Теплофизические свойства заготовки (коэффициент теплопроводности, удельная теплоёмкость) при этом могут значительно изменяться. Так, например, согласно справочным данным [1, 2] для титанового сплава ВТ6 коэффициент теплопроводности увеличивается почти в 2 раза, а удельная теплоёмкость в 1,6 раза при увеличении температуры с 20 до 700 °C. Для Стали 45 коэффициент теплопроводности в том же диапазоне температур уменьшается более чем в 1,5 раза, удельная теплоёмкость увеличивается в 1,3 раза. Это значит, что если не учитывать зависимость теплофизических свойств материала заготовки от температуры $\lambda_3(\Theta)$ и $c_3(\Theta)$, то это может привести к значительным погрешностям численного расчёта. Для устранения подобной ошибки В.А. Сипайлова предложил принимать теплофизические свойства заготовки для температуры шлифования [3].

Такое упрощение математической модели приводит к ошибкам расчёта, так как максимальная температура и температурное поле заготовки не известны до расчёта.

Таким образом, получаем нелинейную нестационарную задачу теплопроводности. Подобные задачи трудно решить аналитически, особенно в двумерном и трёхмерном случаях. Экспериментальное определение температурного поля заготовки довольно сложно и сопряжено с большими затратами. Часто единственным способом решения таких задач является компьютерное математическое моделирование с использованием численных методов решения. Эти методы в совокупности с современной компьютерной техникой позволяют провести расчёт с высокой скоростью и минимальными затратами, а также создать автоматизированные программные средства расчёта температурных полей для конкретных технологических процессов.

Рассмотрим двумерную задачу теплопроводности. Представим обрабатываемую заготовку в виде пластины размером $L_y \times L_z$ (рис. 1), на поверхности которой действует тепловой поток плотностью q , перемещающийся вдоль оси z со скоростью подачи v_3 . Свободная верхняя поверхность заготовки охлаждается смазочно-охлаждающей жидкостью (СОЖ) с коэффициентом теплоотдачи $\alpha_{\text{ж}}$. Теплообмен через остальные граници принимаем равным нулю.

Как известно, процесс распространения тепла в твёрдом изотропном теле при отсутствии внут-

ренных источников теплоты может быть представлен с помощью нелинейного дифференциального уравнения теплопроводности [4, 5]:

$$\begin{aligned} c_3(\Theta)\rho_3 \frac{\partial\Theta}{\partial\tau} = & \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_3(\Theta) \frac{\partial\Theta}{\partial z} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_3(\Theta) \frac{\partial\Theta}{\partial y} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где Θ – температура; τ – время; c_3 – удельная теплоёмкость материала заготовки; λ_3 – коэффициент теплопроводности материала заготовки; ρ_3 – плотность материала заготовки.

Для плоского шлифования периферией круга начальные и граничные условия имеют следующий вид. Начальное условие: $\Theta = \Theta_{\text{окр}}$ – начальная температура заготовки равна температуре окружающей среды. Граничные условия (ГУ):

нижняя граница (ГУ 2-го рода) –

$$\lambda_3(\Theta) \frac{d\Theta}{dy} = 0; \quad (2)$$

верхняя граница (смешанные ГУ 2-го и 3-го рода) –

$$\begin{cases} \text{если } q = 0, \text{ то } \lambda_3(\Theta) \frac{d\Theta}{dy} = -\alpha_{\text{ж}} (\Theta - \Theta_{\text{ж}}) - \\ \quad - \text{конвективный теплообмен с СОЖ}; \\ \text{если } q \neq 0, \text{ то } \lambda_3(\Theta) \frac{d\Theta}{dy} = q(\tau) - \\ \quad - \text{тепловой поток через границу}; \end{cases} \quad (3)$$

правая и левая границы (ГУ 2-го рода) –

$$\lambda_3(\Theta) \frac{d\Theta}{dz} = 0; \quad (4)$$

где $\Theta_{\text{ж}}$ – температура СОЖ; $\alpha_{\text{ж}}$ – коэффициент теплоотдачи СОЖ.

Представим заготовку в виде клеточного автомата – дискретной динамической системы (см. рис. 1), каждый элемент которой характеризуется значением температуры и изменяет своё состояние на каждом шаге расчёта в зависимости от своего текущего состояния и состояния соседних элементов. Расчётные формулы, характеризующие состояние клеточного автомата в каждый момент времени, получим с по-

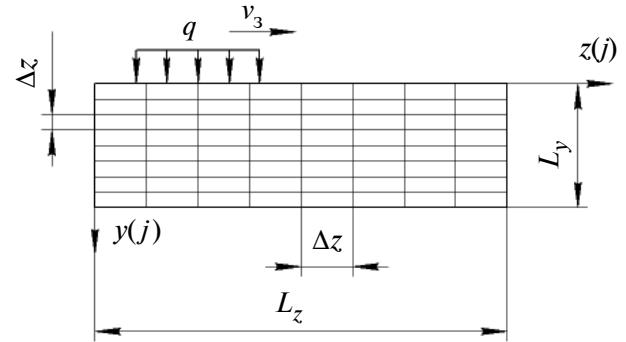


Рис. 1. Расчётная схема

мощью аппроксимации производных, входящих в уравнения (1) – (4), конечно-разностными соотношениями:

$$\begin{aligned} \Theta_{i,j}^{k+1} = & \frac{\lambda_3(\Theta_{i,j})\Delta\tau}{c_3(\Theta_{i,j})\rho_3} \left(\frac{\Theta_{i+1,j}^k - 2\Theta_{i,j}^k + \Theta_{i-1,j}^k}{\Delta z^2} + \right. \\ & \left. + \frac{\Theta_{i,j+1}^k - 2\Theta_{i,j}^k + \Theta_{i,j-1}^k}{\Delta y^2} \right) + \Theta_{i,j}^k; \end{aligned}$$

нижняя граница – $\Theta_{i,j}^{k+1} = \Theta_{i,j-1}^{k+1}$;

верхняя граница –

$$\begin{cases} \text{если } q_i^k = 0, \text{ то } \Theta_{i,0}^{k+1} = \frac{\Theta_{i,1}^{k+1} + \frac{\alpha_{\text{ж}}\Delta y}{\lambda_3(\Theta_{i,j})}\Theta_{\text{ж}}}{1 + \frac{\alpha_{\text{ж}}\Delta y}{\lambda_3(\Theta_{i,j})}}; \\ \text{если } q_i^k \neq 0, \text{ то } \Theta_{i,0}^{k+1} = \Theta_{i,1}^{k+1} + \Delta y \frac{q_i^k}{\lambda_3(\Theta_{i,j})}; \end{cases}$$

правая граница – $\Theta_{i,j}^{k+1} = \Theta_{i-1,j}^{k+1}$;

левая граница – $\Theta_{0,j}^{k+1} = \Theta_{1,j}^{k+1}$;

где $\Delta\tau$ – шаг по времени; Δy , Δz – шаги по координатам; k – порядковый номер временного слоя; i , j – индексы, показывающие расположение элемента.

Теплофизические свойства материала заготовки принимались согласно справочным данным [1, 2] и аппроксимировались кубической функцией температуры:

$$\lambda_3(\Theta) = \lambda_3\Theta^3 + \lambda_2\Theta^2 + \lambda_1\Theta + \lambda_0;$$

$$c_3(\Theta) = c_3\Theta^3 + c_2\Theta^2 + c_1\Theta + c_0.$$

Получение решения по разработанным математическим моделям требует значительной вычислительной работы, поэтому создано приложение Warm.exe, позволяющее автоматизировать расчёт. В качестве исходных данных в программу задаются размеры заготовки, количество клеток вдоль осей z и y , материал заготовки, шаг расчёта по времени, параметры шлифовального круга и режимы шлифования. Теплофизические характеристики ($\lambda_0, \lambda_1 - \lambda_3, c_0, c_1 - c_3$) и механические характеристики материалов (плотность, предел прочности)читываются из файла input.csv. Пользователь может добавлять или убирать материалы по своему усмотрению, редактируя данный файл. В программу вводится номер временного отсчёта, после чего расчитывается температурное поле заготовки. Результат расчёта может быть представлен как в виде таблицы значений, так и в виде графика линий уровня.

На рис. 2 приведён результат расчёта температурного поля при плоском шлифовании периферии круга титанового сплава ВТ6. Исходные данные для расчёта: окружная частота вращения круга $v_{kp}=35$ м/с, скорость продольной подачи заготовки $v_z=3$ м/мин, глубина резания $t=0,02$ мм, сплошной шлифовальный круг из карбида кремния зелёного зернистостью $N=40$, номер структуры $C=6$, радиус круга $R=75$ мм, высота круга $B=12$ мм, СОЖ – 3-процентный раствор кальцинированной соды в воде. Максимальная температура заготовки при этом составила $\Theta_{max} = 727$ °С.

Важный вопрос при использовании численных методов решения – какова их точность? В численном методе конечных разностей точность решения определяется величинами $\Delta z, \Delta y, \Delta t$. В литературе по численным методам, например в работе [5], проведены исследования точности метода конечных разностей при решении двумерной нестационарной задачи теплопроводности. Так, например, известно, что погрешность аппроксимации производных, входящих в уравнения (1) –

(4), в случае линейной задачи пропорциональна шагу по времени Δt и квадратам шагов по координатам Δ_z^2 и Δ_y^2 . Следует отметить, что приведённые в литературе формулы для расчёта погрешностей аппроксимации не позволяют рассчитать её величину, так как погрешность индивидуальна для каждой задачи. Известно также, что применяемая явная схема расчёта является условно устойчивой, что ограничивает выбор шагов расчёта по координатам и времени. Ниже показано, что, даже если условие устойчивости выполняется, имеет место погрешность неустойчивости.

Таким образом, погрешность численного решения в данном случае формируется как совокупность двух составляющих: погрешность аппроксимации и погрешность неустойчивости. Ситуация осложняется тем, что неизвестно точное решение, т. е. численное решение сравнивать не с чем. Для определения погрешностей расчёта максимальной температуры предлагается следующая методика.

- Предположим, что при $\Delta t, \Delta y, \Delta z = 0$ погрешность численного решения равна нулю. Далее нас будет интересовать скорость увеличения погрешности в зависимости от шагов разностной сетки. Принимаем в качестве точного значения максимальной температуры произвольную величину.

- Произведём расчёты температурного поля для разных значений $\Delta t, \Delta y, \Delta z$. Строим графики зависимостей относительной погрешности решения от шага по времени $\delta(\Delta t)$. Данная зависимость достаточно хорошо аппроксимируется линейной функцией $\delta(\Delta t) = k\Delta t + b$ (коэффициент детерминации $R^2 = 0,98-0,99$).

- Устанавливаем характер зависимости коэффициентов аппроксимирующей функции k, b от величин Δy и Δz . Корректируем точное значение максимальной температуры с учётом п. 1.

В результате исследования удалось получить следующие выводы, формулы и рекомендации (обрабатываемый материал – ВТ6).



Рис. 2. Расчётное температурное поле при шлифовании титанового сплава ВТ6
(размер области 7×2 мм)

1. При увеличении $\Delta\tau$, Δy , Δz максимальная температура заготовки повышается, т. е. погрешность максимальной температуры имеет знак «+».

2. При достаточно больших шагах Δy , Δz погрешность численного расчёта в основном определяется погрешностью аппроксимации, имеет достаточно большую величину (более 5 %) и неизначительно увеличивается при увеличении шага $\Delta\tau$. При уменьшении шагов Δy , Δz погрешность расчёта снижается до 2–3 % и ниже, но становится более чувствительной к величине шага Δy (рис. 3) вследствие увеличения погрешности неустойчивости. Следовательно, для достижения заданной точности решения шаги по координатам и времени нужно выбирать совместно: уменьшение шага по координате должно сопровождаться уменьшением шага по времени.

3. Шаг Δy значительно сильнее влияет на величину погрешности, чем шаг Δz . Измельчение шага Δz не снижает погрешности, а, наоборот, увеличивает её вследствие влияния неустойчивости решения. Это вынуждает задавать малый шаг по времени, что замедляет расчёт. Слабое влияние Δz на результат расчёта, по-видимому, объясняется особенностью решаемой задачи, в которой источник тепловыделения достаточно быстро перемещается в направлении оси z . Для повышения точности расчёта не следует уменьшать шаг Δz , а необходимо уменьшать шаг y .

4. В результате аппроксимации результатов расчёта получена математическая модель (5) для прогнозирования относительной погрешности максимальной температуры:

$$\begin{cases} \delta(\Delta y, \Delta z, \Delta\tau) = k(\Delta y, \Delta z)\Delta\tau + b(\Delta y); \\ k(\Delta y, \Delta z) = k_2 \left(\frac{1}{\Delta z^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)^2 + k_1 \left(\frac{1}{\Delta z^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right); \\ b(\Delta y) = b_1 \Delta y, \end{cases} \quad (5)$$

где Δy и Δz в мм; k – коэффициент, характеризующий скорость увеличения погрешности при увеличении $\Delta\tau$; b – погрешность, обусловленная шагом Δy ; k_1 , k_2 , b_1 – коэффициенты.

Для титанового сплава ВТ6 получены следующие значения коэффициентов: $k_2 = 0,007336$, $k_1 = 113,35$, $b_1 = 80,41$.

Расчёты погрешности по математической модели (5) показывают, что при постоянных значениях шагов $\Delta\tau$ и Δz зависимость $\delta(\Delta y)$ имеет экстремальный характер с точкой минимума. Пример показан на рис. 4 (обрабатываемый материал – титановый сплав ВТ6).

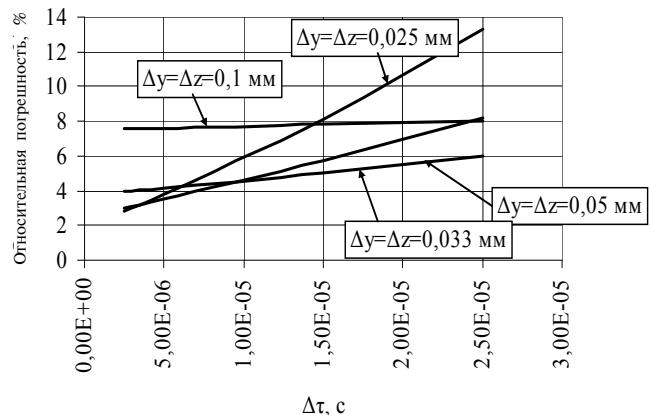


Рис. 3. Относительная погрешность расчёта

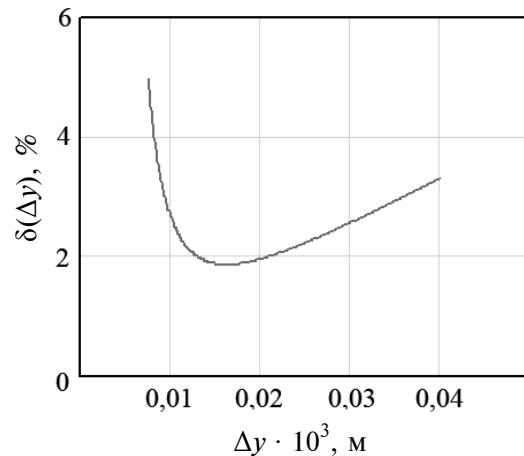


Рис. 4. Зависимость $\delta(\Delta y)$ при $\Delta\tau = 10^{-6}$ с и $\Delta z = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м

Чтобы найти шаг Δy , обеспечивающий минимальную погрешность, нужно приравнять к нулю производную $\partial\delta/\partial\Delta y$ и решить полученное уравнение относительно Δy :

$$\begin{aligned} \frac{\partial\delta}{\partial\Delta y} = & -\frac{\Delta\tau}{\Delta y^3} \left(4k_2 \left(\frac{1}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta z^2} \right) + \right. \\ & \left. + 2k_1 \right) + b_1 = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Уравнение (6) трудно решить аналитически, поэтому применяем численный метод простых итераций [6]. В используемом диапазоне значений Δy метод сходится, и достаточно точное решение получается за 5–10 итераций.

Таким образом, в результате исследования точности численного метода конечных разностей получены рекомендации по выбору шагов конечно-разностной сетки и математические модели, позволяющие прогнозировать и минимизировать погрешность численного метода при решении нелинейной нестационарной задачи теплопроводности при плоском шлифовании периферией круга.

Библиографические ссылки

1. **Титановые сплавы в машиностроении.** Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977.

2. **Шишков М.М.** Марочник сталей и сплавов: Справочник. 3-е изд. доп. Донецк: Юго-Восток, 2002. 456 с.

3. **Сипайлов В.А.** Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. М.: Машиностроение, 1978. 167 с.

4. **Киселёв Е.С., Ковалевский В.Н.** Теплофизический анализ концентрированных операций шлифования. Ульяновск: УлГТУ, 2002. 140 с.

5. **Резников А.Н.** Теплофизика процессов механической обработки материалов. М.: Машиностроение, 1981. 279 с.

6. **Турчак Л.И., Плотников П.В.** Основы численных методов: Учеб. пос. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 304 с. ISBN 5-9221-0153-6.

УДК 621.64/69

П.Н. Дивнич, Д.А. Шнайдер, канд. техн. наук

(Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск),

И.Е. Вахромеев (ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»)

divnich 81@mail.ru

РАСПРЕДЕЛЁННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПАРОСНАБЖЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОГРАММНОЙ МОДЕЛИ

Рассмотрен подход к распределённому автоматизированному управлению пароснабжением промышленных потребителей на основе использования динамической программной модели. Приведён пример реализации предложенного подхода к управлению для системы пароснабжения крупного metallургического предприятия. Данное исследование проводилось в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (г. Магнитогорск) и Южно-Уральском государственном университете (г. Челябинск).

Ключевые слова: паровой аккумулятор, математическая модель, динамические режимы пароснабжения, распределённое управление пароснабжением.

Approach to steam supply distributed automatic control of the industrial consumers from a dynamical programming model utilization is considered. Realization example of the proposed approach to control for steam supply system of the large metallurgical enterprise is adduced. This research was accomplished on OAS “Magnitogorskiy metallurgicalcomplex” (Magnitogorsk) and South-Uralskiy state university (Chelyabinsk).

Key words: steam accumulator, mathematical model, steam supply dynamical conditions, steam supply distributed control.

Введение. Система пароснабжения крупного промышленного предприятия представляет собой распределённый производственный комплекс, включающий подсистемы выработки, транспортирования и потребления пара, связанные процессами динамического взаимодействия на основе аккумулирования и передачи энергии. Подобные системы являются нелинейными, многомерными и многосвязными, в них протекают сложные переходные процессы, вызванные технологическими режимами выработки и потребления пара. Поэтому задача автоматизирован-

ного управления пароснабжением в динамических системах является весьма актуальной, однако, теоретически и практически крайне сложной.

В теории и практике управления большими системами применяются в основном методы централизованного диспетчерского управления в сочетании с локальными автоматическими регуляторами технологических параметров. При этом необходимое качество и эффективность управления требуют получения достоверной прогнозной информации о состоянии системы, позволяющей

формировать оперативные управляющие воздействия в соответствии с заданными критериями управления.

Решение данной задачи основано на создании распределённых автоматизированных систем управления, позволяющих при использовании математических моделей, учитывающих динамику выработки, аккумулирования и потребления пара, эффективно управлять сложными многосвязными системами пароснабжения.

Рассмотрим возможную реализацию указанного подхода к автоматизированному управлению на примере системы пароснабжения промплощадки кислородно-конвертерного цеха (ККЦ) ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»).

Структурная схема и особенности функционирования системы пароснабжения промплощадки ККЦ ОАО «ММК». Система пароснабжения (рис. 1) включает источники пара: паровоздушную электростанцию (ПВЭС-2), редукционно-охладительную установку центральной электростанции (ЦЭС РОУ-2), котельную № 2, котлы отходящих конвертерных газов (ОКГ); потребители пара: вакууматор, электростанцию ST-3, цехи ЛПЦ 6–8, энергокорпус (ЭК) с пароаккумуляторами, пароперегревающую установку (ППУ), систему перераспределения пара (СПП) между вакууматором и другими потребителями, а также протяжённые паровые сети, обладающие собственной аккумулирующей способностью.

Проблемным вопросом пароснабжения промплощадки ККЦ является обеспечение максимальной подачи пара на электростанцию ST-3 для увеличения выработки электроэнергии при полном снабжении паром технологических потребителей.

Основными возмущающими факторами в рассматриваемой системе пароснабжения, влияющими на пароснабжение станции ST-3, являются вакууматор и котлы ОКГ. Цикличность работы вакууматора зависит от количества плавок стали и составляет около 15 включений в сутки (продолжительность включения 20–40 мин). При этом подача пара на вакууматор в пиковом режиме достигает 40–45 т/ч, что составляет до 30 % от общего расхода пара на входе ППУ (около 150 т/ч). Котлы ОКГ утилизируют тепло, образующееся при плавках в ККЦ. Во время плавки поступление пара от одного котла ОКГ может составлять от 150 до 300 т/ч. Средняя продолжительность плавки – 15 мин, среднее количество – 28 плавок в сутки.

Для демпфирования пиков работы вакууматора и котлов ОКГ используются паровые аккумуляторы (ПА) энергокорпуса, а также аккумулирующие способности паровых сетей (ПАт). ПА заряжается паром от котлов ОКГ, в результате чего повышаются температура, давление и масса воды, накопленной в ПА. При разряжении ПА в нём снижается давление, происходит вторичное закипание воды, в результате чего уровень воды в ПА снижается.

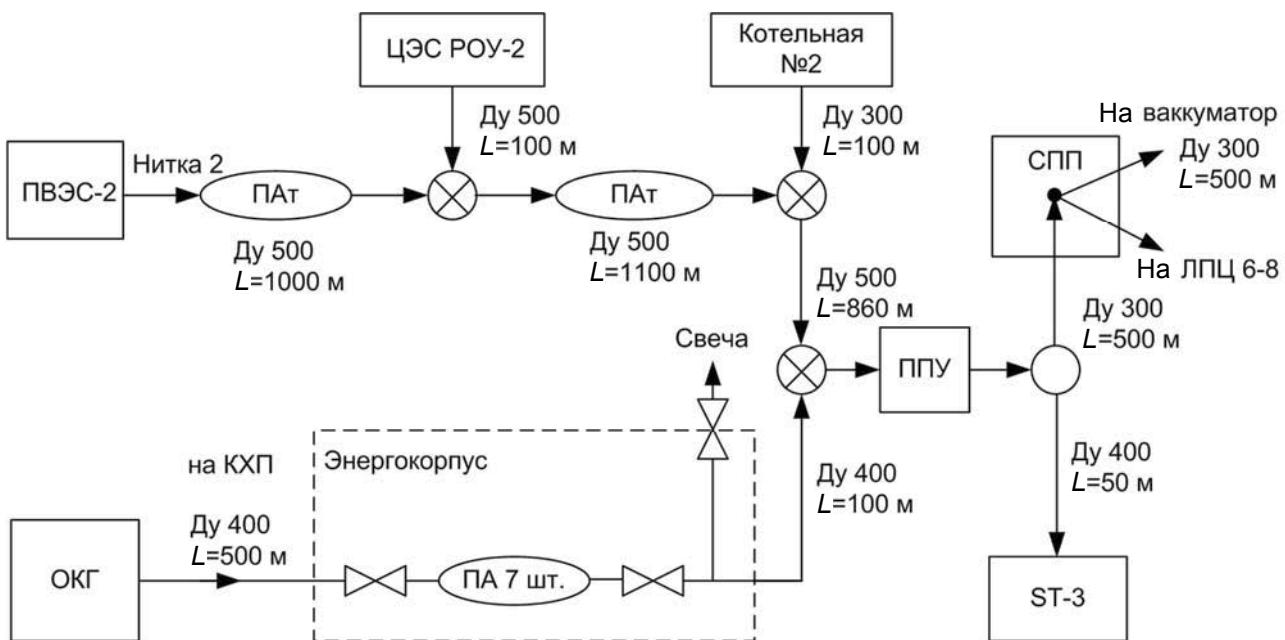


Рис. 1. Укрупнённая структурная схема системы пароснабжения промплощадки кислородно-конвертерного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»:
Ду – условный диаметр участка паропровода; L – длина участка паропровода

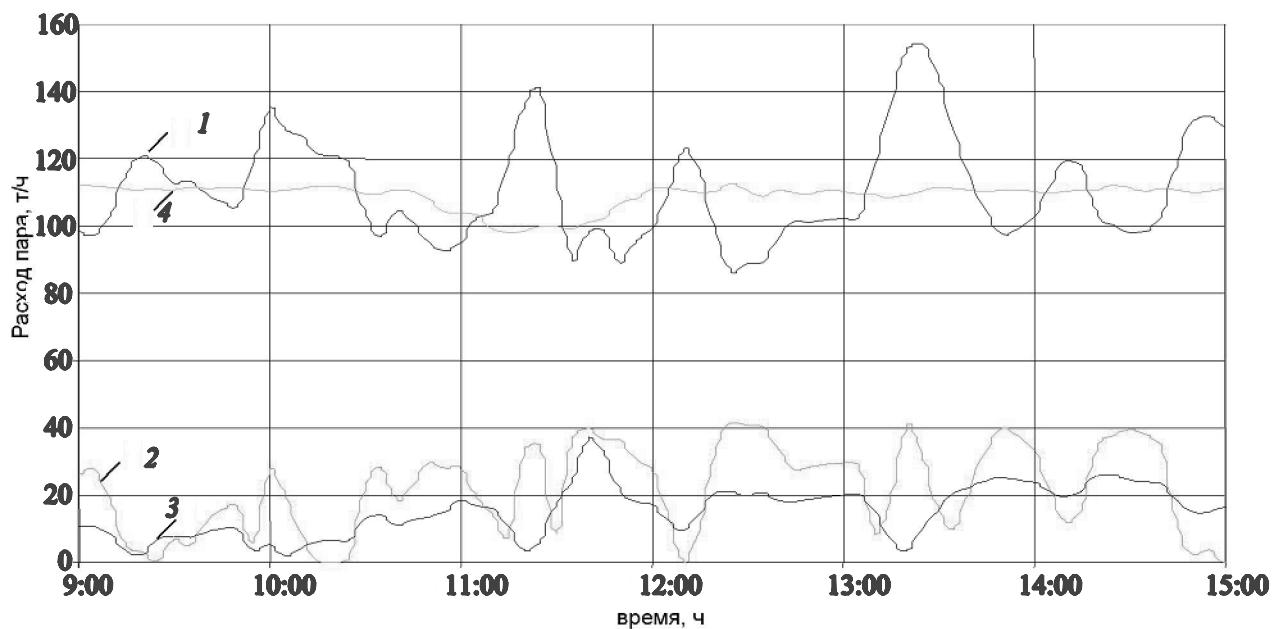


Рис. 2. Расход пара в системе пароснабжения промплощадки кислородно-конвертерного цеха:

1 — перед пароперегревательной установкой из сети; 2 — на выходе из энергокорпуса; 3 — после пароперегревательной установки в сети; 4 — после пароперегревательной установки на турбогенераторы 1, 2

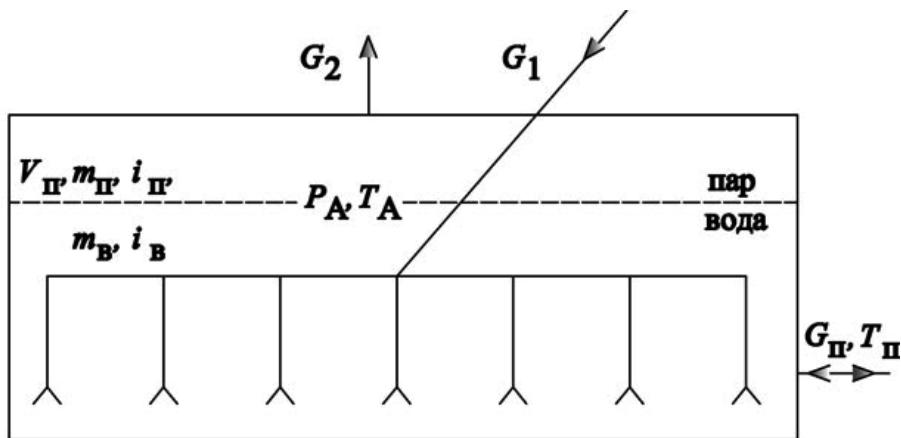


Рис. 3. Принципиальная схема парового аккумулятора

Однако объём пара от ОКГ является переменным, и аккумулирующей способности ПА может быть недостаточно для аккумулирования всего объёма пара. В этом случае оператор вынужден сбрасывать пар в атмосферу через свечи в ЭК.

Графики, иллюстрирующие характер динамических режимов работы системы пароснабжения площадки ККЦ, приведены на рис. 2.

Математическое описание динамических процессов аккумулирования пара. Ключевым элементом демпфирования пиков выработки и потребления пара в системе пароснабжения промпло-

щадки ККЦ являются ПА энергокорпуса. Кроме того, протяжённые паровые сети обладают собственной аккумулирующей способностью. Рассмотрим построение динамической математической модели ПА.

Методы математического моделирования гидравлических и тепловых режимов тепловых сетей приведены в работах [1 и 2]. В работе [2] математически описаны основные теплогидравлические процессы в ПА. Однако в литературных источниках задача моделирования динамических режимов ПА рассмотрена недостаточно, что и определяет актуальность данной работы.

Приступая к описанию математической модели ПА, рассмотрим его устройство (рис. 3). ПА представляет собой цилиндрический бак, более чем наполовину наполненный водой. Входной пар поступает в водяное пространство аккумулятора через форсунки. Пар отводится через паропровод в верхней части бака. Для заполнения (опорожнения) бака водой, а также поддержания уровня воды в допустимых пределах при работе аккумулятора предусмотрены подпиточные трубопроводы.

Заряд аккумулятора осуществляется входным паром с массовым расходом $G_1(t)$, где t – текущее время. Поступая в воду, пар конденсируется, отдавая тепло воде и повышая её температуру. В результате увеличиваются температура, давление и масса воды в аккумуляторе. При достижении точки кипения воды в верхней части бака образуется пар. Процесс зарядки аккумулятора ограничен сверху максимально допустимым давлением (4000 кПа) и максимально допустимым уровнем воды. При этом чем больше уровень (а значит, и масса) воды, тем выше заряд аккумулятора, т. е. выше накопленная в нём тепловая энергия.

Разряд ПА происходит подачей пара с расходом $G_2(t)$ через разрядный паропровод. При этом вследствие снижения давления в аккумуляторе происходит вторичное закипание воды, в результате чего снова образуется пар. Таким образом, разряд аккумулятора сопровождается снижением массы и уровня воды, а также температуры и давления вторичного пара. Уровень воды в аккумуляторе поддерживается в допустимых пределах подачей питательной воды $G_{\Pi}(t)$. Воспользуемся уравнением Клапейрона–Менделеева, приближённо описывающим связь между температурой, давлением и плотностью пара: $p = \rho RT$, где R – удельная газовая постоянная; p – давление теплоносителя; ρ – плотность теплоносителя; T – температура теплоносителя. Отсюда уравнение, позволяющее приблизённо рассчитать давление среды в ПА $P_A(t)$, запишется в виде

$$P_A(t) = \frac{RT_A(t)m_{\Pi}(t)}{V_{\Pi}(t)}, \quad (1)$$

где $T_A(t)$ – температура среды в паровом аккумуляторе; $m_{\Pi}(t)$, $V_{\Pi}(t)$ – масса и объём пара в аккумуляторе.

Температура $T_A(t)$ и давление $P_A(t)$ связаны между собой функциональной зависимостью температуры насыщенного пара от его давления:

$$T_A(t) = f_{HAC}(P_A(t)). \quad (2)$$

Объём пара $V_{\Pi}(t)$ можно определить из выражения

$$V_{\Pi}(t) = V_A - \frac{m_B(t)}{\rho_B(T_A(t))}, \quad (3)$$

где V_A – объём ПА; $\rho_B(T_A(t))$ – функциональная зависимость плотности воды от температуры; $m_B(t)$ – масса воды в аккумуляторе, определяемая решением интегрального уравнения материального баланса:

$$m_B(t) = \int_0^t (G_1(t) - G_2(t) + G_{\Pi}(t)) dt. \quad (4)$$

Интегральное уравнение энергетического баланса ПА будет иметь вид

$$E_A(t) = \int_0^t (Q_1(t) - Q_2(t) - Q_{\text{пот}}(t) + Q_{\Pi}(t)) dt, \quad (5)$$

где $E_A(t)$ – тепловая энергия, накопленная в аккумуляторе; $Q_1(t)$, $Q_2(t)$, $Q_{\text{пот}}(t)$, $Q_{\Pi}(t)$ – тепловая мощность входящего/выходящего пара, потеря в окружающую среду и подпитки соответственно.

Тепловые мощности $Q_1(t)$, $Q_2(t)$, $Q_{\Pi}(t)$ определяются по формулам

$$Q_1(t) = G_1(t)i_{\Pi 1}(t); \quad (6)$$

$$Q_2(t) = G_2(t)i_{\Pi 2}(t); \quad (7)$$

$$Q_{\Pi}(t) = G_{\Pi}(t)i_{\Pi}(t), \quad (8)$$

где $i_{\Pi 1}(t)$, $i_{\Pi 2}(t)$, $i_{\Pi}(t)$ – энталпия входящего, выходящего пара и питательной воды соответственно.

Мощность теплопотерь в окружающую среду определяется по формуле

$$Q_{\text{пот}}(t) = K_{\Pi} F_A (T_A(t) - T_{\text{напр}}(t)), \quad (9)$$

где F_A – площадь поверхности аккумулятора; K_{Π} – коэффициент теплопередачи от поверхности бака в окружающую среду; $T_{\text{напр}}(t)$ – температура наружного воздуха.

Уравнения (1) – (9) представляют собой динамическую математическую модель ПА, которая с учётом принятых допущений может использоваться для моделирования аккумулирующих способностей паропроводов с подстановкой нулевых значений массы воды (m_B) и расхода подпитки (G_{Π}). Математические модели других элементов

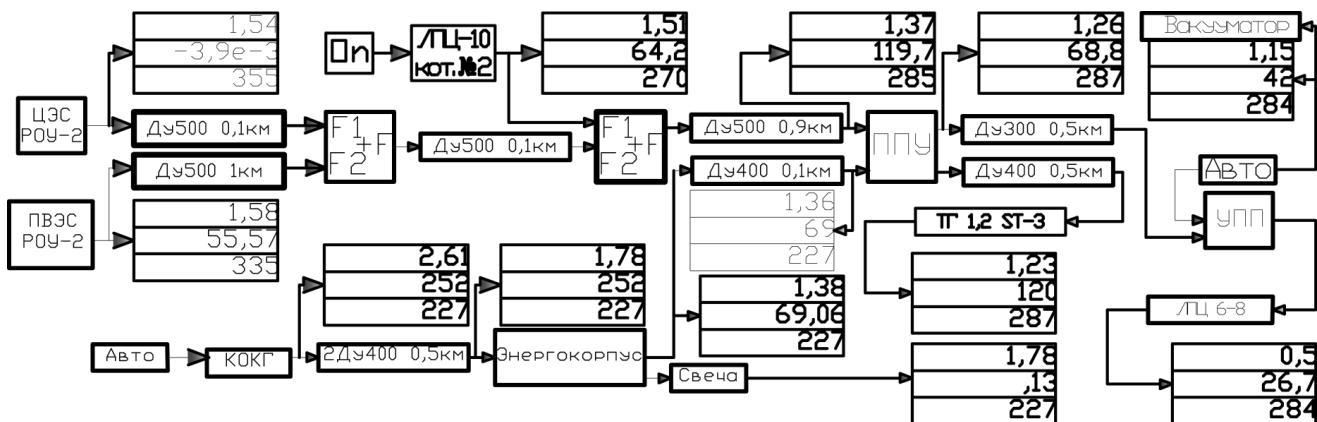


Рис. 4. Видеокадр моделирования пароснабжения промплощадки кислородно-конвертерного цеха

→ - паропровод; 1.5 - давление, МПа; 64,20 - расход, т/ч;
 270 - температура, °С; F1+F2 - узел смешения потоков; ЦЭС РОУ-2 - источник пара;
 Вакууматор - потребитель пара.

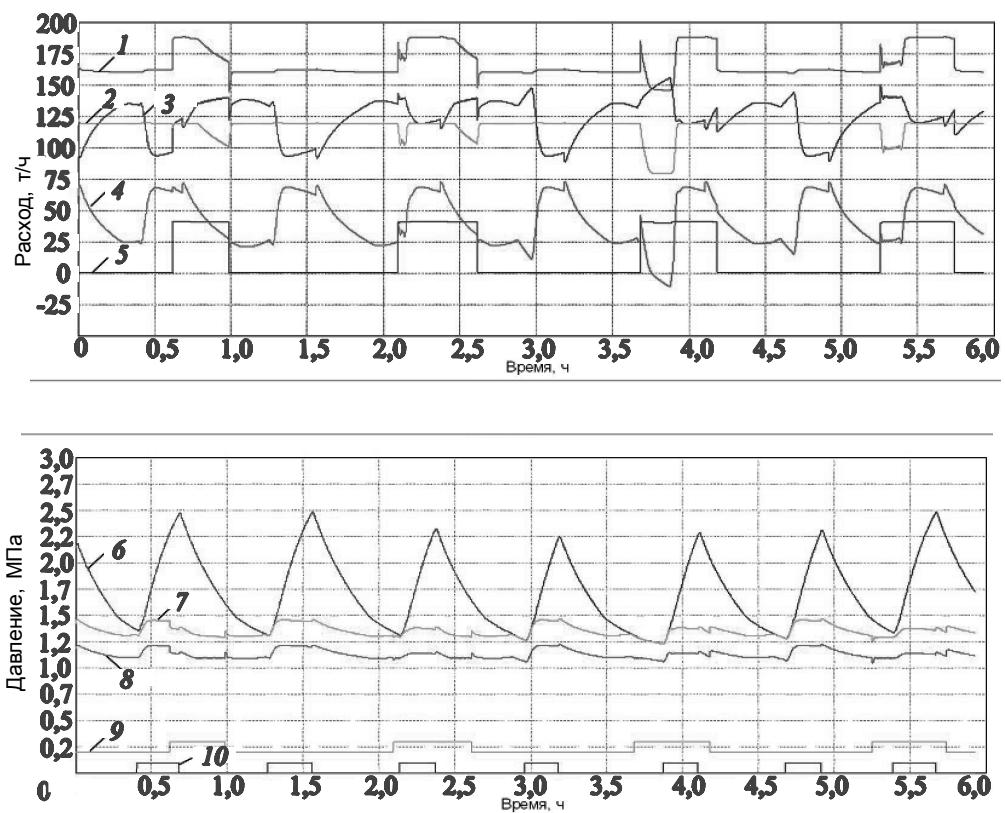


Рис. 5. Графики изменения параметров пароснабжения промплощадки кислородно-конвертерного цеха, полученные при моделировании:

1 – выход пароперегревательной установки; 2 – турбины ST-3; 3 – вход пароперегревательной установки из сетей; 4 – вход пароперегревательной установки из энергокорпуса; 5 – вакууматор; 6 – паровые аккумуляторы энергокорпуса; 7 – выход энергокорпуса на пароперегревательную установку; 8 – вакууматор; циклограммы работы: 9 – вакууматор; 10 – котлы отходящих конвертерных газов

системы пароснабжения (в частности, участков паровых сетей, отводов, переходов диаметров, запорной, регулирующей арматуры и пр.) представляют собой известные алгебраические уравнения теплогидравлических процессов, достаточно подробно описанных в литературе [3–6].

Распределённая автоматизированная система управления пароснабжением на базе динамической программной модели. Для повышения эффективности демпфирования переменной нагрузки вакууматора и выработки пара котлами ОКГ разработана распределённая система автоматического управления пароснабжением, включающая локальные системы автоматического регулирования (САР) на источниках и потребителях пара. Так как локальные САР должны работать на единую цель (обеспечение инвариантности системы пароснабжения к переменной нагрузке вакууматора и выработке пара котлами ОКГ при максимизации подачи пара на станцию ST-3), необходимо координировать их работу.

Одним из способов координации данных систем является использование оперативного диспетчерского управления с использованием программы эффективного планирования пароснабжения промплощадки, основанной на математической модели паровой сети. Для этого разработана математическая модель системы пароснабжения промплощадки ККЦ на базе программного пакета моделирования VisSim.

Отличительной особенностью разработанной модели является учёт динамики паровых потоков,

связанных с аккумулирующей способностью сетей и наличием ПА, что позволяет учитывать режимы пароснабжения при переменных нагрузках, а также регулирующих воздействиях от диспетчера и автоматических систем.

Видеокадр моделирования режима пароснабжения рассматриваемой системы с использованием разработанной динамической модели представлен на рис. 4. На рис. 5 приведены графики изменения расхода и давления пара в системе, полученные в результате моделирования, а также соответствующие циклограммы включений котлов ОКГ и вакууматора ККЦ. Анализ результатов моделирования режимов пароснабжения и фактических данных эксплуатации показал, что разработанная модель адекватно отражает процессы пароснабжения станции ST-3 в различных режимах работы источников и потребителей пара с достаточной для практики точностью.

Реализация разработанного подхода к оперативному управлению пароснабжением промплощадки ККЦ предполагает установку на каждом источнике и основных потребителях пара автоматизированных рабочих мест (АРМ) диспетчеров с экранной формой, пример которой приведён на рис. 6.

В левой части экранной формы показаны выработка пара источниками, а именно ПВЭС н.2, ЦЭС, котельной № 2 и котлами ОКГ; в правой – потребление пара вакууматором, станцией ST-3, ЛПЦ 6-8, сетевыми бойлерами и деаэраторами ЭК. В центральной части распо-



Рис. 6. Пример экранной формы автоматического рабочего места диспетчеров пароснабжения промплощадки:

t – текущее время; t_1 – момент времени включения вакууматора; t_2 – момент времени выключения вакууматора; t_3 – прогноз включения котлов ОКГ; t_4 – прогноз включения вакууматора; $---$ – желаемый расход пара

ложен график изменения и прогноза ресурса пара в системе и показан пороговый уровень ресурса пара, поддержание которого необходимо для обеспечения требуемых параметров пара у потребителей.

На основе программной модели в режиме реального времени можно рассчитать ресурс пара в системе и сделать его прогноз в зависимости от параметров и режимов источников и потребителей пара. В качестве исходных данных используются фактические значения параметров пара на источниках и потребителях, получаемые из АСУ. В результате каждый диспетчер, в том числе контролирующий работу вакууматора и котлов ОКГ, получает возможность контролировать не только текущие значения параметров, но и прогнозируемые значения, полученные с помощью модели.

В итоге алгоритм управления системой пароснабжения может быть представлен следующим образом. Диспетчер вакууматора формирует упреждающий сигнал о начале плавки, который одновременно отображается на АРМ всех указанных источников и потребителей. Также формируется упреждающий сигнал, представляющий собой прогноз включения котлов ОКГ. На основании данных сигналов с помощью динамической модели рассчитывают прогнозные значения ресурса пара в системе, позволяющие другим источникам и потребителям пара выполнить необходимые действия по изменению режимов пароснабжения, с тем чтобы не допустить снижения ресурса пара в системе ниже минимального порогового уровня, обеспечивающего максимальную выработку электроэнергии на станции ST-3.

Таким образом, реализуется распределённое автоматизированное управление пароснабжением, при котором каждый из функциональных элементов системы (источников, крупных потребителей) может оценивать состояние системы в целом, а также влияние каждого элемента на работу системы пароснабжения.

В результате изложенного выше можно сделать следующие выводы:

эффективное управление сложными техническими системами, в частности, системами пароснабжения крупных промышленных предприятий, требует достоверной прогнозной информации о состоянии системы, которая может быть получена на основе использования динамической программной модели;

для реализации оперативного управления системой пароснабжения промплощадки ККЦ ОАО «ММК» разработана математическая программная модель, позволяющая учитывать динамику паровых потоков, связанных с аккумулирующей способностью сетей и ПА, переменными технологическими режимами работы источников и потребителей пара, а также регулирующими воздействиями от диспетчера и автоматических систем. Апробация модели на базе данных диспетческого управления показала целесообразность её применения для анализа режимов и выбора оптимальных вариантов регулирования пароснабжения;

предложен алгоритм автоматизированного управления пароснабжением промышленных потребителей промплощадки ККЦ ОАО «ММК» на основе динамической программной модели. Особенностью алгоритма является реализация распределённого автоматизированного управления пароснабжением, при котором каждый из диспетчёров, управляющих элементами сложной системы, может видеть состояние системы в целом, состояние и влияние каждого элемента, в том числе прогноз своего влияния на работу системы в целом;

предложенный подход к управлению пароснабжением промплощадки ККЦ ОАО «ММК» на основе динамической программной модели может быть использован для оперативного управления потоками других энергетических ресурсов с учётом динамики их выработки, аккумулирования и потребления.

Библиографические ссылки

1. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. 2-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1986. 250 с.
2. Соколов Е.А. Теплофикация и тепловые сети: Учеб. для вузов. 5-е изд. перераб. М.: Энергоиздат, 1982. 352 с.
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
4. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / Под ред. А.А. Николаева. М.: Стройиздат, 1965. 358 с.
5. Теплоснабжение: Учеб. для вузов / А.А. Ионин, Б.М. Хлыбов, В.Н. Братенков, Е.Н. Терлецкая. Под ред. А.А. Ионина. М.: Стройиздат, 1982. 336 с.
6. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика: В 2 ч. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Наука. 1991. 472 с.

УДК 004.652.6

И.А. Микляев, канд. физ.-мат. наук, доц., **А.Н. Ундозерова**, канд. пед. наук, доц.,
М.В. Кудаева (Филиал «Севмашвтуз» ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет, г. Северодвинск)

und-all@rambler.ru

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ

Разработаны информационные системы на основе модели универсальной базы данных, которая может применяться в проектировании информационных систем для унификации инструментария при структурировании и обработке информации в различных предметных областях, создании приложений, легко перенастраиваясь при изменении в бизнес-среде без модификации структуры базы данных и программного обеспечения.

Ключевые слова: проектирование баз данных и информационных систем, унифицированный инструментарий для структурирования и обработки информации.

The information systems from a universal data base model are developed which can be used when information systems designing for instruments unification by information structuring and processing in the different object regions, for appendices creature lightly readjusting for change in the business-environment without date base structures and software modification.

Key words: data base and information systems designing, unified instruments for information structuring and processing.

Информационные системы (ИС) используются практически во всех сферах жизнедеятельности людей и ориентированы на обработку государственной, юридической (законодательной), деловой, финансовой, научно-технической, учебной, развлекательной и другой информации. На протяжении последних десятилетий в области разработки ИС и их основополагающих составляющих баз данных (БД) ведутся интенсивные исследования, подбираются оптимальные подходы и типовые решения проектирования и реализации.

Наиболее адекватной представляется разработка архитектуры сложных прикладных ИС на основе эффективного объединения разных видов оборудования и программного обеспечения, применения стандартизованных интерфейсов между компонентами системы и т. п. Такой подход позволяет повторно использовать программные средства на разных вычислительных платформах без перепрограммирования и тем самым экономить значительные финансовые средства, а также поэтапно наращивать вычислительную мощность прикладной системы в соответствии с потребностями пользователя и его финансовыми возможностями.

Одним из эффективных инструментов для решения подобного рода задач являются CASE-средства (Computer Aided Software/System Engineering). Целесообразность их применения определяется возможностью точного учёта требо-

ваний конечного пользователя к проектируемой ИС, значительным снижением уровня ошибок в проекте до начала программирования, что порождает существенное увеличение общей трудоёмкости разработки и отладки программ.

Этапы разработки информационных систем. Традиционно к основным этапам разработки ИС относятся:

анализ требований, включающий изучение предметной области, построение моделей бизнес-процессов;

проектирование, в том числе определение сущностей, атрибутов и связей, разработка логической модели БД;

выбор системы управления БД и физическая реализация проекта;

разработка интерфейса и программной логики приложения;

тестирование и отладка;

внедрение и сопровождение.

Прохождение этапов происходит последовательно, ни один из этапов нельзя пропустить и перейти к следующему. После каждого этапа анализируется соответствие полученных результатов требованиям заказчика. При значительных отклонениях разработчик вынужден возвращаться к предшествующим этапам и проходить последующие шаги заново (рис. 1).

Ввиду того что этап «Изучение предметной области» является базовым, к нему возвращаются наиболее часто, что значительно увеличивает



Рис. 1. Итерационная схема разработки информационной системы

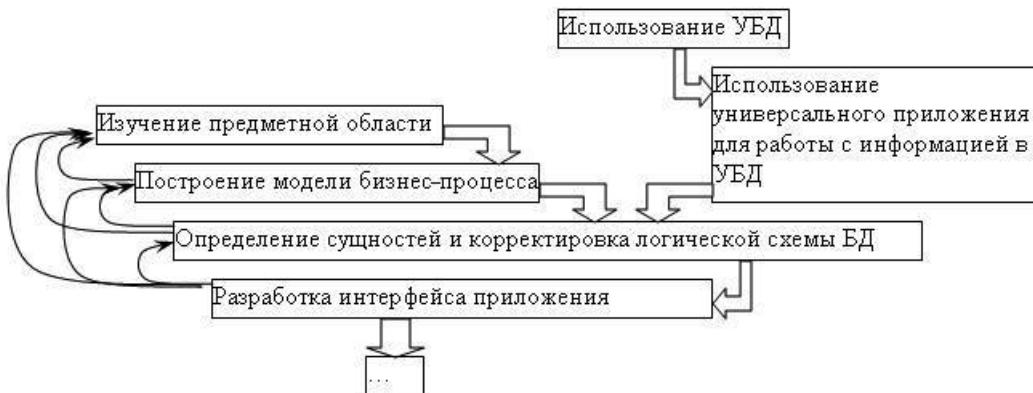


Рис. 2. Схема разработки информационных систем с использованием универсальной базы данных

трудоёмкость, время и ресурсы. Зачастую самые существенные корректизы разработчик вносит на последних этапах разработки интерфейса, тестирования и отладки приложения в реальных условиях. Это происходит в основном по двум причинам. Во-первых, разработчик программного обеспечения, как правило, не является участником исходного бизнес-процесса, и соответственно познание нюансов предметной области осуществляется во время проектирования. Во-вторых, внедрение автоматизированных ИС предполагает изменение производственных процессов. Следовательно, на выходе мы имеем новую предметную область, с новыми участниками, обновлёнными функциями и задачами.

Таким образом, возврат от этапа «Разработка интерфейса приложения» к этапу «Изучение предметной области» практически неизбежен, стоимость модификаций резко возрастает, а текущесть требований создаёт почти неразрешимые проблемы. Решение задачи сводится к разработке ИС на основе модели универсальной БД.

Этапы разработки информационных систем с использованием универсальной базы данных. Одним из путей совершенствования технологии разработки ИС является исключение промежуточных этапов проектирования за счёт создания универсальной базы данных (УБД), содержащей информацию любой предметной области без изменения структуры.

Ниже приведена разработка ИС, состоящая из следующих этапов (рис. 2):

анализа требований, включающего изучение предметной области, построение моделей бизнес-процессов;

проектирования, в том числе определения сущностей, атрибутов и связей, корректировки логической модели БД;

разработки интерфейса и программной логики приложения;

тестирования и отладки;

внедрения и сопровождения.

Очевидно, что в случае изменения схемы проектирования ИС происходит перераспределение функций между разработчиком системы управ-

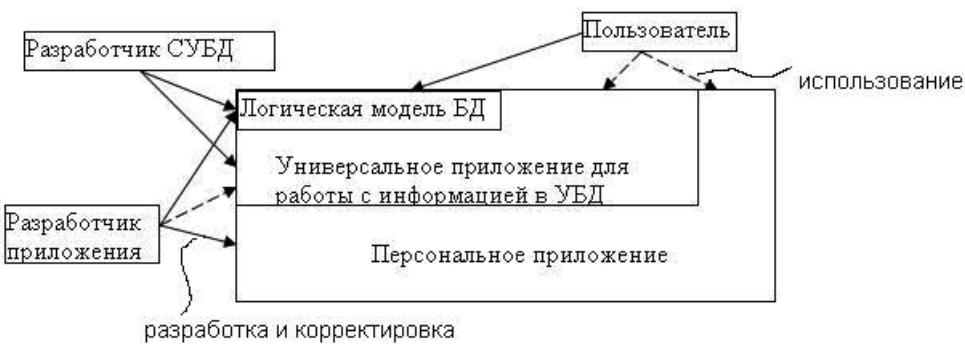


Рис. 3. Распределение функций участников разработки и функционирования информационной системы с использованием универсальной базы данных

лениями базами данных (СУБД), разработчиком приложения и пользователем ИС (рис. 3). Разработчик СУБД берёт на себя все проблемы, связанные с организацией унифицированного ввода, изменения и удаления информации справочников системы. Разработчик приложения лишь создаёт экранные формы для работы с исходящей информацией проекта по персональным требованиям заказчика, которые могут редактироваться и в унифицированной форме, и реализовывает функции системы. Пользователь получает возможность корректировать структуру информации и без участия разработчика приложения.

Таким образом, процесс разработки приложения значительно упрощается с точки зрения программиста. Следовательно, большее время можно уделить изучению предметной области. Важно учитывать, что при использовании универсальной БД тестовая информация для отладки системы может быть внесена на ранних этапах проектирования, без потери её при поэтапной модификации структуры БД. Пользователь за счёт управления справочниками получает возможность адаптировать ИС к изменяющейся предметной области.

Структура универсальной базы данных. Для создания УБД необходимо определить, что характерно для любой предметной области. Как правило, объектная декомпозиция бизнес-среды предполагает получение ответов на три основных вопроса: что необходимо описать, что необходимо присвоить, какие значения принимает то, что будет присвоено.

Ответы на первые два вопроса обязательны, так как объекты предметной области (сущности) характеризуются свойствами (атрибутами). Третий вопрос не всегда актуален в связи с тем, что свойства могут иметь как количественные, так и качественные оценки, или не иметь их вовсе, однако возможность установления значения для некоторого свойства должна быть предусмотрена.

Для учёта того, что всё развивается во времени и некоторые свойства могут иметь место только в определённый момент времени, целесообразно поставить вопрос: в какой период действует данная информация?

Ответ на последний вопрос можно реализовать в УБД с помощью предшествующих вопросов через две информационные единицы. Тогда какому-либо свойству необходимо присвоить «начало действия информации» и «конец действия информации» с соответствующими значениями типа дата/время в качестве ответов на третий вопрос. При этом обслуживание динамики информации является функцией разработчика приложения. Если необходимо признание ответа на четвёртый вопрос при формировании УБД, решение проблем, связанных с изменениями информации во времени, переносится на уровень разработки СУБД. Это вполне оправданно в связи с тем, что современным бизнес-средам присуща значительная текучесть изменений, и, следовательно, в БД большое количество записей актуально лишь в определённый период времени. Далее они составляют архивный материал. Исключение такой информации из рассмотрения средствами СУБД упрощает процесс разработки программных приложений и существенно повышает их эффективность и быстродействие.

Таким образом, получаем логическую модель УБД с определением следующих сущностей (рис. 4):

сущность (первый вопрос);

экземпляр сущности (первый вопрос);

параметр (второй вопрос);

принадлежность (указывает, какие характеристики могут быть использованы при описании той или иной сущности, т. е. ограничения второго вопроса);

возможное значение параметра (третий вопрос);

характеристика экземпляра сущности (основное хранилище информации).

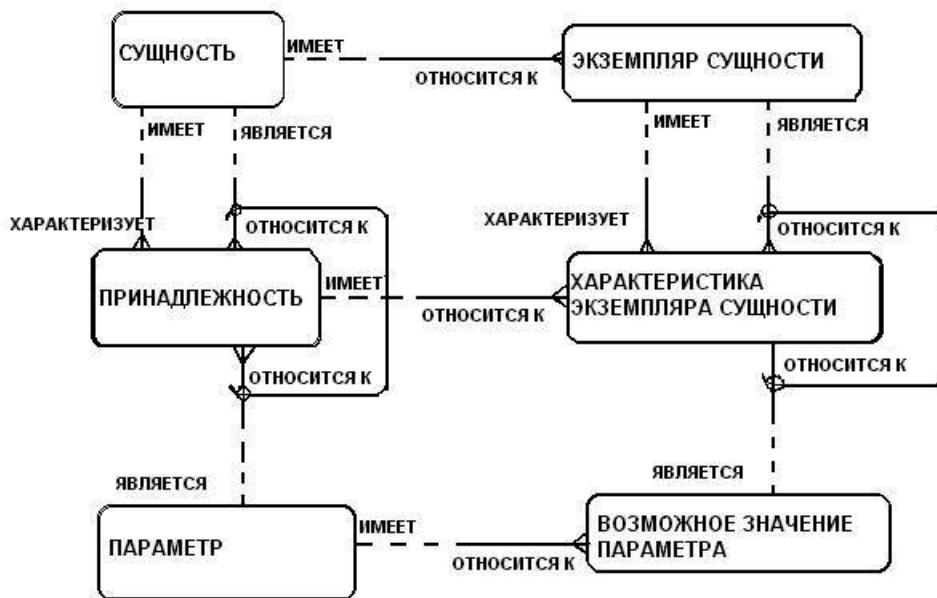


Рис. 4. Логическая модель универсальной базы данных

На уровне реализации прототипами сущностей логической модели являются таблицы. При использовании УБД в некоторой предметной области в таблицу «Сущность» вносятся названия таблиц ИС (например, «Индивиды»). Таблица «Экземпляр сущности» содержит только идентификаторы отдельных экземпляров сущностей (строк таблицы «Индивиды» – конкретных физических лиц). Все характеристики экземпляра сущности, составляющие атрибуты таблиц (например, «Фамилия», «Имя») хранятся в таблице «Характеристика экземпляра сущности», причём названия характеристик устанавливаются через таблицу «Принадлежность», показывающую соответствие между сущностями и параметрами, которыми эта сущность может быть описана. Параметром может являться и другая сущность. Значения, которые может принимать параметр, хранятся в таблице «Возможное значение параметра» (в данную таблицу заносятся наиболее распространённые и часто используемые значения).

Атрибутом сущности может быть некоторый простой параметр (из таблицы «Параметр», например, «Фамилия» или «Имя») или сложный параметр, являющийся сущностью (из таблицы «Сущность», например, «Подразделение», в котором работает «Индивид») со своим набором атрибутов. Этим обусловлено наличие проверочного ограничения целостности (check) таблицы «Принадлежность». Аналогично, значением характеристики экземпляра сущности может быть либо некоторое значение (из таблицы «Возможное значение параметра», например фамилия «Иванов»), либо значение, которое является экземп-

ляром какой-либо сущности (из таблицы «Экземпляр сущности», например, название подразделения «Отдел главного конструктора»).

Идея разработки УБД возникла в результате применения ранее предложенных типовых решений проектирования объектов БД с варьируемым числом параметров в таких областях, как учёт лекарственного обеспечения пациентов с хроническими заболеваниями (различные параметры при различных заболеваниях), учёт компьютерной техники (компьютеры могут быть представлены как объекты с иерархической структурой, имеющие различное количество комплектующих), учёт операций с недвижимостью и ведение наследственных дел (объекты недвижимости также являются структурами с варьируемым числом параметров).

Описанная методика разработки ИС на основе модели УБД позволяет унифицировать инструментарий для обработки информации в различных предметных областях, способствует созданию приложений, легко перенастраивающихся при изменениях в бизнес-среде без модификации структуры базы данных и программного обеспечения.

Библиографические ссылки

1. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. М.: Радио и связь, 2002. 282 с.
2. Конноли Т., Бегг К. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. 3-е изд.: Пер. с англ. / Т. Конноли, К. Бегг. М.: ИД «Вильямс», 2003. 1440 с.



УДК 004.7

Г.С. Петриченко, канд. техн. наук, доц., **Н.Ю. Нарыжная**, канд. техн. наук, **М.Ю. Спур**
 (Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар)

Petry_gr@mail.ru

ОЦЕНКА ПРИОРИТЕТНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Представлена реализация методики определения информативности и приоритетности параметров технического состояния компьютерной сети предприятия, позволяющая вычислять потери информации при исключении наименее информативных характеристик.

Ключевые слова: компьютерная сеть, показатели технического состояния, информативность, приоритетность, информативность системы, исключение параметров, потери информации.

Implementation methodology for definition of the self-descriptiveness and priority of the enterprise computer net technical condition parameters that enables to calculate information loss when excluding the least informative characteristics is introduced.

Key words: computer net, technical condition indexes, self-descriptiveness, priority, system self-descriptiveness, parameters exclusion, information loss.

Объединение персональных компьютеров в сеть позволяет с наименьшими затратами решать многие задачи в различных областях человеческой деятельности. Однако при этом существенно возрастает значение правильного и своевременного предвидения их технического состояния (ТС).

При прогнозе ТС компьютерных сетей (КС) основная трудность состоит в том, что заранее не известна совокупность признаков, обеспечивающих такой прогноз с требуемой точностью. Поэтому необходимо уметь выбирать совокупность информационных параметров, по которым предвидение состояния системы будет осуществляться с наименьшими затратами и максимальным качеством.

Пусть некоторая система (КС) характеризуется совокупностью N параметров x_1, \dots, x_N , которые обозначим вектором $\vec{x} = (x_1, \dots, x_N)$. Необходимо найти такую функцию $f(x)$, которая, описывая свойства системы, отвечала бы следующим требованиям: вектор $\vec{z} = f(\vec{x})$ содержал бы ту же информацию о свойствах системы, что и вектор \vec{x} ; число компонент M вектора $\vec{z} = (z_1, \dots, z_M)$ было бы меньше числа компонент N вектора \vec{x} .

Поскольку при уменьшении числа параметров можно потерять часть информации о свойствах системы, то для сохранения информации условимся, что при переходе от вектора \vec{x} к вектору \vec{z} ошибки первого рода α (вероятность ложной

тревоги) и второго рода β (вероятность выхода из строя составной части сети или сбой передачи данных) оценок интересующих свойств сохраняются в заданных пределах [1].

Проведём анализ и обработку данных наблюдений, полученных при контроле характеристик ТС КС пяти предприятий в разное время, следуя алгоритму, изложенному в работе [2]. Контроль осуществлялся по шести основным параметрам ТС КС: число абонентов x_1 , пропускная способность x_2 , загрузка сети данными x_3 , загрузка конфликтами x_4 , время восстановления сети x_5 , интенсивность абонента x_6 .

В качестве параметра x_7 примем вероятность выхода за границы интервала допустимых значений параметра, устанавливаемых администратором сети согласно предъявляемым к КС требованиям. В соответствии с этим в целях нормального функционирования сети поставлены следующие условия для значений параметров её ТС: $x_1 \leq 68$ ед.; $x_2 \geq 50$ Мбит/с; $x_3 \leq 0,05$ ед.; $x_4 \leq 0,00001$ ед.; $x_5 \leq 50$ мкс; $x_6 \leq 7500$ байт/с.

В табл. 1 приведены результаты измерения параметров ТС КС пяти предприятий в разное время (S_i – i -я исследуемая система).

Рассчитаем значения корреляционной матрицы $\|C_{ij}\|$, на основе которой оценим информативность рассматриваемой системы параметров.

Таблица 1
Результаты замеров параметров исследуемых систем в разное время

Номер замера	x_1 , ед.	x_2 , байт/с	x_3 , ед.	x_4 , ед.	x_5 , с	x_6 , байт/с
S_1						
1	68	11250000	0,028564	0,000000091	0,000020	5000
2	68	10750000	0,035872	0,000000205	0,000020	6000
3	60	10000000	0,038562	0,000000369	0,000025	6800
4	60	10625000	0,032558	0,000000136	0,000020	6100
5	66	11000000	0,031757	0,000000132	0,000020	5600
6	66	10000000	0,042418	0,000000540	0,000025	6800
7	66	9500000	0,048591	0,000001202	0,000030	7400
8	68	8500000	0,060489	0,000002775	0,000033	8000
9	67	9000000	0,052771	0,000001497	0,000030	7500
10	68	9750000	0,046143	0,000000717	0,000025	7000
S_2						
1	50	10000000	0,026422	0,00000166	0,000045	6000
2	50	9000000	0,033272	0,00000415	0,000050	6800
3	50	8125000	0,039565	0,00000673	0,000050	7300
4	48	7250000	0,045482	0,00001167	0,000056	7800
5	48	7250000	0,045482	0,00001007	0,000052	7800
6	45	8500000	0,033572	0,00000383	0,000050	7200
7	48	9000000	0,031941	0,00000325	0,000048	6800
8	40	9375000	0,024801	0,00000128	0,000048	6600
9	42	9375000	0,026042	0,00000156	0,000048	6600
10	42	10000000	0,023304	0,00000100	0,000045	6300
S_3						
1	43	9375000	0,027997	0,00000047	0,000040	6600
2	43	10000000	0,025054	0,00000035	0,000040	6300
3	40	10750000	0,01996	0,00000012	0,000035	5800
4	40	9750000	0,024663	0,00000031	0,000040	6500
5	38	10750000	0,018962	0,00000010	0,000035	5800
6	36	8750000	0,026636	0,00000042	0,000045	7000
7	36	7875000	0,032132	0,00000083	0,000048	7600
8	38	7375000	0,036217	0,00000117	0,000048	7600
9	38	7125000	0,038474	0,00000163	0,000052	7800
10	34	8750000	0,025875	0,00000038	0,000045	7200
S_4						
1	43	9375000	0,027997	0,00000047	0,00004	6600
2	36	8750000	0,026636	0,00000042	0,000045	7000
3	40	10750000	0,01996	0,00000012	0,000035	5800
4	43	10000000	0,025054	0,00000035	0,00004	6300
5	38	10750000	0,018962	0,00000010	0,000035	5800
6	36	8750000	0,026636	0,00000042	0,000045	7000
7	34	8750000	0,025875	0,00000038	0,000045	7200
8	34	8750000	0,025875	0,00000038	0,000045	7200
9	40	10750000	0,01996	0,00000012	0,000035	5800
10	38	7125000	0,038474	0,00000163	0,000052	7800
S_5						
1	68	11250000	0,028564	0,00000009	0,00002	5000
2	66	11000000	0,031757	0,00000013	0,00002	5600
3	60	10000000	0,038562	0,00000037	0,000025	6800
4	60	10625000	0,032558	0,00000014	0,00002	6100
5	66	11000000	0,031757	0,00000013	0,00002	5600
6	66	10000000	0,042418	0,00000054	0,000025	6800
7	60	10625000	0,032558	0,00000014	0,00002	6100
8	68	9750000	0,046143	0,00000072	0,000025	7000
9	67	9000000	0,052771	0,00000150	0,00003	7500
10	68	8500000	0,060489	0,00000277	0,000033	8000

Таблица 2

Значения корреляционной матрицы

Номер строки i	Номер столбца j						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0,79689509	0,72775377	0,68477014	0,73419410	0,85284940	0
2	0,79689509	1	0,97169346	0,67160756	0,98907089	0,98240795	0
3	0,72775377	0,97169346	1	0,64450802	0,95939463	0,95923749	0,847306
4	0,68477014	0,67160756	0,64450802	1	0,69460614	0,70042149	0,748331
5	0,73419410	0,98907089	0,95939463	0,69460614	1	0,96274464	0,916515
6	0,85284930	0,98240795	0,95923749	0,70042149	0,96274464	1	0,851480
7	0	0	0,84730600	0,74833100	0,91651500	0,8514800	1

Предварительно рассчитаем следующие величины:
средние значения параметров по данным их замеров –

$$\bar{x}_i(k) = \frac{\sum_{j=1}^P x_{ij}(k)}{P}, \quad k = 1, \dots, T, \quad i = 1, \dots, N;$$

средние значения параметров по числу замеров –

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{k=1}^T \bar{x}_i(k)}{T}, \quad i = 1, \dots, N+1;$$

отклонения от общего среднего \bar{x}_i при каждом замере –

$$\Delta x_i(k) = \bar{x}_i(k) - \bar{x}_i, \quad k = 1, \dots, T, \quad i = 1, \dots, N+1;$$

элементы ковариационной матрицы –

$$C_{ij}^* = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^T [\Delta x_i(k)][\Delta x_j(k)],$$

$$C_{jj}^* = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^T [\Delta x_j(k)]^2,$$

$$C_{ii}^* = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^T [\Delta x_i(k)]^2,$$

где T – число замеров; P – число исследуемых систем; k – номер замера.

Элементы матрицы $\|C_{ij}\|$ получаем по формуле

$$C_{ij} = \frac{C_{ij}^*}{\sqrt{C_{ii}^* C_{jj}^*}}, \quad i = 1, \dots, N+1, \quad j = 1, \dots, N+1.$$

Из полученной корреляционной матрицы выделяются вспомогательные матрицы A и B : $A = \|C_{ij}\|$, $i = 1, \dots, N$, $j = 1, \dots, N$; $B = \|C_{N+1, N+1}\|$.

Для того чтобы получить матрицу C , необходимо построить таблицу вероятностей выхода за допуски значений параметров при каждом замере, т. е. вероятностей неудовлетворения значений характеристик ТС КС предъявляемым требованиям. Эти вероятности вычисляют как отношение числа систем (КС), по которым зафиксировано недопустимое значение при k -м замере по i -му параметру, к общему числу исследуемых КС [3].

По данным табл. 2 можно вычислить общую информативность системы рассматриваемых параметров:

$$I_0 = 0,5 \left| \ln \frac{\det A \det B}{\det C} \right|,$$

где $\det A$, $\det B$, $\det C$ – определители вспомогательных матриц A , B и C [2].

Для этого предварительно рассчитаем

$$\det A = 0,0000008949; \quad \det B = 1;$$

$$\det C = -0,000158458,$$

тогда

$$I_0 = 0,5 |\ln |\det A \det B / \det C|| = 2,588 \text{ ед. инф.}$$

За единицу информации принято количество информации о состоянии случайного объекта, имеющего два возможных состояния, отношение вероятностей которых равно $1/e$ (e – основание натурального логарифма).

На основе корреляционной матрицы (см. табл. 2) построим линейное преобразование α [2] (табл. 3):

Таблица 3

Элементы матрицы преобразования Y

Номер строки i	Номер столбца j						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0,796895	0,7277538	0,684770	0,734194	0,852849	0
2	0	0,604118	0,6484664	0,208432	0,668736	0,501188	0
3	0	0	0,2233064	0,049272	-0,03838	0,060767	3,794363
4	0	0	0	0,696576	0,078034	0,012860	0,805909
5	0	0	0	0	0,078669	0,035009	12,70202
6	0	0	0	0	0	0,127965	1,296154

Решая систему уравнений

$$\begin{pmatrix} 1 & 0,79689 & 0,72775 & 0,68477 & 0,73419 & 0,85285 \\ 0 & 0,60412 & 0,64847 & 0,20843 & 0,66874 & 0,50119 \\ 0 & 0 & 0,22331 & 0,04927 & -0,0384 & 0,06077 \\ 0 & 0 & 0 & 0,69658 & 0,07803 & 0,01286 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,07867 & 0,03501 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,12797 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 3,79436 \\ 0,80591 \\ 12,7020 \\ 1,29615 \end{pmatrix}$$

с помощью рекуррентных соотношений

$$a_N = \frac{\alpha_{N+1,N}}{\alpha_{N,N}}; \quad a_{N-1} = \frac{\alpha_{N+1,N-1} - a_N \alpha_{N,N-1}}{\alpha_{N-1,N-1}},$$

$$a_i = \frac{\alpha_{N+1,i} - \sum_{j=1}^{i-1} a_j \alpha_{ji}}{\alpha_{i,i}},$$

получим коэффициенты приоритетности изучаемых параметров (табл. 4):

Полученные значения коэффициентов приоритетности сравним по их абсолютной величине. Наименьшую информативность имеют параметры x_4 , x_6 , а наибольшую – x_2 и x_5 .

Перед тем как исключать малозначащие характеристики ТС КС, произведём переиндексацию строк и столбцов корреляционной матрицы C в соответствии с увеличением значимости этих характеристик. Полученную матрицу \tilde{C} представим в виде табл. 5.

Таблица 4

Значения коэффициентов приоритетности параметров

Номер параметра					
1	2	3	4	5	6
7,389	-49,077	9,807	-3,63	34,298	2,213

Исключим параметр с наименьшим коэффициентом приоритетности x_6 . В данном случае информативность уменьшенной системы параметров вычисляется по формуле

$$I_j = 0,5 \left| \ln \frac{\det A_j \det B}{\det C_j} \right|,$$

где I_j – информативность параметров системы при отбрасывании первых j параметров; $j = 1, 2, \dots, N-1$; A_j и C_j – матрицы, полученные из матриц \tilde{A} и \tilde{C} вычеркиванием первых j строк и j столбцов, соответствующих отброшенным параметрам j ; \tilde{A} , \tilde{C} – матрицы, полученные после группировки строк и столбцов по степени приоритетности параметров ТС КС.

Определим потерю информации при исключении наименее информативного параметра x_6 . Для этого исключим из корреляционной матрицы \tilde{C} первую строку и столбец, относящиеся к параметру x_6 , и по полученной матрице вычислим

$$\det A = 0,00005465; \det B = 1;$$

$$\det C = -0,009585;$$

$$I_1 = 0,5 \cdot |\ln|\det A \cdot \det B / \det C|| = 2,584 \text{ ед. инф.}$$

Таким образом, при исключении параметра x_6 потеря информации составляет

$$(I_0 - I_1) / I_0 \cdot 100 \% = 0,184 \%.$$

Исключив следующий по значимости параметр x_4 , получим $I_1 = 2,328$ ед. инф. Потери информации составят 10,04 %.

Исключая дополнительно следующий по приоритетности параметр x_1 , имеем $I_2 = 1,983$ ед. инф. Потери информации равны 23,38 %.

Данная методика выбора информативной совокупности параметров может быть использована

Таблица 5

Перегруппировка строк и столбцов корреляционной матрицы по степени приоритетности параметров

Номер строки <i>i</i>	Номер столбца <i>j</i>						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0,700421	0,8528494	0,959237	0,962745	0,982408	0,85148
2	0,700421	1	0,6847701	0,644508	0,694606	0,671608	0,748331
3	0,852849	0,68477	1	0,727754	0,734194	0,796895	0
4	0,959237	0,644508	0,7277538	1	0,959395	0,971693	0,847306
5	0,962745	0,694606	0,7341941	0,959395	1	0,989071	0,916515
6	0,982408	0,671608	0,7968951	0,971693	0,989071	1	0
7	0,85148	0,748331	0	0,847306	0,916515	0	1

при относительно стабильной работе КС. Рациональное уменьшение объёма контроля при относительно малых потерях информации позволяет значительно сократить затраты на контроль при сохранении практически неизменной его достоверности и точности прогнозирования эксплуатационных свойств проконтролированных систем.

Предложенный подход к выбору информативной совокупности параметров позволяет определять техническое состояние КС с учётом значимости отобранных характеристик. При этом учитываются взаимосвязи между параметрами, строится линейное преобразование для расчёта коэффициентов приоритетности характеристик ТС КС, производится вычисление информативности получаемой в каждом случае системы параметров и величины потерь информации при исключении той или иной характеристики.

Основные результаты работы могут быть использованы для выбора совокупности наиболее информативных параметров КС и дальнейшего прогноза системным администратором на предприятии характеристик технического состояния КС на заданный интервал времени.

Библиографические ссылки

1. Булкин М.А., Дубицкий Л.Г. Информативность и приоритетность параметров при оценке качества продукции // Электронная техника. Сер. 8/ 1972. Вып. 5. С. 23–33.
2. Нарыжная Н.Ю. Выбор информативных параметров при прогнозировании технического состояния компьютерной сети предприятия / Автоматизация и современные технологии. 2008. № 9. С. 33–35.
3. Введение в техническую диагностику / Г.Ф. Верзяков, Н.В. Киншт, В.И. Рабинович, Л.С. Тимонен / Под ред. К.Б. Карапеева. М.: Энергия. 1968. 224 с.

Уважаемые авторы и читатели журнала!

В соответствии с решениями президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России журнал «Автоматизация и современные технологии» включён в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора наук.



ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

УДК 621.002.51

По страницам журналов

Анализ неоднородности деформации при волочении композитных прутков и проволоки. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2010. № 8.

Предложен аналитический метод оценки неоднородности деформации при волочении биметаллических прутков и проволоки, величина которой зависит от обжатия сечения в проходе, полуугла рабочего конуса и длины калибрующего пояска волоки, условий трения на поверхности проволоки, относительного размера сердечника и прочности сцепления поверхностей раздела и отношения напряжений пластического течения сердечника и оболочки. Проведён анализ экспериментального волочения биметаллической проволоки.

К вопросу заклинивания рулевых механизмов автомобилей. *Грузовик.* 2010. № 8.

Проведены исследования о возможности попадания постороннего предмета в зацепление червячной пары рулевого механизма при максимальных значениях возмущающих сил, образовании при этом следов заклинивания и соответствеии их места расположения углу поворота управляемых колёс и радиусу кривизны траектории центра масс. На основании исследований сделан вывод о невозможности заклинивания рулевых механизмов в нормальных условиях эксплуатации машин.

Оборудование для плазменного нанесения и упрочнения покрытий с модуляцией электрических параметров. *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2010. № 9.

Рассмотрены схемы установки плазменного нанесения покрытий с модуляторами тока дуги плазмотрона прямой и обратной полярности. Представлены технические характеристики модуляторов и рекомендации по режимам нанесения покрытий, перспективная схема двухполярной импульсной модуляции тока косвенной и прямой (выносной) дуги плазмотрона для процессов напыления и гибридного процесса напыления – наплавки. Разработано оборудование для высокоэффективных ресурсосберегающих технологий плазменного нанесения и упрочнения покрытий на различные детали машин.

Гидродинамический расчёт газового упорного подшипника конечной длины двойного действия. *Трение и смазка в машинах и механизмах.* 2010. № 9.

Современные газовые подшипники работают при достаточно высоких нагрузках. Существен-

ным недостатком самогенерирующих газовых подшипников является их низкая несущая способность. Исследована конструкция газовых подшипников двойного действия, которые выдерживают максимальную нагрузку при их заданных размерах.

Управление качеством неподвижных соединений за счёт нормирования конструктивно-технологических параметров. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2010. № 9.

Изложена методика автоматизированного расчёта и оптимизации выбора соединений с натягом с учётом комплекса определяющих факторов. Для этого в системе предусмотрена возможность анализа степени влияния различных конструктивных и технологических параметров, определяющих характер сопряжения, особенности обработки деталей и сборки и таким образом управлять качеством соединения с натягом с целью обеспечения максимального запаса прочности. С учётом конкретных возможностей производства конструктор окончательно выбирает посадку из числа полученных расчётом посадок по ГОСТ или ISO.

Аналитическая модель и методика расчёта производительности вертикального бункерного загрузочного устройства. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2010. № 9.

Предложена аналитическая модель производительности вертикального бункерного загрузочного устройства для деталей в форме колпачков с отношением наибольшего диаметра и высоты 11...5, позволяющая выбрать рабочую скорость захватывающих органов, при которой будет обеспечена требуемая производительность устройства.

Статистический синтез системы летательных аппаратов оптимального типажа методом покоординатного спуска. *Полёт.* 2010. № 9.

Рассматривается задача построения системы ЛА (летательных аппаратов) оптимального типажа методом статистического синтеза, который позволяет полностью формализовать процесс типажирования системы. Распределение целевых задач по элементам системы проводится на основании понятия расстояния между проектными параметрами ЛА, входящих в систему, которое зависит от структуры и характеристик внешнего целевого множества.

Выявление и удаление случайных трендов на основе вейвлетного преобразования сигнала. Полёт. 2010. № 9

Исследована возможность выявления и удаления из сигнала случайных трендов, интерполируемых полиномиальным рядом. Коэффициенты полинома определяются на основе вейвлетного преобразования сигнала. Приведён алгоритм удаления случайных шумов и трендов из сигнала.

Оценка влияния неоднородностей в радиопоглощающих покрытиях на характеристики рассеяния объектов. Контроль. Диагностика. 2010. № 9.

На основе строгого метода интегральных уравнений разработана математическая модель процесса рассеяния электромагнитных волн идеально проводящими объектами с радиопоглощающими покрытиями произвольной формы. Приведена оценка влияния неоднородностей в радиопоглощающих покрытиях на диаграммы эффективной площади рассеяния тестовых объектов в виде плоских пластин и круговых цилиндров.

Выявление и удаление случайных трендов на основе вейвлетного преобразования сигнала. Контроль. Диагностика. 2010. № 9.

Исследована возможность выявления и удаления из сигнала случайных трендов, интерполируемых полиномиальным рядом. Коэффициенты полинома определяются на основе вейвлетного преобразования сигнала. Приведён алгоритм удаления случайных шумов и трендов из сигнала.

Оптимизация технологических решений по обеспечению точности крупных поковок. Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 9.

Проведён анализ основных факторов, влияющих на точность поковок с учётом их последующей обработки и обеспечения качества деталей. Разработаны рекомендации по укрупнённой оценке силы КГШП, расчёту критериальных показателей прессов и другого оборудования для переоснащения заготовительных производств.

Упрощённый метод определения динамических нагрузок в металлоконструкции стрелы гидрофицированных манипуляторов. Грузовик. 2010. № 9.

На основании экспериментальных исследований, проведённых с тремя моделями навесных погружочных манипуляторов, получены данные, позволившие уточнить зависимость для определения динамического коэффициента при подъёме груза для наиболее нагруженной корневой части стрелы. Данная зависимость позволяет на стадии проектирования, используя конструктивную схему и режим работы будущего манипулятора, получить оптимальные конструктивные параметры стрелы.

Повышение эффективности упрочняющей и абразивной вибрационной обработки путём автоматизации. Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. № 10.

Приведены результаты разработки автоматизированного комплекса для осуществления вибрационной обработки. Комплекс состоит из нового вибрационного станка, управляемого с помощью персонального компьютера и специального программного обеспечения. Достигнуто повышение эффективности вибрационной обработки.

Методика разработки комбинированных упрочняющих технологических процессов. Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. № 10.

Предложена методика разработки комбинированных упрочняющих технологических процессов на примере плазменного напыления с последующей высокоэнергетической обработкой. Это позволяет сформировать требуемые структуру и эксплуатационные свойства покрытия.

Влияние импульсной лазерной обработки на абразивную износостойкость твёрдосплавных режущих инструментов. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. № 10.

Рассмотрены результаты исследований влияния упрочнения твёрдосплавных инструментов методом импульсной лазерной обработки. Исследования проводили путём определения сопротивления абразивному изнашиванию на машине трения.

Исследование триботехнических свойств пьезомагнитожидкостных подшипников. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. № 10.

Рассмотрена нетрадиционная конструкция подшипников, которые (исходя из технической сущности) названы пьезомагнитожидкостными (ПМЖП). Построена математическая модель для расчёта их несущей способности, проведена экспериментальная проверка модели и дальнейшее углублённое исследование их триботехнических свойств. Показано, что свойства ПМЖ подшипников определяются в основном топографией и величиной магнитного поля, составом и коллоидной устойчивостью магнитной жидкости. Установлены преимущества пьезомагнитожидкостных подшипников перед прецизионными механическими подшипниками, которые в основном сводятся к отсутствию у них трения покоя и износа поверхности.

Компьютерное моделирование процесса захвата уплотнительных колец пневматическим захватным устройством. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. № 10

Выполнено компьютерное моделирование основных процессов центрирования уплотнительного кольца воздушной струей и его захвата вакуумным каналом пневматического захватного устройства.